

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

**SENSIA – Procedimentos para Avaliação Sensorial de
Atributos Climáticos e da Paisagem**

**Os sentidos da visão, tato, olfato e audição aplicados ao diagnóstico
ambiental**

Evandro de Castro Sanguinetti

São Carlos

2019

FEDERAL UNIVERSITY OF SÃO CARLOS
Biological and Health Sciences Center
Graduate Program in Environmental Sciences

***SENSIA – Procedures for Sensorial Assessment of Climate
and Landscape Attributes***

***The senses of sight, touch, smell and hearing applied to environmental
diagnosis***

Evandro de Castro Sanguineto

São Carlos

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

**SENSIA – Procedimentos para Avaliação Sensorial de Atributos
Climáticos e da Paisagem**

Os sentidos da visão, tato, olfato e audição aplicados ao diagnóstico
ambiental

Evandro de Castro Sanguinetto

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais. Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini.

São Carlos

2019

Sanguinetto, Evandro de Castro

SENSIA – Procedimentos para Avaliação Sensorial de Atributos Climáticos e da Paisagem: Os sentidos da visão, tato, olfato e audição aplicados ao diagnóstico ambiental / Evandro de Castro Sanguinetto. -- 2019. 484 f. : 30 cm.

Tese (doutorado)-Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini

Banca examinadora: Profa. Dra. Dayana Almeida (UFSCar); Prof. Dr. José Augusto de Lollo (UNESP); Prof. Dr. Carlos Wilmer Costa (UFRN); Prof. Dra. Polyanna da Conceição Bispo (UL)

Bibliografia

1. Avaliação sensorial. 2. Diagnóstico ambiental. 3. Avaliação visual. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Ronildo Santos Prado – CRB/8 7325

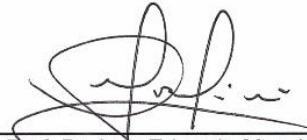


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado do candidato Evandro de Castro Sanguineto, realizada em 23/04/2019:



Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini
UFSCar

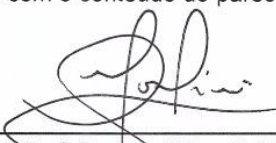
Profa. Dra. Dayana Almeida
UFSCar

Prof. Dr. José Augusto de Lollo
UNESP

Prof. Dr. Carlos Wilmer Costa
UFRN

Profa. Dra. Polyanna da Conceição Bispo
UL

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Dayana Almeida, José Augusto de Lollo, Carlos Wilmer Costa, Polyanna da Conceição Bispo e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ao) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.



Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini

Dedicatória

A Neyde de Castro Sanguinetta (*in memoriam*) e Neyse de Castro Sanguinetta, a quem devo muito de quem sou.

AGRADECIMENTOS

A Neyde que foi e Neyse que tem sido os nortes de minha jornada.

A Leopoldo da Silva Castro, que me acolheu e orientou na juventude e novamente ofereceu sua casa e coração nessa etapa que finaliza.

A Luiz Eduardo Moschini que me orientou e não me deixou perder pelo caminho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, o que me permitiu os anos de estudo, aprofundamento, escritas, reflexões e resultados.

PEDIDO DE PATENTE

A pedido dos pesquisadores Dr. Evandro de Castro Sanguineto e Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini, a Agência de Inovação – Ain/UFSCar deliberou pelo aceite e, por intermédio da Fundação Universidade Federal de São Carlos, deu entrada ao pedido de Patente de Invenção junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI, Número do Processo: BR 10 2019 020009 0:

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de PROCESSO PARA AVALIAÇÃO SENSORIAL DE ATRIBUTOS

Utilidade (54): CLIMÁTICOS E DA PAISAGEM

Resumo: A presente invenção se refere a um processo de baixo custo, fácil aplicação e cientificamente consistente, que permite quantificar informações sensoriais (qualitativas) obtidas pela visão, tato, audição e olfação na avaliação do clima e paisagem (relevo, biota e solo) de um lugar. Os atributos avaliados permitem evidenciar o estado atual e a evolução da paisagem de um lugar, valorando numérica e semaforicamente seus componentes de modo a facilitar a tomada de decisão quanto a Agroecossistemas (englobando agricultura, pecuária, silvicultura e ecossistemas naturais) e Engenharias e Urbanismo (englobando engenharias civil, hídrica e ambiental, construção civil, gestão ambiental, arquitetura e urbanismo, etc.).

VII

Da minha aldeia vejo quanto da terra se
pode ver do Universo...

Por isso a minha aldeia é tão grande como
outra terra qualquer,

Porque eu sou do tamanho do que vejo

E não do tamanho da minha altura...

Nas cidades a vida é mais pequena

Que aqui na minha casa no cimo deste
outeiro.

Na cidade as grandes casas fecham a vista à
chave,

Escondem o horizonte, empurram o nosso
olhar para longe de todo o céu,

Tornam-nos pequenos porque nos tiram o
que os nossos olhos nos podem dar,

E tornam-nos pobres porque a nossa única
riqueza é ver.

O guardador de rebanhos,
poema de Alberto Caeiro
(PESSOA, 1946).

Resumo

O estabelecimento, permanência e reprodução de uma espécie ou população em um determinado ambiente está condicionada aos fatores limitantes do lugar (Lei do Mínimo de Liebig), e a fatores físico-químicos dentro da faixa de tolerância da espécie ou população (Lei da Tolerância de Shelford). De modo semelhante, os atributos mais restritivos presentes em uma bacia hidrográfica devem ser considerados como determinantes para seu uso e ocupação em uma fase inicial. Intervenções que viessem a fortalecer e aumentar a disponibilidade daqueles fatores ou atributos inicialmente mais restritivos, orientariam a ocupação do espaço de maneira crescentemente construtora de relações mais sustentáveis, equilibradas e biofílicas entre os ambientes construídos e os naturais. Com esse referencial, a pesquisa teve por objetivo o desenvolvimento de um procedimento rápido, de baixíssimo custo, eficiente, de fácil aplicação e cientificamente consistente, para o diagnóstico sensorial qualiquantitativo de um lugar ou bacia hidrográfica, correlacionando e buscando compatibilizar os Agroecossistemas (agricultura, pecuária, silvicultura e ecossistemas naturais) e as Engenharias e Urbanismo (infraestruturas e urbanismo). Em diferentes pontos amostrais, os aspectos do Clima e Zonas Bioclimáticas, Relevo (Formas de relevo, Declividade, Orientação da Vertente, Pedregosidade e Rochosidade, Erosão e Movimento de Massa), Biota (Flora, Fauna, Cobertura do Solo, Matéria orgânica, Odor e Organismos do solo) e Solo (Permeabilidade, Compactação, Estrutura, Porosidade, Cor e Tonalidade, Mosqueado, Textura e Consistência seco, Consistência úmido, Plasticidade, Pegajosidade, Desintegração e Dispersão) são avaliados e pontuados. Como resultado final, um quadro numérico semaforizado evidencia aqueles atributos mais ou menos restritivos em cada ponto amostral, compondo um mosaico da bacia e trazendo elementos pré-projetuais para a tomada de decisão quanto ao seu uso e ocupação. Um “caderno de campo” ou “manual de campo”, principal produto da tese, foi escrito em linguagem comum e acessível a público diversificado, técnico e não técnico, explicitando os procedimentos para a avaliação e pontuação dos 27 atributos. Especialmente em relação aos atributos avaliados como mais restritivos, estudos técnicos e avaliação por profissionais qualificados se fazem necessários.

Palavras-Chave: diagnóstico ambiental, avaliação visual, biofilia, sustentabilidade, urbanismo biofílico.

Abstract

The establishment, permanence and reproduction of a species or population in a given environment is conditioned to some local limiting factors (Liebig's Law of the Minimum), and to the physical-chemical factors within the tolerance range of such species or population (Shelford's Law of Tolerance). Similarly, the more restrictive attributes present in a river basin shall be considered as determinants for the land use and occupation at an early stage. Interventions that would strengthen and improve the availability of initially more restrictive factors or attributes would guide land occupation in an increasingly constructive way, enabling more sustainable, balanced and biophilic relations between built and natural environments. The objective of this research was to develop a rapid, low-cost, efficient, easy to use and scientifically consistent procedure for the diagnosis and quantitative sensorial evaluation of a place and its surroundings landscape, with a view to correlate and make Agroecosystems (agriculture, livestock, forestry and natural ecosystems) and Engineering and Urbanism (infrastructures and urban planning) compatible. In different sampling points of the hydrographic basin or within an area of interest, the aspects of Climate and Bioclimatic Zones, Relief (Relief forms, Declivity, Guidance of Stones, Stones and Rocks, Erosion and Mass Movement), Biota (Flora, Fauna, Soil Coverage, Organic Matter, Odor and Soil Organisms) and Soil (Permeability, Compaction, Structure, Porosity, Color and Tonality, Mottled, Texture and Dry Consistency, Wet Consistency (Agroecosystems), Wet Consistency (Engineering and Urbanism), Plasticity, Tackiness, Disintegration and Dispersion) are evaluated and scored. As a final result, a semaphore numerical framework shows more or less restrictive attributes at each sampling point, composing the basin mosaic and bringing pre-project elements to the decision making process for land use and occupation. A "field notebook" or "field manual", the main product of the thesis, was written in a common language and is accessible to a diverse, technical and non-technical audience, explaining the procedures for the evaluation and score of the 27 attributes associated with the local Climate, Relief, Biota and Soil. Especially to the assessed attributes regarded as more restrictive, technical studies and evaluation by qualified professionals are necessary.

Keywords: environmental diagnosis, visual evaluation, biophilia, sustainability, biophilic urbanism.

SUMÁRIO

1	Introdução	23
1.1	Paisagem	26
2	Revisão bibliográfica	30
2.1	A evolução do urbano	31
2.2	Biomimética	32
2.3	<i>Design</i> Ecológico	33
2.4	<i>Design</i> Biofílico.....	37
2.5	Biourbanismo.....	39
2.6	Biofilia e Cidades biofílicas.....	40
2.7	Sustentabilidade Ambiental Urbana.....	46
2.8	Ecologia Industrial (EI)	54
2.9	Cartografia geotécnica e detalhamento progressivo	55
2.10	Aspectos legais.....	62
2.11	Crescimento da população e cidades brasileiras.....	69
3	Objetivo	72
4	Estrutura da tese.....	73
5	Materiais e Métodos.....	75
5.1	Avaliação visual.....	76
5.2	Avaliação sensorial	88
5.3	Teste de materiais	97
5.4	Pontos amostrais	101
5.5	Ferramentas para levantamentos de campo.....	104
5.6	Subjetividade de SENSIA.....	109
5.7	Análises estatísticas	110
6	SENSIA.....	112
7	Clima e Zonas Bioclimáticas (ZBCs).....	114
7.1	Radiação solar, Insolação e Massas de ar.....	115
7.2	Bioclimatologia e Zonas Bioclimatológicas	127
7.3	Agroecossistemas	129
7.3.1	Influência subtropical.....	133
7.3.2	Influência tropical	134
7.3.3	Influência equatorial	134
7.4	Engenharias e Urbanismo	135
7.5	Como avaliar e pontuar as Zonas Bioclimáticas	139

8	Relevo	141
8.1	Formas de relevo	144
8.1.1	Como avaliar e pontuar as Formas de relevo	147
8.2	Declividade.....	149
8.2.1	Como avaliar e pontuar a Declividade	156
8.3	Orientação da vertente.....	158
8.3.1	Como avaliar e pontuar a Orientação da vertente	159
8.4	Pedregosidade e Rochosidade.....	162
8.4.1	Pedregosidade	162
8.4.2	Rochosidade.....	166
8.4.3	Como avaliar e pontuar Pedregosidade e Rochosidade	168
8.5	Erosão	170
8.5.1	Como avaliar e pontuar a Erosão.....	177
8.6	Movimento de massa	179
8.6.1	Como avaliar e pontuar Movimento de massa.....	179
9	Biota.....	181
9.1	Flora	183
9.1.1	Como avaliar e pontuar Flora	187
9.2	Fauna	189
9.2.1	Como avaliar e pontuar Fauna.....	190
9.3	Cobertura do solo	192
9.3.1	Como avaliar e pontuar a Cobertura do solo.....	194
9.4	Matéria orgânica.....	196
9.4.1	Como avaliar e pontuar Matéria orgânica	202
9.5	Odor	204
9.5.1	Como avaliar e pontuar Odor	206
9.6	Organismos do solo	207
9.6.1	Como avaliar e pontuar os Organismos do solo	212
10	Solo	214
10.1	Permeabilidade.....	218
10.1.1	Infiltração.....	219
10.1.2	Permeabilidade.....	223
10.1.3	Como avaliar e pontuar a Permeabilidade	231
10.2	Compactação superficial e subsuperficial	234
10.2.1	Compactação superficial (primeiros 20 cm)	237
10.2.2	Compactação subsuperficial (profundidades maiores que 20 cm)	239

10.2.3	Profundidade potencial de enraizamento	240
10.2.4	Alagamento superficial	241
10.2.5	Como avaliar e pontuar Compactação.....	243
10.3	Estrutura	246
10.3.1	Como avaliar e pontuar Estrutura.....	268
10.4	Porosidade	272
10.4.1	Como avaliar e pontuar Porosidade	276
10.5	Cor, Tonalidade e Mosqueado.....	278
10.5.1	Como avaliar e pontuar a Cor, Tonalidade e Mosqueado	286
10.6	Textura	290
10.6.1	Como avaliar e pontuar Textura	310
10.7	Consistência	315
10.7.1	Como avaliar e pontuar Consistência	322
10.7.2	Como avaliar e pontuar Solo seco	324
10.7.3	Como avaliar e pontuar Solo úmido	325
10.7.4	Como avaliar e pontuar Solo molhado	328
10.8	Desintegração e Dispersão	331
10.8.1	Como avaliar e pontuar Desintegração e Dispersão.....	338
11	Integração	341
12	Diagnóstico ambiental – resultados experimentais	347
12.1	Diagnóstico Gaia Terranova.....	348
12.2	Prognóstico geral quanto ao manejo e à ocupação da paisagem	351
12.3	Diagnóstico comparativo com o ponto amostral Sudoeste	353
12.4	Prognóstico geral quanto ao manejo e à ocupação da paisagem	353
12.5	Diagnóstico de pontos amostrais a Noroeste de Gaia Terranova	355
12.6	Prognóstico geral quanto à gestão integrada da paisagem	357
12.7	Diagnóstico por Especialista x Grupo	359
13	Considerações finais	362
13.1	Patenteamento e aplicações	363
14	Referências	366
	ANEXO A - Zonas bioclimáticas, clima, cidades e percentuais de desconforto por frio, conforto térmico e desconforto por calor.	384
	ANEXO B - Zonas Bioclimáticas, clima correspondente, cidades, obrigações, proibições e condicionamento térmico passivo.	388

Quadros

Quadro 2.1. Características de comunidades sustentáveis e descrição das mesmas. ..	47
Quadro 2.2. Impactos ambientais da urbanização tradicional e medidas de renaturalização.	49
Quadro 2.3. Características de Sistemas Urbanos Sustentáveis.	52
Quadro 2.4. Metáforas entre sistemas vivos e tecnológicos.	54
Quadro 2.5. Legislação federal e mineira sobre o parcelamento do solo para fins urbanos.	63
Quadro 2.6. Classificação Federal e Estadual (MG) dos corpos de água.	65
Quadro 5.1. Indicadores e pesos para terras aráveis e pastagem.	81
Quadro 5.2. Categorias estruturais, descrição e distinções.	83
Quadro 5.3. Função ecossistêmica e atributos do solo.	85
Quadro 5.4. Níveis SCAMP, atributos e métodos de coleta de dados.	85
Quadro 5.5. Equipamentos para as práticas de campo.	105
Quadro 7.1. Quadro-resumo das massas de ar, formação, características e atuação.	121
Quadro 7.2. Relações entre Insolação, umidade e temperatura na superfície terrestre.	123
Quadro 7.3. Descrição, características e pontuação de Zona Bioclimática (ZBC) para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo.	140
Quadro 8.1. Formas de relevo e total de voçorocas catalogadas.	146
Quadro 8.2. Classes de fragilidade, formas de terreno e pesos.	146
Quadro 8.3. Fragilidade, formas de terreno, voçorocas e pontuação.	147
Quadro 8.4. Descrição, características e pontuação de Formas do relevo para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.	148
Quadro 8.5. Classes morfodinâmicas, fases de relevo, declividade e características.	149
Quadro 8.6. Limites de declividade.	151
Quadro 8.7. Risco de erosão em função da declividade e pontuação segundo Moody e Cong (2008).	153
Quadro 8.8. Guia de orientação para a pontuação de Declividade.	154
Quadro 8.9. Classes de fragilidade em relação à declividade.	154
Quadro 8.10. Classes, relevo, declividade e características.	155
Quadro 8.11. Descrição, características e pontuação de Declividade para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.	157
Quadro 8.12. Descrição, características e pontuação de Orientação da vertente para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.	161
Quadro 8.13. Classes de pedregosidade.	163
Quadro 8.14. Classe, determinação da pedregosidade, características e manejo.	165
Quadro 8.15. Pedregosidade, pontuação e peso.	166
Quadro 8.16. Classes de rochosidade.	166
Quadro 8.17. Graus de limitação referentes à rochosidade e/ou pedregosidade.	167
Quadro 8.18. Propriedades e comportamento de frações grosseiras.	168

Quadro 8.19. Descrição, características e pontuação de Pedregosidade e Rochosidade para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.	169
Quadro 8.20. Classes de Erosão, segundo o IBGE (2015).....	171
Quadro 8.21. Risco de erosão e pontuação segundo Moody e Cong (2008).....	173
Quadro 8.22. Pontuação para Erosão, segundo Väderstad (2016).....	174
Quadro 8.23. Pontuação para Erosão, segundo Nicholls et al. (2004).....	174
Quadro 8.24. Pontuação para erosão do solo, segundo Shepherd <i>et al.</i> (2008).....	175
Quadro 8.25. Limitações para Erosão, segundo Casalinho, Martins e Lopes (2007)...	175
Quadro 8.26. Pontuação para Suscetibilidade à erosão, segundo Souza et al. (2016).	176
Quadro 8.27. Descrição, características e pontuação de Erosão para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo.....	178
Quadro 8.28. Descrição, características e pontuação de Movimento de massa para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo.....	180
Quadro 9.1. Tendências da sucessão primária nos ecossistemas.....	184
Quadro 9.2. Sucessão primária adotada para ambientes aquáticos e terrestres.....	186
Quadro 9.3. Descrição, características e pontuação de Flora para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo.....	188
Quadro 9.4. Pontuação para meso e macro Fauna, segundo Souza et al. (2016).	190
Quadro 9.5. Descrição, características e pontuação de Fauna para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo.....	191
Quadro 9.6. Cobertura do solo e grau de decomposição dos resíduos.	193
Quadro 9.7. Limitações para Matéria orgânica, segundo Casalinho, Martins e Lopes (2007).....	193
Quadro 9.8. Pontuação para Quantidade, decomposição e incorporação da serapilheira no solo e Índice da cobertura, segundo Souza et al. (2016).	194
Quadro 9.9. Descrição, características e pontuação de Cobertura do solo para Agroecossistemas (PA) e Engenharia e Urbanismo (PEU).....	195
Quadro 9.10. Escala de humificação de Van Post.	199
Quadro 9.11. Efeitos da incorporação de matéria orgânica ao solo.....	202
Quadro 9.12. Descrição, características e pontuação de Matéria orgânica para Agroecossistemas (PA) e Engenharias e Urbanismo (PEU).	203
Quadro 9.13. Pontuação para Cor, Odor e Presença de matéria orgânica, segundo Nicholls <i>et al.</i> (2004).....	205
Quadro 9.14. Pontuação para Cor e Odor do solo, segundo Souza et al. (2016).	205
Quadro 9.15. Descrição, características e pontuação de Odor para Agroecossistemas (PA) e Engenharias e Urbanismo (PEU).	206
Quadro 9.16. Pontuação para Número de minhocas em 20cm cúbicos de solo, segundo Shepherd <i>et al.</i> (2008).....	209
Quadro 9.17. Pontuação para Contagem de minhocas em 20cm cúbicos de solo, segundo Väderstad (2016).	209
Quadro 9.18. Pontuação para Número de minhocas, segundo McGarry (2004).	210
Quadro 9.19. Limitações para população de minhocas e presença de organismos, segundo Casalinho, Martins e Lopes (2007).	210

Quadro 9.20. Pontuação para Presença de invertebrados e Atividade microbiológica, segundo Nicholls et al. (2004).	211
Quadro 9.21. Pontuação para meso e macrofauna, segundo Souza et al. (2016).....	211
Quadro 9.22. Descrição, características e pontuação de Organismos do solo para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo.....	213
Quadro 10.1. Estimativa simplificada de k com base em um fluxo 3-D.....	220
Quadro 10.2. Estimativa simplificada de k com base em um fluxo 1-D.....	220
Quadro 10.3. Relação entre tempo de infiltração para um fluxo 3-D, condutividade hidráulica, classes de permeabilidade e descrição de características associadas.	222
Quadro 10.4. Intervalos de valores para k ($m.s^{-1}$).	223
Quadro 10.5. Valores típicos de coeficiente de permeabilidade para vários solos.	224
Quadro 10.6. Classes de permeabilidade, fluxo e características.....	224
Quadro 10.7. Condições predominantes e condutividade hidráulica saturada (k_{sat}). .	225
Quadro 10.8. Valores de permeabilidade.	226
Quadro 10.9. Valores típicos de coeficiente de permeabilidade de solos sedimentares.	226
Quadro 10.10. Condutividade hidráulica k	227
Quadro 10.11. Classes de permeabilidade, frações granulométricas, valores médios do coeficiente de condutividade hidráulica k ($m.s^{-1}$), tempo calculado de infiltração e pontuações para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.	229
Quadro 10.12. Descrição, características e pontuação de Permeabilidade (estimada pela Infiltração) para Agroecossistemas (PA) e Engenharia e Urbanismo (PEU).	233
Quadro 10.13. Níveis de limitação dos indicadores.	238
Quadro 10.14. Pontuação para Compactação e Profundidade do solo, segundo Nicholls et al. (2004).....	238
Quadro 10.15. Pontuação para Compactação e Profundidade do solo, segundo Souza et al. (2016).....	239
Quadro 10.16. Pontuação para Duripã.....	239
Quadro 10.17. Pontuação para Compactação, segundo Väderstad (2016).....	240
Quadro 10.18. Pontuação para profundidade potencial de enraizamento.....	241
Quadro 10.19. Pontuação para Empoçamento e Alagamento superficial segundo Shepherd et al. (2008).	243
Quadro 10.20. Descrição, características e pontuação de Compactação superficial para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.	245
Quadro 10.21. Forma e tamanho (mm) das estruturas do solo.	251
Quadro 10.22. Autor, critérios-chave e pontuações.....	259
Quadro 10.23. Fator a ser testado, processos associados, metodologias de avaliação rápida e estratégias de melhoria.....	261
Quadro 10.24. Estrutura e pontuação segundo Nicholls et al. (2004).....	265
Quadro 10.25. Estrutura e pontuação segundo Shepherd et al. (2008).....	265
Quadro 10.26. Estrutura e pontuação segundo Väderstad (2016).	266
Quadro 10.27. Categorias estruturais, descrição e distinções.....	267
Quadro 10.28. Estrutura e Consistência do solo e pontuação segundo Souza (2015). 268	

Quadro 10.29. Descrição, características e pontuação de Estrutura do solo para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.	271
Quadro 10.30. Classificação de Porosidade quanto ao diâmetro dos poros em mm..	273
Quadro 10.31. Classe simplificada, diâmetro, identificação e características e funções dos poros.	274
Quadro 10.32. Pontuação para Porosidade, segundo Väderstad (2016).	274
Quadro 10.33. Pontuação para Porosidade, segundo Shepherd <i>et al.</i> (2008).	275
Quadro 10.34. Pontuação para Porosidade, segundo Souza <i>et al.</i> (2016).	275
Quadro 10.35. Limitações para Porosidade, segundo Casalinho, Martins e Lopes (2007).	275
Quadro 10.36. Descrição, características e pontuação de Porosidade para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.	277
Quadro 10.37. Características e implicações de manejo associadas à cor do solo e pontuações propostas.	281
Quadro 10.38. Pontuação para Cor do solo e mosqueados, segundo Shepherd <i>et al.</i> (2008).....	283
Quadro 10.39. Pontuação para Cor do solo, segundo Casalinho, Martins e Lopes (2007).	284
Quadro 10.40. Pontuação para Cor, Odor e Presença de matéria orgânica, segundo Nicholls <i>et al.</i> (2004).....	284
Quadro 10.41. Pontuação para Cor do solo, segundo Väderstad (2016).	285
Quadro 10.42. Pontuação para Cor e Odor do solo, segundo Souza <i>et al.</i> (2016).	285
Quadro 10.43. Descrição, características e pontuação de Cor para Agroecossistemas (PA) e Engenharia e Urbanismo (PEU).....	287
Quadro 10.44. Descrição, características e manutenção, diminuição ou aumento da pontuação de Cor quanto à Tonalidade.	289
Quadro 10.45. Descrição, características e pontuação de Mosqueado para Agroecossistemas (PA) e Engenharia e Urbanismo (PEU).....	289
Quadro 10.46. Frações granulométricas do solo segundo Atterberg, Embrapa, SBCS, ABNT e SUCS.	297
Quadro 10.47. Solos, textura e classe textural.....	298
Quadro 10.48. Características e propriedades das areias, siltes e argilas.	300
Quadro 10.49. Textura, características e manejo.	301
Quadro 10.50. Determinação da textura de solo em campo.....	302
Quadro 10.51. Classe textural, características, formatos e tamanhos da fita.	303
Quadro 10.52. Descrição sensorial, tamanho de fita, porcentagem de argila e classe textural.	305
Quadro 10.53. Avaliação sensorial na determinação de classes texturais.	307
Quadro 10.54. Grupo textural a partir do manuseio e limpeza das mãos.....	308
Quadro 10.55. Avaliação para agricultura. Pontuação, textura e teste tátil, visual e auditivo.	309
Quadro 10.56. Pontuação, características e classe de textura.	310
Quadro 10.57. Pontuações adaptadas de Shepherd <i>et al.</i> (2008) e Mueller <i>et al.</i> (2007) para os grupos e classes texturais.	313

Quadro 10.58. Descrição, características e pontuação de Textura para Agroecossistemas (PA) e Engenharias e Urbanismo (PEU).	314
Quadro 10.59. Classificação dos solos quanto à compactidade e consistência, mediante uso do SPT.....	315
Quadro 10.60. Relação entre teor de umidade e comportamento do solo.	318
Quadro 10.61. Pontuação para Compactação do solo segundo McGarry (2004).	319
Quadro 10.62. Consistência do solo úmido, descrição e implicações de manejo.	320
Quadro 10.63. Estrutura e Consistência do solo e pontuação segundo Souza (2015).	321
Quadro 10.64. Qualidade estrutural e facilidade de rompimento.	321
Quadro 10.65. Estrutura e pontuação segundo Shepherd <i>et al.</i> (2008).	322
Quadro 10.66. Estrutura e pontuação segundo Väderstad (2016).	322
Quadro 10.67. Descrição, características e pontuação de Consistência do solo seco para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.	325
Quadro 10.68. Descrição, características e pontuação de Consistência do solo úmido para Agroecossistemas.....	327
Quadro 10.69. Descrição, características e pontuação de Consistência do solo úmido para Engenharia e Urbanismo.	328
Quadro 10.70. Descrição, características e pontuação de Consistência do solo molhado (Plasticidade) para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.	329
Quadro 10.71. Descrição, características e pontuação de Consistência do solo molhado (Pegajosidade) para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.	330
Quadro 10.72. Descrição, manejo e pontuação para Desintegração do solo.....	333
Quadro 10.73. Descrição e pontuação para Dispersão do solo.	334
Quadro 10.74. Índice de Dispersão e manejo.	335
Quadro 10.75. Pontuação para graus de dispersão.	336
Quadro 10.76. Pontuação para desintegração e dispersão.	336
Quadro 10.77. Classe de Dispersão, implicações e manejo.	338
Quadro 10.78. Descrição, características e pontuação de Desintegração para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.	339
Quadro 10.79. Descrição, características e pontuação de Dispersão para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.	340

Figuras

Figura 2.1. Sistemas urbanos, escalas, contextos e subcontextos interligados na promoção da sustentabilidade urbana.	52
Figura 2.2. Ecossistema Industrial de Kalundborg, Dinamarca.	55
Figura 2.3. Cartas geotécnicas e aplicação em práticas de planejamento urbano e ordenamento territorial.	58
Figura 4.1. Fluxograma SENSIA.	73
Figura 5.1. Delimitação de bacia (vermelho).	102
Figura 5.2. Linhas transversais principais (amarelo).	103
Figura 5.3. Linha transversal e indicação dos pontos de amostragem.	103
Figura 5.4. Ferramentas de campo.	106
Figura 5.5. Identificação do local do levantamento.	107
Figura 5.6. Recorte da planilha de pontuações de campo.	108
Figura 6.1. Estrutura SENSIA	113
Figura 7.1. Atuação de zonas de alta e baixa pressão (no hemisfério sul as direções são contrárias).	118
Figura 7.2. Massas de ar atuantes no Brasil.	119
Figura 7.3. Trocas térmicas entre o corpo e o ambiente.	125
Figura 7.4. Diagrama do Conforto Humano.	126
Figura 7.5. Carta Bioclimática adaptada.	128
Figura 7.6. Zoneamento bioclimático brasileiro e porcentagens do território.	130
Figura 8.1. Combinação de curvaturas e caracterização das formas de terreno.	145
Figura 8.2. Quatro formas básicas de relevo segundo Huggett (1975).	145
Figura 8.3. Contornos e perfis de terreno.	148
Figura 8.4. Subprocessos hidrológicos ocorrentes em solos superficiais contendo fragmentos rochosos em diferentes posições.	164
Figura 10.1. Tipos (forma) de agregados.	248
Figura 10.2. Descrição visual dos agregados.	252
Figura 10.3. Diagrama triangular de Feret para as classes texturais.	295
Figura 10.4. Diagrama triangular de Feret para os grupos texturais.	295
Figura 10.5. Determinação do comportamento do solo em condição pegajosa.	303
Figura 10.6. Triângulo textural adotado por Moody e Cong (2008).	304
Figura 10.7. Fluxograma para a determinação da textura pela sensação tátil.	306
Figura 10.8. Classes texturais e grupos texturais adotados por Shepherd <i>et al.</i> (2008).	309
Figura 10.9. Consistência do solo.	317
Figura 10.10. Índice de Dispersão.	335
Figura 10.11. Classes de Dispersão.	337
Figura 11.1. Recorte de planilha eletrônica para inserção dos dados de campo.	342
Figura 11.2. Recorte de planilha semafórica com estatísticas básicas.	343
Figura 11.3. Dispersão do Coeficiente de Variância (CV).	344
Figura 11.4. Classes semafóricas de restrição.	344

Figura 11.5. Planilha numérico-semafórica comparando pontos amostrais em uma mesma bacia hidrográfica.	346
Figura 12.1. Pontos amostrais avaliados na Bacia do Carneiros.	347
Figura 12.2. Pontos amostrais em Gaia Terranova e área de pasto a Sudoeste.....	348
Figura 12.3. Resultados de SENSIA para diferentes manejos em Gaia Terranova.....	349
Figura 12.4. Resultados de Gaia Terranova e ponto amostral em pastagem degradada.	352
Figura 12.5. Pontos amostrais a Noroeste de Gaia Terranova.....	355
Figura 12.6. Resultados das avaliações dos pontos amostrais a Noroeste de Gaia Terranova.....	356
Figura 12.7. Diagnósticos comparando avaliação por Especialista e Grupo diversificado com e sem treinamento.	360

Tabelas

Tabela 5.1. Atributos, autores que os adotam e total.	93
Tabela 5.2. Média de pesos relativos para cada atributo, segundo os autores.....	95
Tabela 7.1. Classes, amplitude de classes e pontuações correspondentes.	133
Tabela 7.2. ZBC, radiação solar, umidade, temperatura, média (Méd.), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV) e pontuação para a produtividade primária dos Agroecossistemas (PA).	135
Tabela 7.3. Classes, amplitude de classes e pontuação.	137
Tabela 7.4. Zonas bioclimáticas, percentuais de desconforto por frio, conforto, desconforto por calor, média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variância (CV) e pontuação para Engenharias e Urbanismo (PEU).	138
Tabela 10.1. Tipo de solo, permeabilidade e coeficiente de permeabilidade k ($m.s^{-1}$).	228

1 Introdução

SENSIA – Procedimentos para Avaliação Sensorial de Atributos Climáticos e da Paisagem é um processo de baixo custo, fácil aplicação e cientificamente consistente, que permite quantificar informações sensoriais (qualitativas) obtidas pela visão, tato, audição e olfação na avaliação do clima e paisagem (relevo, biota e solo) de um lugar. Os atributos avaliados permitem evidenciar o estado atual e a evolução da paisagem de um lugar, valorando numérica e semaforicamente seus componentes de modo a facilitar a tomada de decisão quanto a Agroecossistemas (englobando agricultura, pecuária, silvicultura e ecossistemas naturais) e Engenharias e Urbanismo (englobando engenharias civil, hídrica e ambiental, construção civil, gestão ambiental, arquitetura e urbanismo, etc.).

SENSIA iniciou como parte de projeto de pesquisa de doutorado em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, sob o tema “Atributos e diretrizes restauradoras e integradoras dos sistemas naturais e antrópicos para empreendimentos imobiliários urbanos e rurais”. Teve como premissa inicial os fatores limitantes descritos na Ecologia, indicando que o estabelecimento, permanência e reprodução de uma espécie ou população em um determinado ambiente está condicionada aos fatores limitantes do lugar (Lei do Mínimo de Liebig) e fatores físico-químicos dentro da faixa de tolerância da espécie ou população (Lei da Tolerância de Shelford) (MILLER JR, 2013; USP, 2016; ODUM, 2009).

Considerou-se assim, que o estudo, *design* e planejamento de empreendimentos imobiliários que se desejassem mais sustentáveis e biofílicos deveriam tomar por base as mesmas ou semelhantes premissas, como a disponibilidade local de água, ou a qualidade do solo mais ou menos propício à construção ou preservação, ou o fortalecimento, recuperação e interligação de fragmentos florestais facilitando o fluxo de animais (BRASIL, 2012a; MINAS GERAIS, 2013), bem como a adoção da bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento (BRASIL, 1997; MINAS GERAIS (ESTADO), 1999).

O(s) atributo(s) mais restritivo(s) presente(s) na bacia seriam então considerado(s) como determinante(s) da população máxima prevista pelo

empreendimento em sua fase inicial. Em fase posterior, essa população poderia ser ampliada, mas como resultado de intervenções que viessem a fortalecer e aumentar a disponibilidade daqueles fatores ou atributos inicialmente mais restritivos, orientando a ocupação do espaço de maneira crescentemente construtora de relações mais sustentáveis, equilibradas e biofílicas (WILSON, 1984; BEATLEY, 2011; SANGUINETTO, 2011a; SANGUINETTO, 2011b) entre os ambientes construído e natural.

Recursos hídricos como exemplo, dado que a água é indispensável para todo e qualquer processo vivo, produtivo e de organização social, a quantidade máxima disponível na bacia para uso nas atividades humanas seria a média das mínimas que vertem pelo exutório da bacia durante o auge dos últimos períodos anuais de estiagem, determinando assim a população humana máxima do empreendimento em sua fase inicial, considerando o consumo médio de água indicado, por exemplo, pela NTS 181 (SABESP, 2012), ou a produção média de esgotos indicados pelas NBR 7.229 (ABT, 1993) e NBR 13.969 (ABNT, 1997a).

Condiciona-se, dessa forma, a abertura de ruas e ampliação da quantidade de lotes e população residente no empreendimento ao aumento da disponibilidade hídrica na bacia. Aumentar a população residente implicaria, necessariamente, no desenvolvimento de estratégias de recuperação e manutenção da qualidade da bacia, como a implantação de curvas de nível, cordões de vegetação, melhoria da estrutura do solo, incorporação de matéria orgânica, redução da compactação, aumento da infiltração da água de chuva, proteção de nascentes, implantação ou recuperação de vegetação nativa nas zonas de recarga, produção madeireira (silvicultura), etc.

Essas estratégias poderiam ainda ser complementadas por outras alternativas, como a captação de água de chuva; a gestão da água no interior das residências, com o uso de arejadores nas torneiras e/ou de bacias acopladas de descarga dupla nos vasos sanitários; a manutenção das torneiras fechadas enquanto se lava a louça ou se escovam os dentes; e o tratamento de efluentes domésticos visando o reuso das águas, dentre outros.

Dessa forma, uma metodologia cientificamente consistente, de fácil aplicação e compreensão, com baixo custo e que pudesse identificar alguns dos atributos mais limitantes da bacia, guardaria o potencial de explicitar ao poder público e ao

empreendedor, tanto o diagnóstico inicial do lugar quanto as estratégias a serem adotadas ao longo do tempo para o planejamento do empreendimento (abertura de vias, definição de lotes, sistemas de saneamento, planejamento urbano, etc.) e/ou do uso e ocupação do solo em sintonia com os ecossistemas naturais e a manutenção dos serviços a eles associados.

A literatura reporta trabalhos de avaliação visual de solos com vistas a diagnosticar e monitorar sua qualidade para uso na agricultura e pecuária e, em menor escala, monitorar a qualidade ambiental e a recuperação de áreas degradadas.

De maneira mais ampla, a avaliação sensorial (visão, tato, audição e olfação) é uma solução de campo para diagnóstico qualiquantitativo preliminar de um lugar e tem sido utilizada de maneira restrita para inferências qualitativas da textura e consistência do solo nas áreas de geotecnia, pedologia e engenharia civil (ABNT, 1997b, 2001; BRADY; WEIL, 2013; OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2015), recentemente expandindo para a avaliação de áreas degradadas (MELLONI, 2001; SOUZA, 2015; SOUZA *et al.*, 2016) e ecossistemas agrosilvipastoris (CASALINHO; MARTINS; LOPES, 2007; NICHOLLS *et al.*, 2004; SHEPHERD *et al.*, 2008; VÄDERSTAD, 2016).

Ampliando esse rol, desenvolveu-se em SENSIA a mensuração de atributos complementares (Clima e Zonas Bioclimáticas, Forma de relevo, Orientação de vertente, Movimento de massa) e pontuações passíveis de utilização também para as Engenharias e Urbanismo.

Importantíssimo ressaltar que a utilização de SENSIA se dá enquanto um levantamento preliminar, um diagnóstico inicial e orientativo das aptidões e restrições dos atributos de um lugar ou bacia hidrográfica em relação aos Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo.

Os resultados do levantamento, especialmente em relação aos atributos avaliados como “restritivos” e “mais restritivos”, evidencia e reforça a necessidade de estudos técnicos aprofundados e avaliação por profissionais qualificados.

1.1 Paisagem

Utilizando o termo Paisagem, faz-se necessário explicitar o entendimento que do termo se tem, uma vez que sua conceituação não é uníssona, nem apresenta uma medida geográfica definida, mas varia em função dos propósitos e necessidades do levantamento.

No Canadá, como exemplo, o manejo florestal entende paisagem como um “cenário bonito”, com valores visuais e estéticos (SILVA ECOSYSTEM CONSULTANTS, 1992). Forman (FORMAN, 1987; *apud* SILVA ECOSYSTEM CONSULTANTS, 1992) a entende como um aglomerado de ecossistemas heterogêneos interagindo com fluxos animais, vegetais, água, minerais e energia entre si. O Conselho da Europa (COUNCIL OF EUROPE, 2000), como “uma parte do território, tal como é apreendida pelas populações, cujo carácter resulta da ação e da interação de fatores naturais e/ou humanos”. Já o senso comum entende paisagem como uma porção visível do espaço, acima da superfície, dado pelo que é alcançado pela visão.

Pennock e Veldkamp (2006) utilizam o termo “paisagem” como um processo dinâmico, associando relevo (erosão, evolução temporal, morfologia da superfície e materiais de origem ou pedogênese) ao uso da terra (modificações antrópicas e comunidades vegetais em áreas naturais). Defendem que processos ocorrentes nas paisagens, em conjunto com o manejo e gestão da terra, são os principais agentes de formação e transformação dos solos.

Desse modo, evidenciar a relação solo-paisagem se torna essencial para extrapolar informações locais para escalas regionais, nacionais e globais. Os sistemas de informação geográfica evidenciando aspectos da paisagem, em conjunto com ferramentas estatísticas aplicadas aos levantamentos pedológicos, pontuais e homogêneos, auxiliam na previsão e mapeamento da heterogeneidade dos solos em escalas mais amplas da paisagem.

A pedologia na escala de paisagem foca nas propriedades e processos do solo (p. ex. transferência de água, solutos e sedimentos), dentro de um contexto temporal e espacial, que explica ou prevê os atributos do solo em determinado ponto da paisagem. Como exemplo, citam Thompson; Pena-Yewtukhiw; Grove (2006) que usaram um modelo digital de terreno (MDT) com alta resolução na predição de padrões de

propriedades do solo utilizando modelos quantitativos empíricos. Concluem os autores que a noção de solo como um componente de sistemas complexos, com *feedbacks* positivos e negativos, vem-se tornando um conceito amplamente aceito, tendo a pedologia da paisagem (ou relação solo-paisagem) crescente interesse e relevância.

Carré e McBratney (2005) propõem um novo conceito, o de “terron” (analogia com “pedon”), uma entidade solo-paisagem, compondo um todo indissociável e integrando propriedades ou atributos do solo, do relevo e a interação entre ambos. Foi desenvolvido como uma ferramenta para gestores ambientais na tomada de decisões e orientada para a gestão agrícola. É apresentado na forma de mapa, resultado da incorporação de dados pedológicos de 16.987 pontos amostrais (região de La Rochelle, França). Considerou os atributos do solo: cor, quantidade de matéria orgânica, tamanho de cascalhos e pedras, salinidade e carbonatos, grau de hidromorfismo (taxas de oxidação e redução), textura e litologia do embasamento; e atributos do relevo: altitude, declividade, direção da vertente, índice topográfico (relacionando posição, curvatura e umidade relativa do terreno) e curvatura da encosta, metodologia descrita em Carré e Girard (2002). Concluem os autores que o mapeamento “terron” é mais orientado para o relevo, com erros de modelagem menores em relação aos mapas de solo convencionais.

Bui; Loughhead e Corner (1999) lembram que pesquisas de solo são demoradas, caras e trabalhosas, especialmente com restrições orçamentárias e de pessoal. Modelos mentais, elaborados a partir da prática e observações de campo feitas pelos pesquisadores são utilizadas para inferências de classes de solos, taxonomia e propriedades intrínsecas dos mesmos na paisagem. No entanto, mapas mentais assim formulados não são costumeiramente anotados pelos pesquisadores, de modo que novas equipes de levantamento não tem acesso ao conhecimento anteriormente desenvolvido.

Para Sommer; Gerke e Deumlich (2008), solos são corpos naturais quadridimensionais, tempo sendo a dimensão acrescida à altura, largura e profundidade. Estudos de cronosequência indicam as transformações de um solo A para B e deste para C, evidenciando o desenvolvimento de suas propriedades, como carbono orgânico do solo, pH, oxidação, etc. Associando a cronosequência ao balanço de massas

e ressalvadas as críticas em relação ao método (influência da erosão-sedimentação, solos submersos, fluxo lateral de massas e fluidos, etc.), obtém-se a quantificação das perdas e ganhos de elementos e consequente taxas de formação dos solos ao longo do tempo, uma “abordagem-espaço-por-tempo”.

Compreender o desenvolvimento da paisagem do solo ao longo do tempo, implica compreender as causas e os padrões envolvidos nessa evolução, superando a escala do pedon para o contínuo do solo nas paisagens. Descrevem os autores três questões básicas que devem ser consideradas: (i) evolução não-linear do solo, com progressões e regressões; (ii) evolução dos atributos que podem levar a mudanças na permeabilidade, transporte de solutos, taxas de infiltração, drenagem, etc.; (iii) propriedades emergentes do solo na paisagem, como a formação de padrões e evolução de fluxos laterais (fases sólida e líquida) distintos entre solos. Creem os autores que o entendimento do desenvolvimento da paisagem, associando (i) informações geológicas e históricas, (ii) as recentes interferências humanas altamente impactantes, e o (iii) histórico climático do lugar (precipitação, temperatura, glaciação, ventos, etc.), será a base para a ciência e proteção do solo. Especialmente a erosão antropogênica modifica a direção da formação do solo, de progressiva para regressiva, embora de maneira espacialmente distribuída, formando paisagens variadas e complexas. Concluem que a proteção do solo exige conhecimento, técnicas sensíveis e modelos apropriados para guiar a capacidade regenerativa dos solos na paisagem, considerando a abordagem proposta um primeiro passo nessa direção.

Ruggiero *et al.* (2006) lembram que em mapeamentos são delimitadas classes representativas de certa homogeneidade dos atributos presentes na área. Para levantamentos de menor detalhamento (maior escala), poucas classes são adotadas. Ao diminuir a escala, aumentam-se as classes e o detalhamento do levantamento, evidenciando maior variabilidade dos atributos. As classes de vegetação são mais facilmente levantadas por meio do imageamento remoto (fotografias aéreas, imagens de satélite), enquanto os levantamentos de solo são pontuais e em diferentes unidades do relevo. Relacionando as classes de vegetação delimitadas em mapeamentos de diferentes escalas com as classes de solo e/ou topografia em escalas correspondentes, os autores não encontraram correlação significativa entre ambas. Inferiram relações

mais complexas, sugerindo que a variação do nível do lençol freático desempenhe um papel importante na variabilidade das fitofisionomias. Indicaram ainda os autores, que os levantamentos de solo são feitos com vistas à agricultura, enquanto os de vegetação visam subsidiar estratégias e legislação florestal, o que implica baixa correspondência entre os mapeamentos de ambos.

SENSIA, sendo um conjunto de procedimentos rápidos e de baixo custo, talvez possa ser utilizado como “trilhas” ou anotações, guiando a construção de mapas mentais, facilitando o entendimento dessas construções e evidenciando os padrões associados, ao relacionar solo, relevo, vegetação e uso e ocupação antrópicos, de modo a oferecer uma visão expandida e preditiva de características semelhantes na paisagem. Nesse ponto, a sobreposição dos levantamentos de **SENSIA** com ferramentas de SIG poderiam ser testados e avaliados em relação aos processos convencionais de mapeamento dos solos e entendimento das paisagens.

Não sendo escopo do trabalho aprofundar na questão, o assunto não se esgota com os poucos autores apresentados, mas suficientes nas diferentes visões para que se delimite o entendimento de Paisagem como “um conjunto indissociável, integrado e inter-relacionado de Relevo-Biota-Solo, moldado e emoldurado pelo Clima de um lugar”.

2 Revisão bibliográfica

Reuniões de cúpula mundiais (CNUMAD, 1992; DREXHAGE; MURPHY, 2010; ONU, 2002; UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM, 1972) vem apontando, desde a década de 1970, para a necessidade de redefinirmos os rumos do desenvolvimento e da economia mundiais, percebendo os impactos negativos que o atual modelo vem provocando na sociedade e no ambiente (PNUMA, 2005; UNRIC, 2016).

A visão de mundo assentada em conceitos, saberes, técnicas e conhecimentos fragmentados, mecânicos, lineares e reducionistas (GLEISER, 1997), se de um lado resultaram nas extraordinárias conquistas da Revolução Industrial e da moderna Ciência e Tecnologia, por outro têm-nos trazido crescentes desafios.

Casas, indústrias, vilas, bairros, cidades e metrópoles, concebidas e construídas sob a metáfora da máquina, do mecânico, do linear, do fracionado, se por um lado geraram e acumularam grande riqueza e fantástico aumento da qualidade de vida de seus habitantes, por outro consome quantidades crescentes de energia e recursos, produz intenso desperdício e gera montanhas de resíduos orgânicos e inorgânicos, responsáveis pela poluição, contaminação e degradação de águas, solos e ar, levando ecossistemas e paisagens diversas à beira do colapso em nível planetário, colocando em xeque as bases de sustentação da Vida.

Novos modelos de desenvolvimento, produção de riquezas e urbanização são hoje mundialmente testados, muitos deles baseados nos estudos e compreensão crescente dos padrões, processos e soluções que a vida planetária desenvolveu ao longo de quase 4 bilhões de anos de evolução (BENYUS, 2003; BROWNING; RYAN; CLANCY, 2014; CAPERNA *et al.*, 2013; CAPRA, BERNT, 1990; CAPRA, FRITJOF, 2005; DREXHAGE; MURPHY, 2010; FRANCO, 2001, 2008; GEN, 2019; HAWKEN; LOVINS; LOVINS, 2004; KELLERT; HEERWAGEN; MADOR, 2008; MCHARG, 1969; MUGERAUER; LIAO, 2012; ORR, 2002; RYAN *et al.*, 2014; RYN; COWAN, 2007; TRANSITION NETWORK, 2019; UN-HABITAT, 2019; WILSON, 1984; YEANG, 2007).

Da reflexão sobre esse universo de possibilidades e desafios, surgiram algumas questões que embasaram e acompanharam o desenvolvimento da pesquisa: Como se

daria a evolução da paisagem natural e construída sob um padrão, entendimento e visão de mundo em que o humano se visse e percebesse como parte indissociável do ambiente natural? Como coevoluir em sintonia e equilíbrio com os processos vivos que formam a biosfera? Como orientar e avaliar intervenções na paisagem que fortaleçam e amplifiquem a vida local e planetária? Quais atributos, parâmetros, indicadores poderiam ser utilizados como base para desenhar e planejar o uso e ocupação de uma bacia hidrográfica? Como aproximar o ambiente construído de sistemas vivos, biofílicos (KELLERT; HEERWAGEN; MADOR, 2008) e autopoieticos (MATURANA; VARELA, 2001)? Como planejar, desenhar e interferir na paisagem de modo a resgatar, manter e fortalecer o equilíbrio entre Cultura e Ambiente?

Essas questões não têm respostas simples, lineares, fragmentadas, próprias do pensamento cartesiano que embasa a ciência material-mecanicista. Ao contrário, pressupõe-se que as respostas surgirão da evolução do conhecimento científico em direção à complexidade (MORIN, 2002, 2003, 2015), organização sistêmica (CAPRA, FRITJOF, 2005, 2006), interação e interconexão entre os diferentes saberes técnico-científicos, culturais e biológicos (BENYUS, 2003; CAPRA, BERNT, 1990; DREXHAGE; MURPHY, 2010; FARR, 2007; FRANCO, 2001, 2008; GARDNER, 1995; GOLEMAN, 1996; HAWKEN; LOVINS; LOVINS, 2004; MARGULIS; SAGAN, 2004, 2002; MATURANA; VARELA, 2001; ODUM, 2009; REGISTER, 2006; TRANSITION NETWORK, 2019), ganhando assim contornos inter, multi e transdisciplinares (DELORS, 2003; NICOLESCU, 1999).

Decidiu-se, dessa forma, na Revisão Bibliográfica, buscar por algumas das iniciativas, experiências e soluções, emergidas de diferentes campos do conhecimento. O mosaico de teorias e práticas apresentadas são peças ainda buscando encaixe que, em algum momento, nos permitirá ver o quadro maior, fruto dessas profundas transformações que presenciamos.

2.1 A evolução do urbano

No limiar da (in)sustentabilidade, pequenas, médias e grandes cidades buscam se reinventar (TRANSITION NETWORK, 2019; UN-HABITAT, 2019). Ao redor do mundo experiências, experimentos e práticas diversas tem buscado alternativas viáveis ao atual

modelo de desenvolvimento e urbanização, alguns reconhecidos como referências locais e globais (GEN, 2019; TRANSITION NETWORK, 2019).

Yeang (2007) lembra que o ambiente construído está intimamente conectado ao ambiente natural, fonte da matéria e energia que são reorganizados de acordo com o projeto estabelecido e descartados após sua vida útil. Muitos arquitetos, urbanistas, engenheiros e projetistas desconsideram ou desconhecem que os processos naturais e biológicos tendem a ser cíclicos, com matéria e energia constantemente reciclados e reaproveitados de maneiras complexas. Tendem a enxergar seus projetos com componentes físico-químicos e desconsiderar os componentes biológicos próprios do ecossistema em que o projeto será executado. Desconsideram ainda as transformações, acumulação, circulação, trajetórias e difusão de matéria e energia que entram, interagem e deixam o sistema construído. O trânsito e permanência de pessoas (organismos biológicos) nesses ambientes gera demandas constantes de matéria e energia. O metabolismo interno do ambiente construído, necessita de infraestruturas (vias de acesso, saneamento, energia, comunicação, etc.) que interajam com o ambiente externo, do ecossistema de entorno e bacia hidrográfica, à biosfera planetária. Os projetos deveriam então incorporar uma visão ampla e holista, partindo do conhecimento do lugar, suas múltiplas inter-relações com o entorno, a gestão de recursos materiais e energéticos, os impactos de implantação, o metabolismo do ambiente construído durante sua vida útil e, ao final de seu ciclo, a demolição, ciclagem e reaproveitamento ou disposição controlada dos materiais que o constituíam.

2.2 Biomimética

Inspirada pelas soluções desenvolvidas pela evolução da vida em nosso planeta, Benyus (2003) propõe a Biomimética, tendo (i) a natureza como modelo e fonte de inspiração para novos produtos; (ii) a natureza como medida, utilizando os padrões ecológicos como parâmetros para avaliarmos a pertinência e adequação de nossas inovações; e (iii) a natureza como mentora de um novo processo: *aprender* com a natureza no lugar de *extrair* da natureza.

Abordando a ecologia industrial, Benyus (2003) sugere que o desenvolvimento econômico mimetize os processos vivos, como uma árvore, que a partir de matérias primas locais e luz solar, produz o que necessita para permanecer viva e se desenvolver ao mesmo tempo em que estabelece múltiplas relações com a floresta, fornecendo e se beneficiando de produtos e serviços que contribuem para a manutenção da estabilidade e resiliência de todo o ecossistema. A economia planetária se assemelharia à sucessão ecológica, marcada por três grandes e distintos estágios. A sucessão de Tipo I é determinada por plantas pioneiras, compostas principalmente por gramíneas agressivas e leguminosas rasteiras, grandes mobilizadoras de nutrientes, rápido crescimento e de ciclo curto, que logo ocupam clareiras abertas por modificações na paisagem. Segue a sucessão do Tipo II, formada por arbustivas perenes, frutíferas e árvores de pequeno porte, ambas grandes produtoras de sementes, caracterizadas por ciclo médio de vida e mais altas, sombreando o ambiente e contribuindo para a substituição das pioneiras. O Tipo III, com menos espécies e menor número de indivíduos ocupa estratos mais elevados e estabelece relações mais complexas e duradouras com o meio, ciclando os nutrientes de que necessita e conferindo maior estabilidade ao ecossistema, que chega à maturidade, ao clímax.

Um paralelo ao desenvolvimento urbano talvez também possa ser feito se pensarmos na malha urbana espraiando-se rapidamente pelo terreno e ocupando-o com construções de pequeno porte (sucessão Tipo I), seguidas por construções maiores, de dois ou mais andares (sucessão Tipo II), até configurações mais maduras e adensadas tirando melhor proveito da infraestrutura construída e buscando crescente eficiência energética e no uso dos recursos, propostas recentes alinhadas com o urbanismo sustentável, urbanismo ecológico, ecologia urbana, biourbanismo, cidades biofílicas.

2.3 Design Ecológico

Mugerauer e Liao (2012), propõem que um projeto ecológico deva facilitar a resolução de problemas socioambientais ao contribuir para que organismos, ecossistemas e cidades evoluam em sistemas abertos, auto organizados, complexos, sintrópicos, distantes do equilíbrio, vivos. Em outras palavras, projetos ecológicos

devem ser dinâmicos e fluidos, prevendo e facilitando constante transformação, incorporando redes de retroalimentação positiva na busca e fortalecimento da auto-organização que emerge de sistemas assim constituídos e ainda melhorando ou ajudando a restaurar a dinâmica de ecossistemas degradados. Para os autores, a arquitetura paisagística e as disciplinas e práticas de *design* a ela associadas, tem contribuído substancialmente para a evolução de uma primeira fase do *design* ecológico, iniciada com Ian McHarg em seu *Design with Nature* (MCHARG, 1969), para uma segunda fase em que o *design* ecológico operacionaliza o novo paradigma da teoria da complexidade. Uma visão crítica dessa transição é percebida pelos autores, ao apontarem:

1. Um incremento no número de *designs* e projetos que incorporam objetivos ecológicos, mas sem base teórica mais ampla;
2. Boas práticas estabelecendo pontes entre a ecologia, engenharia e conceitos como resiliência, embora falhando em não conseguirem incorporar um aprofundamento teórico da complexidade;
3. Transferência de ideias de resiliência e ecologia urbana para o *design* urbano, requerendo ainda mais teoria e desenvolvimento empírico detalhado;
4. Projetos e reflexões realizando a transição para a teoria do não-equilíbrio ecológico e identificando a importância do pensamento complexo, mas sem elaborar os conceitos críticos ou suas consequências mais amplas.

Ryn e Cowan (2007) afirmam ser “tempo de parar de desenhar/projetar (*designing*) tendo máquinas por imagem e começar a desenhar/projetar de modo a honrar a complexidade e diversidade da vida”, para em seguida definir o *Design* Ecológico como “qualquer forma de *design* que minimize impactos ambientais destrutivos, integrando o próprio *design* com os processos vivos” (pag. x). Definem os autores, cinco princípios para o *Design* Ecológico:

1. **Primeiro Princípio: As soluções emergem do lugar** – as soluções são propostas a partir das condições dadas no e pelo lugar, sendo fundamental um profundo conhecimento do clima, ventos, chuvas, sazonalidades, história, vegetação,

topografia, conhecimentos tradicionais, materiais construtivos, população, plantas, animais, solos, *etc.*

2. **Segundo Princípio: *Design* orientado pela contabilidade ecológica** – refletindo as características dos ecossistemas vivos de produção e ciclagem de compostos e elaboração e fornecimento de produtos e serviços limpos, seguros e eficientes, o *design* de empreendimentos diversos deve considerar e contabilizar, da concepção do projeto ao término de sua vida útil: o ciclo de vida dos materiais incorporados; o fluxo de energia necessário para a produção, manutenção e finalização do empreendimento; o uso de energias fósseis e renováveis; a produção, reciclagem, reaproveitamento e destinação dos resíduos; o uso de água; a produção de efluentes, *etc.*
3. **Terceiro Princípio: *Design* com a Natureza** – padrões naturais estão presentes e formam a base de evolução da vida planetária, orientando e construindo soluções elegantes para os problemas que enfrenta. Conhecendo, incorporando e reproduzindo esses padrões, o *design* pode nos (re)aproximar de um conhecimento vivo, evoluído ao longo de quase 4 bilhões de anos, e que tem como premissas:
 - a. **Resíduos são recursos** – sistemas sociais e produtivos podem incorporar e desenvolver teias e redes em que resíduos de um dado processo se transformam em insumos para outros;
 - b. **Paisagens ativas** – um *design* inovador pode emergir da observação e interação ativas com as paisagens ou ecossistemas de um lugar, buscando seus padrões e soluções;
 - c. **Autodesign** – uma rede inteligente emerge da auto-organização, do autodesenho (*self-designing*), a partir da diversidade de elementos ressonando entre si, em múltiplas escalas que se desdobram em novos e inusitados arranjos. Em outras palavras, ao semear as condições iniciais de alta diversidade o sistema espontaneamente responderá, exibindo novos e inusitados comportamentos.
4. **Quarto Princípio: Todos somos *designers*** – constantemente fazemos escolhas que definem nosso futuro: onde viver, onde trabalhar, quanto e em que gastar, como utilizar o tempo livre, ... O *design* ecológico é também uma escolha feita a partir da observação, conhecimento e de um mergulho profundo na teia de vida ao redor,

uma escolha com participação ativa do *designer*: quais relações estabelecer, quais padrões evidenciar, como tratar os próprios esgotos, como encaminhar os resíduos produzidos, etc. Uma participação ativa em que todos e cada um tem voz ativa.

5. **Quinto Princípio: Tornar a Natureza visível** – ao separarmos homem e natureza, a ética em relação à vida também tomou distância. Evidenciar os ciclos naturais, os caminhos aparentes do Sol, da Lua, dos planetas, a chegada das chuvas e da estiagem, os caminhos dos ventos e brisas, o nascer, crescer e morrer de plantas e animais, as cheias e vazantes dos rios e canais, o pulsar das estações, o *design* ecológico contribui para a reaproximação necessária, redesenhando a presença humana no planeta e cumprindo uma função, ao mesmo tempo, ética, estética, cultural, evolutiva e espiritual.

Orr (2002) entende o *design* ecológico como o estudo e entrelaçamento cuidadoso dos fluxos e padrões do mundo natural com os propósitos humanos, estes guiados por quatro fatores principais: religiosidade/espiritualidade, história humana, evolução e conhecimento acumulado. Numa sociedade científica e materialista, a espiritualidade enquanto busca de significados internos atrelados a algo maior que nós mesmos, é vista como antagônica à racionalidade. Por outro lado, sociedades menos tecnológicas e menos científicas (quando não, “primitivas”), têm feito escolas ambientais melhores, de tal forma que as soluções para problemas ambientais criados pelo mundo “civilizado”, deveriam ser concebidas em consonância e ressonância com nossas camadas emocionais mais profundas e ecologicamente mais saudáveis. A história do *Homo sapiens* evidencia nossas limitações e as guerras e conflitos em que estivemos envolvidos, incluindo a guerra travada contra o ambiente natural, não nos qualifica com muita sabedoria perante a biosfera, indicando a necessidade de o *design* ecológico adotar abordagens mais humildes, precavidas e atentas. A evolução incorpora toda uma cadeia de processos físicos e químicos que conectam de criaturas unicelulares a humanos. Sendo parte desse longo processo, nossa natureza é biofílica (amiga da vida), necessitando de mais e não de menos natureza. Trabalhamos e vivemos melhor em lugares iluminados com luz natural, ar limpo, presença de animais, plantas, árvores, flores, pássaros, água corrente e brisas, do que em locais desprovidos dessas redes.

Como consequência, necessitamos de um *design* que crie lugares que nos suscitem profunda afeição e em ressonância com nosso passado evolutivo. Por fim, por mais amplo que seja o conhecimento acumulado pela humanidade, este não passa de uma ínfima fração do conhecimento ainda por desvendar: sabemos que não sabemos e podemos aprender com o conhecimento acumulado pela natureza, exponencialmente maior que o que temos atualmente.

Segue Orr (2002) afirmando que o *design* ecológico não é tanto como fazer, mas como integrar diferentes contextos ecológicos, sociais, culturais, econômicos, etc., de modo a perdurar por um longo período, ou seja, ser sustentável. Um propósito, embasado por essa mentalidade, tem o potencial de criar espaços biológicos e culturais diversificados e integrados de maneira harmoniosa, utilizando energia solar, gerando pouco ou nenhum resíduo, efetivamente contabilizando todos os custos e respeitando padrões sociais e culturais mais amplos. Esse estágio de *design* exige uma nova maneira de pensar, ser, estar e agir no mundo, incorporando ao modelo de eficiência e produtividade da economia, também a saúde e bem-estar de toda a biosfera. O *design* ecológico não propõe a utopia, mas se coloca como uma ferramenta de navegação a nos orientar no caminho de volta para casa, assumindo um papel condutor que honra a vida, a ecologia, a evolução, a diversidade, a dignidade humana, o espírito e as necessidades humanas de pertencimento e conexão.

2.4 Design Biofílico

Kellert, Heerwagen e Mador (2008) apresentam um compilado de artigos produzidos por exponentes em suas áreas, abordando a teoria, os estudos científicos evidenciando os benefícios e a aplicação prática do *Design* Biofílico.

Browning, Ryan e Clancy (2014) asseveram que por décadas pesquisadores e *designers* vêm trabalhando para definir aspectos naturais que mais impactam em nossa satisfação com o ambiente construído e, pretendendo articular as relações entre natureza, ciência e ambiente construído, indicam haver pouca orientação sobre como efetivamente transformar a teoria em prática ou de como implementar as pesquisas contemporâneas em ambientes construídos de modo a nos reconectar com o ambiente

natural. Pesquisando em mais de 500 publicações abordando o tema biofilia, identificaram 14 padrões passíveis de utilização no e pelo *design* biofílico. Argumentando que os EUA desperdiçam bilhões de dólares ao ano com perda de produtividade causada por doenças relacionadas ao estresse, apontam os autores que um *design* que nos reconecte com a natureza, um *design* biofílico, é essencial para que as pessoas vivam e trabalhem em ambientes mais saudáveis, com menos estresse, maior saúde e bem-estar, incrementando as funções cognitivas e criatividade.

Os 14 padrões do *design* biofílico são assim agrupados (BROWNING; RYAN; CLANCY, 2014):

I - Natureza nos Espaços – evidenciar elementos naturais, bióticos (plantas, animais, fungos, líquens, etc.) e abióticos (água, sons, brisas, aromas, rugosidades, topografia, etc.), presentes em um lugar de modo a proporcionar conexões e experiências diretas em função da diversidade, movimento e interações multissensoriais.

- a. **Conexão visual com a Natureza** – observação direta de elementos naturais, sistemas vivos e processos naturais;
- b. **Conexão não-visual com a Natureza** – proporcionar conexões variadas por meio de estímulos auditivos, táteis, olfativos ou gustativos, criando aproximações e interações positivas com a natureza, os sistemas vivos e os processos naturais;
- c. **Estímulo sensorial não-rítmico** – conexões aleatórias e imprevisíveis com a natureza;
- d. **Variabilidade térmica e de fluxo de ar** – mudanças súbitas na temperatura, umidade relativa, brisas incidentes na pele e temperaturas superficiais que mimetizem, evidenciem ou criem conexão com o ambiente natural.
- e. **Presença de água** – a presença da água aprimora a experiência em um lugar ao poder ser ouvida, vista, tocada, consumida;
- f. **Luz dinâmica e difusa** – variações na intensidade de luz e sombras reproduzindo as mudanças naturais ao longo do dia e das estações;
- g. **Conexão com sistemas naturais** – percepção e consciência dos processos naturais de mudanças cíclicas (estações, ciclo lunar, dia e noite, nascimento, crescimento e morte, etc.), características de ecossistemas saudáveis.

II - Padrões Naturais Análogos – objetos de arte, móveis, decoração e estruturas diversas que, devido à sua forma, cor, tonalidade, textura, padrões, etc., remetem aos elementos e ambiente natural.

- a. **Padrões e formas biomórficas** – referências simbólicas a contornos, padrões, texturas e arranjos encontrados na natureza;
- b. **Conexão material com a Natureza** – aspectos da geologia, relevo, paisagem e ecologia locais, representados por materiais minimamente processados ou estruturas e arranjos cuidadosamente explicitados de modo a suscitar e reforçar o pertencimento ao local;
- c. **Ordem e complexidade** – arranjos ordenados e abundância de informações sensoriais organizadas em uma hierarquia espacial, refletindo e reproduzindo em microescala as condições naturais do lugar.

III - Natureza do espaço - configurações combinando os Padrões Naturais Análogos e a Natureza nos Espaços, convidando a um olhar e percepção para além do espaço imediato e, atendendo nossa fascinação pelo perigo e pelo desconhecido, criando oportunidades de descoberta e experimentação a partir de lugares seguros.

- a. **Perspectivas** – vista panorâmica, para vigilância e planejamento;
- b. **Refúgio** – local seguro e protegido das intempéries e onde se possa estar longe do cotidiano.
- c. **Mistério** – informações parcialmente veladas e dispositivos sensoriais que convidem a viagens mais profundas no ambiente.
- d. **Risco/Perigo** – ameaças identificáveis associadas à proteção efetiva.

2.5 Biourbanismo

Caperna *et al.* (2013) consideram o urbano como um organismo complexo, com várias camadas de estruturas dinâmicas interagindo não-linearmente entre si e de onde emergem propriedades não presentes em camadas isoladas. Cidades se assemelham a um organismo vivo - são o habitat vivo da espécie humana. O Biourbanismo reconhece e busca reproduzir processos morfogénéticos, buscando pelo *design*, reproduzir

“formas ideais” que garantam um ótimo de eficiência sistêmica e qualidade de vida para os habitantes das cidades. Cientificamente o Biourbanismo objetiva:

- i. Desenvolver e implementar as premissas da Ecologia Profunda¹ (CAPRA, 2006) de Bateson em relação às questões socioambientais.
- ii. Propor melhorias ambientais considerando as necessidades humanas e dos ecossistemas em que vive;
- iii. Estabelecer pontes entre a economia baseada em carbono para novos modelos de organização social;
- iv. Aprofundar a interação entre fatores culturais e físicos nas cidades (p.ex., estudo de fluxos e redes).

2.6 Biofilia e Cidades biofílicas

O que efetivamente nos conecta tão proximamente aos seres vivos? Ao responder à própria pergunta, Wilson (1984) cunhou o termo Biofilia, uma “tendência inata de o ser humano se associar a outras formas de vida e especialmente ao ambiente natural”. Ao indagar sobre qual seria o habitat preferido pelos seres humanos, sugere que espaços abertos e o contato com o ambiente natural seja fundamental, uma vez que a evolução da estrutura cerebral humana está profundamente associada à biogeografia das savanas africanas, onde surgiram os primeiros humanos 2 milhões de anos atrás.

A hipótese da biofilia (bio = vida; philia = amor, amizade) sugere que há uma ligação instintiva, emocional, inata, guardada em nossos genes, entrelaçando seres humanos e outros sistemas vivos. Defende Wilson (1984), portanto, que essa ligação ancestral se mantém até os dias de hoje. Evidências científicas dessa afirmativa eram poucas à época, mas têm sido confirmadas com o despertar do interesse científico e pesquisas sobre o tema.

¹ A **Ecologia Profunda** (CAPRA, 2006) é um conceito filosófico que vê a humanidade como mais um fio na teia da vida, conectada e interconectada com toda existência, fazendo parte e não estando acima ou além desta.

Combinando dados holandeses de saúde autorrelatada por mais de 10 mil pessoas, com dados georreferenciados sobre a quantidade de espaços verdes nas proximidades de onde habitam, Vries *et al.* (2003) testaram a hipótese de que pessoas vivendo em áreas mais verdes são mais saudáveis. Os resultados apontaram uma tendência a maior risco e mais sintomas de distúrbios mentais em áreas altamente urbanizadas (sintomas autorrelatados, como mudanças de humor, capacidade de concentração, etc.). O modelo apresentou baixa correlação com o grau de urbanidade e melhora significativa com o aumento de percentuais verdes e azuis e a presença de jardins, indicando que pessoas que habitam em ambientes mais verdes, independente se em regiões altamente urbanizadas ou não (incluindo níveis de ruído e densidade populacional), parecem ser significativamente mais saudáveis que outras.

Ainda segundo Vries *et al.* (2003), crianças em municípios mais fortemente urbanos apresentam mais sintomas do que aquelas que vivem em locais não-urbanos. Em ambientes mais verdes as pessoas relatam menos sintomas e têm uma percepção de melhor saúde física e mental, de tal modo que um aumento de 10% em espaços verdes levam a uma diminuição no número de sintomas comparável a um decréscimo de 5 anos na idade. Os resultados da pesquisa não dão suporte ao senso difundido de que a preferência por determinados tipos de ambientes seja baseada em algo evolutivamente incorporado ao humano. Sinaliza, no entanto, que todo tipo de ambiente verde seja igualmente efetivo em relação à saúde física e mental.

Berg, Hartig e Staats (2007) apontam que a alta densidade em assentamentos pode oferecer vantagens econômicas, ambientais e sociais mas trazem consigo demandas psicológicas excessivas. Pesquisas em psicologia ambiental sugerem, cada vez mais fortemente, que o contato direto com a natureza proporciona o que vem sendo chamado de restauração psicológica, uma função adaptativa para a saúde física e mental, base para a defesa de uma mudança prática no desenho e planejamento urbano que busque equilíbrio entre a densidade urbana e acesso satisfatório a experiências no ambiente natural, como estratégia para um urbanismo sustentável. Os defensores de cidades compactas argumentam sobre sua eficiência energética, menor poluição devido seus habitantes viverem próximo ao trabalho e locais de compras, podendo acessá-los a pé, de bicicleta ou transporte público. Socialmente acredita-se que o adensamento

incrementa a coesão social, equidade e acessibilidade, sendo ainda economicamente viável em relação à infraestrutura instalada como ruas, avenidas, iluminação, etc.

Por outro lado, continuam Berg, Hartig e Staats (2007), há evidências crescentes do papel psicológico negativo que esse adensamento representa, em função do distanciamento de ambientes verdes, naturais, vivos e da necessidade inerente do humano a mais espaço e contato direto com ambientes naturais e mais calmos, silenciosos. Os defensores das cidades compactas tendem a justificar a necessidade de mais contato com ambientes naturais a um certo romantismo em relação às áreas rurais, que guardariam algo de simplicidade e pureza, criando sentimentos antiurbanos. Já os adeptos da restauração psicológica advogam que a necessidade de maior proximidade e contato com o ambiente natural reflete um legado evolutivo associado aos primórdios de nossa espécie e o atendimento de necessidades básicas, como a busca de locais seguros, não ameaçadores, abrigo e acesso a alimentação, refletindo atualmente em nossa predisposição a preferir certas características comuns ao ambiente natural em contraposição ao ambiente urbano ou construído.

No ambiente urbano a busca por moradia, alimentação, trabalho, deslocamento está associado a níveis variáveis (e crescentes) de tensão e o contato com a natureza proporciona possibilidades de renovação cognitiva e capacidade de respostas psicofisiológicas. O que se deseja então é que soluções de *design* e planejamento combinem os benefícios de cidades compactas para a sustentabilidade, incorporando a necessidade de espaços verdes que deem suporte restaurativo às pessoas. Atualmente há pouco conhecimento para traduzir esses resultados em diretrizes detalhadas para o planejamento e design urbano com espaços verdes (tamanho, tipo, organização) de modo a fortalecer laços e atender às necessidades de diferentes grupos (BERG; HARTIG; STAATS, 2007).

Beatley e Newman (2013) argumentam que um contato mais próximo com a natureza contribui para alcançarmos uma vida mais produtiva, feliz e plena de significado. Referem os autores, que estudos apontam para a existência de relações positivas entre a luz natural, ar fresco e vegetação em relação à felicidade e produtividade no ambiente de trabalho, nas escolas e na recuperação e cura em ambientes ligados à saúde. Bairros verdes e ambientes naturais contribuem para a

redução do estresse, fadiga mental, mortalidade e incidência de doenças, promovendo a saúde mental e física, ampliando a positividade, a performance cognitiva e a criatividade. Cidades biofílicas não são apenas cidades verdes, mas aquelas em que seus cidadãos se envolvem em atividades no ambiente natural, incluindo sua restauração.

Cidades mais verdes, naturais, biofílicas são teoricamente mais resilientes em relação a eventos presentes e futuros que as coloquem em risco. Arquitetos e *designers* podem dar sua contribuição ao incluírem a natureza e elementos naturais em seus projetos, utilizando o *design* biofílico na integração de diferentes escalas, do predial ao local, urbano e regional. Ao ampliarem as possibilidades de contatos mais próximos entre as pessoas e o ambiente natural, suscitam nos habitantes um senso de admiração e fascinação em relação ao lugar onde vivem, sendo esse um objetivo-chave para o urbanismo biofílico. Como exemplos, Beatley e Newman (2013) citam que Chicago e Portland, nos EUA, incentivam e subsidiam a instalação de elementos como os telhados verdes, que são obrigatórios em telhados acima de determinada área em Toronto, no Canadá. Seattle estabeleceu um Fator Verde, com padrões mínimos de incorporação de elementos verdes e naturais em novos empreendimentos. Chicago, Baltimore e Montreal encorajam a ecologização de becos e espaços cinzas da cidade. Nova Iorque, Los Angeles e Houston têm programas ambiciosos, com meta de plantio de um milhão de árvores, enquanto várias outras cidades têm modificado o zoneamento urbano para permitir a agricultura urbana.

Com o objetivo de avaliar a percepção dos efeitos restaurativos do ambiente natural sobre a população das cidades italianas de Bari, Florença, Roma e Pádua, Carrus *et al.* (2015) entrevistaram 569 visitantes de áreas verdes urbanas e periurbanas, com alta e baixa diversidade ecológica e de paisagens: praça com árvores (baixa diversidade), parque urbano (alta diversidade), floresta de pinheiros plantada (baixa diversidade) e área natural protegida (alta diversidade).

Dentre outros, Carrus *et al.* (2015) buscavam conhecer a duração e frequência das visitas e a percepção restaurativa quanto ao bem-estar psicológico, redução do estresse, renovação mental, recuperação do foco, melhora emocional e benefícios indicados pelos próprios entrevistados. Os resultados evidenciaram (i) o papel positivo da biodiversidade e regiões periurbanas sobre a percepção restaurativa, bem-estar e

benefícios pessoais autodeclarados; (ii) atividades orientadas ao ambiente natural em oposição ao social aumentam as propriedades restaurativas e benefícios autodeclarados; (iii) a percepção restaurativa exerce um papel mediador entre a experiência no ambiente natural (tempo de permanência, tipo de atividade desenvolvida e alta biodiversidade) e benefícios autodeclarados.

Defendem os autores (CARRUS *et al.*, 2015) que o papel positivo da biodiversidade na promoção do bem-estar de indivíduos em espaços verdes urbanos e periurbanos, sugere que a alta biodiversidade dos ambientes naturais deva ser protegida em benefício tanto dos indivíduos quanto da natureza. Defendem ainda que os resultados obtidos no estudo são úteis e dão suporte à gestão e planejamento de áreas verdes dentro e fora do contexto urbano, reordenando as configurações de espaços naturais urbanos e periurbanos, sua acessibilidade, atividades a serem desenvolvidas, etc., induzindo maior permanência nesses espaços e interações mais profundas e significativas com a natureza, contribuindo assim para estilos de vida urbana mais sustentáveis. A biodiversidade, nesse contexto, se torna elemento fundamental para a melhoria da qualidade de vida humana e não-humana no ambiente urbano.

Pensando em assentamentos humanos, como seria uma cidade biofílica? Quais seriam suas características e qualidades?

Beatley (2011) entende cidades biofílicas como aquelas que incorporam a natureza em seu *design*, planejamento e gerenciamento, considerando a necessidade de contato diário do humano com a natureza e reconhecendo os vários serviços ambientais e econômicos fornecidos pelos sistemas naturais. São cidades com um desenho urbano que facilita aos moradores uma vivência direta com a natureza, aprendendo com ela e comprometendo-se com seu cuidado. Muitos projetos buscam integrar vegetação, luz e ventilação naturais aos edifícios, mas os centros urbanos carecem ainda dessa visão e integração. Para o autor, as cidades biofílicas apresentam sete características:

1. **Natureza abundante nas proximidades das cidades** – parte do orçamento das cidades voltado a programas públicos de infraestruturas verdes. Nova York investe no programa PlaNYC propondo, até 2030, que cada habitante da cidade

tenha acesso a um espaço verde a cada 10 minutos de caminhada. Seattle propõe o plano Seattle P-Patch de construção de jardins urbanos para cada 2.500 habitantes.

2. **Afinidade entre flora, fauna e cidadãos** – incentivo aos cidadãos para que conheçam a flora e fauna locais, aprendendo a valorizar os benefícios ambientais que um ecossistema sadio pode oferecer. Grupos comunitários e voluntários de Wellington, Nova Zelândia, já prestaram mais de 28.000 horas de serviços de conservação em reservas naturais. Em 2012, na cidade de Oslo, Suécia, 81% dos moradores visitaram os bosques que rodeiam a cidade.
3. **Vivências ao ar livre e desfrute da natureza** – conexão entre parques urbanos com acesso facilitado aos moradores. Singapura integrou 200 quilômetros de parques por meio de passarelas elevadas. Anchorage, Alaska, dispõe de 1,6 km de caminhos naturais a cada 1.000 habitantes, utilizáveis o ano todo para caminhadas e esqui.
4. **Ambientes multissensoriais** – integração de espaços naturais aos construídos por meio de corredores ecológicos e espaços multissensoriais, convidando à interação visual, sonora e tátil. Oslo propõe iluminação de rios ligando o centro da cidade às áreas naturais ao redor, atravessando 14 áreas de silêncio.
5. **Educação ambiental** – promove na população a adoção de uma vida mais sustentável por meio da educação ao ar livre, unindo pessoas e natureza por meio de caminhadas, acampamentos e voluntariado para recuperação de áreas naturais. Limerick, Irlanda, incentiva grupos ambientalistas na educação da população sobre a biodiversidade e espécies selvagens locais por meio de visitas guiadas, conferências e recursos *on line*.
6. **Investimento em infraestrutura social e verde** – cidades que investem 5% do orçamento em biodiversidade, construção de centros de vida selvagem, museus de história natural, programas de visitas escolares, etc. Portland, Oregon, tem a maior área verde por habitante dos EUA. N’Parks, Singapura, desenvolve o programa Skyrise Verde, financiando até 75% do valor para instalação de jardins urbanos em telhados e paredes verdes.

7. **Apoio efetivo da conservação da natureza** – as cidades devem considerar sua pegada ecológica e focar no desenvolvimento compacto e designação de áreas de proteção à biodiversidade local. Em Nagoya, Japão, áreas nos limites da cidade são protegidas como reservas naturais. Phoenix, EUA, adquiriu 17.000 hectares de deserto, freando a expansão urbana e designando a região como local de conservação da natureza. Vitória-Gasteiz, cidade do país Basco, é cercada por cinturão verde, refreando o crescimento urbano e protegendo o pantanal Salburua.

2.7 Sustentabilidade Ambiental Urbana

Uma vez que cresce o entendimento de insustentabilidade da sociedade contemporânea e se busca por novos padrões e paradigmas de desenvolvimento, percebe-se que a questão ambiental vem-se inserindo de modo constante, às vezes tímido em excesso, no pensamento e planejamento urbanos, apontando para uma “desconstrução” do modelo industrial e mecânico de urbanização. O que virá em seu lugar?

Peck, Peck & Associates e Dauncey (2002) defendem um Novo Urbanismo e apresentam doze características para o desenvolvimento sustentável de comunidades, com exemplos qualiquantitativos ambientais, econômicos e sociais do trabalho desenvolvido no início dos anos 2000 para o Governo Federal do Canadá. Segundo os autores, muitos são os termos utilizados para o “desenvolvimento sustentável de comunidades”: “desenvolvimento verde”, “desenvolvimento imobiliário verde”, “comunidades verdes”, ambientes construídos sustentáveis”, “comunidades sustentáveis”, “desenvolvimento imobiliário sustentável” e “comunidades saudáveis”. Organizadas em três diferentes níveis ou escalas, o estudo identifica:

1. **Nível do edifício** - desenho urbano, uso de renováveis, eficiência energética, os 3 Rs e o uso de materiais “verdes”.
2. **Nível do desenvolvimento local** – proteção ecológica, gestão alternativa da água pluvial e de esgotos e encorajamento da autogestão de recursos.

3. **Nível da infraestrutura e planejamento** – adensamento, acessibilidade, economia local vibrante com serviços comunitários adequados, gestão do crescimento regional, proteção de bacias hidrográficas e outros recursos ecológicos significativos.

O Quadro 2.1 exemplifica as doze características para implementação de comunidades sustentáveis e sua breve descrição.

Quadro 2.1. Características de comunidades sustentáveis e descrição das mesmas.

Características	Descrição
Proteção ecológica	Propriedades que protegem espaços verdes podem ter um incremento de 5% a 50% sobre seu valor.
Densidade e <i>design</i> urbano	A baixa densidade na ocupação do espaço aumenta os investimentos em transporte, infraestrutura, coleta e tratamento de resíduos sólidos e líquidos, no tempo de deslocamento, diminui a margem de lucro de pequenos negócios, diminui o convívio social, degrada ecossistemas e biodiversidade, dentre outros.
Ocupação dos espaços (<i>infill</i>) urbanos	A ocupação de espaços urbanos vazios, deteriorados ou subutilizados reduz custos, aproveita a infraestrutura disponível e evita/diminui a expansão urbana sobre áreas naturais.
Centros em bairros	Centros comerciais descentralizados, a distância de uma caminhada, fortalecem o encontro social, a saúde, as redes de relacionamento, os encontros e o sentimento de comunidade.
Economia local	O equilíbrio entre moradia e local de trabalho fortalece os pequenos empreendimentos para geração de renda e oferta de trabalho.
Transporte sustentável	Estratégias de <i>design</i> criando caminhos verdes, ciclovias, tráfego e conexões amigáveis a pedestres pode encorajar o uso de bicicletas e caminhadas, refletindo na melhoria da saúde, diminuição das emissões de CO ₂ , reduzindo a impermeabilização do solo, etc.
Habitação acessível	Comunidades sustentáveis encorajam um misto de diferentes tipos de moradias e níveis de renda.
Comunidade viva	Amplas oportunidades de socialização, desenvolvimento pessoal e participação comunitária.
Esgoto e águas pluviais	Dupla abordagem: (i) banheiros com compostagem individual de matéria fecal juntamente com banhados construídos para o tratamento de águas cinzas; (ii) grandes banhados construídos para o tratamento terciário de esgotos e controle e tratamento de águas pluviais.
Água	Regiões adensadas podem utilizar até 35% menos água em relação a regiões menos adensadas. Telhados verdes, parques e pavimentos porosos permitem absorver a água no lugar de transportá-la. O restabelecimento de zonas úmidas, brejos e banhados em rios e canais é outra abordagem para a melhora da qualidade e quantidade de água disponível, provendo habitat para espécies diversas e locais de recreação para a comunidade local.

Energia	O planejamento de residências energeticamente eficientes e próximas a locais de compra ou trabalho, onde os residentes possam ir a pé ou de bicicleta, pode reduzir em 45% o consumo de energia, diminuindo a emissão de CO ₂ e a pegada ecológica de uma comunidade (dados relativos ao Canadá). Em regiões mais quentes, onde o asfalto e concreto absorvem muito calor, o simples plantio de árvores representa o melhor custo-benefício para a redução dos gastos energéticos.
3 Rs	A construção e operação de edifícios pode representar 40% do consumo total de energia no mundo, ocupar áreas expressivas de terras produtivas, modificar o ciclo hidrológico natural, impactar fortemente os ecossistemas naturais, modificar a qualidade da água, ar e solo e consumir, ao final, cerca de 90% de todo minério do planeta. O reaproveitamento de resíduos da construção civil, o uso de materiais ambientalmente amigáveis e a separação doméstica de resíduos são atitudes que podem impactar positivamente nesse cenário.

Fonte: modificado de Peck, Peck & Associates e Dauncey (2002).

Carvalho e Braga (2003) trazem ao debate para a construção de cidades mais sustentáveis, a ideia de “renaturalização” como a reincorporação da natureza ao meio urbano ou a reversão dos impactos causados pela urbanização ao ambiente natural, trazendo ao debate uma proposta viável para cidades que se queiram mais sustentáveis.

Sustentam Carvalho e Braga (2003), que a tecnificação da ocupação do espaço natural pelo urbano modifica os elementos da paisagem (solo, hidrografia, geomorfologia, vegetação, fauna, ar, clima), criando novos ecossistemas que necessitam de expressivas áreas externas de modo a, por um lado suprirem as necessidades de alimento, materiais, energia, água, etc., uma vez que incapazes de produzirem o necessário para suas demandas; e por outro, extensas áreas para a disposição dos resíduos gerados pelo metabolismo urbano (lixo, esgotos, poluição, contaminação), uma vez que também incapazes de ciclar esses resíduos. A “renaturalização” parte da bacia hidrográfica como unidade de gestão, planejamento e intervenção urbana, buscando a construção de cidades com menor impacto, “desconstrução mínima” ou ainda uma construção menos “desnaturalizante” (Quadro 2.2).

Quadro 2.2. Impactos ambientais da urbanização tradicional e medidas de renaturalização.

Elementos do meio	Urbanização tradicional	Renaturalização
Solo	Impermeabilização Enchentes Erosão	Baixa taxa de ocupação do solo, equilibrando densidade e coeficientes de aproveitamento; Manter permeáveis as praças, jardins, calçadas, canteiros, rotatórias, pavimentos; Utilizar material de alta permeabilidade (asfalto ecológico, p.ex.) e adotar terraceamentos, dissipadores de energia, mecanismos de infiltração, drenagem em chicanas; Resguardar várzeas, meandros, matas ciliares.
Relevo	Movimentos de massa Subsidência	Respeitar áreas de risco como declives acentuados, solos arenosos ou turfosos; Priorizar terrenos adequados a construções e instalação de infraestrutura; Minimizar impactos e planejar áreas para compensação dos mesmos.
Hidrografia	Desregulação do ciclo hidrológico Enchentes Poluição de mananciais Contaminação de aquíferos	Projetar mecanismos que evitem ou compensem a impermeabilização e diminuam a velocidade de escoamento superficial; Incorporar o manejo das águas urbanas com medidas preventivas e corretivas; Internalizar os custos e evitar passivos locais e regionais.
Ar	Poluição (principais poluentes: SO ₂ , CO, material particulado)	Internalizar os custos da poluição atmosférica, hídrica e do solo causadas por estruturas e mobilidade urbana com adoção de filtros, sistemas de tratamento e mecanismos econômicos; Definir zoneamento de usos considerando ventos predominantes, arborização, densidades urbanas em zonas, setores e na cidade como um todo.
Clima	Efeito estufa Ilhas de calor Desumidificação	Balancear áreas permeáveis e impermeáveis em várias escalas urbanas; Densificar a arborização; Incorporar atividades rurais na estrutura urbana; Preservar os recursos hídricos superficiais e subterrâneos para usos múltiplos (reservação, abastecimento, irrigação, lazer, paisagismo, etc.)
Vegetação	Desmatamento Redução da diversidade Plantio de espécies inadequadas	Preservar e restaurar áreas de proteção ambiental, no mínimo as definidas em Lei e o zoneamento ambiental-urbano; Prever corredores ecológicos para fluxo de fauna e flora, favorecendo a diversidade e

Fauna	Redução da diversidade Proliferação de fauna urbana Zoonoses	sustentabilidade e conectando áreas verdes dispersas; Adotar espécies nativas de fácil manejo e manutenção; Proteção da fauna compatível com a vizinhança urbana e reguladora de insetos sociais; Manejo de animais domésticos afetivos e parasitários.
Homem	Estresse Doenças urbanas (infecciosas, degenerativas, mentais) Violência urbana	Harmonia entre elementos urbanos, naturais e rurais na paisagem da cidade, favorecendo ambiências diversas, desde a contemplação individual à interação social consoante ao conceito de biofilia; Favorecer estruturas urbanas com valor de uso que beneficiem as diversas classes sociais no uso da cidade, desde o deslocamento entre residência e trabalho até o lazer social; Incorporar no desenho urbano a preocupação com a diversidade das pessoas, suas potencialidades e deficiências; Estabelecer programa de educação e prática social, ambiental, cívica e política na desconstrução da cidade.

Fonte: modificado de Carvalho e Braga (2003).

Francisco (2004) indica que a interação física do humano com a paisagem, desde os primórdios da espécie, faz com que suas mãos livres e o andar ereto, que amplia sua visão e percepção do mundo, modificam a paisagem, desconstruindo o natural de tal forma que poderíamos ser considerados uma espécie “talhada para a desconstrução espacial”. No trabalho de desconstrução, as ferramentas viram extensão das mãos e a linguagem consolida o ser social humano, que se fixa em pontos determinados do espaço, divide o trabalho, produz excedentes, se estrutura em classes sociais e dá origem às vilas e posteriormente às cidades, estas “o grande trabalho do homem”, em que diferentes sociedades e a aplicação de diferentes técnicas modificam de maneira diversa o espaço. Desconstruir o espaço natural, reorganizá-lo antropicamente (construção) para em seguida desconstruí-lo para nova construção remete a movimento, um espaço em movimento e evolução constante. E uma vez que o homem se incorpora no e move esse processo, necessita relacionar-se em harmonia com a Natureza, seu modelo, guia e fonte de aprendizados, cujas leis são imutáveis perante o

tempo e a ação humana. Homem e natureza podem assim formar um só corpo, cada qual com suas especificidades: o trabalho humano cria a cultura e o mundo social; a natureza, com seus movimentos ininterruptos, compõe o mundo natural que embasa a própria existência do homem. Nessa interação, um age sobre o outro e ambos são modificados e evoluem, de tal modo que, para garantir a sustentabilidade ambiental, será necessário a desconstrução espacial urbana, apontando para uma readequação espacial que garanta espaços mais naturais e socialmente engajados (FRANCISCO, 2004).

Andrade e Romero (2004), propondo a integração da dimensão ecológica ao planejamento urbano, apontam elementos ambientais, como o sentido dos ventos, recursos hídricos, solo, vegetação e posição do sol como “poderosas ferramentas” para o planejamento do espaço urbano, podendo as cidades incorporar ampla biodiversidade (plantas, animais, microrganismos) integrada e harmonizada à moradia, trabalho, alimentação, saneamento, lazer e vida social. Quatro são as escalas de análise propostas: estruturas urbanas, intermediária da área (bairro), dimensões do lugar e dimensões do edifício. No bairro acontece a maior parte da vida das pessoas e é nessa escala que se podem abordar questões como exclusão social e gestão local da água, energia, poluição sonora e seleção, tratamento e disposição de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Ainda nessa escala é que os princípios de sustentabilidade seriam mais efetivos e perceptíveis e onde tecnologias sustentáveis de infraestrutura seriam detalhadas.

Pensam Silva e Romero (2011) que a sustentabilidade não pode ser entendida como modismo ambientalista, mas antes uma questão de sobrevivência da civilização. O urbanismo sustentável (SILVA; ROMERO, 2011) aponta para novas formas de apropriação do espaço, pensando a cidade de maneira ampla, complexa, holista, reproduzindo sistemas vivos e incorporando seus ciclos, redes e teias (CAPRA 2005, 2006). Um urbanismo sustentável deve primar pela “diversidade de usos e funções sobrepostos em um tecido denso e compacto, porém, que respeite as condicionantes geográficas e ambientais locais e regionais, bem como as escalas de apropriação do espaço”, reconhecendo o “sentido de comunidade, o ambiente e a otimização energética” (SILVA; ROMERO, 2011). Índices e indicadores como ferramentas de interpretação urbana devem considerar diferentes escalas e contextos de atuação

(Figura 2.1), do local ao internacional e incluir as conexões urbanas, a identidade e percepção ambiental, a morfologia e o ambiente natural (Quadro 2.3).

Figura 2.1. Sistemas urbanos, escalas, contextos e subcontextos interligados na promoção da sustentabilidade urbana.



¹ O subcontexto de “Nó” substitui o de “Rede”, pois este remete à circulação e fluxo sem a necessária relação de sustentabilidade urbana e regional. Assim, o Nó dá sentido de enlace e interação (união entre as partes), a rede subentende a dissociação (e segregação das partes). Fonte: Autores, 2010.

Fonte: Silva e Romero (2011).

Quadro 2.3. Características de Sistemas Urbanos Sustentáveis.

Tema	Subtema	Parâmetros
Conexões urbanas	Mobilidade Acessibilidade Sistema viário Segregação espacial	Distribuição espacial das atividades urbanas e usos; Transporte particular x Transporte público; Pedestre, Automóvel, Bicicleta, Ônibus; Lazer público; Sistemas de transporte e circulação; Zoneamento; Ocupação irregular do solo; Dispersão de equipamentos; Densidade populacional e consumo de terra; etc.
Identidade e percepção ambiental	Social, econômico, cultural e perceptiva (visual)	Diversidade e Variedade; Identidade regional; Patrimônio Cultural e Identidade Local; Coesão e senso de pertencimento; Cidadania e Participação; Inovações tecnológicas; Tensões urbanas; Cidade simbiótica / Senso de Lugar; Dinâmica Cultural; Dinamismo econômico; Índices de renda e educação; etc.
Morfologia	Edificações	Tamanho, homogeneidade e diversidade/uniformidade morfológica; Espaço público: reduzido, substituído por espaços

Tema	Subtema	Parâmetros
		privados; Rua e Praça: espaços de contato e de convivência; Quanto à forma (compacidade/ porosidade/ esbeltez); Superfície do solo impermeabilizada; Taxa de ocupação e Coeficiente de aproveitamento; Densidade da massa urbana; Texturas, formas e Cores; Forma dos lotes, recuos e gabaritos; Traçado Urbano; etc.
Meio ambiente	Vegetação e microclima Recursos hídricos Poluição e energia	Capacidade ambiental do Bioma/Região; Urbanismo Verde / Eco-urbanismo; Biodiversidade; Qualidade das áreas verdes; Qualidade dos recursos hídricos; Inter-relação entre relevo, tipo de solo e zonas inundáveis; Contaminação e poluição do meio ambiente; Consumo energético; Emissão de poluentes e gases do efeito estufa; Produção e reciclagem de resíduos; Saneamento ambiental; Políticas ambientais e desenvolvimento estratégico; etc.

Fonte: modificado de Silva e Romero (2011).

Forman (2014) define ecologia urbana como o “estudo das interações entre organismos, estruturas construídas e o meio ambiente natural, onde pessoas estão agregadas dentro de cidades”. Postula que uma ocupação menos adensada permite a presença de organismos especialistas, enquanto uma ocupação mais densa facilita a presença de organismos generalistas. Uma configuração intermediária, com baixa densidade e pontilhada por núcleos densificados permitiria uma diversidade maior de ambientes e relações. Um gradiente de transição é então proposto: áreas naturais, seminaturais (ecossistemas semelhantes aos naturais, porém já antropizados, rurais, grandes parques urbanos, parques lineares, cinturões verdes, estradas-parque, silvicultura, zonas de transição), área verde de uso intensivo (agricultura rural e urbana, parques menores, praças) e áreas construídas. As quatro áreas devem ser interconectadas por transporte público, caminhadas, uso de bicicletas, etc., mata ciliar ao longo de córregos e rios, além de trilhas e faixas verdes que permitam o fluxo de pessoas, fauna, flora e água.

Ainda segundo Forman (2014), os sistemas naturais podem assim concorrer para maior resiliência urbana ao oferecer: segurança alimentar com alimentos produzidos

localmente, abastecimento de água potável, espaços de lazer, retenção de excessos de chuva, filtragem e absorção de águas pluviais, elementos associados ao tratamento de efluentes (banhados, bacias de filtragem, etc.), recepção, decomposição e ciclagem de matéria orgânica diversa, proteção e fortalecimento da biodiversidade, proteção contra erosão, proteção contra assoreamento de cursos d'água, proteção de encostas, filtragem e purificação do ar, controle de temperatura, contemplação, estética e inspiração.

2.8 Ecologia Industrial (EI)

Sistemas sociais, tecnológicos e ambientais estão circunscritos à biosfera. Ecossistemas naturais evoluíram reutilizando materiais, reaproveitando nutrientes e fechando ciclos de matéria e energia e os princípios desse funcionamento e arranjos em teias e redes podem ser reproduzidos pelos sistemas sociais, urbanos, tecnológicos, fabris, etc., melhorando processos e reduzindo danos em diferentes escalas (ISIE, 2018). O Quadro 2.4 relaciona algumas metáforas possíveis entre sistemas vivos e tecnológicos.

Quadro 2.4. Metáforas entre sistemas vivos e tecnológicos.

Biosfera	Tecnosfera
Ambiente	Mercado
Organismo	Empresa
Produto natural	Produto industrial
Seleção natural	Competição
Ecossistema	Parque ecoindustrial
Nicho ecológico	Nicho de mercado
Anabolismo/Catabolismo	Produção/Gestão de resíduos
Mutação e seleção	Projeto para o ambiente
Sucessão	Crescimento econômico
Adaptação	Inovação
Cadeia alimentar	Ciclo de vida do produto

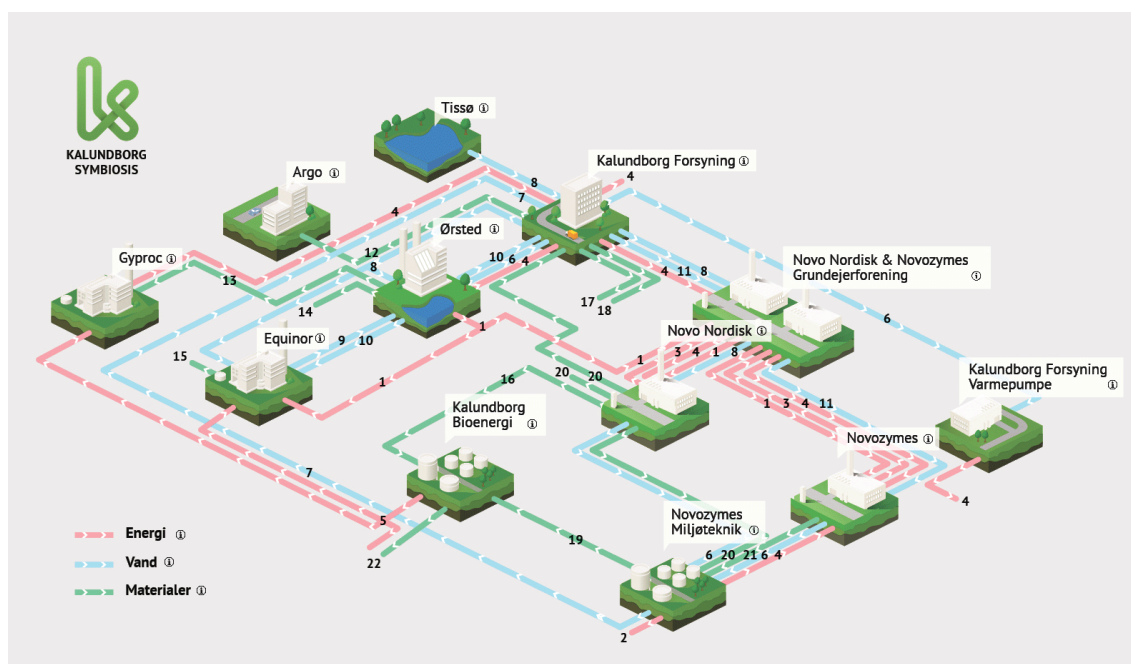
Fonte: Medio (2019).

Trevisan *et al.* (2016) nos apresentam a Ecologia Industrial (EI), como uma metáfora entre ecossistemas naturais e industriais, buscando compatibilizar as necessidades da natureza e as humanas. Pouco conhecida na academia e menos ainda

nas empresas brasileiras, os conceitos, relações e distinções entre a Ecologia Industrial (EI), a Simbiose Industrial (SI) e os Ecoparques Industriais (EPI) são ainda pouco claras. De modo geral, essas iniciativas incorporam ao processo industrial a (i) revitalização de áreas urbanas e rurais; (ii) a promoção do crescimento e geração de empregos; (iii) a redução da degradação ambiental e da quantidade de resíduos gerados.

Referência e caso estudado há décadas é o Ecosistema Industrial de Kalundborg, na Dinamarca (DANSK SYMBIOSECENTER, 2019). Nesse arranjo, baseado em profunda consciência ambiental por parte da sociedade dinamarquesa e da confiança mútua entre as indústrias, os resíduos de uma empresa se tornam recursos de outras, fechando ciclos de matéria e energia, como aponta a Figura 2.2.

Figura 2.2. Ecosistema Industrial de Kalundborg, Dinamarca.



Fonte: <http://www.symbiosis.dk/>

2.9 Cartografia geotécnica e detalhamento progressivo

Cerri (1990), citado por Franco *et al.* (2010), propõe que cartas e/ou mapas geotécnicos, ao representarem as características físicas do ambiente natural, indicando a ocorrência e distribuição de solos, rochas e suas propriedades geológico-geotécnicas, formas de relevo, forças e processos atuantes, etc., orientam tecnicamente quanto à utilização e ocupação do espaço. Contribuem, dessa forma, para a (i) conservação e

proteção dos meios biótico e abiótico, (ii) a definição de critérios para recuperação de áreas degradadas, (iii) a segurança de edificações e populações ao preverem riscos geológicos, (iv) a otimização de recursos públicos e privados, (v) a orientação de estudos e intervenções de engenharia e (vi) diferentes formas de uso e ocupação do solo.

Zaine (2000), estudando a área urbana e de expansão de Rio Claro (SP), baseou seu trabalho na proposta metodológica do detalhamento progressivo para levantamentos geológico-geotécnicos, citando Cerri *et al.* (1996) como proponentes do método. Três etapas consecutivas, cada qual determinando os estudos e aprofundamentos a serem feitos nas cartas mais detalhadas (maior escala) são assim descritos (Zaine, 2000):

1ª Etapa ou Geral – mapeamento geológico-geotécnico nas escalas 1:50.000 ou 1:25.000 de áreas já urbanizadas ou em expansão, integrando levantamentos de diferentes escalas e incorporando eventuais complementações, com vistas às potencialidades e limitações para a ocupação.

2ª Etapa ou Intermediária - utilização de cartas na escala 1:25.000, caso na primeira etapa se tenha utilizado cartas 1:50.000 ou cartas 1:10.000, caso na etapa anterior se tenha utilizado cartas de 1:25.000. Áreas de adensamento e expansão urbanas tem o meio físico detalhados, quantificando parâmetros geológico-geotécnicos de interesse para o planejamento e gestão urbanos, indicando áreas de aptidão à urbanização.

3ª Etapa ou de Detalhe – estudos específicos, em escala 1:5.000 ou maior, são realizados de modo a detalhar problemas geológico-geotécnicos levantados na etapa anterior, especialmente estudos de riscos geológicos e hidrológicos, cuja escala mínima deve ser de 1:2.000, subsidiando intervenções de engenharia ou a implantação de novos empreendimentos.

Silva e Dantas (2010) informam que Mapas Geoambientais têm o propósito de avaliar a geodiversidade de um território, diagnosticando aspectos do meio físico que incluem rochas, relevo, minérios, clima, águas, etc., e definindo as potencialidades e limitações do local sob estudo em relação ao uso e ocupação antrópicos, buscando no processo, modelos mais sustentáveis de planejamento territorial. Abrangendo as áreas de geologia, engenharia, geotecnia, hidrologia, urbanismo, ordenamento territorial,

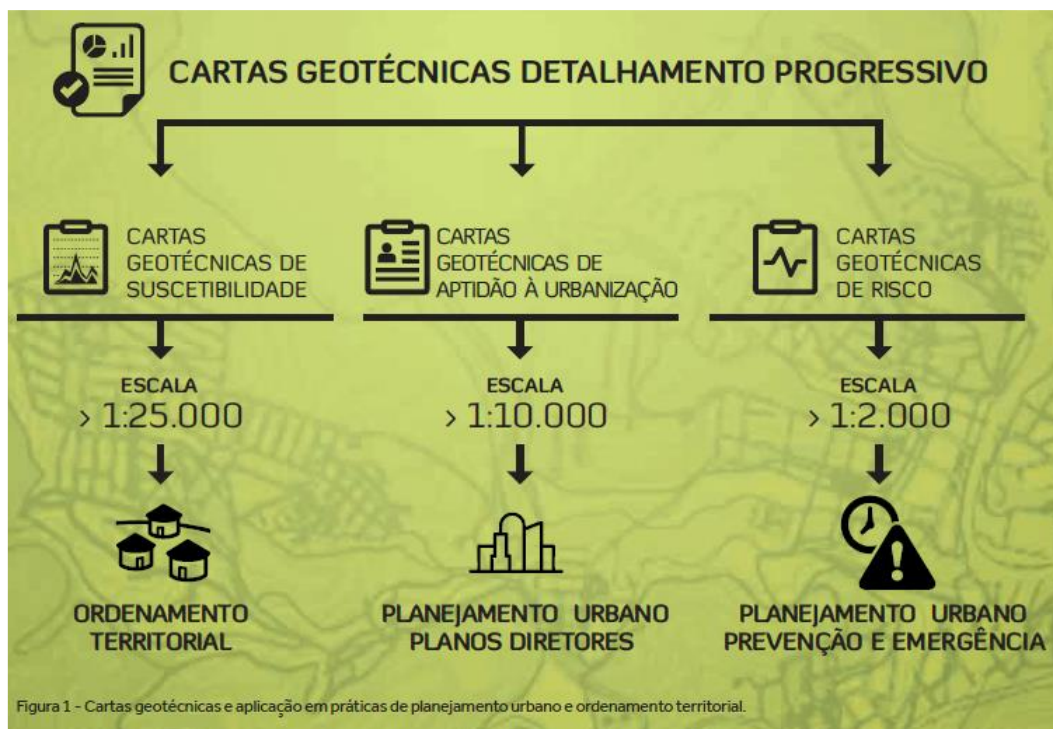
geoturismo, riscos e planejamento, dentre outras, os mapeamentos auxiliam nas tomadas de decisão quanto a obras viárias, equipamentos enterrados, disposição de resíduos sólidos ocupação urbana e agropecuária, considerando as características do solo e do substrato, relevo, características hídricas, comportamento hidrológico e riscos geológicos.

Sobreira e Souza (2012) trazem uma proposta de cartografia geotécnica com enfoque no planejamento urbano contemplando as suscetibilidades, aptidão para urbanização e riscos geológico-geotécnicos, buscando procedimentos facilmente replicáveis em instâncias governamentais, estaduais e municipais, responsáveis pelo planejamento urbano. Considerando porções territoriais ocupadas (com e sem infraestrutura) e não ocupadas, estabelecem correlação entre processos geodinâmicos naturais e antrópicos e as características ambientais dos meios físico, biótico e antrópico, resultando em cartas geotécnicas que indicam as limitações, potencialidades e intervenções necessárias para o uso urbano e rural.

A suscetibilidade aos desastres naturais no Município de Ouro Preto, MG, orientou Souza e Sobreira (2014) no desenvolvimento de metodologia para a elaboração de cartas geotécnicas indicativas da aptidão à urbanização de diferentes áreas, direcionando a expansão urbana para aquelas de maior segurança e menor impacto. Resultando em cartas na escala de projeto de 1:10.000, as cartas de aptidão à urbanização evidenciam as potencialidades e restrições das regiões de interesse, considerando o meio físico e sua capacidade de suportar diferentes usos e práticas de engenharia e urbanismo.

Os produtos cartográficos finais indicam (Figura 2.3) as (i) áreas aptas à ocupação; (ii) áreas passíveis de ocupação segundo critérios técnicos e intervenções estruturantes e; (iii) áreas não aptas à ocupação, devendo ser destinadas a outros usos, e podem ser assim construídos (SOBREIRA; SOUZA, 2012; SOUZA; SOBREIRA, 2014):

Figura 2.3. Cartas geotécnicas e aplicação em práticas de planejamento urbano e ordenamento territorial.



Fonte: Sobreira e Souza (2012).

1. **Carta de Suscetibilidade** - em escalas entre 1:50.000 e 1:25.000, retrata o comportamento dos terrenos frente ao uso pretendido do solo, indicando áreas restritivas ou propícias à ocupação. Incluem modelos tridimensionais do terreno (MDTs), rede de drenagem, declividade, concentração de fluxo, curvatura das encostas, solos residuais e transportados, lineamentos e estruturas que possam condicionar fluxos superficiais e corridas de detritos e solo e áreas de inundação.
2. **Carta de Aptidão à Urbanização** - em escalas maiores entre 1:25.000 e 1:10.000, indica a capacidade que tem os terrenos para suportar os diferentes usos e práticas da engenharia e do urbanismo, minimizando ao mínimo os impactos e com maior nível de segurança. Incorporam declividade, curvatura, escoamento, materiais inconsolidados, bacias de contribuição, encostas com inclinação acentuada, falhas, superfície de estratificação, foliação, minas d'água, cisternas, fossas, indícios de movimentação do terreno, faixas de inundação dos canais, redes de drenagem e pluviosidade.
3. **Carta de Risco Geológico** - em escala de 1:5.000 ou maior, evidencia situações de perigo e a probabilidade de perdas ou danos em função de processos

geológicos naturais ou induzidos pelo homem. Incluem os fatores condicionantes do risco geológico dos setores em avaliação, como litotipo, perfil de alteração, espessura das camadas de solo, aterros e lixões, declividade, etc.

Lollo (2015) indica a necessidade da avaliação dos atributos dos meios físico, biótico e socioeconômico de um ambiente ou lugar, levantando informações sobre o subsolo (solos, rochas, águas, fluxos), superfície (relevo, clima, vegetação, fauna, mananciais e processos geodinâmicos) e atividades humanas (uso e ocupação do solo):

1. **Meio Físico** - condiciona a sustentação da biosfera. Rochas, solos, relevo, água superficial, água subterrânea, processos geodinâmicos e clima estão associados e determinam a instalação de fundações, disposição de resíduos, movimentos de massa, dutos, linhas de transmissão, irrigação, obras viárias, obras enterradas, erosão, disposição de resíduos, saneamento, águas subterrâneas, irrigação, agricultura, barragens, túneis, capacidade de suporte, escavabilidade, materiais de construção, retenção de contaminantes, corrosividade, escoamento superficial, drenagem, infiltração, alagamentos, enchentes, formação de aquíferos, hidromorfismo, áreas de recarga, assoreamento, subsidência, pluviosidade, temperatura, direção e velocidade dos ventos, insolação, evapotranspiração, distribuição temporal das chuvas, etc.
2. **Meio Biótico** – em associação com o meio físico, o meio biótico está na base de sustentação da presença e desenvolvimento humanos no planeta. A cobertura vegetal está diretamente associada à produtividade primária, circulação hídrica superficial e subterrânea, quantidade de matéria orgânica no solo, ciclagem de nutrientes, etc., enquanto a presença de fauna superficial ou edáfica, autóctone ou invasora, selvagem ou domesticada e sua interação com a vegetação e solo, estabelecem múltiplas e variadas relações com a agricultura, ecossistemas naturais, pecuária, silvicultura e urbanismo, podendo interferir na estrutura do solo, compactação, infiltração, fluxo de água, comportamento mecânico, etc.;
3. **Socioeconômico** – o uso e ocupação do solo estão associados ao uso agrícola (produtividade, irrigação, contaminação), uso industrial (disposição de resíduos,

energia, matérias primas), uso urbano (tipo, atividade, intensidade, adensamento), vias de transporte, obras de grande porte, obras enterradas, etc.

Oliveira (2010) considera que as ocupações urbanas de pequeno, médio e grande porte, assim como de áreas rurais no Brasil, têm desconsiderado as características do meio físico, aumentando os riscos que corre a população do acometimento de acidentes geológicos como inundações, afundamentos cársticos, escorregamentos, rastejos, queda de blocos e tombamentos, corridas de massa, erosão, expansão, contração e colapsos do solo, poluição de águas, acidentes costeiros, erosão marinha e assoreamentos. Reforça o autor a necessidade de mapeamentos geotécnicos de modo a conhecer os aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, geotécnicos e ambientais de um lugar, assim como a dinâmica de ocupação do solo e os riscos associados a essa ocupação. Esses mapeamentos são necessários e fundamentais para embasar ações de planejamento e administração pública, racionalizando e direcionando o crescimento urbano e definindo a adequação dos terrenos para diferentes ocupações, como áreas industriais, loteamentos, chacramentos, equipamentos urbanos, obras de engenharia, etc., de modo a minimizar os riscos e acidentes geológicos.

Rennó *et al.* (2008) e Nobre *et al.* (2011) indicam que os avanços tecnológicos das últimas décadas facilitaram o acesso a informações topográficas em escalas mais finas, disponíveis em escala global, graças às imagens da Banda-C SAR do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), que permite a construção das curvas de nível do relevo e produção do Modelo Digital do Terreno (MDT). Com resolução horizontal de aproximadamente 90 metros próximo ao equador e resolução vertical de 1 metro, as imagens SRTM apresentam grande acurácia. Algoritmos diversos permitem calcular áreas de contribuição, declividade, escoamento superficial, curvatura de encostas, etc. A altitude absoluta (acima do nível do mar), pode ser utilizada para descrição geomorfológica em escalas menores, mas em escalas maiores seu poder descritivo se perde.

Rennó *et al.* (2008) desenvolveram o algoritmo HAND (*Height Above the Nearest Drainage* - em tradução livre: *Altitude Acima do Ponto de Drenagem Mais Próximo*) que permite definir altitudes relativas a partir de um ponto zero de drenagem, utilizando

como base o MDT original de um recorte da imagem do SRTM. Sendo relativa, o modelo perde a altitude em relação ao nível do mar (altitude absoluta), mas melhora de maneira significativa as variações de altitude locais com grande significação hidrológica e geomorfológica. Utilizando um conjunto de dados da Amazônia central, o descritor HAND foi testado na classificação do terreno, apresentando forte correlação entre água no solo, classes de profundidade do lençol freático e topografia. O SRTM tratado com o HAND poderia assim suprir a necessidade de base topográfica adequada na totalidade do território brasileiro, permitindo representar as características físicas do terreno mesmo em pequena escala e impactando direta e positivamente nos custos de levantamento.

No entanto, mapeamentos geológicos e pedológicos em escalas adequadas são ainda um problema a se enfrentar, uma vez que demandam tempo e recursos humanos, técnicos e científicos consideráveis para os levantamentos de campo, análises laboratoriais e confecção de mapas e cartas.

2.10 Aspectos legais

Extratos tomados do Art. 2º da Lei 10257, de 10 de julho de 2001, o Estatuto da Cidade (SENADO FEDERAL, 2008), apontam na direção de cidades sustentáveis, com a “expansão urbana compatível com os limites da sustentabilidade ambiental, social e econômica”, promovendo a “integração e complementaridade entre as atividades urbanas e rurais” e evitando e corrigindo “as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente”. Indica ainda a “ordenação e controle do uso do solo”, mitigando “a deterioração das áreas urbanizadas; a poluição e a degradação ambiental; e a exposição da população a riscos de desastres naturais”. A mesma norma legal é taxativa no sentido da “proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico”.

A Lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012 (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2012), que trata da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, tem dentre seus objetivos (Art. 5º) “estimular o desenvolvimento de cidades resilientes e os processos sustentáveis de urbanização”, identificando e avaliando as “ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência”, bem como “estimular o ordenamento da ocupação do solo urbano e rural, tendo em vista sua conservação e a proteção da vegetação nativa, dos recursos hídricos e da vida humana”. Visando o desenvolvimento sustentável, a PNPDEC considera a bacia hidrográfica, incorporando a determinação da Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (CONGRESSO NACIONAL, 1997), como unidade de planejamento, análise, gestão e prevenção de desastres.

A Lei Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (BRASIL, 1979), orienta sobre o parcelamento do solo urbano. Em Minas Gerais, o Decreto Nº 44.646, de 31 de outubro de 2007 (MINAS GERAIS, 2007) complementa a legislação federal, estabelecendo as diretrizes para “aprovação de projetos de loteamentos e desmembramentos para fins urbanos pelos municípios”. O Quadro 2.5 compara ambas as legislações, com **grifos do autor** evidenciando alguns pontos de interesse do presente trabalho.

Quadro 2.5. Legislação federal e mineira sobre o parcelamento do solo para fins urbanos.

Lei Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (BRASIL, 1979)	Decreto Nº 44.646, de 31 de outubro de 2007 (MINAS GERAIS, 2007)
Art. 3º Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal. (Redação dada pela Lei nº 9.785, de 1999) Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo:	Art. 2º Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica , assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal . §2º Não será permitido o parcelamento do solo:
I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;	I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações , antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas e mediante autorização e outorga das autoridades competentes;
II - em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;	II - em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;
III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;	III - em terreno com declividade igual ou superior a 47% (quarenta e sete por cento), observado o disposto no art. 3º;
IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;	IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;
V - em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.	V - em áreas de preservação permanente , salvo nos termos dispostos na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006, da Lei nº 14.309, de 19 de junho de 2002, e mediante autorização do órgão ambiental competente;
	VI - em áreas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção;
	VII - em sub-bacias hidrográficas enquadradas na classe especial e classe I, e em áreas de mananciais , de acordo com o disposto no art. 1º e no inciso VI do art. 4º da Lei nº 10.793 de 02 de julho de 1992; e
	VIII - em áreas total ou parcialmente ocupadas por vegetação nativa sem prévia autorização do órgão competente.

Fonte: Autor.

Em seu Art. 3º, o Decreto Nº 44.646, de 31 de outubro de 2007 (MINAS GERAIS, 2007) determina:

Art. 3º O parcelamento de áreas com **declividade superior a 30% (trinta por cento) e inferior a 47%** (quarenta e sete por cento) somente será admitido mediante condições especiais de **controle ambiental e comprovação da estabilidade do solo** através de laudo geotécnico, emitido por Responsável Técnico, devidamente acompanhado da referente Anotação de Responsabilidade Técnica - ART.

Parágrafo único - Os lotes localizados em **declividade entre 30% e 47% deverão ter área mínima igual a 04 vezes a área mínima permitida pela legislação municipal ou estadual.**

A Resolução CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006 (CONAMA, 2006) em seu Art. 2º dispõe sobre os casos em que as Áreas de Proteção Permanente - APPs são passíveis de intervenções: “(i) utilidade pública; (ii) interesse social; e (iii) intervenção ou supressão de vegetação eventual e de baixo impacto ambiental”. Na mesma linha segue a Lei 20.922, de 16 de outubro de 2013 (MINAS GERAIS, 2013), que trata das políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado de Minas Gerais, prevê a possibilidade de intervenção em APPs (Art. 12), em casos de “utilidade pública, interesse social ou atividades eventuais ou de baixo impacto ambiental”.

A Lei nº 10.793 de 02 de julho de 1992 (MINAS GERAIS, 1992), que trata da “proteção de mananciais destinados ao abastecimento público no estado”, dispõe:

Art. 1º Ficam considerados mananciais, para os efeitos desta Lei, aqueles situados a montante do ponto de captação previsto ou existente, cujas **águas** estejam ou venham a estar **classificadas na Classe Especial** e na **Classe I** da Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, e na Deliberação Normativa nº 10, de 16 de dezembro de 1986, do Conselho Estadual de Política Ambiental COPAM.

Art. 4º **Fica vedada a instalação, nas bacias de mananciais,** dos seguintes projetos ou empreendimentos **que comprometam** os padrões mínimos de qualidade das águas:

VI – parcelamento de solo:

a) loteamento;

b) conjunto habitacional;

A Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986 (CONAMA, 1986) e Deliberação Normativa nº 10, de 16 de dezembro de 1986, esta revogada pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008) dispõem sobre a classificação de corpos de água e condições e padrões de lançamento de efluentes (Quadro 2.6).

Quadro 2.6. Classificação Federal e Estadual (MG) dos corpos de água.

Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986 (CONAMA, 1986)	Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008)
Art. 1º - São classificadas, segundo seus usos preponderantes, em nove classes, as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional:	Art. 4º As águas doces estaduais são classificadas em:
1 - Classe Especial - águas destinadas: a) ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.	I - classe especial: águas destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, com filtração e desinfecção ; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
II - Classe 1 - águas destinadas: a) ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.	II – classe 1: águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano , após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000; d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

Fonte: Autor.

Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa COPAM nº 58, de 28 de novembro de 2002 (COPAM, 2002) “Estabelece normas para o licenciamento ambiental de loteamentos do solo urbano para fins exclusiva ou predominantemente residenciais”:

Art. 2º. - Fica vedado o parcelamento do solo:

I - em sub-bacias hidrográficas enquadradas na classe especial e classe I, de acordo com o que estabelece o art. 1º e o inciso VI do art. 4º da Lei Estadual nº 10.793, de 02 de julho de 1992;

II - em **zona de amortecimento de unidades de conservação de proteção integral**, conforme artigo 49 da Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000.

A Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000 (BRASIL, 2000) em seu Art. 49 dispõe:

Art. 49. A área de uma unidade de conservação do **Grupo de Proteção Integral** é considerada zona rural, para os efeitos legais.

Parágrafo único. **A zona de amortecimento das unidades de conservação de que trata este artigo, uma vez definida formalmente, não pode ser transformada em zona urbana.**

Com o intuito de zoneamento de bacias considerando o uso múltiplo (agricultura, preservação, urbanismo, etc.), necessário se faz conhecer as restrições impostas pelo atual Código Florestal (BRASIL, 2012b), que dispõe sobre as Áreas de Preservação Permanente (APPs):

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

II - Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).

V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;

IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;

X - as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;

Retomando a Deliberação Normativa COPAM nº 58, de 28 de novembro de 2002 (COPAM, 2002):

Art. 3º. - Dependem de licenciamento ambiental os empreendimentos que:

I - qualquer que seja o porte, estiverem localizados, total ou parcialmente em:

a) área limítrofe de municípios ou em área pertencente a mais de um município;

b) **áreas naturais protegidas**, definidas pela legislação federal ou estadual, conforme exemplificado na listagem constante do **Anexo I** desta Deliberação Normativa.

II - enquadrarem-se na classificação constante do **Anexo II** desta Deliberação Normativa.

§ 1º- Nos casos de empreendimentos localizados em áreas naturais protegidas, com **área total inferior a 25 (vinte e cinco) hectares**, para a obtenção da Licença Prévia, será solicitada a apresentação de **Relatório de Controle Ambiental Simplificado** conforme termo de referência a ser apresentado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM.

O Anexo I (COPAM, 2002) traz a “Listagem mínima de áreas de relevante interesse ambiental”: Unidades de Conservação de Uso Sustentável (I - Área de Proteção Ambiental; II - Área de Relevante Interesse Ecológico; III - Floresta Nacional; IV - Reserva Extrativista; V - Reserva de Fauna; VI - Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e VII - Reserva Particular do Patrimônio Natural); Área de Especial Interesse Turístico; Áreas

Naturais Tombadas; Áreas de Interesse Especial; Áreas de Proteção do Patrimônio Cultural, Histórico, Paisagístico e Arqueológico; e Áreas de Proteção Ambiental.

O Anexo II (COPAM, 2002) apresenta tabela indicando critérios de porte e densidade populacional para enquadramento em licenciamento ambiental de empreendimentos imobiliários. Posteriormente, a Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004 (COPAM, 2004), trouxe “critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental no nível estadual”. O parcelamento do solo foi definido como de potencial poluidor/degradador geral Médio que, cruzando com o porte Pequeno resulta em Classe 1, exigindo-se o Relatório de Controle Ambiental Simplificado - RCAS, “desde que não enquadrados no inciso I, alíneas a e b” do Art. 3º da Deliberação Normativa COPAM nº 58 (COPAM, 2002; FEAM, 2019b). O porte Médio resulta em Classe 3, apontando para a necessidade de Relatório de Controle Ambiental – RCA (FEAM, 2019b), assim como para o porte Grande, Classe 5, faz-se necessário o Estudo de Impacto Ambiental - EIA.

O que diferencia o RCAS (simplificado) do RCA é a extensão dos levantamentos que se exige para cada um dos relatórios. O RCA (FEAM, 2019b, a), sendo mais aprofundado, exige o Diagnóstico Ambiental da Área de Influência, contendo, em linhas gerais:

- a. Delimitação da área de influência e descrição da qualidade ambiental e capacidade de suporte, considerando os meios físico, biótico e socioeconômico;
- b. Meio físico: hidrografia, usos da água, ventos dominantes, áreas úmidas, geologia local, geomorfologia, hidrologia, susceptibilidade à erosão;
- c. Meio biótico: cobertura vegetal, Áreas de Preservação Permanente – APP, Unidades de Conservação, fauna, flora.
- d. Meio socioeconômico: caracterização geral do município, condições sociais e econômicas da população, atividades econômicas, saneamento básico, sistema viário, transportes, etc.

- e. Planta de situação do empreendimento: escala 1:50.000, divisas municipais, áreas ocupadas, hidrografia, rodovias, ferrovias e demais elementos de destaque.

Entendendo que não se protege o que não se conhece, surge a necessidade de um levantamento, o mais aprofundado possível, das condições bióticas e abióticas de um lugar, esteja ele urbanizado, em vias de expansão urbana ou em zona rural, garantindo, de um lado, o equilíbrio entre os ambientes natural e construído e de outro, evitar, impedir ou mitigar os riscos associados à ocupação em locais inadequados.

2.11 Crescimento da população e cidades brasileiras

Segundo o último censo demográfico do país (IBGE, 2010), em apenas 50 anos, de 1960 a 2010, o Brasil experimentou um forte crescimento populacional, mais que dobrando o número de habitantes. Nesse período, a população total saltou de 71 milhões para 191 milhões, crescendo 2,7 vezes. Uma rápida urbanização acompanhou essa evolução, saltando de 32 milhões de pessoas residindo em cidades em 1960, para 161 milhões em 2010, um crescimento de 5 vezes. No campo a situação se inverteu e a população das áreas rurais decresceu de 39 milhões para 30 milhões de pessoas.

Projeções divulgadas pelo IBGE e ONU (ALVES, 2017), apontam para uma população de 238 milhões de habitantes no Brasil de 2050, 47 milhões a mais em relação a 2010, com crescimento próximo a 25%. De todo esse contingente humano, mais de 90% estarão vivendo em cidades (BRASIL, 2016)

Dentre os incontáveis problemas advindos do rápido crescimento da população e cidades brasileiras, a ocupação de áreas de risco se destaca em função do potencial de perdas humanas e materiais. Poder público, academia e setor privado, pressionados pela realidade das ocupações irregulares, especialmente em locais inadequados e perigosos, vêm desenvolvendo metodologias e mapeamentos geotécnicos visando orientar, impedir e atuar nas regiões de maiores riscos. Esses levantamentos partem da visão e necessidade de se conhecer profundamente o lugar e sua paisagem natural e cultural, como bases para o zoneamento e ordenação de seu uso e ocupação.

Dos 5.561 municípios brasileiros (IBGE, 2000), 4.074 ou 71% têm até 20 mil habitantes. Considerando aqueles municípios com até 50 mil habitantes, o número salta para 5.037 ou 91%. Essas cidades, em sua maioria e empiricamente falando, não dispõem de pessoal técnico especializado para as mais variadas necessidades da gestão pública, sendo comum uma mesma pessoa cuidar de áreas distintas e muitas das vezes sem a devida formação na(s) área(s) em que atua. E o mesmo vale para os diversos empreendedores que atuam nas áreas de construção civil e urbanismo (proprietários de terras, pedreiros, construtores, etc.).

Se o Art. 2º do Estatuto da Cidade (SENADO FEDERAL, 2008) direciona para a necessidade de “simplificação da legislação de parcelamento, uso e ocupação do solo e das normas edilícias”, considera-se que isso não deva ocorrer sem que haja ferramentas adequadas e orientações mínimas, tanto para o empreendedor quanto para o poder público local.

De dimensões continentais, a maior parte do território brasileiro não conta com levantamentos topográficos, geológicos, pedológicos, etc., em escala de detalhes (1:25.000, 1:10.000 ou maiores), que permitam o planejamento adequado de empreendimentos os mais diversos, dentre eles os imobiliários, executados em sua maioria por pequenos empreendedores. Estes, os pequenos empreendedores, via de regra não dispõem de conhecimento e recursos suficientes para todos os levantamentos e, na prática dos pequenos municípios, é raro a presença de técnicos com conhecimento para subsidiar legislações municipais, orientar empreendedores, executar levantamentos prévios, fiscalizar eficientemente, etc.

Levantamentos geotécnicos e geoambientais, *design* ecológico, *design* biofílico, biourbanismo e sustentabilidade ambiental urbana convergem quanto à necessidade de se conhecer profundamente um lugar, de modo a compatibilizar os múltiplos e muitas vezes concorrentes usos e ocupações. Especialmente os levantamentos geotécnicos e mapeamentos geoambientais exigem profissionais e equipamentos especializados e alto custo. Ao se considerar que parte expressiva de novos assentamentos (vilas, bairros, distritos, loteamentos, chacramentos, etc.) são erguidos por empreendedores locais, com recursos financeiros, humanos e técnicos locais, levantamentos mais sofisticados se tornam proibitivos. E uma vez que, em função dessa realidade, os levantamentos

geotécnicos não são executados com a abrangência e escala desejáveis, também os *designs* ecológico, biofílico e sustentável ficam comprometidos, já que não dispõem de um diagnóstico mais abrangente do lugar e da área em que se propõe planejar, de modo a compatibilizar e interconectar os ambientes natural e construído.

No intuito de contribuir para que as peças desse grande mosaico possam se organizar e se encaixar, formando uma imagem coerente que se sustente no tempo e que promova maior equilíbrio entre o ambiente construído e natural é que SENSIA foi desenvolvida.

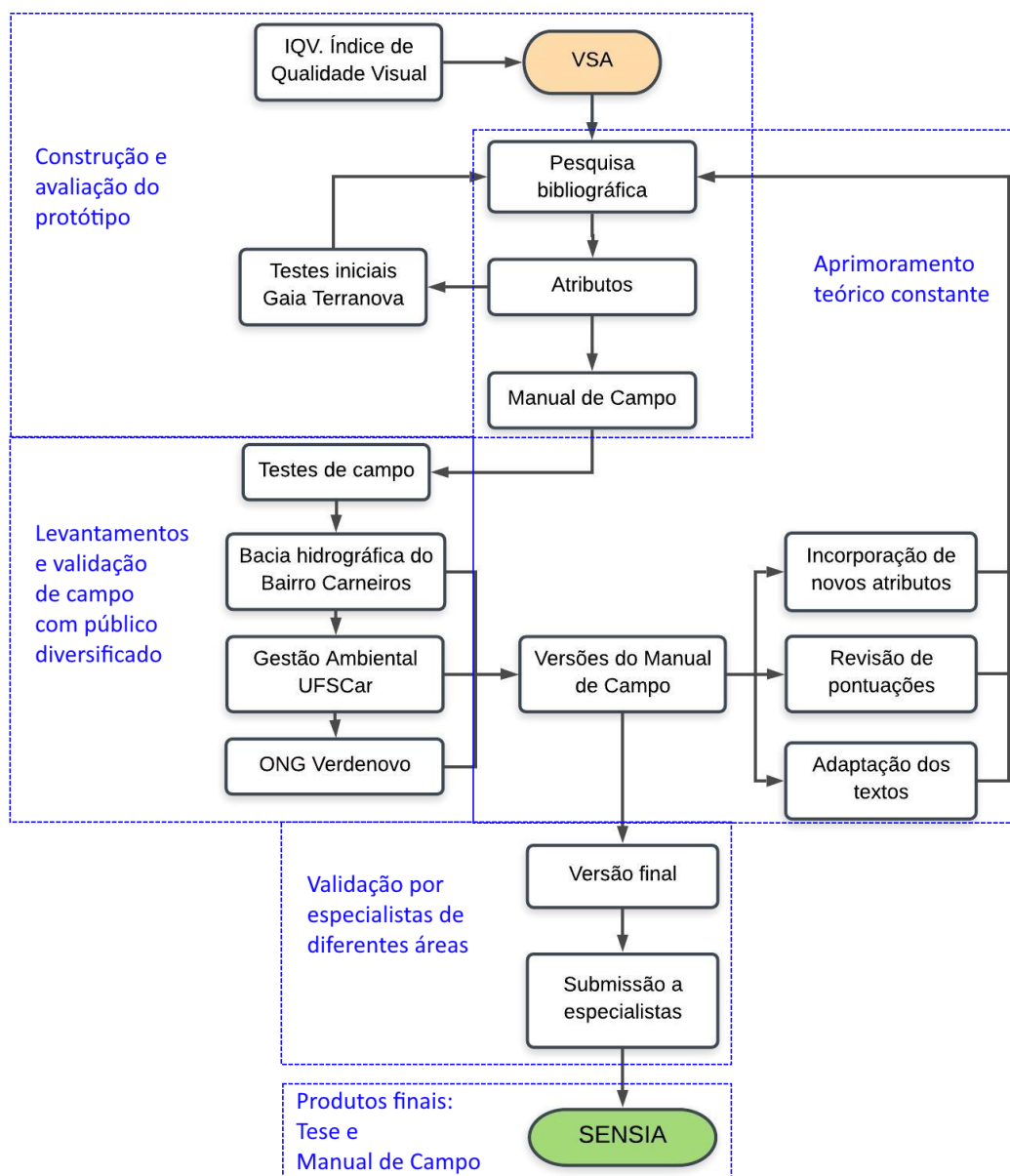
3 Objetivo

Desenvolver um conjunto de procedimentos metodológicos que permitam o diagnóstico qualiquantitativo de um lugar de modo rápido, fácil, de baixo custo e consistente cientificamente, visando compatibilizar o ambiente construído e natural.

4 Estrutura da tese

A parte teórica de **SENSIA**, desde o início, foi mediada por estudos e atividades de campo, buscando aferir e aplicar a teoria na prática e “traduzir” a linguagem técnico-científica para o linguajar comum, buscando um procedimento de fácil compreensão, passível de aplicação por profissionais e especialistas de diferentes áreas do conhecimento: técnicos, produtores rurais, empreendedores, estudantes e leigos. Várias versões do procedimento foram acrescentando, reorganizando, condensando, associando ou eliminando atributos, bem como adequando pontuações (Figura 4.1).

Figura 4.1. Fluxograma SENSIA.



Fonte: Autor.

Construção e avaliação do protótipo - o Índice de Qualidade Visual - IQV proposto por Melloni (2001) levou ao conhecimento do *Visual Soil Assessment* – VSA (SHEPHERD *et al.*, 2008) e de outros pesquisadores. A bibliografia consultada indicou os primeiros atributos e materiais, procedimentos, descritivos e organização foram testados em campo e compuseram uma primeira versão de um “manual de campo”.

Levantamentos e validação de campo com público diversificado – com a primeira versão do Manual de Campo, novos testes foram feitos na área de cerrado da UFSCar, com apoio e participação de alunos de Gestão Ambiental e na Bacia Hidrográfica dos Carneiros (município de Piranguinho, MG), contando com apoio e participação de voluntários da ONG Verdenovo (Piranguinho, MG). Nesses levantamentos, os participantes foram convidados a indicar trechos dos descritivos dos atributos que fossem confusos, muito técnicos ou que induzissem a erros na definição das pontuações.

Aprimoramento teórico – com as indicações fornecidas, os textos foram aprimorados e adequados ao linguajar cotidiano, de modo a serem úteis para os mais diferentes públicos. A revisão bibliográfica permitiu expandir e aprofundar os conhecimentos, resultando em mudanças nos procedimentos, pontuações, descritivos e organização dos atributos. Mudanças substanciais geraram novas versões do Manual, e a cada versão novas saídas de campo de modo a testa-las.

Validação por especialistas de diferentes áreas – uma versão final foi apresentada a especialistas de diferentes áreas do conhecimento e suas sugestões incorporadas ao Manual.

Produtos finais – como produtos finais foram elaboradas a Tese, um corpo teórico adensado, e o Manual de Campo, um conjunto de procedimentos em linguagem acessível a diferentes públicos.

5 Materiais e Métodos

SENSIA iniciou como parte de projeto de pesquisa de doutorado em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, sob o tema “Atributos e diretrizes restauradoras e integradoras dos sistemas naturais e antrópicos para empreendimentos imobiliários urbanos e rurais”. Teve como premissa inicial os fatores limitantes descritos na Ecologia, indicando que o estabelecimento, permanência e reprodução de uma espécie ou população em um determinado ambiente está condicionada aos fatores limitantes do lugar (Lei do Mínimo de Liebig) e fatores físico-químicos dentro da faixa de tolerância da espécie ou população (Lei da Tolerância de Shelford) (MILLER JR, 2013; USP, 2016; ODUM, 2009).

Considerou-se assim, que o estudo, *design* e planejamento de empreendimentos imobiliários que se desejassem mais sustentáveis e biofílicos deveriam tomar por base as mesmas ou semelhantes premissas, como a disponibilidade local de água, ou a qualidade do solo mais ou menos propício à construção ou preservação, ou o fortalecimento, recuperação e interligação de fragmentos florestais facilitando o fluxo de animais (BRASIL, 2012a; MINAS GERAIS, 2013), bem como a adoção da bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento (BRASIL, 1997; MINAS GERAIS (ESTADO), 1999).

O(s) atributo(s) mais restritivo(s) presente(s) na bacia seriam então considerado(s) como determinante(s) da população máxima prevista pelo empreendimento em sua fase inicial. Em fase posterior, essa população poderia ser ampliada, mas como resultado de intervenções que viessem a fortalecer e aumentar a disponibilidade daqueles fatores ou atributos inicialmente mais restritivos, orientando a ocupação do espaço de maneira crescentemente construtora de relações mais sustentáveis, equilibradas e biofílicas (WILSON, 1984; BEATLEY, 2011; SANGUINETTO, 2011a; SANGUINETTO, 2011b) entre os ambientes construído e natural.

Recursos hídricos como exemplo, dado que a água é indispensável para todo e qualquer processo vivo, produtivo e de organização social, a quantidade máxima disponível na bacia para uso nas atividades humanas seria a média das mínimas que vertem pelo exutório da bacia durante o auge dos últimos períodos anuais de estiagem,

determinando assim a população humana máxima do empreendimento em sua fase inicial, considerando o consumo médio de água indicado, por exemplo, pela NTS 181 (SABESP, 2012), ou a produção média de esgotos indicados pelas NBR 7.229 (ABT, 1993) e NBR 13.969 (ABNT, 1997a).

Condiciona-se, dessa forma, a abertura de ruas e ampliação da quantidade de lotes e população residente no empreendimento ao aumento da disponibilidade hídrica na bacia. Aumentar a população residente implicaria, necessariamente, no desenvolvimento de estratégias de recuperação e manutenção da qualidade da bacia, como a implantação de curvas de nível, cordões de vegetação, melhoria da estrutura do solo, incorporação de matéria orgânica, redução da compactação, aumento da infiltração da água de chuva, proteção de nascentes, implantação ou recuperação de vegetação nativa nas zonas de recarga, produção madeireira (silvicultura), etc.

Essas estratégias poderiam ainda ser complementadas por outras alternativas, como a captação de água de chuva; a gestão da água no interior das residências, com o uso de arejadores nas torneiras e/ou de bacias acopladas de descarga dupla nos vasos sanitários; a manutenção das torneiras fechadas enquanto se lava a louça ou se escovam os dentes; e o tratamento de efluentes domésticos visando o reúso das águas, dentre outros.

Diante disso, uma metodologia científica mais consistente, de baixo custo e fácil aplicação para a identificação de atributos limitantes da bacia, seria essencial para um desenvolvimento sustentável local e implantação de empreendimentos mais amigáveis à vida (biofílicos).

5.1 Avaliação visual

Como componente da biosfera, o solo é um ecossistema que cumpre funções essenciais e cujas propriedades físicas, químicas e biológicas são vitais para a produção de alimentos saudáveis, manutenção dos serviços ecossistêmicos (ciclagem de nutrientes, retenção de umidade, reservatório de água, aeração de raízes, etc.) e suporte para plantas, animais e estruturas construídas pelos homens (estradas, pontes, sistemas de drenagem, tratamento e disposição de resíduos, habitações, etc.).

Solos degradados significam menor disponibilidade de nutrientes, água e ar para as raízes, refletindo em plantas e ecossistemas menos saudáveis, solos mais suscetíveis à erosão e menos produtivos. Uma vez degradados, retomar as características iniciais do solo pode ser uma tarefa árdua e de longo prazo, demandando investimentos humanos, técnicos, científicos e financeiros vultosos, ou mesmo ser de impossível reversão (McGARRY, 2004; SHEPHERD *et al.*, 2008; SOUZA; SOBREIRA, 2014; VÄDERSTAD, 2016).

Do ponto de vista construtivo, solos degradados aumentam as chances e riscos de erosão e consequente assoreamento de cursos d'água; aumentam o risco de danos causados por enchentes nas cidades; favorecem deslizamentos, colocando em risco populações e estruturas mais vulneráveis; podem comprometer a infiltração, a capacidade de reserva da bacia e a produção de água. Cuidar e manter da qualidade do solo de uma bacia hidrográfica é mais inteligente, menos oneroso, mais saudável sob todos os aspectos e uma das etapas necessárias para a construção de sociedades sustentáveis e, como propomos, também biofílicas. Por outro lado, solos já degradados podem ser uma boa opção para uma ocupação e urbanização menos comprometedoras dos ecossistemas naturais, buscando maior sustentabilidade e alinhamento com a biofilia e o biocentrismo.

Tomadores de decisão, especialmente agricultores, pecuaristas, construtores, incorporadores, bem como técnicos e servidores de prefeituras menores nem sempre detêm conhecimentos ou estão atentos às condições pregressas e atuais de uma bacia hidrográfica, comprometendo as decisões tomadas no presente e que serão sentidas ao longo do tempo.

Tendo em vista essa realidade, nos últimos anos, vários autores tem-se debruçado sobre a construção de indicadores visuais da qualidade do solo, baseados em extensas pesquisas, tanto de laboratório como de campo. O objetivo central dessas pesquisas e propostas tem sido o desenvolvimento de metodologias simples, práticas, eficientes e cientificamente robustas para o levantamento rápido e de baixo custo de aspectos relacionados ao solo e à produção agropecuária, passíveis de serem realizadas e entendidas por pessoas que não dominem técnicas ou conhecimentos científicos específicos. Alguns autores acrescentaram indicadores visuais de plantas nativas ou

cultivadas no terreno, utilizando-as como complemento à avaliação do solo, ambos avaliados separadamente e então comparados.

Uma vez que diferentes solos compõem uma bacia hidrográfica, os mesmos apresentam diferentes limitações quanto aos seus usos potenciais e, portanto, conhecer essas limitações é fundamental para o planejamento de uso e ocupação, bem como para a produtividade e sustentabilidade dos ecossistemas naturais e antrópicos nela presentes. Vale aqui a Lei de Liebig, ou Lei do Mínimo (MILLER JR, 2013; USP, 2016; ODUM, 2009), identificando que o crescimento de uma população animal ou vegetal, uma atividade econômica, um empreendimento ou uma vila ou cidade, não é controlado pelo total de recursos disponíveis, mas antes pela escassez de recursos, sendo esses os fatores limitantes.

A NBR 7250 (ABNT, 1982b), voltada para a identificação e reconhecimento de amostras de solos e a NBR 6484 (ABNT, 2001), relativa a sondagens de simples reconhecimento com SPT, indicam que as amostras, de maneira expedita, devem ser examinadas quanto a:

- **Granulometria** – organizada em dois grandes grupos: solo grosso (mais de 50% das partículas são maiores que 0,1 mm, visíveis a olho nu, formado por areia fina e frações maiores) e solo fino (formado por silte e argila, com mais de 50% das partículas menores que 0,074 mm). A classificação expedita, de campo, utiliza o tato (aspereza da amostra) e visão (predominância de tamanho);
- **Plasticidade** - solos finos quando úmidos podem sofrer grandes deformações permanentes sem ruptura, fissuramento ou grande variação de volume;
- **Compacidade** - solos grossos apresentam diferentes densidades, com estados de compactação classificados como: fofo, pouco compacto, medianamente compacto, compacto e muito compacto;
- **Consistência** – facilidade de deformação dos solos finos: muito mole, mole, médio, rijo e duro;
- **Cor**;
- **Origem** – solos residuais, orgânicos, marinhos ou aterros.

Melloni (2001) avaliou visualmente áreas de mineração, pontuando: erosão, pedregosidade, fauna do solo, índice de cobertura, índice de diversidade, porte/estratificação, vigor da vegetação, sucessão na vegetação, quantidade de serapilheira, decomposição da serapilheira, incorporação da serapilheira no solo e fauna.

Nicholls *et al.* (2004), trabalhando com viticultores propuseram uma metodologia rápida, prática e eficientes para “chechar o pulso” de agroecossistemas de vinhedos no norte da Califórnia (EUA), utilizando como indicadores da qualidade do solo: estrutura, compactação, profundidade do solo, estado dos resíduos, cor, odor e matéria orgânica, retenção de água (nível de umidade após irrigação ou chuva), cobertura do solo, erosão, presença de invertebrados e atividade microbiológica (utilizando peróxido de oxigênio); e como indicadores da saúde das culturas: aparência, crescimento da cultura, índice de doenças, equilíbrio de insetos nocivos, abundância e diversidade de inimigos naturais, pressão e competição de ervas daninhas, rendimento real ou potencial da cultura, diversidade vegetacional, vegetação natural no entorno, sistema de manejo (gestão).

McGarry (2004) propõe a Ferramenta de Avaliação Visual Solo-Campo (*Visual Soil-Field Assessment Tool - VS-Fast*) para produtores rurais de países pobres e em desenvolvimento, visando a manutenção da qualidade dos solos, evitando sua degradação e evidenciando suas limitações, como parte do projeto LADA-FAO (*Land Degradation Assessment in Drylands-LADA, Food and Agriculture Organization-FAO*). O VS-Fast está organizado em duas seções: descritores visuais e medições de campo com o auxílio de equipamentos portáteis (colapso e dispersão, pH, infiltração e carbono orgânico). O VS-Fast registra mas não pontua: profundidade, estrutura (tipo, tamanho, grau e consistência), textura, cor e pH. A pontuação e pesos se dão para os atributos: compactação, distribuição de tamanho dos agregados, minhocas, raízes, colapso e dispersão de agregados, infiltração de água e carbono orgânico (mensurado com permanganato de potássio).

Väderstad, Initiative-SMI (2005) propôs indicadores visuais para a qualidade do solo (VSA – *Visual Soil Assessment*): porosidade, cor, número e cor de mosqueados, número de minhocas, compactação subsuperficial por cultivo (*tillage pan*), grau de

desenvolvimento dos torrões e grau de erosão; e indicadores vegetais: emergência da cultura, altura e maturidade da cultura, tamanho e desenvolvimento do sistema radicular, rendimento da cultura, doenças radiculares, ervas daninhas, alagamento superficial, custos de produção. Väderstad (2016) acrescentou “estrutura e consistência” aos indicadores visuais da qualidade do solo e retirou “custos de produção” dos indicadores de plantas. A avaliação de cada parcela é feita utilizando-se de 3 a 4 amostras representativas da área escolhida, sendo que cada amostra é avaliada em aproximadamente 15 minutos. Para cada indicador propõem-se o valor de 0 (zero) para condições pobres, 1 para condições médias e 2, para condições boas e, como os indicadores têm importância relativa entre si, os ajustes são feitos multiplicando-se pelos pesos 1, 2 ou 3.

Casalinho, Martins e Lopes (2007), entrevistando agricultores da região sul do Rio Grande do Sul, propuseram um guia para avaliação do desempenho dos indicadores da Qualidade do Solo, identificando dez indicadores: compactação, matéria orgânica, profundidade do solo, erosão, população de minhocas, aparência da planta, presença de organismos no solo, porosidade, cor do solo e plantas indicadoras.

Mueller *et al.* (2007) propõem a Classificação de Qualidade do Solo de Muencheberg (*The Muencheberg Soil Quality Rating, SQR*), um manual de campo para identificar e avaliar as propriedades e limitações, a aptidão física e saúde do solo para a agricultura e pecuária. Apresentam um método simples de classificação, com pontuação dos parâmetros variando de 0 a 3, posteriormente ponderados em função de sua importância relativa. O resultado final é uma pontuação semiquantitativa variando de 0 a 100, com classes de Qualidade do Solo (SQ), assim definidas: SQ <20 = Muito ruim; SQ entre 20 e 40 = Ruim; SQ entre 40 e 60 = Moderado; SQ entre 60 e 80 Bom; e SQ > 80 = Muito bom. Os parâmetros ou indicadores apontados são:

- a. **Substrato do solo** – classe da textura acima de 80 cm para a agricultura; material de origem do solo; gradientes de textura; conteúdo de material grosseiro (> 2 mm); matéria orgânica do solo (20 cm), proporção de carbonato, gesso e outras concreções.

- b. **Profundidade do horizonte A e de solo húmico** – profundidade do horizonte A; profundidade de horizonte húmico com mais de 4% de matéria orgânica; mudança abrupta de solo superficial para subsolo.
- c. **Agregados e porosidade** – tipo e tamanho dos agregados; avaliação de estrutura de Peerkkamp, Diez, Shepherd-VSA ou outros.
- d. **Compactação do subsolo** – aumento da resistência do solo ou densidade à profundidade de 30-50 cm; características redutoras no solo superficial ou camada superior do subsolo; avaliação da estrutura de Peerlkamp ou outros.
- e. **Profundidade de enraizamento e da atividade biológica** – ocorrência de raízes; barreiras de enraizamento e sua intensidade; profundidade efetiva de enraizamento
- f. **Disponibilidade hídrica** – profundidade do lençol freático; capacidade de estocagem hídrica.
- g. **Umidade e alagamento superficial** – profundidade do solo ou lençol freático; classe de drenagem do solo grau de características de redução no subsolo; indicador de valores de vegetação; posição do solo em uma depressão; umidade por lençol suspenso (solos ricos em silte e argila); alagamento durante a avaliação do solo.
- h. **Declividade e relevo** – declividade e posição do pedon; aspecto do microrelevo e declividade do pedon.

O Quadro 5.1 resume os indicadores e pesos para as terras aráveis (agricultura) e de pastagem (pecuária).

Quadro 5.1. Indicadores e pesos para terras aráveis e pastagem.

Agricultura	Peso	Pecuária	Peso
Substrato do solo	3	Substrato do solo	3
Profundidade do horizonte	1	Profundidade de solo húmico	2
Estrutura do solo superficial	1	Estrutura do solo superficial	1
Compactação do subsolo	1	Compactação do subsolo	1
Profundidade de enraizamento	3	Atividade biológica	2
Disponibilidade hídrica	3	Disponibilidade hídrica	3
Umidade e alagamento superficial	3	Umidade e alagamento superficial	3
Declividade e relevo	2	Declividade e relevo	2

Fonte: Mueller *et al.* (2007).

Credita-se a Peerlkamp (PEERLKAMP, 1967) as primeiras propostas de avaliação da estrutura do solo de modo simplificado (Quadro 5.2). Ball, Batey e Munkholm (2007) propuseram modificações, acrescentando rápidas descrições e imagens ilustrativas das estruturas e características diferenciadoras de cinco categorias ou classes adotadas. Com pontuação variando de 1 (alta qualidade) a 5 (baixa qualidade). Em seus experimentos, avaliaram a influência do operador na pontuação das estruturas, manejo e tipo de cultivo, realizando testes suficientes para permitir uma análise estatística dos dados. A metodologia de avaliação é simples, baseada em análises visuais, demandando entre 5 e 15 minutos em cada ponto amostral, sendo consideradas preliminares e, ao mesmo tempo, complementares às análises laboratoriais, necessárias para quantificar aspectos específicos da estrutura. Preliminares por serem capazes de indicar onde coletar as amostras e complementares por serem as análises laboratoriais incapazes de um levantamento rápido e imediato da qualidade das estruturas em condições de campo.

Quadro 5.2. Categorias estruturais, descrição e distinções.

Pontuação e qualidade da estrutura	Facilidade de rompi-mento (solo úmido)	Tamanho e aparência dos agregados	Porosidade visível	Raízes	Característica distintiva
1 - Friável (tende a cair da pá)	Agregados separados com os dedos.	Maioria < 6 mm.	Altamente poroso.	Raízes ao longo do solo.	Agregados finos.
2 - Intactos (retidos em bloco na pá)	Agregados facilmente rompíveis com uma mão.	Mistura de agregados porosos e arredondados entre 2 e 7 mm. Sem presença de torrões.	A maioria dos agregados é porosa.	Raízes ao longo do solo.	Alta porosidade dos agregados.
3 - Firme	Sem dificuldade.	Mistura de agregados porosos de 2 mm a 10 cm; menos de 30% são < 1 cm. Alguns torrões angulares, não porosos podem estar presentes.	Macroporos e rachaduras presentes. Alguma porosidade dentro dos agregados (poros ou raízes).	Maioria das raízes ao redor dos agregados e torrões.	Baixa porosidade dos agregados.
4 - Compacto	Certa dificuldade.	Grandes, > 10 cm, subangulares, não porosos; horizontal ou laminar é possível; menos de 30% são < 7 cm.	Poucos macroporos e rachaduras.	Raízes agrupadas em macroporos e ao redor dos agregados ou torrões.	Macroporos distintos.
5 - Muito compacto	Difícil.	Maioria > 10 cm, muito poucos < 7 cm, angulares e não porosos.	Muito baixa; macroporos podem estar presentes; pode apresentar zonas anaeróbicas.	Poucas, se algumas, restritas às rachaduras.	Coloração azul-acinzentada.

Fonte: modificado de Ball; Batey; Munkholm (2007).

Melloni *et al.* (2008), utilizando o Índice de Qualidade Visual – IQV (MELLONI, 2001) para avaliarem diferentes coberturas vegetais e de pastagens no sul de Minas Gerais, descrevem

“Embora seja evidente o grau de subjetividade intrínseco ao método de análise visual, pela sua elevada capacidade discriminatória, praticidade e baixo custo, esta pode ser utilizada em estudos da qualidade ambiental, fornecendo informações relacionadas ao diagnóstico e possibilitando a indicação de manejos específicos, visando alcançar sustentabilidade e qualidade ambiental. Ressalta-se também a importância da utilização desse método nos estudos de impacto ambiental, para favorecer diagnósticos rápidos para a indicação de alternativas de uso com menor degradação do ambiente.” (MELLONI *et al.*, 2008, p. 2466-7)

Moody e Cong (2008) apresentam estudo intitulado Limitações do Solo e Pacote de Manejo (*Soil Constraints and Management Package - SCAMP*), desenvolvido no Centro Australiano para Pesquisa Agrícola Internacional (*Australian Centre for International Agricultural Research - ACIAR*), para utilização em solos montanhosos do Vietnã e Austrália. Coletando dados básicos sobre solos, o SCAMP busca estabelecer uma ponte entre os levantamentos pedológicos para classificação de solos (taxonomia dos solos) e estratégias de gestão para a produção agrícola sustentável em solos montanhosos tropicais. Organizaram dados e observações de modo que o produtor rural possa entender o que significam e como utiliza-los na produção de alimentos e gestão da terra. A metodologia permite, a partir de atributos básicos do solo, identificar suas limitações e restrições (Quadro 5.3), qualificando inferências sobre solos individuais de forma a maximizar seu potencial produtivo, diminuir custos e manter sua qualidade e saúde, o que pode ser feito em três níveis de aplicação (Quadro 5.4). As informações coletadas podem ser utilizadas como base de dados para Sistemas de Informações Geográficas (SIG), gerando mapas e cartas de risco, aptidões e

limitações da região em estudo. Em função da complexidade e custos crescentes, a presente pesquisa incorpora apenas o nível 1 do SCAMP, acrescido da taxa de infiltração (nível 2).

Quadro 5.3. Função ecossistêmica e atributos do solo.

Função ecossistêmica do solo	Atributos
Drenagem e escoamento superficial	Classe de permeabilidade, classe de drenagem e taxa de infiltração
Armazenamento de água disponível para as plantas	Textura
Oxigenação adequada das raízes das plantas	Textura, classe de permeabilidade, classe de drenagem, compactação
Condições adequadas de germinação das plantas	Textura, estrutura, consistência, desintegração e dispersão
Armazenamento de nutrientes	Textura, cor, pH, carbono orgânico, capacidade de troca catiônica (CTC)
Disponibilidade de nutrientes	Textura, cor, pH, condutividade elétrica, carbono orgânico, capacidade de troca catiônica (CTC)
Supressão de patógenos vegetais	Carbono orgânico, textura, capacidade de troca catiônica (CTC)
Imobilização de contaminantes	Textura, cor, pH, carbono orgânico, capacidade de troca catiônica (CTC)

Fonte: modificado de Moody e Cong (2008).

Quadro 5.4. Níveis SCAMP, atributos e métodos de coleta de dados.

Nível de aplicação do SCAMP	Atributos do solo	Métodos de coleta de dados
1	Declividade, textura, cor, estrutura e consistência, classe de dispersão, classe de permeabilidade, classe de drenagem, risco de erosão e compactação	Observações a partir da posição do solo na paisagem e observações e medidas feitas nas escavações do terreno (mini-poços)
2	Condutividade elétrica do campo, pH do campo e taxa de infiltração	Observações de campo e medidas simples utilizando um mínimo de equipamentos
3	Capacidade de troca de cátions (CTC), carbono orgânico, capacidade tampão de pH, capacidade tampão de fósforo	Poucas análises laboratoriais utilizando instrumentos analíticos básicos

Fonte: Moody e Cong (2008).

Para o nível 1 do SCAMP, Moody e Cong (2008) indicam anotações de campo e a abertura de um “mini-poço” para observação da camada superior (camada arável de 0 a 20cm) e subsolo (20 a 50cm). Os atributos de textura, cor, estrutura, consistência úmida, classe de dispersão, compactação e porcentagem de cascalho, no conjunto, informam sobre a classe de permeabilidade, classe de drenagem e risco de erosão. O nível 2 do SCAMP pede alguns equipamentos simples de campo: medidor portátil de pH (“*pH pen*”), medidor portátil de condutividade elétrica para determinar salinidade (“*EC pen*”) e uma peça plástica para medição da taxa de infiltração, ampliando as informações para as práticas de manejo do solo. O nível 3 demanda o uso de equipamentos mais dispendiosos e análises laboratoriais: avaliação do carbono orgânico (espectrofotômetro portátil), cátions trocáveis (CTC) e fixação de fósforo (laboratório).

Shepherd *et al.* (2008) desenvolveram a Avaliação Visual do Solo (VSA – *Visual Soil Assessment*), adotada pela FAO, que consiste na atribuição de notas e pesos a indicadores facilmente identificáveis no solo, de modo a obter uma avaliação precisa, de baixo custo e rápida (cada parcela pode ser avaliada em 25 minutos), garantindo informações preciosas para o correto manejo. Os indicadores visuais utilizados para avaliar a qualidade dos solos são: textura, estrutura, porosidade, cor, odor, número e cor de mosqueados, minhocas (número e tamanho), profundidade de raízes, alagamento superficial, crostas e coberturas superficiais, relevo e erosão (água e vento). Os autores utilizam os mesmos indicadores, acrescidos de volume da copa, densidade da copa, comprimento do broto, floração, cor da folha, rendimento agrícola, produção de madeira, crescimento da cultura e altura na maturidade, tamanho dos grãos/frutos e variabilidade das plantas ao longo da linha de plantio, como indicadores visuais de performance de culturas anuais e perenes como vinhedos, olivais, pomares, trigo, milho, culturas anuais e pastagens.

Niero *et al.* (2010) avaliaram o desempenho de 7 indicadores da AVS (estrutura, porosidade, cor, mosqueado, número de minhocas, camada compacta e cobertura do solo) para o estabelecimento do índice de qualidade do solo em experimentos de cultivo em (1) mata nativa; (2) cultura permanente de seringueiras; (3) cultura anual em plantio direto (20 anos); (4) cultura anual em plantio direto (8 anos); (5, 6 e 7) cultura anual de milho com três doses de lodo de esgoto; (8) cultura anual em sistema convencional. Os

valores da AVS foram comparados estatisticamente com resultados de análises físico-químicas das parcelas estudadas de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico. As conclusões do estudo apontam para: 1. A AVS se mostrou como ferramenta prática e sensível às alterações de manejo; 2. Pode-se correlacionar os atributos visuais estrutura, cor, porosidade, camada compacta e cobertura do solo à agregação, porosidade total, densidade e matéria orgânica no solo.

McKenzie (2013) propõe que a avaliação visual do solo (VSEE – *Visual Soil Examination and Evaluation*) seja um componente essencial para auxiliar os agricultores australianos no manejo de seus solos. O VSEE complementaria as informações obtidas por análises laboratoriais de amostras, sensoriamento remoto e modelagem do solo e paisagem, cuja confiança fica comprometida em relação a particularidades locais e pequenas propriedades (p.ex., problemas decorrentes da baixa resolução horizontal e/ou vertical das imagens). Essas técnicas guardam ainda o potencial, nas condições australianas, mas que poderiam ser extrapoladas para outros locais, de: (a) incrementar a rentabilidade anual das colheitas; (b) maximizar do valor da terra na hora da venda; (c) estabelecer estratégias frente aos custos crescentes de insumos industrializados; (d) ampliar a capacidade de negociação do proprietário ao se relacionar com o mercado a partir de informações de alta qualidade em relação ao solo em que produz; (e) diminuir os riscos inerentes à expansão da produção agrícolas em solos com pouca disponibilidade de informações. Lembra ainda o autor da responsabilidade que tem a comunidade científica, uma vez que seus conhecimentos não tem chegado com a eficiência e clareza necessários para que o homem do campo atue de forma mais sustentável em relação ao solo. Cabe à comunidade científica fornecer informações para os tomadores de decisão em relação a desafios como: (a) assegurar a produção alimentar mesmo com o incremento constante da população mundial; (b) otimizar a utilização dos recursos hídricos; (c) recuperar, manter e incrementar os serviços ecossistêmicos; e (d) buscar o equilíbrio entre a proteção de terras agrícolas de alta qualidade e usos concorrentes como o desenvolvimento urbano e mineração.

Souza (2015) e Souza *et al.* (2016) com o “Referência para Avaliação da Qualidade do Solo” (RAQS), reformularam os trabalhos de Melloni (2001), Nicholls *et al.* (2004), Casalinho *et al.* (2007), Carlesi (2008) e Väderstad-SMI (2005), propondo os seguintes

indicadores para avaliar a qualidade do solo: cor e odor, susceptibilidade à erosão, pedregosidade, estrutura e consistência, compactação, porosidade, profundidade da camada superficial, quantidade, decomposição e incorporação da serapilheira, presença e atividade de organismos, fauna do solo (minhocas, formigas, gafanhotos, aranhas, cupins, etc.); a qualidade da vegetação: índice de cobertura, índice de diversidade, porte e estratificação, vigor da vegetação, infestação de plantas daninhas; e presença de macrofauna (anfíbios, répteis, aves e mamíferos).

5.2 Avaliação sensorial

A avaliação sensorial (visão, tato, audição e olfação) é uma solução de campo para diagnóstico qualiquantitativo preliminar de um lugar e tem sido utilizada de maneira restrita para inferências qualitativas da textura e consistência do solo nas áreas de geotecnia, pedologia e engenharia civil (ABNT, 1997b, 2001; BRADY; WEIL, 2013; OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2015), recentemente expandindo para a avaliação de áreas degradadas (MELLONI, 2001; SOUZA, 2015; SOUZA *et al.*, 2016) e ecossistemas agrosilvipastoris (CASALINHO; MARTINS; LOPES, 2007; NICHOLLS *et al.*, 2004; SHEPHERD *et al.*, 2008; VÄDERSTAD, 2016).

Ampliando esse rol, desenvolveu-se no presente trabalho a mensuração de atributos complementares (Clima e Zonas Bioclimáticas, Forma de relevo, Orientação de vertente, Movimento de massa) e pontuações passíveis de utilização também para as engenharias e urbanismo.

No geral, todo esforço guarda o potencial de explicitar ao poder público e ao empreendedor, tanto o diagnóstico inicial do lugar, quanto as estratégias a serem adotadas ao longo do tempo em relação ao planejamento do empreendimento (abertura de vias, definição de lotes, sistemas de saneamento, planejamento urbano, etc.) e/ou do uso e ocupação do solo em sintonia com os ecossistemas naturais e a manutenção dos serviços ambientais a eles associados.

O interesse pela pesquisa iniciou com o Índice de Qualidade Visual - IQV (MELLONI, 2001) apresentado por Melloni em Curso de Especialização em Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Itajubá – CEMARH/UNIFEI em

2007. A metodologia propunha avaliar visualmente e pontuar os atributos: presença de erosão, pedregosidade, macrofauna do solo, índice de cobertura vegetal, diversidade, porte/estratificação, vigor da vegetação, presença e estado de decomposição da serapilheira, incorporação da serapilheira no solo e fauna silvestre, tendo sido utilizada por Sanguinetto (2010, 2012) em diferentes levantamentos.

Publicações mais recentes (MELLONI *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2016) abriram caminho para a *Visual Soil Assessment* – VSA, a Avaliação Visual do Solo, proposta por Shepherd *et al.* (2008) e destes para pesquisadores em diferentes países. De forma geral, os autores focam suas pesquisas na avaliação visual de aspectos físicos e biológicos do solo, tendo em vista a agricultura e pecuária, auxiliados por instrumentos e materiais de baixo custo e fácil aquisição, como pá, bacia plástica, recipiente com água, lupa com aumento de 10 vezes (porosidade, mesofauna) ou água oxigenada (microbiota).

Sendo um campo de estudos recente e em evolução, os atributos considerados por diferentes autores (CASALINHO; MARTINS; LOPES, 2007; MOODY; CONG, 2008; NICHOLLS *et al.*, 2004; SHEPHERD *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2016; VÄDERSTAD, 2016) podem variar significativamente. Cor, fauna do solo, erosão, estrutura, porosidade e atividade microbiológica estão entre os atributos principais, mas também a consistência do solo, matéria orgânica, textura, odor, compactação superficial e subsuperficial, índice de cobertura do solo, declividade, pedregosidade, potencial de enraizamento, número de minhocas, encrostamento e alagamento superficial, dentre outros, são atributos considerados por diferentes pesquisadores.

A definição dos atributos inicialmente utilizados em **SENSIA** tomou como base o estudo da *Visual Soil Assessment* – VSA, a Avaliação Visual do Solo, proposta por Shepherd *et al.* (2008). Metodologia fácil, rápida e cientificamente consistente para a avaliação visual de aspectos físicos e biológicos do solo, tendo em vista a agricultura e pecuária, a VSA avalia a textura, estrutura, porosidade, cor e mosqueado do solo, minhocas, potencial de enraizamento, empoçamento superficial, encrostamento, cobertura superficial e erosão.

Seguiram outros autores propondo arranjos diversos, ora acrescentando, ora prescindindo de alguns desses atributos, de modo que ao avançar nas pesquisas, foi-se

incorporando aqueles atributos que pudessem oferecer maior quantidade de informações para efeitos de utilização, não só na agricultura e pecuária, mas também na avaliação e recuperação de áreas degradadas, silvicultura, proteção e fortalecimento de ecossistemas naturais e dos serviços ambientais a eles associados ou por eles promovidos, ao que chamou-se Agroecossistemas, mas também úteis ao planejamento urbano e engenharias civil, sanitária, ambiental, hídrica, etc., ao que inicialmente chamou-se Engenharia e Construção Civil e atualmente de Engenharias e Urbanismo.

Com o aprofundamento da pesquisa bibliográfica, foram se consolidando e incorporando aqueles atributos que pudessem oferecer maior quantidade de informações para efeitos de utilização não só na agricultura e pecuária, mas também na avaliação e recuperação de áreas degradadas, silvicultura, proteção e fortalecimento de ecossistemas naturais e dos serviços ambientais a eles associados ou por eles promovidos, ao que se chamou **Agroecossistemas**. Normas técnicas e legais apontavam para alguns desses atributos e percebeu-se que um mesmo levantamento poderia ser utilizado também no planejamento urbano e engenharias civil, sanitária, ambiental, hídrica, etc., ao que se chamou **Engenharias e Urbanismo**.

De maneira metódica e sequencial, cada atributo foi construído teoricamente buscando os autores de referência na área de Avaliação Visual do solo (BALL; BATEY; MUNKHOLM, 2007; BALL; DOUGLAS, 2003; BATEY; BALL, 2005; EMMETT-BOOTH *et al.*, 2016; GIAROLA *et al.*, 2013; GUIMARÃES *et al.*, 2013; MCGARRY, 2004; MELLONI *et al.*, 2008; MOODY; CONG, 2008; MUELLER *et al.*, 2007, 2009, 2006; NASA, 2014; NICHOLLS *et al.*, 2004; SCHOENEBERGER *et al.*, 2012; SHEPHERD, 2000; SHEPHERD *et al.*, 2008; SHEPHERD, 2009; SOIL SCIENCE DIVISION STAFF, 2017; SOUZA, 2015; SOUZA *et al.*, 2016; THIEN, 1979; USDA, 2017a, b; VÄDERSTAD, 2016; VÄDERSTAD; INITIATIVE-SMI, 2005) e, a partir de suas contribuições, expandindo as pesquisas para as áreas de engenharia, pedologia, mecânica dos solos, legislação, normatização, geotecnia, urbanismo, ecologia, ciências ambientais, etc. (ABNT, 1982, 1995, 2001, 2003; BEJAN; ZANE, 2013; BENEVOLO, 2015; BENYUS, 2003; BRADY; WEIL, 2013; CAPUTO, 1988; COSTA *et al.*, 2015; DAS, 2008; EMBRAPA, 1979, 1997; FARR, 2007; FORMAN, 2014; FRANCO, 2001, 2008; KELLERT; HEERWAGEN; MADOR, 2008; MARGULIS; SAGAN, 2002, 2004; MILLER JR, 2013; MITCHELL; SOGA, 2005; ODUM, 2009; OLIVEIRA, 2011; ORR, 2002; PEREIRA;

ANJOS; VALLADARES, 2005; PINTO, 2006; PRIMAVESI, 2002; RALISCH et al., 2017; RYN; COWAN, 2007; SANTOS, 1996; SANTOS et al., 2006; VERRUIJT, 2012; WHITLOW, 1995; YEANG, 2007).

Durante a construção da parte teórica, cada atributo foi testado e avaliado em campo, utilizando Gaia Terranova como um laboratório vivo, local de diferentes pesquisas realizadas pelo autor (SANGUINETTO, 2009, 2010, 2011b, a, 2012; SANGUINETTO; PAULA, 2013).

Gaia Terranova é um espaço de moradia, estudo, pesquisa e experimentações iniciado em 2007, em terreno de 2.400 m², delimitado em antigo pasto degradado de braquiária, no município de Piranguinho, Sul de Minas Gerais, vale do Rio Sapucaí, região da Serra da Mantiqueira.

A homogeneidade da vegetação (braquiária), solo (latossolo), umidade (1450 mm anuais) e insolação (vertente noroeste), trabalhados seguindo princípios do *design* ecológico, permacultura e agroecologia, resultaram em áreas heterogêneas no uso (gramado, pomar, pequeno bosque, área de cultivo anual, cultivo de hortaliças e duas casas) e ampliada biodiversidade. Hoje ipês rosa, amarelo e branco, pau brasil, jacarandá, araucárias, citros, figo, margaridões, amoras, maracujás, bananeiras, acerolas, limões, orquídeas, santa bárbara, mulungu, atemoia, fruta do conde, cabeludinha, pitangas, urucum, sansões do campo, eucalipto, goiabeiras, jurubebas, pitaia, babosa, palmeiras, flores, gramíneas, pinhão manso, cipós, lianas e outras tantas espécies vegetais são abrigo, ponto de passagem, alimentação e nidificação para canarinhos, gaviões, tucanos, maritacas, jacus, porcos-espinho, gambás, bem te vis, pica paus, rolinhas, pombas asa branca, sapos, pererecas, tatus, siriemas, teiús, abelhas, borboletas, beija-flores, almas de gato, japus, gralhas do campo, carcarás, morcegos insetívoros e frugívoros e outros tantos animais.

A pesquisa teórica e sua aplicação em diferentes ambientes de Gaia Terranova resultaram nas três primeiras versões de um Manual de Campo ou Caderno de Campo. A cada versão, dificuldades no entendimento ou aplicação das descrições dos atributos ensejavam o aprofundamento das pesquisas bibliográficas e novos testes de campo eram feitos. O material deveria ser passível de utilização tanto por técnicos como por não técnicos, o que pressupôs que sua escrita e organização deveriam ser claras, de fácil

e rápido entendimento e aplicação, facilitando a escolha correta da pontuação proposta para o atributo.

Com o Manual ou Caderno de Campo – versão 03 em mãos, saiu o autor com um amigo para o primeiro trabalho coletivo, realizando levantamentos tanto em Gaia Terranova como em lugares próximos, na mesma bacia, que incluíram pasto degradado e várzea. Miguel estudou até o Ensino Médio e presta serviços de jardinagem e manutenção para as chácaras e sítios da região. Conhece o dia a dia no trato das coisas da roça, sabe da prática, mas não domina a teoria e, na troca de conhecimentos, percebeu-se a necessidade de várias modificações no Caderno de Campo, evoluindo para nova versão.

Já mais consolidado, o Caderno de Campo – versão 04 foi testado e avaliado com grupo de 29 alunos do curso de graduação em Gestão Ambiental da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar.

Um primeiro grupo, composto por 6 alunos, foi capacitado na metodologia e, no dia seguinte, cada aluno orientou um grupo de colegas em campo. Os seis grupos formados foram encaminhados para três áreas distintas: mata ciliar, trilha de educação ambiental e cerrado.

Em cada área, dois pontos foram avaliados, cada ponto por um grupo, e as planilhas preenchidas com a pontuação dos atributos definida de comum acordo entre os integrantes de cada grupo, refletindo assim uma pontuação média para cada atributo. As planilhas foram então trabalhadas, duas a duas (dois grupos da mata ciliar, dois grupos da trilha e dois grupos do cerrado), obtendo-se a média das médias, desvios padrões (DP), coeficientes de variância (CV) e presença de *outliers* para cada atributo avaliado. Por fim, os subtotais foram comparados entre si.

As pontuações dos atributos em Agroecossistemas tiveram como base aquelas dadas pelos autores em relação a levantamentos focados em agricultura e pecuária (CASALINHO; MARTINS; LOPES, 2007; MCGARRY, 2004; MELLONI, 2001; MOODY; CONG, 2008; NICHOLLS *et al.*, 2004; SHEPHERD *et al.*, 2008; SOUZA, 2015; SOUZA *et al.*, 2016; VÄDERSTAD, 2016). A maioria desses autores adota três descritores, pontuando ou não cada atributo. Aqueles que são pontuados recebem as notas 0, 1 e 2 ou 1, 2 e 3 para a

representação de restrições crescentes das condições avaliadas, sendo que alguns atributos podem receber pontuações intermediárias de 0,5, 1,5 e 2,5.

Para uma seleção inicial daqueles atributos considerados mais importantes, procedeu-se a um levantamento daqueles utilizados ou referidos pelos autores consultados (Tabela 5.1).

Tabela 5.1. Atributos, autores que os adotam e total.

Atributos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Soma
Cor		1	1		1	1	1	1	1	1	8
Fauna do solo			1	1	1	1	1		1	1	7
Erosão – grau/risco			1		1	1	1	1	1	1	7
Estrutura				1	1		1	1	1	1	6
Porosidade /Infiltração				1		1	1	1	1	1	6
Atividade microbiológica (H ₂ O ₂)				1	1	1		1	1		5
Consistência		1		1				1	1	1	5
Serrapilheira/Matéria orgânica			1		1	1			1		4
Textura		1		1			1	1			4
Odor					1		1		1		3
Compactação					1	1		1			3
Compactação subsuperficial							1		1	1	3
Solo - índice de cobertura			1		1				1		3
Declividade	1						1	1			3
Pedregosidade			1					1	1		3
Mosqueados - número e cor							1			1	2
Raiz – profundidade potencial				1			1				2
Alagamento superficial							1			1	2
Colapso e dispersão de agregados				1				1			2
pH				1				1			2
Macrofauna									1		1
Crostras							1				1
Profundidade da camada sup.									1		1
Compacidade		1									1
Coberturas superficiais							1				1
Torrões – grau e desenv.										1	1
Classe de drenagem								1			1
Distribuição de agregados				1							1
Umidade - retenção de água					1						1
Plasticidade		1									1
Origem		1									1

Atributos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Soma
Salinidade								1			1
Cátions trocáveis								1			1
Fixação de fósforo								1			1

A - Lei Nº 6.766/79 e Decreto Nº 44.646/07; **B** - NBR 7250 e NBR 6484; **C** - Melloni (2001); **D** - McGarry (2004); **E** - Nicholls et al. (2004); **F** - Casalinho; Martins; Lopes (2007); **G** - Shepherd *et al.* (2008); **H** - Moody e Cong (2008); **I** - Souza (2016); **J** - Väderstad (2016); **Soma** – total de autores que utilizaram o atributo.

Como em sua maioria os autores descrevessem três características distintas para cada atributo e alguns incluíssem pontuações intermediárias, entendeu-se necessário adotar descritivos intermediários para todos os atributos, de modo a refinar a descrição de cada um. A estratégia foi elaborar um quadro relacionando as contribuições dos autores para cada atributo, estudar as características desses atributos ampliando as pesquisas bibliográficas para outros autores e áreas do conhecimento, elaborar o descritivo e indicar sua pontuação relativa, adotando:

- a. Pontuação: 1 – muito restritivo; 2 – restritivo; 3 – intermediário; 4 – pouco restritivo; e 5 – sem restrição;
- b. Quantidade variável de descritores dos atributos, as menores com quatro descritores (Pegajosidade e Plasticidade) e a maior com 12 descritores (Textura), mantendo a pontuação de 1 a 5.

Alguns autores consideraram ainda a necessidade de distinguir o valor relativo de cada atributo em relação ao conjunto, adotando pesos de 1 a 3 de modo a estabelecerem essa distinção. A Tabela 5.2 apresenta os atributos, autores, soma e a média dos atributos adotados. Essa média foi considerada e adotada na planilha de análise estatística desenvolvida para a **SENSIA**.

Tabela 5.2. Média de pesos relativos para cada atributo, segundo os autores.

Atributos	Shepherd <i>et al.</i> (2008)	Souza (2015)	Väde rstad (2016)	Mell oni (2001)	McG arry (2004)	So m a	Mé dia
Consistência		3	3		3	9	3
Estrutura	3	3	3			9	3
Compactação (sub)superficial	2	3	3			8	2,7
Erosão - grau (água e vento)	2	3	2	1		8	2
Fauna do solo (minhocas, formigas, aranhas, etc.)	3	1		0,5	2	6,5	1,6
Porosidade/Infiltração	3	3			3	6	3
Raiz - profundidade potencial	3				3	6	3
Cor	2	1	2			5	1,7
Atividade biológica (peróxido de oxigênio)		2			2	4	2
Mosqueados - número e cor	2		2			4	2
Distribuição do tamanho dos agregados					3	3	3
Serapilheira - quantidade, decomposição e incorporação		2		1		3	1,5
Textura	3					3	3
Pedregosidade		2		0,5		2,5	1,25
Crostras e coberturas superficiais	2					2	2
Profundidade da camada superficial		2				2	2
Colapso e dispersão de agregados					1,5	1,5	1,5
Alagamento superficial	1					1	1
Odor		1				1	1
Torrões - grau e desenvolvimento			1			1	1

Fonte: modificado de Shepherd *et al.* (2008), Souza (2015), Väderstad (2016), Melloni (2001) e McGarry (2004).

Embora não encontrando literatura que abordasse a avaliação sensorial e pontuação de atributos para Engenharias e Urbanismo, os trabalhos de Oliveira (2011) em Pedologia Aplicada e Brady e Weil (2013) em Elementos da Natureza e Propriedades do Solo, foram fundamentais no estabelecimento de pontes entre ambas, ao explicitar

em maior ou menor grau, relações e características de Textura, Consistência, Estrutura, Cor, Mosqueado, Infiltração/Permeabilidade, Rochosidade, Pedregosidade e Compactação utilizadas tanto por engenheiros quanto por agrônomos, pedólogos, etc., embora com objetivos diferentes.

Normas brasileiras (ABNT, 1982b, 1995, 2001, 2003) relativas a engenharia civil, indicam avaliações tátil-visuais para Cor, Textura e Consistência sem pontuá-las, enquanto a consulta a legislações no âmbito federal e estadual (Minas Gerais) relativas a parcelamento, uso e ocupação do solo (BRASIL, 1979, 2000, 2012c; CONAMA, 1986; COPAM/CERH-MG, 2008; COPAM, 2002; FEAM, 2019a, b; MINAS GERAIS, 2013, 1992, 2007), definiram adequações, limitações e restrições para atributos como Declividade, Relevo, Fauna e Flora e a necessidade de manutenção de áreas de preservação permanente, recursos hídricos, etc., influenciando diretamente na atribuição das pontuações para esses atributos.

Consolidada a ligação entre as duas grandes áreas dos Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo, a pesquisa se voltou para escritos relativos à mecânica dos solos (CAPUTO, 1988; DAS, 2008; MITCHELL; SOGA, 2005; ORTIGÃO, 2007; PINTO, 2006; VERRUIJT, 2012; WHITLOW, 1995), buscando informações e conhecimento para embasar a descrição e pontuação das Engenharias e Urbanismo.

Ao mesmo tempo em que iam-se consolidando os atributos, seus descritivos e pontuações, um Caderno ou Manual de campo era construído e testado em diferentes situações, aprimorando-o ao longo de versões sucessivas até a 11a versão, que foi submetida a especialistas para validação.

Com a evolução da pesquisa bibliográfica e trabalhos de campo, entendeu-se de pouca relevância descrever e pontuar alguns atributos, como Profundidade de enraizamento ou Alagamento superficial, que passaram a fazer parte do descritivo de outros atributos. Da mesma forma, entendeu-se que os atributos até então utilizados não descreviam adequadamente o espaço no entorno dos pontos amostrais, notadamente para os grupos Paisagem e Biota, e novos atributos foram criados e incorporados: Clima e Zoneamento Bioclimático (ZBC), Forma de relevo, Orientação da vertente, Movimento de massa e Flora.

As pontuações para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo são as mesmas para os atributos: Formas de relevo, Orientação da vertente, Pedregosidade e Rochosidade, Erosão, Movimento de Massa, Odor, Mosqueado, Dispersão e Desintegração por entender-se que apresentam graus semelhantes de adequação e/ou restrição para as duas grandes áreas.

Para os atributos Cobertura do solo, Flora, Fauna, Organismos do solo, Matéria orgânica e Compactação a pontuação é inversa. Essa foi uma decisão tomada considerando compatibilizar o uso e ocupação antrópicos (Engenharias e Urbanismo) do espaço, e a produção de alimentos (agricultura e pecuária) e silvicultura, em sintonia com a proteção de ecossistemas naturais e os serviços ambientais por eles prestados (Agroecossistemas), de tal forma que estes últimos tenham, sempre que possível, preferência sobre os primeiros.

Em outras palavras, quando a pontuação desses atributos para Agroecossistemas é alta, evidenciando uma condição “sem restrição”, Engenharias e Urbanismo recebem baixa pontuação (muito restritivo) de modo a priorizar a ocupação pelos primeiros. Inversamente, quando a pontuação de Agroecossistemas é baixa para esses atributos, isso é um indicativo de que as condições são muito restritivas para a produção de alimentos e a manutenção ou recuperação de ecossistemas naturais, favorecendo assim a utilização do espaço pelas Engenharias e Urbanismo.

5.3 Teste de materiais

Materiais e equipamentos de uso mais comum ou cotidiano foram testados durante a construção e evolução da **SENSIA**. Na falta de um GPS, um *smartphone* com acesso à internet pode ser utilizado para geolocalização dos pontos amostrais, assim como, na avaliação da Paisagem, aplicativos gratuitos podem auxiliar na definição do Zoneamento Bioclimático (site do Projeteo e programa ZBBR – Classificação Bioclimática dos Municípios Brasileiros), classes de Declividade (aplicativo *Clinometer*, p.ex.), Formas de relevo, Orientação de vertentes e Erosão e Movimentos de massa (Google Earth). Em aspectos Físicos do solo, alguns aplicativos podem facilitar e identificar com melhor

precisão a Cor e Tonalidade de uma amostra (foram testados, com bons resultados, o *Soil Analyses*, *Munsell color chart* e *Color Grab*, todos gratuitos).

Para a Avaliação Visual do Solo – AVS, um conjunto de procedimentos e ferramentas simples e acessíveis foi proposto por Shepherd *et al.* (2008), Väderstad (2016) e Väderstad; Initiative-SMI (2005) e foram testados nas avaliações da Biota e do Solo:

- 1 pá para cavar um cubo de 20cm de solo superficial;
- 1 bacia ou balde plástico para o teste de ruptura;
- 1 placa de madeira no fundo da bacia ou balde para o teste de ruptura;
- 1 saco de plástico transparente e reforçado para espalhar o solo após o teste de ruptura;
- 1 guia de Avaliação Visual do Solo para comparações fotográficas;
- 1 planilha para registrar as notas de cada indicador.

Para esse conjunto de ferramentas, Shepherd *et al.* (2008) acrescentam:

- 1 faca com 20cm de comprimento para determinar a penetração no solo e profundidade potencial de enraizamento;
- 1 garrafa de água para avaliar a classe textural do solo no campo;
- 1 fita métrica para medir a profundidade potencial de enraizamento.

Os procedimentos indicados por Väderstad, 2016 e Shepherd *et al.* (2008) convergem em vários pontos:

1. **Umidade do solo** - embora possa ser feito sob variadas condições de umidade, sugere-se que o teste seja feito com solo em umidade propícia para o cultivo. Para determinar essa umidade, colhe-se uma porção de solo esfregando entre a ponta dos dedos e a palma da mão para fazer um cilindro de 50 mm de comprimento por 4 mm de diâmetro. Se o cilindro quebrar antes de estar pronto ou se o solo for arenoso, as condições são propícias para o teste. Se for possível fazer o cilindro o solo estará úmido demais para o teste.

2. **Tempo** – cerca de 15 minutos por amostra, mínimo de 3 a 4 amostras por área (VÄDERSTAD, 2016); 25 minutos por amostra, mínimo de 4 amostras para uma área de 5ha (SHEPHERD *et al.*, 2008).
3. **Preparação** – é importante planejar e preparar adequadamente o trabalho de campo.
 - **Amostra de referência** – sob uma cerca ou área protegida, onde o pastoreio ou cultivo são relativamente menos impactantes, colha-se uma amostra do solo relativamente inalterado para referência de sua matriz de cor, estrutura e porosidade. Sugere-se anotar com exatidão os pontos de avaliação, de modo a refazê-la periodicamente, estabelecendo sua evolução no tempo.
 - **Representatividade** – os locais de avaliação devem ser representativos da área em estudo. Deve-se evitar locais de tráfego intenso, a não ser que se deseje avaliar os impactos de máquinas e animais em comparação com locais menos movimentados.
 - **Preparação do equipamento** – colocar a placa de madeira no fundo da bacia ou balde e fixar ao lado o saco plástico aberto (VÄDERSTAD, 2016).
4. **Informações do local** – anotar na planilha informações relevantes sobre o local, como erosão, inundação, fogo, etc.
5. **Execução do teste**
 - **Observação inicial** – cavar um buraco de 20x20x30cm com a pá e observar o solo superficial e o subsolo quanto a uniformidade e, utilizando a faca, identificar se é friável ou duro e firme (SHEPHERD *et al.*, 2008).
 - **Preparo da amostra** – retirar com a pá um cubo de 20x20x20cm do solo superficial. Se o solo superficial for menos profundo, deve-se cavar novo buraco de modo a compor a amostra com a espessura determinada de 20cm. O mesmo procedimento se pode fazer para conhecer as propriedades de camadas ou horizontes subsuperficiais, que podem trazer importantes informações para o crescimento das plantas e o manejo da área (SHEPHERD *et al.*, 2008).
 - **Teste de quebra de queda** – deixar a amostra cair, no máximo três vezes, de uma altura de um metro (altura da cintura) sobre a placa de madeira no interior do balde ou bacia. Se grandes torrões se formarem após a primeira ou segunda

quedas, deixar cair os torrões individualmente uma ou duas vezes. Não repetir o teste mais que três vezes com qualquer porção de terra.

- **Separação dos agregados** – transferir o solo do balde ou bacia para dentro do saco plástico e movimentar o solo de modo que os torrões maiores fiquem em uma extremidade e os agregados mais finos na outra extremidade (VÄDERSTAD, 2016).
 - **Fracionamento dos torrões** – fracionar os torrões com a mão ao longo de qualquer fissura ou plano de fratura (VÄDERSTAD, 2016).
 - **Pontuações** - comparando o solo no saco plástico com as fotografias, tabelas e descrições do guia de campo, pontuar sistemática e cuidadosamente cada indicador.
6. **Indicadores de vegetação** – a avaliação visual da vegetação pode ser feita juntamente com a avaliação visual do solo, embora alguns indicadores, como o grau e natureza do desenvolvimento das raízes e grãos deva ser feito na época de maturação da cultura (VÄDERSTAD, 2016).

Moody e Cong (2008) propõem metodologia um pouco diferente, utilizando pá ou enxada para cavar um “mini poço” (*mini-pit*) com 40cm de largura, 60cm de comprimento e 50cm de profundidade. Uma faca é então utilizada para cuidadosamente raspar uma das faces do mini poço de modo a permitir sua observação. A pontuação se faz nas profundidades de 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm e 30-50cm, considerando: textura, cor, estrutura e consistência, presença de raízes e poros visíveis, classe de dispersão, porcentagem de cascalho. Avalia-se em seguida as classes de permeabilidade, drenagem e suscetibilidade à erosão, determinando ainda a presença de eventual camada de compactação e sua profundidade, bem como a presença de características vérticas (presença de estruturas cuneiformes e/ou paralelepípedicas com eixo inclinado, fendas, superfícies de fricção, textura geralmente argilosa ou muito argilosa com argilas 2:1 de características expansivas).

5.4 Pontos amostrais

A escolha dos pontos de amostragem não é bem definida pela literatura consultada. Shepherd *et al.* (2008) indicam quatro amostragens em uma área de 5ha para que a avaliação da qualidade do solo seja representativa, enquanto Väderstad (2016) indica que de 3 a 4 amostragens devem ser feitas em cada campo. Ambos indicam sejam avaliadas amostras de referência, retiradas de locais com pouca interferência antrópica, debaixo de cercas ou em áreas preservadas ou não cultivadas por muitos anos. McGarry (2004) orienta a escolha dos locais tendo em vista: a comparação entre diferentes tipos de manejo, solos com problemas de erosão, empoçamento, mal drenados, etc., áreas antes e depois do cultivo ou pastejo, áreas naturais e agricultadas, áreas altamente impactadas, etc.

As metodologias consultadas foram desenvolvidas para a produção agrícola e sistematizam a escolha dos locais para as amostragens, determinando apenas de 4 a 6 pontos amostrais por hectare. Trabalhando com a perspectiva de um levantamento mais detalhado de áreas ou bacias hidrográficas com vistas a seu zoneamento com objetivos de preservação, recuperação de áreas degradadas, produção agrícola, pecuária, silvicultura, engenharias e urbanismo, propõe-se que a escolha dos pontos de amostragem deva ocorrer da seguinte forma:

1. Partindo de um terreno ou área ou região de interesse, identifica-se a bacia hidrográfica (linha vermelha na Figura 5.1) que a contenha, que pode ser tanto a menor bacia hidrográfica, aquela de cursos d'água que se formam a partir das nascentes, como aquelas delimitadas a partir da junção de dois ou mais tributários.
2. Do início da bacia e seguindo a montante, estabelecem-se linhas transversais ao canal de drenagem (linhas amarelas na Figura 5.2), cujas extremidades se juntam aos limites da bacia, uma no primeiro terço (mais próximo à foz), outra no segundo terço e uma terceira próximo ou acima da(s) nascente(s).
3. Toda bacia está delimitada pelas cumeadas das elevações topográficas que a formam. Uma linha imaginária que inicie no leito de drenagem e siga em direção à cumeada, atravessará, grosso modo, as seguintes topografias: curso d'água ou leito de drenagem, várzea, sopé da encosta, encosta e topo da encosta, por onde passa a linha de cumeada.

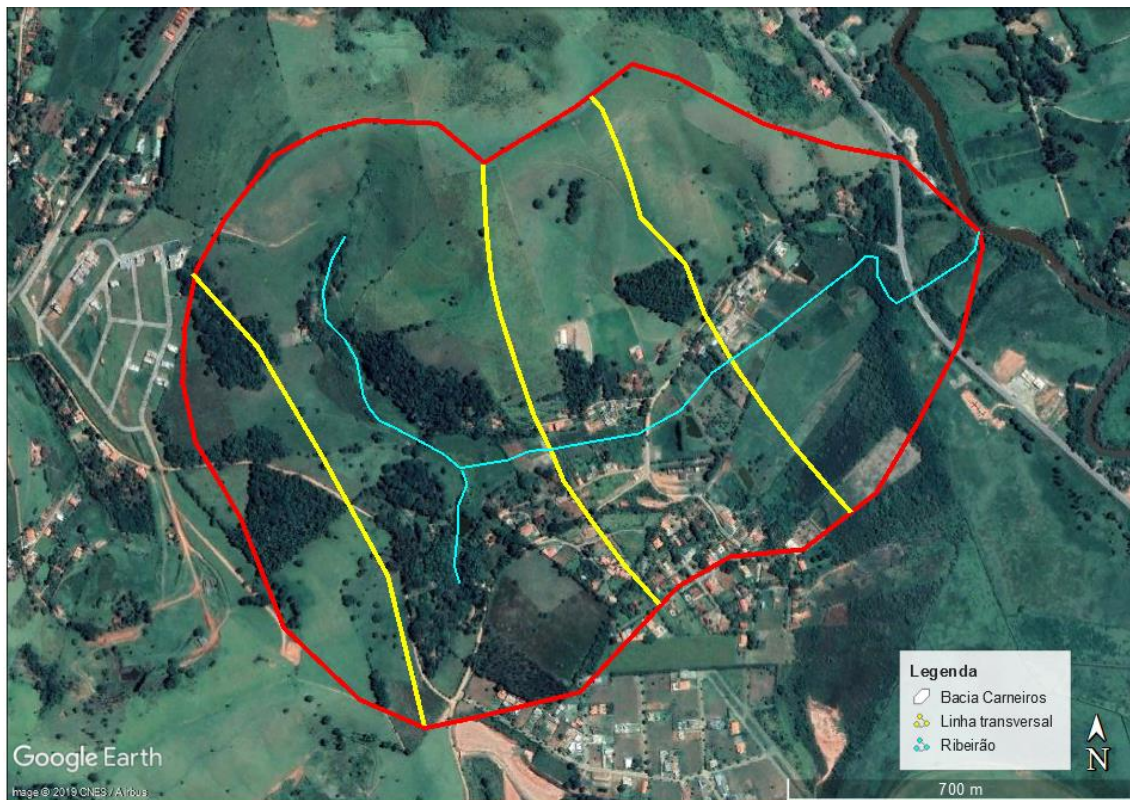
4. Os pontos de amostragem devem seguir essa mesma orientação, como mostram as setas brancas na Figura 5.3, tanto de um lado quanto de outro do leito drenante.
5. No campo, percebendo-se grande variação no tipo de terreno, vegetação, pedregosidade, etc., novos pontos de amostragem devem ser considerados de modo a refletirem essas mudanças.
6. As avaliações de campo devem incluir ainda a necessidade ou não de, para cada ponto amostral, buscar seu correspondente em área pouco alterada, debaixo de cercas ou em áreas preservadas próximas.
7. Nos pontos amostrais, acompanhar a sequência avaliativa proposta no Caderno ou Manual de Campo.

Figura 5.1. Delimitação de bacia (vermelho).



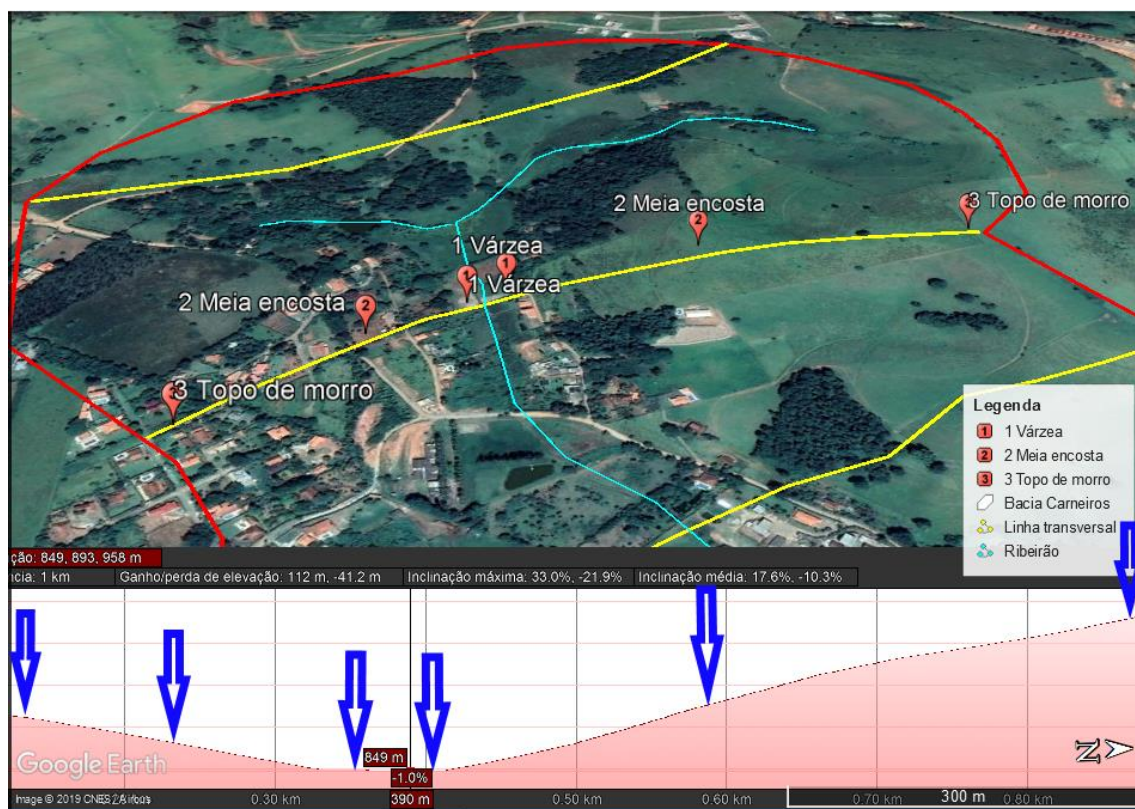
Fonte: modificado de Google Earth Pro (2018).

Figura 5.2. Linhas transversais principais (amarelo).



Fonte: modificado de Google Earth Pro (2018).

Figura 5.3. Linha transversal e indicação dos pontos de amostragem.



Fonte: modificado de Google Earth Pro (2018).

5.5 Ferramentas para levantamentos de campo

Para testar as metodologias e equipamentos propostos, procedeu-se a visitas no comércio popular em busca de soluções em equipamentos que pudessem ser facilmente encontradas em quaisquer localidades brasileiras e que apresentassem qualidade razoável e baixo custo.

Em “lojas de 1,99” foi possível encontrar bandejas plásticas reforçadas (no Sul de Minas utilizadas para a fabricação e transporte de queijos e/ou hortifrutis), sacos plásticos para coleta de amostras, peneiras com diferentes aberturas de malha (peneira plástica de macarrão com abertura de malha de 2 mm, permitindo separar solo grosso e fino; peneira Tramontina *Speciale* com abertura de malha de 0,4 mm para estimar porcentagem do grupo areias médias, finas, silte e argila presente nas amostras).

Incursões de campo foram feitas nas proximidades da residência do pesquisador, para coleta de amostras de solo avaliando diferentes instrumentos de coleta (pá, enxada, enxadão, cavadeira dupla, pazinha de jardinagem).

Foram agendadas e feitas visitas a profissionais de mercado (engenheiros, práticos, técnicos) buscando afinar percepções táteis e visuais na identificação de diferentes texturas e propriedades de solos.

Os procedimentos descritos pelos autores foram reproduzidos em condições de campo buscando entendimento, aferição e prática. Da mescla entre teoria e prática, procedeu-se a adaptações relativas às metodologias, ferramentas e instrumentos de modo a comporem um conjunto facilmente encontrado nos mercados locais e passíveis de transporte e utilização em diferentes condições de campo.

O Quadro 5.5 traz uma estimativa dos preços dos equipamentos, tendo por base cotações feitas pela internet e considerando os preços médios tendendo aos mais elevados. Muitas adaptações podem ser feitas e a maioria das ferramentas e utensílios estão disponíveis nas propriedades rurais e/ou são de uso comum.

Quadro 5.5. Equipamentos para as práticas de campo.

Equipamentos	Preço (R\$)*
1 GPS ou celular com GPS para marcar os Pontos de Amostragem (PA)	-
1 cavadeira articulada Tramontina para abrir um minipoço com 20cm de largura, 30cm de comprimento (duas vezes a largura da cavadeira) e 40cm de profundidade (duas vezes o tamanho da pá da cavadeira)	50,00
1 maleta plástica para ferramentas	40,00
1 pazinha larga de jardinagem Tramontina	6,00
1 enxadinha (sacho) de jardim Tramontina	14,00
1 faca ou facão para mato Tramontina	20,00
1 fio de arame de 3 mm de espessura	-
1 lápis para teste de penetração (lado não apontado)	-
1 bandeja plástica reforçada (p.ex., as utilizadas para transporte de queijo, leite ou muçarela) para o teste de ruptura	15,00
Uma bandeja plástica mais larga para espalhar o solo após o teste de ruptura (observações, distribuição granulométrica, fotografias)	20,00
Sacos plásticos 15x20cm para coleta de amostras (100 un. caso necessário)	13,00
1 caneta de retroprojeter para anotações em plástico	5,00
1 prancheta	3,00
1 anel plástico com altura de 15cm e diâmetro de 10cm (p.ex., luva PVC 100 mm para esgoto)	7,00
1 garrafa PET ou pote plástico com volume previamente marcado em 400 ml (umedecer o solo e teste de permeabilidade)	-
1 recipiente maior para transportar água (garrafa PET ou galão usado)	-
1 trena Vonder 5 m para medir a profundidade das camadas	11,00
1 almofariz pequeno com pistilo para pulverizar e homogeneizar as amostras (caso necessário)	30,00
1 frasco de peróxido de hidrogênio líquido, 10 volumes, 100 ml (água oxigenada, H ₂ O ₂)	3,00
1 nível de pedreiro	20,00
1 guia ASAI para interpretações de campo	-
Planilha de campo ASAI, lápis ou caneta para registro das notas dos atributos e observações	-
TOTAL	257,00

Fonte: Autor.

* Preços médios, pesquisados na internet em 27.05.2017.

Para os levantamentos de campo, ferramentas simples (Figura 5.4), de baixo custo e de fácil aquisição são utilizadas.

Aplicativos gratuitos para *smartphones* podem auxiliar na definição dos atributos: Clima e Zonas Bioclimáticas, Declividade, Orientação das vertentes e

Movimento de massa, enquanto o uso de peróxido de hidrogênio (água oxigenada) auxilia em Organismos do solo.

Para Solo, são utilizados 400 ml de água e anel plástico de 100 mm, cronometrando o tempo para que toda água infiltre (Infiltração), arame de 3 mm de espessura (Compactação), cavadeira para abertura de pequeno buraco de 20 cm x 20 cm e retirada de porção lateral do mesmo para avaliação de outros atributos, caixa plástica (Estrutura), lupa (Porosidade), aplicativo gratuito (Cor, Tonalidade e Mosqueado), água e borrifador (Consistência úmido, plasticidade e pegajosidade) e pequeno pote com água (Desintegração e Dispersão).

Figura 5.4. Ferramentas de campo.



Fonte: autor.

Os operadores levam consigo uma planilha de campo em que os dados relativos ao local e eventuais observações são anotadas (Figura 5.5), bem como anotadas as pontuações para cada atributo (Figura 5.6). Um operador mais experiente poderia fazer sozinho os levantamentos, sugerindo-se, no entanto, que os mesmos sejam feitos em grupo, de modo a se obterem as pontuações médias, diminuindo a possibilidade de erros.

Figura 5.5. Identificação do local do levantamento.

SENSIA. PONTUAÇÃO DOS ATRIBUTOS.

Data: ____/____/____

Pesquisador(a):	
Email:	
Nome do lugar (endereço):	
Proprietário:	
Bairro:	Cidade:
Longitude (UTM-WGS 84):	Latitude (UTM-WGS 84):
Altitude (m):	
Uso geral atual da terra (protegido, pousio, capoeira, pasto, cultivo, reflorestamento, etc):	

OBSERVAÇÕES:

Fonte: Autor.

Figura 5.6. Recorte da planilha de pontuações de campo.

SENSIA. PONTUAÇÃO DOS ATRIBUTOS.

Pesquisador(a): _____ Data: ____/____/____

PA – Pontuação para Agroecossistemas PEU – Pontuação para Engenharia e Urbanismo Coordenadas UTM K 23, WGS 84	Referência			Ponto 01			Ponto 02			Ponto 03		
	Lon.			Lon.			Lon.			Lon.		
	Lat.			Lat.			Lat.			Lat.		
	Alt.			Alt.			Alt.			Alt.		
	Uso:			Uso:			Uso:			Uso:		
	Prof.:			Prof.:			Prof.:			Prof.:		
ATRIBUTOS												
PAISAGEM												
1	Clima e Zonas Bioclimáticas											
	Subtotal											
BIOTA												
2	Forma de relevo											
3	Declividade											
4	Orientação da vertente											
5	Pedregosidade e Rochosidade											
6	Erosão											
7	Movimento de massa											
	Subtotal											
BIOTA												
8	Flora											
9	Fauna											
10	Cobertura do solo											
11	Matéria orgânica											
12	Odor											
13	Organismos do solo											
	Subtotal											
SOLO												
14	Permeabilidade											
15	Compactação											
16	Estrutura											
17	Porosidade											

Fonte: Autor.

Legenda: **PA** – Pontuação para Agroecossistemas; **PEU** – Pontuação para Engenharias e Urbanismo.

5.6 Subjetividade de SENSIA

A avaliação sensorial dos atributos traz elevado grau de subjetividade, que é amenizada pelas orientações do Caderno de Campo, pelo consenso do grupo em caso de pontuações discordantes, ou pela média obtida das várias medições individuais anotadas. Mesmo o Caderno de Campo pode conter incorreções, orientações distorcidas, frases pouco compreendidas, palavras ou conceitos desconhecidos, etc., todos contribuindo para a determinação de pontuações que não expressam de maneira adequada o atributo sob análise. Sendo assim, eventuais discordâncias nas pontuações são captadas por *outliers* ou DP elevado ou CV elevado (> 30%), indicando a necessidade de avaliar os atributos para entender as discrepâncias, que podem ser de quatro tipos:

- a. **Avaliação do atributo** – o método utilizado para avaliação do atributo pode não ser o mais adequado, de difícil compreensão ou muito trabalhoso, induzindo a erro. Nesse caso, buscou-se a substituição do método, como em Declividade, que no início era obtida com auxílio de um nível de pedreiro, logo evoluindo para um aplicativo de *smartphone*.
- b. **Descrição do atributo** – uma escrita pouco clara ou genérica demais, frases muito técnicas ou palavras pouco conhecidas podem dificultar o entendimento da descrição do atributo, levando a erros na pontuação. Sendo esse o caso, procedeu-se a mudanças na descrição do atributo e eliminação das palavras, termos técnicos ou frases mais “difíceis”, de modo a facilitar o entendimento para um público mais amplo.
- c. **Descuido do operador** – a descrição de características semelhantes para um mesmo atributo pode levar a pontuações discordantes. Um exemplo pode ser novamente a Declividade que, de 0 a 6% define um terreno plano a suave ondulado, que tanto pode ser uma várzea como um topo de morro, ambos com pontuação bastante diferentes. Tem-se aqui a necessidade de aprimorar a capacitação dos operadores e/ou ressaltar as diferenças no descritivo do atributo.
- d. **Diferenças de percepção e/ou de amostra** – a sensibilidade pessoal e/ou avaliação de amostras diferentes de um mesmo ponto amostral, pode resultar em pontuações diversas dentro do grupo e, nesse caso, mantém-se a pontuação.

Como exemplo, em Organismos do solo uma amostra pode apresentar maior ou menor profusão de mesorganismos em relação a outra amostra, retirada do mesmo ponto amostral. Essa variação pode ser explicada tanto por diferenças nas amostras observadas, como pela subjetividade e percepção visual de diferentes operadores, ambas refletindo nas pontuações.

5.7 Análises estatísticas

As análises estatísticas básicas (*outliers*, Desvio Padrão- DP e Coeficiente de Variância - CV) ofereceram subsídios para o aprimoramento do Caderno de Campo, assim como da planilha de campo onde as pontuações foram anotadas. Vale ressaltar ainda que em todos os levantamentos coletivos realizados, os participantes foram incentivados a colaborar no sentido de evidenciar as falhas, dificuldades ou diferenças de interpretação do Caderno de Campo. Muitas contribuições, anotadas nos próprios cadernos, foram acolhidas e incorporadas, contribuindo para seu refinamento. Ao final de cada trabalho de campo, uma roda de conversas buscando retorno dos participantes auxiliou nas adaptações, melhorias de escrita, organização, disposição dos textos, inclusão de figuras explicativas, reavaliação de pontuações em alguns atributos e mudanças na planilha de campo, dentre outras.

Associada ao Caderno de Campo, na Planilha de Campo são anotadas as pontuações dos diferentes atributos e também essa evoluiu em sua apresentação e organização. De início, todos os atributos formavam um único corpo, mas as múltiplas saídas a campo, individual e coletivamente, apontaram para a necessidade de modificações, que foram implementadas e testadas:

- a. Uma coluna para observações sucintas foi acrescentada antes das pontuações;
- b. Atributos foram separados, agrupados ou modificados - Cor e Tonalidade eram inicialmente pontuados separadamente e atualmente são pontuados em conjunto; Compactação antes era tratado como Compactação Superficial e Compactação Subsuperficial; Permeabilidade foi transformada em Infiltração; etc.;

- c. A disposição de alguns atributos na planilha foi modificada, de modo a racionalizar o tempo de levantamento no campo e uniformizar a umidade requerida para alguns atributos – a Infiltração passou a ser avaliada antes de Estrutura e Cor e Tonalidade, já que ambas pedem solo umedecido, enquanto a avaliação da Compactação pode ser enganosa se o solo estiver seco (consistência dura);
- d. Foram testados campos para a pontuação de profundidades além da camada superficial;
- e. Novos atributos foram desenvolvidos: Clima e Zoneamento Bioclimático, Movimento de Massa, Fauna e Flora de modo a ampliar a coleta de dados para o planejamento integrado.

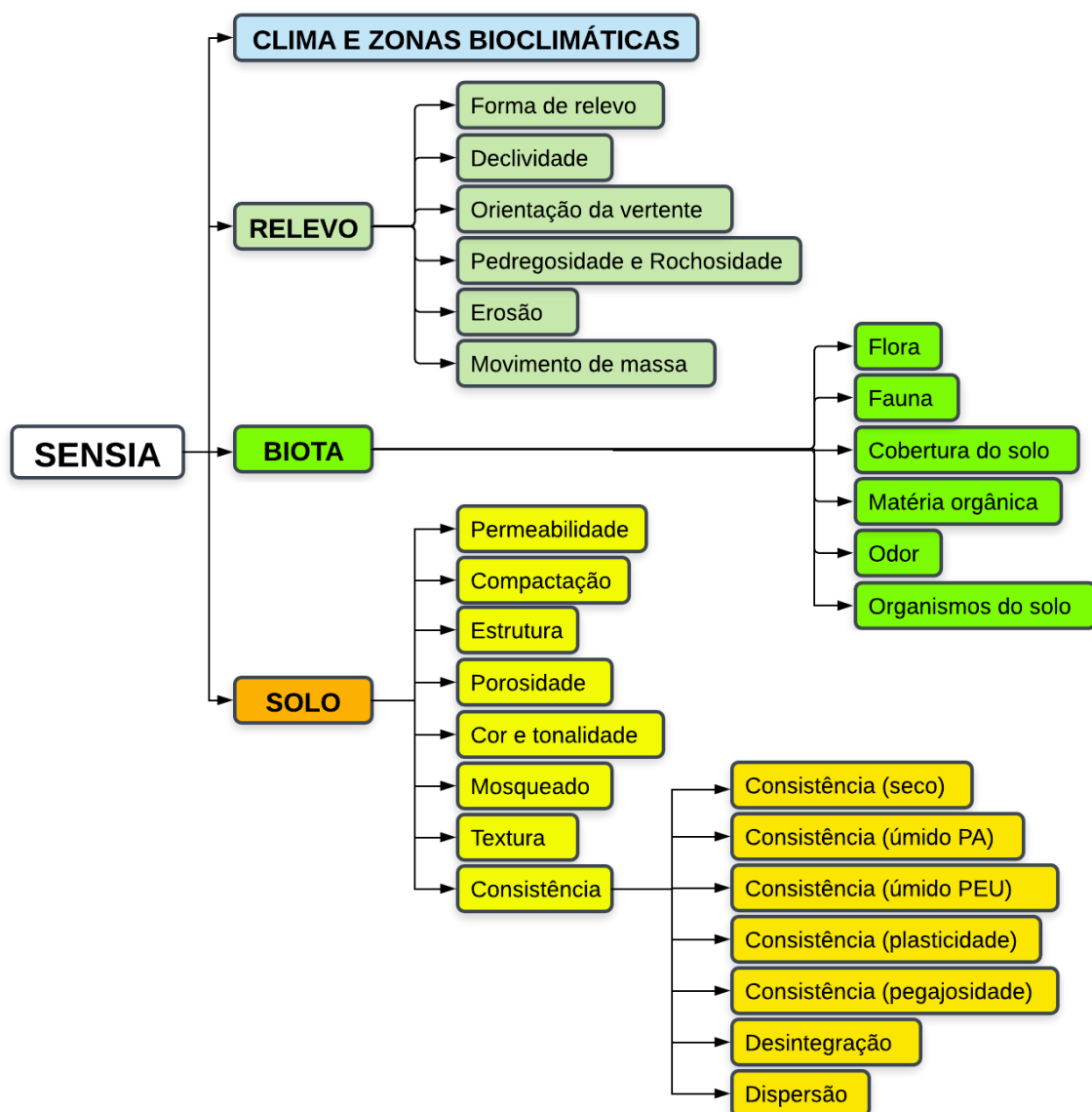
6 SENSIA

Incorporando diferentes atributos dos meios biótico e abiótico, adotou-se nesse estudo um sentido amplo para Paisagem, resultado da incorporação, interação e integração entre Clima, Relevo, Biota e Solo avaliados para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo. Esses são descritos por 27 atributos, com pontuações atribuídas aos Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo (Figura 6.1):

1. **Clima e Zonas Bioclimáticas**
2. **Relevo** - Formas de relevo, Declividade, Orientação da Vertente, Pedregosidade e Rochosidade, Erosão e Movimento de Massa;
3. **Biota** – Flora, Fauna, Cobertura do Solo, Matéria orgânica, Odor e Organismos do solo;
4. **Solo** – Permeabilidade, Compactação, Estrutura, Porosidade, Cor e Tonalidade, Mosqueado, Textura e Consistência [Consistência seco, Consistência úmido (Agroecossistemas), Consistência úmido (Engenharias e Urbanismo), Plasticidade, Pegajosidade, Desintegração e Dispersão].

A ordem de apresentação dos atributos considerou as experimentações de campo e refletem o encadeamento dos procedimentos de modo a otimizar o tempo de avaliação de cada ponto amostral. Os atributos foram organizados em compartimentos com características semelhantes, de modo a possibilitar comparações entre diferentes pontos amostrais e características de Relevo, Biota e Solo. Essa organização embute em si mesma alguma falha, já que um mesmo atributo poderia se fazer presente em diferentes grupos ou subgrupos, caso de Cobertura do solo, Matéria orgânica e Organismos do solo, por exemplo, que estão em Biota, embora intimamente ligados ao Solo.

Figura 6.1. Estrutura SENSIA.



Fonte: Autor.

7 Clima e Zonas Bioclimáticas (ZBCs)

Em grande medida são as condições atmosféricas (temperatura, precipitação, umidade relativa, radiação, força e intensidade dos ventos) ao longo do tempo, o **Clima**, que determinam ou influenciam as condições físicas, químicas e biológicas de uma região (relevo, intemperismo, ecossistemas, etc.) que, por sua vez, criam as condições microclimáticas locais (BRADY; WEIL, 2013; MILLER JR, 2013; OLIVEIRA, 2011).

Clima é palavra de origem grega que indica “inclinação”, referindo-se ao ângulo de inclinação do eixo do planeta em relação ao plano de sua órbita e responsável pela incidência variável de energia solar na superfície do globo ao longo do ano, estabelecendo as diferentes estações.

A insolação ou quantidade de radiação solar que chega à superfície terrestre em um dado tempo ou período, influencia em maior ou menor grau o aquecimento da superfície que, por sua vez, gera diferenças de pressão atmosférica estabelecendo as correntes de vento que concentram ou distribuem calor e umidade pelo planeta.

Radiação solar, umidade e temperatura são os principais atributos climáticos a se considerar quanto à produtividade primária dos Agroecossistemas enquanto que, para as Engenharias e Urbanismo, notadamente os processos de urbanização e construção de moradias, a distribuição desigual de calor e umidade são as variáveis principais no estabelecimento do conforto e desconforto humano e animal, diretamente ligados à saúde, bem-estar e produtividade.

O conhecimento do Clima da região e especialmente o microclima local da área sob estudo deveriam ser considerações essenciais para a ocupação do espaço e desenvolvimento das atividades humanas. As múltiplas relações estabelecidas com a Forma de relevo, Declividade e Orientação das vertentes (ver os tópicos) e os movimentos maiores das massas de ar trazendo frio e/ou seca durante o inverno ou chuvas e calor mais intensos durante o verão, permitem entender quais pontos ou áreas ou locais tendem a ser mais úmidos ou secos, com maior ou menor incidência solar, mais quentes ou frios, os caminhos das brisas durante o dia e à noite, todos elementos indispensáveis a um *design*, planejamento e construção mais eficientes.

Se em sentido mais amplo a insolação está associada á inclinação do eixo terrestre, em sentido mais restrito, pontual, em um dado lugar, a insolação depende do relevo, inclinação e orientação das encostas, altitude, cobertura do solo (massas de água, vegetação, rochas ou sem cobertura) e nebulosidade. No conjunto, são responsáveis pela variação da temperatura, umidade, direção e intensidade das brisas e ventos, formando o **Microclima** local (ver Formas de relevo, Declividade e Orientação de vertentes), que pode ser mais ou menos diferente do clima predominante na região.

Identificadas essas variáveis, é possível estabelecer estratégias de *design* e planejamento de modo a potencializar seus benefícios (por exemplo, estratégias de iluminação e ventilação passivas em uma residência), ao mesmo tempo que pode evitar ou minimizar perdas materiais, sociais, econômicas, humanas e biológicas nos Agroecossistemas (agricultura, pecuária, silvicultura e ecossistemas naturais) e Engenharias e Urbanismo (infraestrutura, construções e urbanismo), em função de eventos climáticos extremos, deslizamento de encostas, enchentes, etc.

A formulação do Zoneamento Bioclimático Brasileiro estabelecendo as **Zonas Bioclimáticas**, “regiões geográficas homogêneas quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano” (ABNT, 2003), tem sido objeto de estudos e pesquisas nas últimas décadas (ABNT, 2003; LAMBERTS, 2016; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; RORIZ, 2004; UFSC, 2018) e base para a formulação das pontuações sugeridas no presente estudo.

O objetivo desse tópico foi descrever, caracterizar e pontuar as Zonas Bioclimáticas Brasileiras (ZBC) para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo, como parte de um processo mais amplo de descrição e pontuação da Paisagem de um lugar, que inclui ainda o Relevo, a Biota e o Solo, totalizando 27 atributos, compondo o **SENSIA** – Procedimentos para Avaliação Sensorial de Atributos Climáticos e da Paisagem - Os sentidos da visão, tato, olfato e audição aplicados ao diagnóstico ambiental.

7.1 Radiação solar, Insolação e Massas de ar

Uma pequena fração da energia que irradia do Sol chega ao planeta Terra e, antes de atingir a superfície, parte dessa energia é refletida, absorvida ou difundida na

atmosfera. A energia que chega à superfície é em parte absorvida pelo solo, água e vegetação e em parte refletida de volta à atmosfera.

A inclinação do eixo terrestre em relação ao plano de sua órbita, os movimentos de rotação em torno de seu eixo e a translação em torno do sol, determinam diferenças na incidência de **radiação solar** (quantidade de energia solar) sobre a superfície planetária, enquanto o tempo (horas por dia) de radiação incidente na superfície é chamado **insolação**.

Essa incidência é ainda variável em função da quantidade de umidade na atmosfera, cobertura de nuvens, relevo, cobertura do solo, etc., resultando em diferentes temperaturas ao longo do dia, do ano, da altitude e da latitude. Diferenças de temperatura (mais frio nas latitudes e altitudes maiores, mais quente nos trópicos, equador e baixas altitudes), originam correntes e **massas de ar** que se movimentam em diferentes altitudes, velocidades e latitudes, transportando, dissipando ou concentrando calor e umidade.

A atuação das massas de ar sobre uma região e a interação ou “choque” entre diferentes massas de ar, respondem pelas chuvas, estiagens, tempestades, nevascas, ciclones, tufões, furacões, zonas desérticas (quentes ou frias), etc., tanto a nível local como planetário. Insolação (tempo de céu claro e incidência solar), calor, frio, brisas e ventos, umidade e *secura* caracterizam o clima de um local e, na interação com a superfície, auxiliam e conduzem a moldagem dos relevos, solos, drenagem, etc., criando diferenças locais, regionais e continentais, que por sua vez conduzem a adaptação das formas de vida que se estabelecem nesses diferentes locais, formando a variedade e diversidade dos biomas e ecossistemas presentes no planeta.

Numa perspectiva macro, a incidência diferencial da radiação solar sobre o planeta, o tempo que a mesma opera na superfície (Insolação) e a desigual retenção de calor pela massa sólida emersa (maior no hemisfério norte) e massa hídrica (maior no hemisfério sul), criam zonas de alta e baixa pressão que fazem mover as massas de ar, variando a direção em função da variação de pressão e temperatura.

Durante o dia, as áreas continentais se aquecem mais rapidamente que os corpos d'água, o ar próximo ganha calor, expande, diminui a densidade e inicia a ascensão

vertical (convecção), formando zonas de baixa pressão. Para ocupar o lugar do ar que ascende, um ar mais frio e denso (alta pressão) se desloca horizontalmente (advecção) vindo do oceano em direção ao continente e formando as brisas oceânicas ou marítimas.

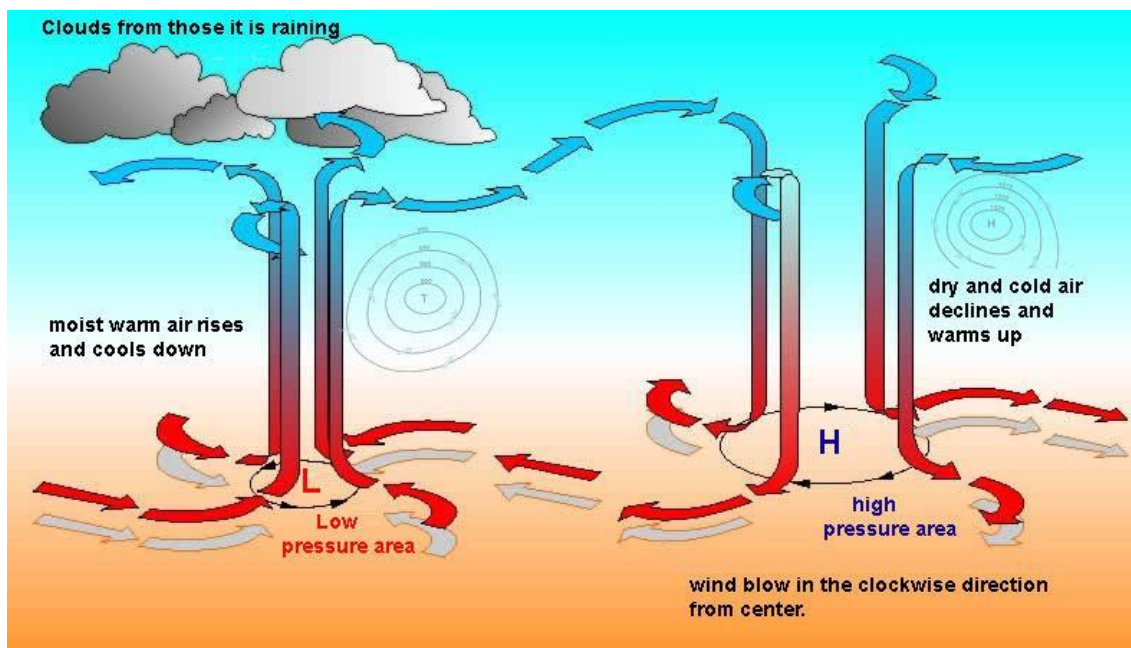
Com a pausa da incidência solar durante a noite, a diminuição da temperatura é mais rápida no continente, formando zonas de alta pressão enquanto as massas oceânicas conservam melhor o calor adquirido durante o dia e formam-se zonas de baixa pressão. As massas de ar percorrem então o caminho inverso, partindo do continente em direção ao oceano, originando as brisas terrestres ou continentais.

Zonas de baixa e alta pressão ocorrem tanto nos oceanos quanto nos continentes, assumindo proporções variáveis, de continentais a locais. A Figura 7.1 facilita a compreensão dessa dinâmica e corresponde ao hemisfério norte, sendo necessário entender a circulação mostrada como o oposto do que ocorre no hemisfério sul. Zonas de baixa pressão se caracterizam por concentrarem (convergente) ar quente (menor densidade) e úmido, que se eleva na atmosfera (ascendente) formando um vórtice em sentido horário (ciclone) no hemisfério sul e anti-horário no hemisfério norte (METEOBLUE, 2018).

Ganhando altitude, o ar resfria e a umidade condensa, formando nuvens e eventualmente precipitando na forma de chuva, neve ou granizo. Nas zonas de alta pressão, o ar seco e frio (mais denso) forma um vórtice descendente, girando no sentido anti-horário (anticiclone) no hemisfério sul e horário no hemisfério norte. Próximo ao solo o ar aquece e é disperso (divergente), seguindo em direção à zona de baixa pressão onde recomeça o ciclo.

O deslocamento horizontal das massas de ar ocorre em velocidades diferentes, relacionadas à diferença de pressão e sempre de zonas de alta pressão, caracterizadas por céu limpo, sem nuvens e ar seco, e zonas de baixa pressão, caracterizadas por céu nublado, com nuvens e ar úmido.

Figura 7.1. Atuação de zonas de alta e baixa pressão (no hemisfério sul as direções são contrárias).



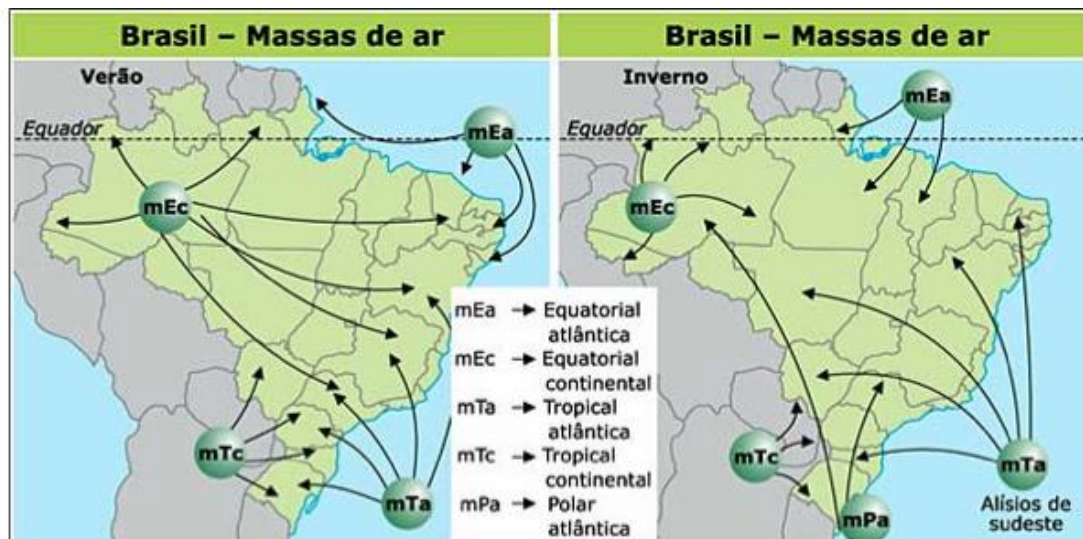
Fonte: Meteoblue (2018).

Em termos continentais, a leste dos Andes e abrangendo quase toda América do Sul, cinco massas de ar (Figura 7.2) estão associadas a diferentes climas e direções dos ventos atuantes sobre o território brasileiro, respondendo em grande escala aos períodos de chuva, seca, frio e calor (AZEREDO, 2015; NIMER, 1989; VAREJÃO-SILVA, 2006):

- a. **Massa Equatorial continental (mEc)** – região Norte, parte do Nordeste e Centro-Oeste, baixa pressão, quente e úmida.
- b. **Massa Equatorial atlântica (mEa)** – região equatorial do Atlântico Norte, baixa pressão, quente e úmida, regime de chuvas no Nordeste, forma os ventos alísios de nordeste.
- c. **Massa Tropical continental (mTc)** – região do Chaco e Centro-Oeste, tropical, alta pressão, quente e seca.
- d. **Massa Tropical atlântica (mTa)** – região litorânea do Atlântico, tropical, quente e úmida, baixa pressão (camada inferior) e seca e quente, alta pressão (camada superior), forma os ventos alísios de sudeste, chuvas no litoral sul e sudeste no verão e nordeste no inverno.

- e. **Massa Polar atlântica (mPa)** – sul do continente, polar, fria e úmida, alta pressão. No inverno adentra o continente, despejando a umidade no Sul do país, com chuvas prolongadas, neve e geada e chegando fria e seca no Centro-Oeste e sul da Amazônia (friagem).

Figura 7.2. Massas de ar atuantes no Brasil.



Fonte: Azeredo (2015).

Numa perspectiva regional, cadeias de montanhas podem interagir com correntes de ar transportando umidade vindas do oceano, de modo que essas, ao encontrarem a barreira montanhosa tendem a ascender e, com isso, diminuir a temperatura, condensar a umidade e resultar nas chuvas orográficas.

A depender da época do ano, essas massas de ar vindas do oceano podem carregar mais (verão) ou menos (inverno) umidade, provocando chuvas mais ou menos torrenciais nas vertentes voltadas para o oceano, aumentando os riscos de enchentes e deslizamentos nesses locais. Ao mesmo tempo, do lado oposto da cadeia montanhosa, a vertente recebe menos chuva e tende a permanecer mais seca, assim como menos chuva chega ao interior do continente.

É o que ocorre, por exemplo, ao longo de boa parte da faixa litorânea do Brasil, onde as cadeias montanhosas da Serra do Mar e Serra da Mantiqueira, na região Sudeste, barram a umidade vinda do oceano, formando as chuvas orográficas e mantendo o ambiente mais úmido e quente, condições favoráveis para o

desenvolvimento e manutenção do bioma da Mata Atlântica mais próximo ao litoral. Do lado oposto, a oeste e mais para o interior do continente, menor umidade resultou na formação do Cerrado, com características adaptadas a climas mais secos.

Cadeias montanhosas podem ainda redirecionar as massas de ar em nível regional e continental, como ocorre com a Cordilheira dos Andes, que redireciona a umidade da Amazônia para a região central do continente, impedindo que o Centro-Oeste, Sul e Sudeste se transformem em um imenso deserto, como ocorre nas faixas de mesma latitude, tanto a norte quanto a sul, ao redor do planeta (NOBRE, ANTONIO DONATO, 2014).

As massas de ar ao se deslocarem das áreas de alta pressão para as de baixa pressão, formam os ventos, que são tão mais intensos quanto maior for a diferença de pressão entre ambos.

Em termos mais amplos, considerando o território brasileiro como um todo, durante o verão e com o aumento da insolação (incidência solar na superfície terrestre em dado tempo) e radiação solar (quantidade de energia solar que chega à superfície terrestre), as massas de ar da Amazônia (mEc) e Atlântica (mTa) se aquecem e ganham crescente umidade que, distribuída pelos ventos, torna o clima chuvoso em quase todo o país, da região litorânea à amazônica, centro-oeste, sul e sudeste. Ao longo da vertente litorânea das Serras do Mar e Mantiqueira, durante esse período são comuns as chuvas intensas e volumosas, com potencial de alagamentos e deslizamentos.

Durante o inverno, a massa Tropical continental (mTc) ganha força e o clima permanece mais seco e quente no Centro-Oeste, Sudeste e sul da Amazônia. Nessa época, a massa Polar atlântica (mPa) pode ganhar força e romper a mTc e, via bacia do Paraná, adentrar o continente até a região amazônica, baixando as temperaturas no Sul e Sudeste e contribuindo para as precipitações de inverno no litoral Nordeste do país. O Quadro 7.1 resume essa dinâmica.

Quadro 7.1. Quadro-resumo das massas de ar, formação, características e atuação.

Massa de ar	Formação	Características	Atuação
Equatorial continental (mEc)	Região amazônica, baixa pressão	Quente e úmida	Chuvas de convecção sobre a Amazônia. Durante o verão, o excesso de umidade é transportado pelo vento de Noroeste e precipita no Centro-Oeste, Sul e Sudeste do país.
Equatorial atlântica (mEa)	Região equatorial atlântica, baixa pressão	Quente e úmida	Litoral da região Norte e parte do Nordeste. No inverno do hemisfério sul, se desloca para o hemisfério norte. Provoca chuvas frontais e intensas ao se chocar com a mPa.
Tropical continental (mTc)	Região do Chaco e Centro-Oeste, alta pressão	Quente e seca	No inverno ganha força e mantém o clima seco no Centro-Oeste e parte do Sudeste, Nordeste e Sul do país. No verão é sobrepujada pela mEc que desce da Amazônia, levando chuva para toda região Centro-Oeste, Sul e Sudeste do país.
Tropical atlântica (mTa)	Região tropical atlântica, baixa pressão	Quente e úmida (camada superior quente e seca; inferior fria e úmida)	Chuva no litoral do S, SE e NE durante quase todo ano. No inverno se desloca para o continente e contribui para clima seco. No verão ganha força, aumentando as precipitações orográficas nas Serras do Mar e Mantiqueira, podendo ultrapassá-las levando chuva para o interior do país.
Polar atlântica (mPa)	Sul do continente, alta pressão	Fria e úmida	No inverno atua no sul do país, provocando chuvas e tempestades. Ao perder umidade pode alcançar o sul da Amazônia, provocando a "friagem". Frente fria, baixa as temperaturas no Sul e Sudeste. O encontro com as mTa e mEc provoca chuvas de alta intensidade. Associada a chuvas frontais no litoral do Nordeste ao se chocar com a mTa.

Fonte: modificado de Azeredo (2015), Varejão-Silva (2006), Nimer (1989).

Uma vez que a chuva acompanha o sentido dos ventos, conhecer as direções predominantes destes, bem como sua intensidade e percentual de atuação durante o ano, permite criar estratégias para minimizar os efeitos adversos e potencializar os efeitos positivos tanto de ventos e brisas quanto das chuvas incidentes em determinado local. Para os Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo, especialmente no planejamento urbano, isso implica na possibilidade de criar estratégias de modo a minimizar os efeitos adversos e maximizar os efeitos positivos, por exemplo, criando barreiras vegetais de modo a minimizar efeitos de ventos fortes e geadas, formar corredores vegetais ou construídos (casas, edifícios) de modo a aproveitar brisas e ventos para a circulação de ar nos diferentes ambientes, diminuir ou ampliar a evapotranspiração, atenuar as temperaturas nas ilhas de calor formadas com o adensamento urbano, prevenir danos causados por chuvas e tempestades, otimizar a captação de águas de chuva, etc. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; UFSC, 2018).

Fundos de vales e espaços mais planos tendem a concentrar mais umidade que topos de morro e encostas íngremes, que tendem a ser mais secas. O nascer do sol, aquecendo as partes mais altas da paisagem, imprime um movimento ascendente à massa de ar que se aquece e o ar mais frio do fundo de vale inicia a lenta subida das encostas para ocupar seu lugar, formando a brisa de vale, também chamada *upslope* ou anabática. Ao final da tarde e noite adentro, as encostas e os topos de morro perdem calor mais rapidamente, enquanto os fundos de vale mais úmidos retêm mais calor e a brisa de montanha ou *downslope* ou catabática começa a descer as encostas.

O microclima de um local pode ser fortemente influenciado pelo relevo, cobertura vegetal e altitude, além da visão geral até então apresentada. O Quadro 7.2 resume alguns fatores que influenciam a insolação ou que por ela são influenciados e que deveriam ser considerados quando do *design* e planejamento de Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo, notadamente quanto a um urbanismo que se queira mais sustentável e biofílico.

Quadro 7.2. Relações entre Insolação, umidade e temperatura na superfície terrestre.

Causas e consequências da Insolação	Relação	Maior intensidade	Menor intensidade
Translação da Terra	Estações do ano	Verão	Inverno
Rotação da Terra	Horários	Próximo ao meio dia	Começo da manhã, fim de tarde, noite
Latitude	Ângulo de incidência solar	Maior ângulo, latitudes menores	Menor ângulo, latitudes maiores
Longitude	Distância do oceano	Continente, maior amplitude térmica	Litoral (maior nebulosidade), menor amplitude térmica (calor específico da água)
Umidade	Nebulosidade	Com menor nebulosidade	Com maior nebulosidade
	Precipitação	Litoral, encostas voltadas para o oceano (barlavento), chuvas orográficas	Continente, encostas voltadas para o interior (sotavento)
Aquecimento diferencial	Amplitude térmica	Terra, continente	Corpos d'água, oceanos
Relevo (ver Formas de relevo, Declividade e Orientação de vertentes)	Altitude	Maior altitude, atmosfera menos densa, menor a temperatura (perda rápida de calor)	Menor a altitude, atmosfera mais densa, maior a temperatura (retenção de calor)
	Forma do relevo	Convexo (maior insolação)	Côncavo (menor insolação)
	Declividade	Plano	Escarpado
	Orientação das vertentes (Hemisfério Sul)	Soalheira (faces nordeste, norte e noroeste)	Úmbria (faces sudeste, sul e sudoeste)

Fonte: modificado e com contribuições de Lobato; Oliveira [S.d.], Fernandes Filho; Sá (2007), Oliveira; Ferreira (2013), Lamberts; Dutra; Pereira (2014).

Como ensina Monteiro (2009), a chuva, temperatura do ar, radiação solar, umidade do ar e do solo e a velocidade e direção do vento são as principais variáveis a se considerar para o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas:

- a. **Radiação solar** – necessária à fotossíntese de carboidratos e crescimento da biomassa.

- b. **Temperatura do ar** – taxa metabólica, crescimento e desenvolvimento das plantas, fotossíntese, respiração, transpiração, indução ao florescimento, conteúdo de óleo em grãos, taxa de germinação, etc., são incrementadas crescentemente com o aumento da temperatura até um limite a partir do qual o metabolismo fica comprometido e a planta pode morrer.
- c. **Precipitação** – a disponibilidade hídrica do solo (ver Infiltração e Compactação) afeta o crescimento e desenvolvimento das culturas. A falta de água induz ao fechamento dos estômatos, menor fixação de CO₂, menor fotossíntese e, portanto, menor produtividade. Já o excesso de água reduz a oxigenação do solo, faz diminuir a atividade radicular, com menor absorção de água e nutrientes e menor produtividade.
- d. **Fotoperíodo** – a duração do dia em relação à noite determina o fotoperíodo em que a planta realiza a fotossíntese, sendo maior nas regiões de menor latitude, aumentando a produtividade dos cultivos.
- e. **Insolação** – menor ou igual ao fotoperíodo, já que se define pela quantidade de radiação incidente na superfície terrestre e que pode variar em função da cobertura de nuvens, umidade, latitude, etc.
- f. **Vento** – em baixa a moderada velocidade, o vento contribui com a transpiração das plantas, renovação do suprimento de CO₂, polinização, etc. Em velocidades maiores, pode causar danos mecânicos (queda de folhas e galhos, acamamento), aumentar a transpiração e induzir ao fechamento dos estômatos, diminuindo a fotossíntese e com ela a produtividade.
- g. **Umidade do ar** – a baixa umidade favorece a transpiração, mas em excesso pode provocar desordens fisiológicas e levar a planta e cultura à murcha e morte. Em ambiente muito úmido, doenças fúngicas e bacterianas são favorecidas e podem comprometer a cultura reduzindo a qualidade e quantidade da colheita.

As diferenças de temperatura, umidade do ar, direção e força dos ventos, insolação, precipitação, seca, etc., são responsáveis tanto pela fotossíntese, produtividade agrícola e adaptação biológica e cultural em termos locais, regionais e

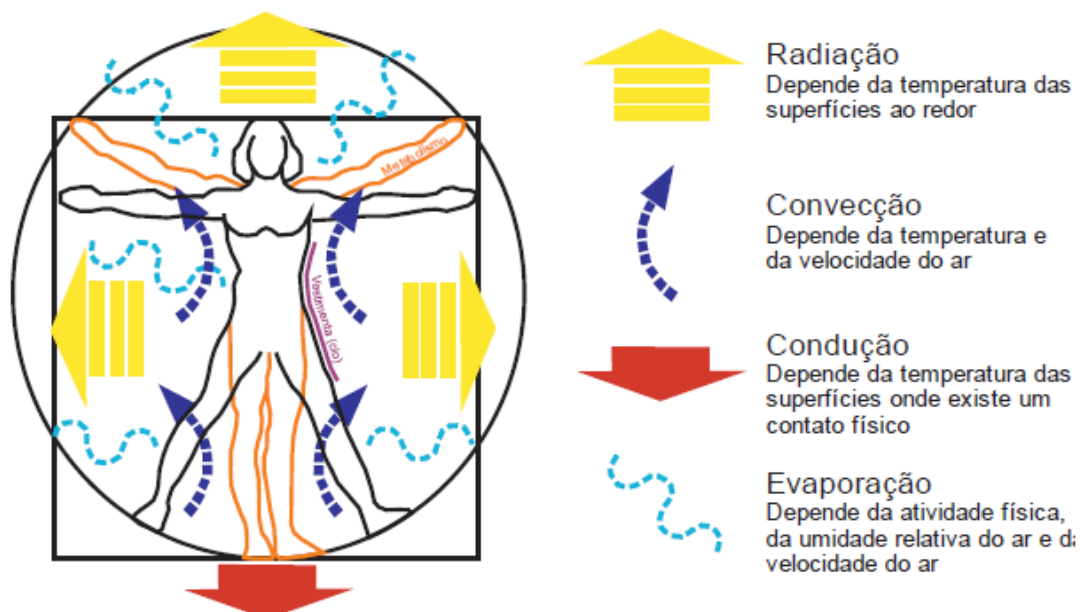
globais como pelo conforto ou desconforto térmico animal e humano, diretamente associados à sua produtividade, saúde e bem-estar.

Assim como as plantas e microrganismos, as pessoas e animais apresentam respostas fisiológicas e comportamentais em relação às atividades praticadas e a temperatura do ambiente.

O equilíbrio térmico do organismo é fundamental para a manutenção adequada do metabolismo corporal, relacionado à sobrevivência do indivíduo, sua capacidade de realizar trabalho, saúde, disposição, bem estar, etc.

Nas aves e mamíferos, a temperatura corporal interna é mais ou menos constante (homeotérmico), variando de 35°C a 37°C nos humanos e para a manutenção do equilíbrio fisiológico, faz-se necessário que haja troca constante de calor entre o ambiente corporal interno e o externo, seja por meio da radiação, convecção, condução ou evaporação (Figura 7.3).

Figura 7.3. Trocas térmicas entre o corpo e o ambiente.



Fonte: Lamberts (2016).

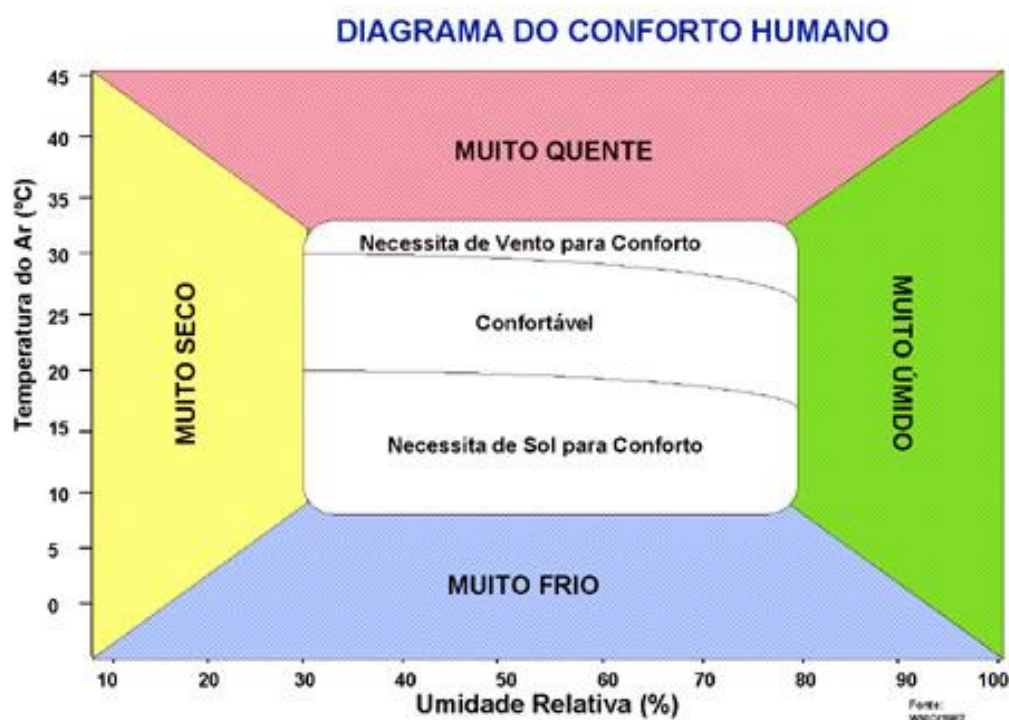
Lamberts (2016) indica duas faixas de temperatura para o conforto térmico humano, considerando respostas fisiológicas e comportamentais: (i) pessoas nuas,

quando o equilíbrio térmico está entre 29°C e 31°C; e (ii) pessoas vestidas normalmente, quando se obtém o equilíbrio térmico entre 23°C e 27°C.

Embora existam diferenças fisiológicas, psicológicas e comportamentais (culturais), a maioria das pessoas relata conforto ou desconforto dentro de faixas determinadas de temperatura, o que levou diversos pesquisadores a proporem **índices de conforto térmico**, considerando as variáveis pessoais ou subjetivas, como atividade desenvolvida e isolamento térmico das roupas; e variáveis ambientais, como temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e temperatura radiante (FROTA; SCHIFFER, 2001; LAMBERTS, 2016; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O Diagrama do Conforto Humano (INMET, 2018) exemplifica a faixa de conforto em função da temperatura do ar e umidade relativa (Figura 7.4).

Figura 7.4. Diagrama do Conforto Humano.



Fonte: INMET (2018).

Na busca de conforto térmico e eficiência energética, pode-se utilizar tanto de sistemas de climatização (ar condicionado, ventilador, vaporizador, etc.) e iluminação artificial, quanto de sistemas naturais, incorporando estratégias de iluminação,

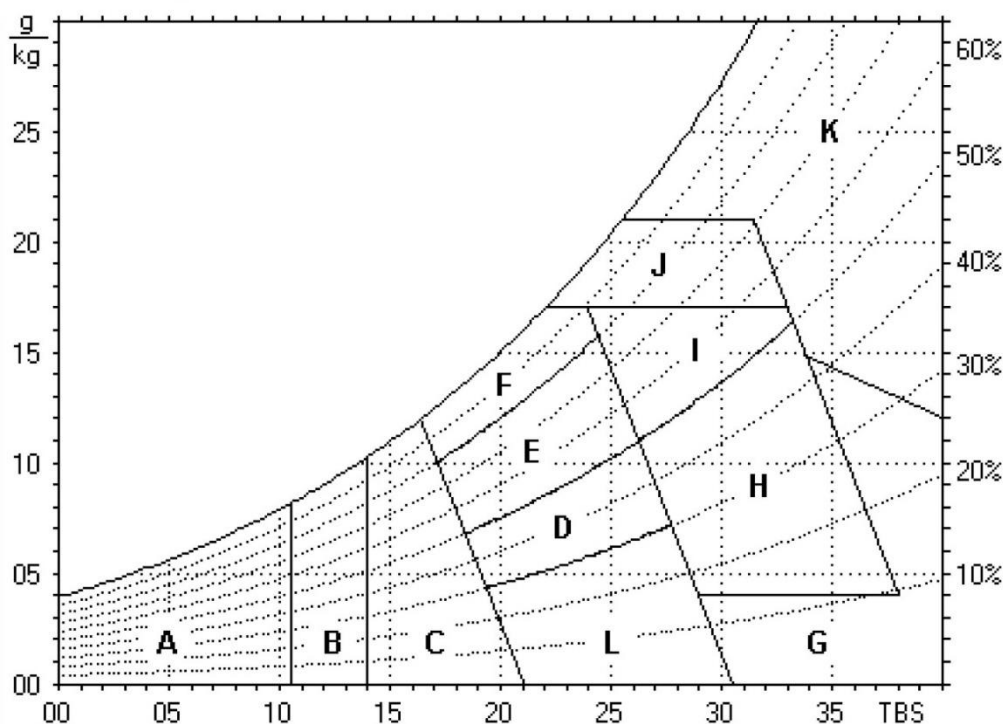
aquecimento, resfriamento e umidificação utilizando a insolação, correntes de vento e brisa, posicionamento da edificação, planejamento paisagístico, etc.

7.2 Bioclimatologia e Zonas Bioclimatológicas

A Bioclimatologia é um campo interdisciplinar que estuda os efeitos do clima e fatores ambientais sobre os organismos vivos. Na arquitetura, os irmãos Olgyay propuseram a expressão “Projeto Bioclimático” (OLGYAY; OLGAYAY, 1973 *apud* LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014), associando arquitetura ao conforto térmico humano e criando o diagrama bioclimático relacionando estratégias de adaptação da arquitetura ao clima. Logo após, Givoni (1992) propôs a Carta Bioclimática, atualizando limitações do diagrama de Olgyay e utilizando da carta psicrométrica (relacionando temperatura e umidade do ar) como base para o estabelecimento de estratégias de adaptação ao ambiente e controle do clima em uma edificação.

A NBR 15220 (ABNT, 2003) adaptou a Carta Bioclimática de Givoni (GIVONI, 1992) para as condições brasileiras (Figura 7.5) normatizando o *Desempenho térmico de edificações* e, na terceira parte, estabelecendo o *Zoneamento Bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*, com recomendações e estratégias construtivas para os mesmos. A norma foi baseada em dados climatológicos (normais climatológicas) de 330 cidades para definir oito zonas com características climáticas relativamente homogêneas. Na Carta Bioclimática, o cruzamento de dados climatológicos de temperatura e umidade definem as estratégias (letras A a K) a serem adotadas nas diferentes localidades que, por sua vez, são classificadas em função da obrigatoriedade ou proibição dessas estratégias (ANEXO A) compondo assim as Zonas Bioclimáticas de 1 a 8.

Figura 7.5. Carta Bioclimática adaptada.



Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2003).

- A** – Zona de aquecimento artificial (calefação) de modo a amenizar desconforto pelo frio.
- B** – Zona de aquecimento solar da edificação obtida pela adequada orientação e *design* da construção de modo a obter aquecimento passivo por radiação solar no inverno.
- C** – Zona de massa térmica (paredes internas pesadas) para manter o aquecimento.
- D** – Zona de Conforto Térmico com baixa umidade.
- E** – Zona de Conforto Térmico.
- F** – Zona de desumidificação por meio da renovação do ar interno pelo externo (ventilação).
- G + H** – Zona de resfriamento evaporativo, utilizando água e/ou vegetação (evapotranspiração) para refrescar ambientes em regiões secas e quentes.
- H + I** – Zona de massa térmica de refrigeração com paredes internas, externas e coberturas que facilitem a transferência do calor interno, armazenado durante o dia, para o exterior, aproveitando a noite mais fria.
- I + J** – Zona de ventilação, prevendo aberturas que permitam a circulação do ar de modo a ventilar a edificação utilizando os ventos e brisas predominantes na região. O entorno da edificação (construções, vegetação, relevo) podem ser planejados de modo a otimizar os resultados desejados.
- K** – Zona de refrigeração artificial, sendo necessário o uso de equipamentos.
- L** – Zona de umidificação do ar, necessária em regiões ou situações em que o ar esteja muito seco. Plantas, recipientes com água ou lagos ornamentais auxiliam na umidificação.

Dados climáticos, estratégias bioclimáticas, componentes construtivos e equipamentos foram compilados dentro do Projeteee (PROJETEEE, 2018) para inúmeras cidades brasileiras. Desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina em parceria com o LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Calebe Design e Creato, no site do projeto é possível obter dados históricos sintetizados em gráficos relativos à temperatura, pluviosidade, umidade relativa, radiação média, rosa dos ventos, carta solar e zona de conforto, que trazem informações preciosas para o *design* e planejamento de Agroecossistemas, assim como para o planejamento bioclimático de edificações e urbanismo, dentro de Engenharias e Urbanismo.

Essas informações podem ser cruzadas com levantamentos de campo de modo a identificar fatores climáticos locais (direção das brisas, relevo, declividade, posição das vertentes) que facilitem o estabelecimento de estratégias de uso e ocupação da área. Outra opção, mais sucinta e pertinente às Engenharias e Urbanismo, é o uso de um programa computacional. O *software* ZBBR 1.1 – Zoneamento Bioclimático do Brasil (RORIZ, 2004) traz a classificação bioclimática dos municípios brasileiros, indicando de forma rápida o zoneamento da área de estudo e pode ser baixado gratuitamente em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/zbbr>.

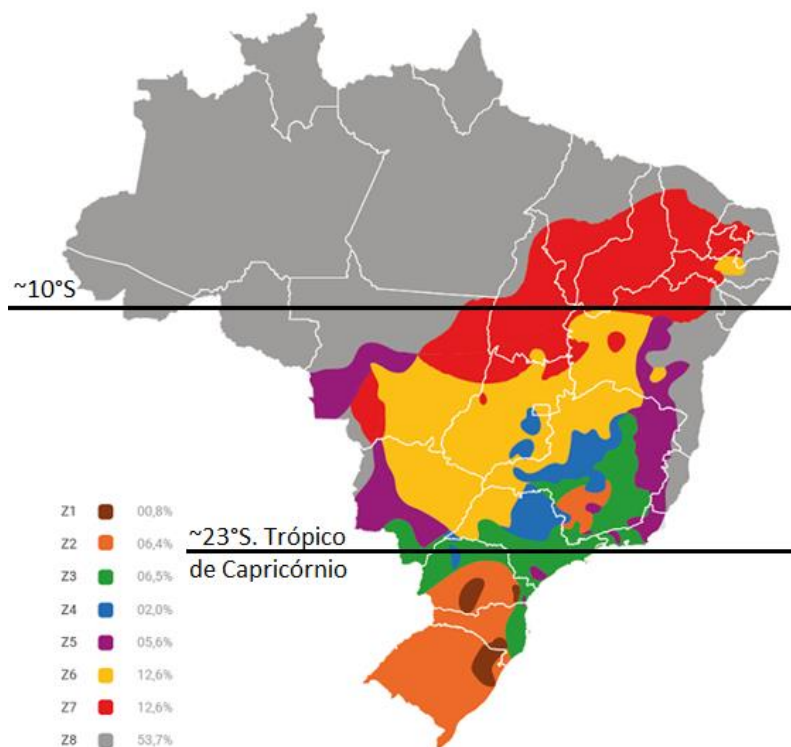
7.3 Agroecossistemas

Para os Agroecossistemas, conhecer o **Clima** e as particularidades físicas dos diferentes ambientes, fortalece a tomada de decisão quanto à escolha das culturas e cultivares, buscando melhorar a produtividade e sustentabilidade agrícola, bem como o estabelecimento ou restabelecimento de diferentes ecossistemas evoluídos à partir das condições climáticas locais (microclimas) em sintonia com aspectos como relevo, forma de relevo, tipo de solo, distância ou proximidade de oceanos, etc.

Iniciou-se a busca desse entendimento para os Agroecossistemas tendo por base o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT, 2003; CONSTRUOHR, 2018) e as consolidações das normais climatológicas disponíveis no site do Projeteee (PROJETEEE, 2018). No mapa (Figura 7.6) foram indicadas as latitudes aproximadas de 10°S para

delimitar a zona de maior **influência equatorial** e 23°S, indicando o Trópico de Capricórnio que separa as regiões **tropical** e **subtropical**.

Figura 7.6. Zoneamento bioclimático brasileiro e porcentagens do território.



Fonte: modificado de Construrohr (2018).

A observação da Figura 7.6 facilita o entendimento das seguintes premissas:

- a. Radiação solar:
 - i. Equatorial (ao norte da latitude 10°S) - maior intensidade ao longo do ano;
 - ii. Tropical (entre as latitudes 10°S e 23°S) - intensidade intermediária;
 - iii. Subtropical (ao sul da latitude 23°S) – menor no inverno, intermediária no verão.
- b. Umidade:
 - i. Maior no litoral e floresta amazônica;
 - ii. Menor no interior.
- c. Temperatura:
 - i. Maior no verão;
 - ii. Menor no inverno.

Relacionando o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT, 2003; CONSTRUROHR, 2018), o disposto no *Quadro 7.1. Quadro-resumo das massas de ar, formação, características e atuação.*, *Quadro 7.2. Relações entre Insolação, umidade e temperatura na superfície terrestre.*, *Figura 7.2. Massas de ar atuantes no Brasil.* e as indicações de Monteiro (2009) visando a produtividade agrícola e extrapolando o mesmo raciocínio para a produtividade primária dos ecossistemas (quantidade de matéria orgânica produzida em determinado tempo e área), estabeleceu-se a seguinte linha de raciocínio para a construção de pontuações para Agroecossistemas:

1. Organização do pensamento considerando as regiões brasileiras, as zonas bioclimáticas e as áreas de influência equatorial (latitudes menores que 10°S), tropical (entre 10°S e 23°S) e subtropical (maiores que 23°S) (Figura 7.6).
2. Subdivisão das regiões e zonas bioclimáticas em Litoral e Interior.
3. Pontuação da intensidade da radiação solar, umidade e temperatura, considerando o valor 1 (um) como sendo de menor intensidade, o valor 3 (três) como de intensidade intermediária e o valor 5 (cinco) como de maior intensidade.
4. Os valores intermediários 2 (dois) e 4 (quatro) “puxam” para cima ou para baixo os valores principais de 1, 3 e 4.
5. Cálculo das médias, desvios padrões e coeficientes de variância das pontuações dadas para Litoral e Interior.
6. Cálculo da amplitude para o estabelecimento de cinco classes para os coeficientes de variância [(limite superior – limite inferior)/número de classes = (0,56-0,10)/5 = 0,092].
7. As classes representam de menor a maior variação de radiação solar, umidade e temperatura. Quanto menor a variação, mais estável e produtivo o lugar e por isso recebe pontuação maior (

Tabela 7.1).

Tabela 7.1. Classes, amplitude de classes e pontuações correspondentes.

Classes	Limite inferior	Limite superior	Pontuação
1	0,10	0,19	5
2	0,19	0,28	4
3	0,28	0,38	3
4	0,38	0,47	2
5	0,47	0,56	1

Fonte: Autor.

Para a pontuação dos Agroecossistemas (PA), observou-se a radiação solar, temperatura, pluviosidade e umidade relativa associadas às áreas subtropical, tropical e equatorial; Litoral e Interior; e Zonas Bioclimáticas (ZBCs). Um coeficiente de variância (CV) maior refletiu maior diferença nas pontuações dos atributos, com maior variação na temperatura, e/ou incidência solar, e/ou umidade que, no conjunto ou isoladamente (como na ZBC 7 com a pouca umidade sendo fator de forte restrição) foram associadas a menor produtividade primária em relação às demais ZBCs. No espectro oposto, um CV menor indica menor dispersão dos valores dos atributos, associando-se a maior produtividade primária relativa.

7.3.1 Influência subtropical

As **ZBC 1** e **ZBC 2** estão em sua quase totalidade abaixo da latitude 23°S (Trópico de Capricórnio), faixa que recebe menor incidência solar e apresenta menores temperaturas. Devido à inclinação do eixo terrestre, tanto a insolação quanto a temperatura tem grande variação ao longo do ano, sendo menores no inverno (1 ponto) e maiores no verão (2 pontos). A umidade relativa se mantém alta ao longo do ano devido à atuação e interação entre a mPa (massa Polar atlântica) e a mTa (massa Tropical atlântica), mas não tão alta como a da região Norte e, por isso, recebeu 3 pontos no litoral e 2 pontos no interior, que apresenta menor umidade durante o verão.

7.3.2 Influência tropical

Essa área abrange a quase totalidade das regiões Centro-Oeste e Sudeste e estão concentradas as **ZBC 4**, **ZBC 5** e **ZBC 6**, com pontuação intermediária (3 pontos). No verão as temperaturas são mais altas, puxando para cima a pontuação (4 pontos). Na porção litorânea a umidade é mais alta durante todo o ano e no verão aumenta devido à maior ação da mTa (massa Tropical atlântica), que rompe a faixa montanhosa a leste e chega ao interior. A ação conjugada da mTa e mEa (massa Equatorial atlântica) que traz chuvas da amazônia, mantém boa umidade nas ZBCs e puxa a pontuação para cima (4 pontos). No inverno o interior (porção oeste da região) permanece sob influência da mTc (massa Tropical continental) com céu limpo, alta incidência solar (4 pontos) e baixa umidade (2 pontos). A ação da mPa (massa Polar atlântica) derruba as temperaturas, principalmente na porção leste, onde a altitude média é mais elevada em relação ao Centro-Oeste, puxando a pontuação para baixo (2 pontos).

7.3.3 Influência equatorial

A **ZBC 7** em sua maior parte está sob influência equatorial e, na porção sul, adentra na zona tropical. Recebe grande quantidade de radiação solar e altas temperaturas permanecem ao longo do ano (5 pontos). A parte norte está inserida no semi-árido e a parte sul recebe forte influência da da mTc (massa Tropical continental) com invernos secos. Com umidade baixa praticamente o ano todo, a ZBC 7 apresenta limitação quanto à produtividade primária dos Agroecossistemas, recebendo assim a pontuação 1.

A **ZBB 8** corresponde à região amazônica e faixa litorânea do Nordeste até o Sudeste. Na faixa equatorial, tanto o litoral quanto o interior recebem radiação solar intensa, com temperaturas elevadas o ano todo e alta umidade oriunda do oceano e evapotranspiração da floresta amazônica (5 pontos), diminuindo um pouco a umidade no inverno (4 pontos). A faixa litorânea do NE e SE recebe umidade do oceano e, embora seja alta, é menor que a da região amazônica e por isso uma pontuação um pouco menor (4 pontos).

Como resultado final da metodologia utilizada para definir a pontuação das ZBCs para os Agroecossistemas, construiu-se a Tabela 7.2.

Tabela 7.2. ZBC, radiação solar, umidade, temperatura, média (Méd.), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV) e pontuação para a produtividade primária dos Agroecossistemas (PA).

ZBC		Radiação solar		Umidade		Temperatura		M	DP	CV	PA
		Ver.	Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	Inv.				
1	Litoral	2	1	3	3	2	1	1,9	0,79	0,41	2
	Interior	2	1	2	3	2	1				
2	Litoral	2	1	3	3	2	1	2,0	0,74	0,37	3
	Interior	2	2	3	2	2	1				
3	Litoral	3	3	4	3	4	2	3,1	0,79	0,26	4
	Interior	3	3	4	2	4	2				
4	Litoral							3,0	0,89	0,30	3
	Interior	3	3	4	2	4	2				
5	Litoral	3	3	4	3	4	3	3,3	0,65	0,20	4
	Interior	3	4	4	2	4	3				
6	Litoral							3,3	0,82	0,24	4
	Interior	3	4	4	2	4	3				
7	Litoral							3,3	1,86	0,56	1
	Interior	4	5	1	1	4	5				
8	Litoral	5	5	4	4	5	5	4,8	0,45	0,10	5
	Interior	5	5	5	4	5	5				

Fonte: Autor.

7.4 Engenharias e Urbanismo

Em relação à Engenharias e Urbanismo, o conhecimento do Clima e microclima local, gera elementos essenciais para o planejamento urbano e o estabelecimento de orientações para a implantação de infraestruturas diversas evitando, de um lado, os efeitos potencialmente danosos de eventos climáticos extremos e, de outro, a maximização dos efeitos positivos que as diferentes condições climáticas e microclimáticas possam oferecer ao estabelecimento, sustentação, conforto e saúde das bio e sociodiversidades.

Para a pontuação de Clima para Engenharias e Urbanismo, utilizou-se dados compilados e disponíveis no site Projeteee (2018) em conjunção com os trabalhos de Ferreira; Souza; Assis (2014), Lamberts; Dutra; Pereira (2014) e NBR 15220:3 (ABNT, 2003), esta normatizando o *Desempenho térmico das edificações* e onde, no capítulo 3, é apresentado o *Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*.

A NBR 15220:3 (ABNT, 2003) relaciona as cidades brasileiras em que foram consolidadas as normais climatológicas do período 1961 a 1990, a partir das quais se estabeleceu o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT, 2003; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; UFSC, 2018). Dados de temperatura, umidade, precipitação, insolação, vento e radiação estão disponíveis com uma interface amigável e fácil de ser consultada no site do Projeteee (PROJETEEEE, 2018). Desse conjunto foram obtidos os dados do ANEXO A - Zonas bioclimáticas, clima, cidades e percentuais de desconforto por frio, conforto térmico e desconforto por calor.

De Ferreira; Souza; Assis (2014) derivou-se o breve descritivo de Clima e então definida a pontuação, conforme a seguinte metodologia:

1. Tomando por base a NBR 15220:3 (ABNT, 2003), foram escolhidas aleatoriamente ao menos 10 cidades de cada Zona Bioclimática.
2. No site Projeteee (<http://projeteee.mma.gov.br/>), ao digitar o nome das cidades escolhidas, abre-se a aba ou passo 1, Dados Climáticos, onde foram consultados o Gráfico de chuva e o Gráfico de umidade relativa de cada cidade e, confrontando-os com as informações de Ferreira; Souza; Assis (2014), configurou-se a coluna Clima.
3. No mesmo site, na aba Estratégias Bioclimáticas, a parte superior da página apresenta uma linha com os percentuais anuais de desconforto por frio (Frio), conforto térmico (Conforto) e desconforto por calor (Calor) de cada cidade, que foram anotados.
4. Obtida a média simples dos percentuais de frio, conforto e calor de cada zona bioclimática, calculou-se a média das médias, o desvio padrão e o coeficiente de variância da mesmas.

5. Conhecendo o CV (coeficiente de variância) das oito regiões bioclimáticas, os dados foram organizados e calculada a amplitude para o estabelecimento de cinco classes $[(\text{limite superior} - \text{limite inferior})/\text{número de classes} = (1,17 - 0,05)/5 = 0,22]$.
6. As classes representam de menor a maior variação nas pontuações de desconforto por frio (Frio), conforto térmico (Conforto) e desconforto por calor (Calor), de modo que quanto menor a variação, maior a pontuação (Tabela 7.3).

Tabela 7.3. Classes, amplitude de classes e pontuação.

Classes	Limite inferior	Limite superior	Pontuação
1	0,05	0,27	5
2	0,27	0,50	4
3	0,50	0,72	3
4	0,72	0,95	2
5	0,95	1,17	1

Fonte: Autor.

A pontuação para Engenharias e Urbanismo (PEU) abordou o desconforto por frio, conforto térmico e desconforto por calor (ANEXO B - Zonas Bioclimáticas, clima correspondente, cidades, obrigações, proibições e condicionamento térmico passivo.

Como em Agroecossistemas, considerou que para as Zonas Bioclimáticas (ZBCs) um coeficiente de variância (CV) maior implicava em maior diferença entre os atributos, com reflexos diretos para o equilíbrio térmico humano e animal ao longo do ano, exigindo maior gasto energético (biológico e tecnológico) para a manutenção desse equilíbrio e, por isso, foi considerado mais restritivo. Por outro lado, um CV menor indicou que os atributos estão mais próximos do equilíbrio ao longo do ano, sendo considerado menos restritivo. A Tabela 7.4 resume os dados e indica a pontuação calculada.

Tabela 7.4. Zonas bioclimáticas, percentuais de desconforto por frio, conforto, desconforto por calor, média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variância (CV) e pontuação para Engenharias e Urbanismo (PEU).

ZBC	Frio (%)	Conforto (%)	Calor (%)	Média	DP	CV	PEU
1	78	16	6	33,3	39,00	1,17	1
2	59	25	16	33,3	22,68	0,68	3
3	54	24	22	33,3	17,93	0,54	4
4	38	41	21	33,3	10,79	0,32	5
5	33	32	35	33,3	1,53	0,05	5
6	18	45	36	33,0	13,75	0,42	4
7	4	43	54	33,7	26,27	0,78	2
8	4	23	73	33,3	35,64	1,07	1

Fonte: Autor.

A **ZBC 1** apresenta alto percentual do ano sob desconforto em função do frio, exigindo construções calafetadas ou mais preparadas para o rigor do tempo, incluindo alternativas de aquecimento com gasto energético.

As **ZBC 7** e **ZBC 8**, no extremo oposto, têm no calor o maior percentual de desconforto ao longo do ano, exigindo configurações que facilitem a ventilação cruzada ou construção de paredes pesadas além de ventilação e/ou refrigeração que demandam gasto energético. Essas situações estão em conformidade com a baixa pontuação exibida.

A **ZBC 2** tem no frio o maior tempo de desconforto anual, pedindo vedações internas pesadas e com pontuação intermediária.

A **ZBC 3** apresenta ainda boa parte do ano com desconforto térmico, que diminui sua pontuação, e pede por adequada orientação e *design* da construção de modo a obter aquecimento solar passivo no inverno, ao passo que a **ZBC 6**, com a mesma pontuação, pede por paredes internas pesadas e cobertura leve.

As melhores pontuações, por apresentarem maior equilíbrio entre os atributos avaliados, estão na **ZBC 4**, que pede por aquecimento solar passivo e **ZBC 5**, que pede paredes leves e cobertura leve e isolada.

7.5 Como avaliar e pontuar as Zonas Bioclimáticas

A descrição, características e pontuação final de Clima e Zonas Bioclimáticas - ZBCs para os Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo incorporou as contribuições de Brady; Weil (2013), Miller (2013), Oliveira (2011), Lobato; Oliveira [S.d.], Fernandes Filho; Sá (2007), Oliveira; Ferreira (2013), Lamberts; Dutra; Pereira (2014), UFSC (2018), Nobre (2014), Azeredo (2015), Meteoblue (2018), Varejão-Silva (2006), Nimer (1989), Projeteeee (2018), NBR 15220:3 (ABNT, 2003), Lamberts (2016), Frota; Schiffer (2001), Olgyay; Olgyay (1973) apud Lamberts; Dutra; Pereira (2014) e Givoni (1992).

Características climáticas locais podem agora ser comparadas com os descritivos das ZBCs e pontuadas de acordo com o estabelecido, auxiliando no entendimento da Paisagem e incorporando-se à Avaliação Sensorial da **SENSIA**, para o diagnóstico e mapeamento quali-quantitativo de um lugar.

Procedimento – Utilizar o *software* ZBBR 1.1 – Zoneamento Bioclimático do Brasil (RORIZ, 2004) para conhecer a Zona Bioclimática do município em que se encontra a localidade sob estudo. O programa pode ser baixado gratuitamente em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/zbbr>. Conhecendo a Zona Bioclimática, o Quadro 7.3 indica a pontuação para os Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo.

Quadro 7.3. Descrição, características e pontuação de Zona Bioclimática (ZBC) para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo.

ZBC	Descrição e Características	PA	PEU
1	Frio no inverno, ameno no verão com chuvas bem distribuídas, embora concentradas no verão. Chuvas distribuídas e umidade relativa (UR) entre 70% e 90% ao longo do ano.	2	1
2	Clima ameno. Na região Sul, verões quentes e invernos frios. Em Minas Gerais, clima de altitude com maior amplitude térmica e chuvas concentradas no verão. UR entre 70% e 90%, sendo menor um pouco no interior durante o verão.	3	3
3	Clima ameno tendendo a úmido. Inverno seco e frio, verão quente e úmido com chuvas concentradas. Litoral com UR entre 80% e 100%. Interior com UR entre 60% e 80%.	4	4
4	Invernos secos, UR entre 50% e 70% e verões úmidos e chuvosos, com UR entre 70% e 80%. Noites frias no inverno e tardes quentes durante todo o ano.	3	5
5	Quente e úmido a maior parte do ano com noites frias no inverno e chuvas concentradas no verão. UR de 80% a 90% no litoral, 60% a 80% no interior.	4	5
6	Quente e seco, com tardes quentes, noites amenas e chuvas no verão. UR de 40% a 60% no inverno e 60% a 80% no verão	4	4
7	Quente e seco, chuvas escassas. UR de 30% a 60% no inverno e 60% a 80% no verão.	1	2
8	Quente e úmido com chuvas durante o ano todo. Amazônia, UR de 80% a 100% o ano todo. Litoral de 70% a 90%.	5	1

Fonte: Autor.

8 Relevo

O “**Relevo**” pode ser entendido como as “formas do terreno que compõem a paisagem” (OLIVEIRA, 2011), as feições da superfície terrestre, descritas em termos de altitude, posição na paisagem, inclinação das vertentes (declividade), formas do contorno, etc., que facilitam ou retardam as modificações provocadas ou associadas a diferentes condições climáticas (BRADY; WEIL, 2013). O relevo influencia na formação do solo, tanto em profundidade, tendendo a ser maior nos topos e fundos de vale e menor nas encostas, como em propriedades ou atributos característicos e diferenciadores dos tipos de solo. Relevo, paisagem e atributos de uns e outros estão de tal maneira interconectados que alguns autores tendem a entendê-los como indissociáveis (CARRÉ; GIRARD, 2002; CARRÉ; MCBRATNEY, 2005; PENNOCK; VELDKAMP, 2006; RUGGIERO *et al.*, 2006; SOMMER; GERKE; DEUMLICH, 2008).

O Clima (ver Clima e Zonas Bioclimáticas) pode ser entendido como as condições atmosféricas características de uma região (temperatura, precipitação, umidade relativa, radiação, força e intensidade dos ventos) ao longo do tempo e está diretamente associado à formação, desenvolvimento e manutenção de diferentes relevos, biomas e ecossistemas. Em sentido mais restrito e localizado, uma microbacia hidrográfica por exemplo, o tipo e a forma do relevo, a inclinação da vertente, a orientação das encostas, a altitude e a cobertura do solo (vegetação, água, rochas ou solo nu) concorrem para maior ou menor variação na temperatura, umidade, direção e intensidade de ventos e brisas, pluviosidade, insolação (quantidade de radiação solar incidente na superfície do planeta), configurando **Microclimas** que podem induzir a variações edáficas, vegetais e animais, formando mosaicos de ecossistemas entremeados uns aos outros.

O termo **Formas de relevo** guarda referência com as formas que o terreno assume na paisagem: côncavo, convexo ou plano determinando espaços de maior ou menor incidência solar ao longo do dia e do ano. Maior ou menor luminosidade (fotoperíodo), temperatura e umidade no solo (interna e externa) e no ar, a suscetibilidade a processos erosivos e a fragilidade ambiental de um dado local estão relacionados à forma que o contorno (ou curvas de nível, ou curvatura horizontal da vertente) e o perfil do terreno (ou vertente, ou encosta, ou curvatura vertical da

vertente) assumem e que, no conjunto, interferem de maneiras variadas em relação aos Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

A **Declividade** pode ser entendida como a inclinação (ângulo, medido em graus) que a superfície do terreno apresenta em relação a um plano horizontal ou calculada a partir da relação entre a diferença de altitude entre dois pontos e a distância horizontal entre ambos, multiplicado por cem (porcentagem, mais utilizada no dia a dia).

A **Orientação das vertentes** ou posição geográfica das vertentes, encostas ou faces de um maciço determina a quantidade de energia solar recebida ao longo do dia e do ano (outros fatores influenciam também, como latitude, nebulosidade, cobertura de nuvens, etc.).

A **Pedregosidade** é definida pela presença ou proporção de fragmentos grosseiros, compostos por matacões (20 a 100 cm), calhaus (2 a 20 cm) e cascalhos (0,2 a 2 cm), seja na superfície ou no interior do solo. Sendo resistentes à compactação, mantém a densidade do solo baixa, alta macroporosidade, boa infiltração da água, boa disponibilidade hídrica, redução do escoamento superficial (implicando em baixo potencial erosivo) e da perda de água por evaporação (POESEN; LAVEE, 1994). A **Rochosidade** se relaciona à exposição de rochas e/ou matacões (*boulders*) com diâmetro superior a 100 cm e em quantidade tal que impeçam o uso de máquinas agrícolas.

Erosão é o processo de desgaste, remoção, solubilização e transporte de partículas, promovidas ou facilitadas por condições físicas, químicas e biológicas (IBGE, 2009), contribuindo para a modelagem do terreno.

Movimentos de massa são caracterizados por descidas de rochas e solo por ação gravitacional, facilitados pelo encharcamento de terrenos montanhosos sob chuvas intensas, quando o excesso das águas de chuva que infiltram no solo, podem agir como lubrificante das partículas de texturas mais arenosas, ou liquefazer solos mais argilosos.

Conhecidas as características locais, o *design* e planejamento de Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo podem adotar estratégias adaptadas a essas peculiaridades, considerando, por exemplo, se o local sob estudo está posicionado nos fundos de vale, topos de morro ou encostas mais ou menos íngremes, se suas vertentes estão em uma cadeia montanhosa próxima ao oceano e voltadas ou não em

sua direção, se está posicionado em um local de concentração ou dispersão de umidade ou em área que receberá mais ou menos radiação solar, se está mais ou menos suscetível a maiores ou menores temperaturas ou precipitações.

8.1 Formas de relevo

Tendo por base os trabalhos de Costa *et al.* (2015), Oliveira (2011), Valeriano (2008) e Dikau (1990) *apud* Silva (2014), tem-se que, quanto às curvas de nível ou contorno ou curvatura horizontal, o terreno se apresenta como:

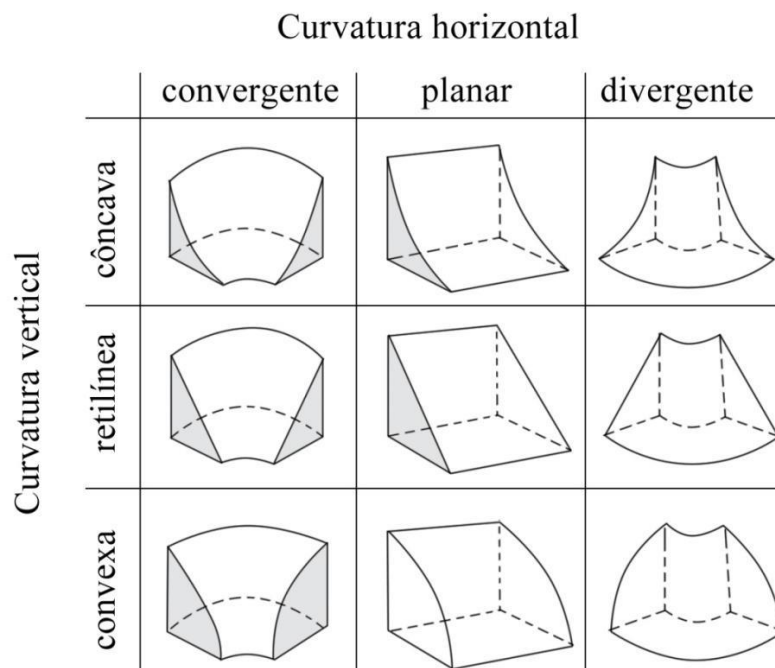
- **Convergente (ou côncavo ou coletor)** – as curvas de nível refletem uma aproximação do terreno em direção ao centro do maciço e facilita a concentração de umidade;
- **Planar** – cada curva de nível reflete igual distância no terreno em relação ao centro do maciço e facilita a distribuição equitativa da umidade;
- **Divergente (ou convexo ou dispersor)** – as curvas de nível refletem um distanciamento do terreno em relação ao centro do maciço, facilitando a dispersão da umidade.

Quanto ao perfil, vertente, encosta ou curvatura vertical, o terreno é classificado como:

- **Côncavo** – o perfil do terreno facilita a concentração de umidade e infiltração na base da encosta;
- **Retilíneo** – o perfil do terreno atua sem concentrar ou dispersar a umidade e facilita a infiltração ao longo de toda encosta;
- **Convexo** – o perfil do terreno facilita a dispersão da umidade ao longo da encosta, sendo maior a infiltração no topo.

Essas relações são resumidas na Figura 8.1.

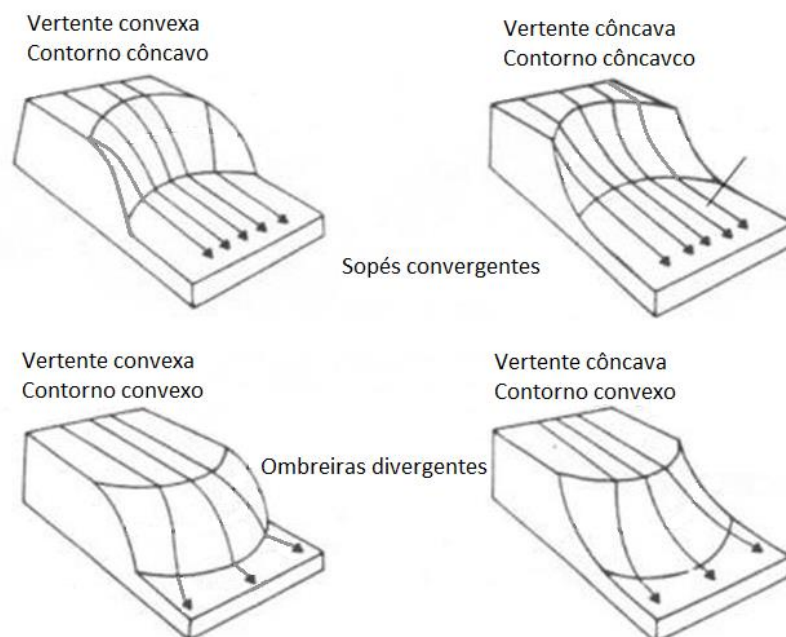
Figura 8.1. Combinação de curvaturas e caracterização das formas de terreno.



Fonte: modificado de Dikau (1990) *apud* Silva (2014).

Destes, Huggett (1975) *apud* Oliveira (2011) reconhece quatro formas básicas, apresentadas na Figura 8.2.

Figura 8.2. Quatro formas básicas de relevo segundo Huggett (1975).



Quatro formas básicas de relevo segundo Huggett (1975).

Fonte: modificado de Huggett (1975) *apud* Oliveira (2011).

Oliveira (2011) expõe trabalho de Oka-Fiori e Soares (1976), citado por Ponçano e Prandini (1987), evidenciando a suscetibilidade à erosão de terrenos ao relacionar formas básicas e o desenvolvimento de 298 voçorocas no Estado de São Paulo. 95% das voçorocas estudadas se desenvolveram em encostas convexas coletoras e convexas dispersoras. Não apresentaram, no entanto, o tipo de solo estudado. O Quadro 8.1 resume os dados apresentados, evidenciando que formas convexas são muito mais suscetíveis a processos erosivos que as côncavas e, infere-se, também em relação às planares.

Quadro 8.1. Formas de relevo e total de voçorocas catalogadas.

Tipo de encosta	Total de voçorocas catalogadas
Convexa coletora (convexa convergente)	167
Convexa dispersora (convexa divergente)	120
Côncava coletora (côncava convergente)	8
Côncava dispersora (côncava divergente)	3

Fonte: modificado de Oka-Fiori e Soares (1976) *apud* Ponçano e Prandini (1987) *in* Oliveira (2011).

Costa *et al.* (2015) relacionaram formas de relevo e classes de fragilidade ambiental, atribuindo pesos (notas) tendo por base os conhecimentos da equipe multidisciplinar envolvida no trabalho, como mostra o Quadro 8.2.

Quadro 8.2. Classes de fragilidade, formas de terreno e pesos.

Classes de fragilidade	Formas de terreno	Pesos
Muito fraca	Convergente côncava	1
Fraca	Planar côncava Divergente côncava	2
Média	Planar retilínea Convergente retilínea Divergente retilínea	3
Forte	Convergente convexa Planar convexa	4
Muito forte	Divergente convexa	5

Fonte: Costa *et al.* (2015).

Relacionando os trabalhos de Costa *et al.* (2015) e Oka-Fiori e Soares (1976) *apud* Ponçano e Prandini (1987) *in* Oliveira (2011) e considerando tão somente o aspecto Forma de relevo, percebe-se alguma discrepância nos pesos adotados para as classes de fragilidade ambiental em relação ao número de voçorocas (Quadro 8.3).

Quadro 8.3. Fragilidade, formas de terreno, voçorocas e pontuação.

Classes de fragilidade	Formas de terreno	Pesos	Total de voçorocas
Muito fraca	Convergente côncava	1	8
Fraca	Planar côncava	2	
	Divergente côncava		3
Média	Planar retilínea	3	-
	Convergente retilínea		-
	Divergente retilínea		-
Forte	Convergente convexa	4	167
	Planar convexa		-
Muito forte	Divergente convexa	5	120

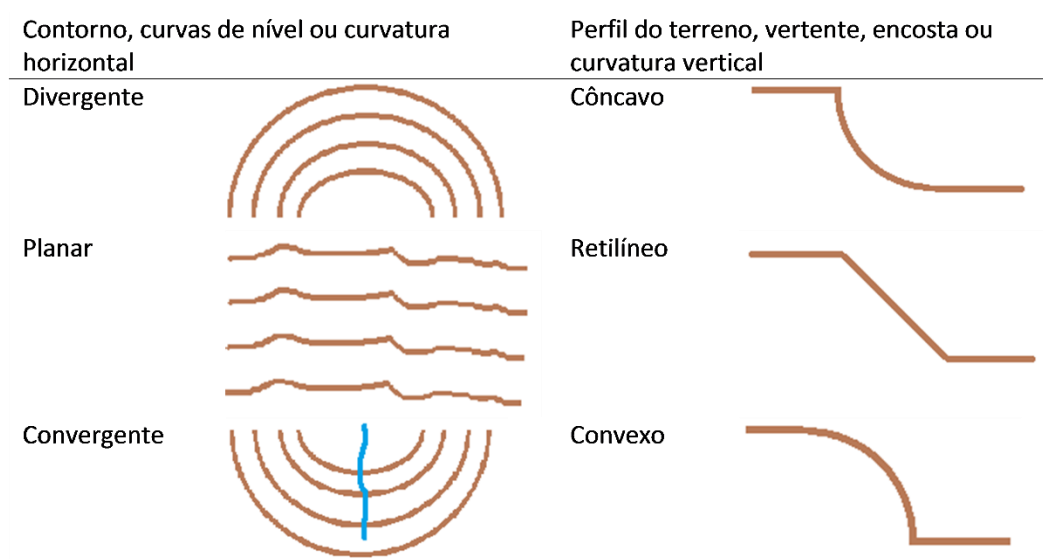
Fonte: Costa *et al.* (2015), Oka-Fiori e Soares (1976) *apud* Ponçano e Prandini (1987).

8.1.1 Como avaliar e pontuar as Formas de relevo

As **Formas do relevo** têm por base os trabalhos de Oka-Fiori e Soares (1976) *apud* Ponçano e Prandini (1987) *in* Oliveira (2011), Costa *et al.* (2015), Oliveira (2011), Valeriano (2008) e Dikau (1990) *apud* Silva (2014), Huggett (1975) *apud* Oliveira (2011).

Procedimento – Avaliar visualmente, observando as curvaturas (Figura 8.3) dos eixos horizontal (curvas de nível) e vertical (curvatura da encosta) no entorno dos pontos amostrais.

Figura 8.3. Contornos e perfis de terreno.



Fonte: Autor.

Tendo em vista que a maior ou menor fragilidade ambiental guarda relação inversa com maior ou menor restrição ao uso e ocupação, tomou-se por base as pontuações adaptadas de Costa *et al.* (2015) para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo (Quadro 8.4).

Quadro 8.4. Descrição, características e pontuação de Formas do relevo para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Formas de relevo	Descrição e Características		PA	PEU
Convergente convexa	Terrenos com fragilidade ambiental muito forte, inadequados à ocupação. Forte suscetibilidade à erosão.	CC	1	1
Divergente convexa Planar convexa	Terrenos com fragilidade ambiental forte e restrições ao uso e ocupação. A DC reflete menor disponibilidade hídrica e maior suscetibilidade à erosão.	DC PC	2	2
Planar retilínea Convergente retilínea Divergente retilínea	Terrenos com fragilidade ambiental mediana e moderada restrição ao uso e ocupação.	PR CR DR	3	3
Convergente côncava Planar côncava	Terrenos com fragilidade ambiental fraca e algumas restrições ao uso e ocupação. A CCo apresenta maior disponibilidade hídrica.	CCo PCo	4	4
Divergente côncava	Terrenos com fragilidade ambiental muito fraca, sem restrições ao uso e ocupação.	DCo	5	5

Fonte: Autor.

8.2 Declividade

A dinâmica hídrica está relacionada ao relevo, especialmente em relação à declividade, de tal maneira que em terrenos mais acidentados (maior declividade), as águas das chuvas e irrigação tendem ao escoamento superficial com baixa infiltração, modelando a paisagem pela ablação ao carrear solo e nutrientes vertente abaixo.

Com forte poder erosivo e transportando sedimentos de tamanhos variados, estes se acumularão nos fundos de vales e espaços mais planos (menor declividade), modificando a paisagem via sedimentação e onde o acúmulo de água e emergência dos lençóis freáticos tendem a formar conjuntos aquosos superficiais.

Entre um ponto e outro, terrenos com declividade intermediária tendem a receber a água da chuva ou irrigação que infiltra mais que escorre, acumulando-se junto à rocha matriz e atuando sobre esta, hidrolisando seus componentes, hidratando e dissolvendo compostos, lixiviando solutos, transportando partículas, translocando argilas, etc.

EMBRAPA (1979), Santos *et al.* (2006), Santos *et al.* (2015) e IBGE (2015) têm nas formas topográficas ou fases de relevo, resultantes da declividade, comprimento das encostas e configuração superficial do terreno, as indicações para o potencial de emprego de equipamentos agrícolas motorizados e suscetibilidade à erosão em diferentes ambientes, reconhecendo as classes apresentadas no Quadro 8.5.

Quadro 8.5. Classes morfodinâmicas, fases de relevo, declividade e características.

Classes morfodinâmicas	Fases de relevo	Declividade	Características
Muito fraca	Plano	< 3%	Pequeno desnivelamento com topografia lisa ou horizontal. Formações superficiais espessas, topos planos de chapadas, perda de materiais em solução por infiltração e escoamento subsuperficial. Predomínio da pedogênese sobre a morfogênese.
Fraca	Suave ondulado	3 a 8%	Topografia ligeiramente inclinada, constituída por pequenas colinas ou sucessão de pequenos vales e canais de drenagem rasos. Formações superficiais espessas, escoamento subsuperficial de materiais finos, empobrecimento dos solos,

Classes morfodinâmicas	Fases de relevo	Declividade	Características
			escoamento superficial difuso, erosão laminar, predominando a pedogênese sobre a morfogênese.
Moderada	Ondulado	8 a 20%	Superfície mais inclinada com colinas medianas e vales encaixados com drenagem de aprofundamento médio. Formações superficiais pouco espessas ou relevo plano (<3%) e formações superficiais rasas e/ou pedregosidade. Escoamento superficial originando canaletas e pedogênese em equilíbrio com a morfogênese.
Forte	Forte ondulado	20 a 45%	Superfície movimentada, desníveis fortes, conjunto de morros ou vales profundos, profundidade de drenagem média a forte. Formações superficiais pouco espessas e/ou rasas, textura média e/ou arenosa. Remoção do horizonte A com exposição do B por escoamento superficial semiconcentrado a concentrado, formando canaletas e sulcos profundos. Áreas instáveis, com predomínio da morfogênese sobre a pedogênese.
Muito forte	Montanhoso	45 a 75%	Topografia vigorosa, formas acidentadas, morros, montanhas, maciços e alinhamentos montanhosos com desníveis grandes e declividade forte ou muito forte. Formações superficiais pouco espessas ou inexistentes, possível pedregosidade e rochiosidade com predomínio de enxurradas e escoamento concentrado com remoção total do horizonte A e formação de ravinas e voçorocas. Terrenos instáveis com possibilidade de movimentação de massas. Predomínio da morfogênese sobre a pedogênese.
	Escarpado	> 75%	Formas abruptas, muito íngremes, como aparados, itaimbés, cuestas, falésias, paredes, etc.

Fonte: modificado de EMBRAPA (1979), Santos *et al.* (2006), Santos *et al.* (2015) e IBGE (2015).

A Lei Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (BRASIL, 1979) e o Decreto Nº 44.646, de 31 de outubro de 2007 (MINAS GERAIS, 2007) estabeleceram limites de declividade e condições de terreno de modo a evitar riscos para a ocupação urbana. O parcelamento do solo não será permitido em (i) terrenos alagadiços e sujeitos a inundações (ver Compactação); (ii) que tenham sido aterrados com substâncias nocivas à saúde; (iii) com declividade maior que 30% (BRASIL, 1979) ou 47% (MINAS GERAIS, 2007); (iv) que apresentem características geológicas comprometidas; (v) em áreas de preservação ecológica; (vi) e onde as condições sanitárias sejam muito adversas, a não ser que ocorram obras que drenem a água nos alagadiços, saneiem o local do aterro e atendam a recomendações específicas.

No Estado de Minas Gerais, o Termo de Referência para apresentação de Relatório de Controle Ambiental Simplificado – RCAS (FEAM(a), [s.d.]), referente ao parcelamento do solo para fins urbanos (exclusiva ou predominantemente residencial) identifica intervalos de declividade de 0 a 30%, acima de 30% e acima de 100% a serem expressos em mapeamento em escala 1:10.000, sem no entanto indicar as restrições para cada declividade.

Souza e Sobreira (2014) defendem no máximo 6 classes de declividade, a depender das características geomorfológicas da área, recomendando aplicar valores expressos pela legislação, literatura técnica e do uso consagrado, propondo cinco classes, como apresentado no Quadro 8.6.

Quadro 8.6. Limites de declividade.

Limites de declividade		Características
Graus (°)	Porcentagem (%)	
0 a 5	0 a 9	Terraços fluviais, planícies de inundação e topos de morro aplainados.
5 a 15/17	9 a 27/30	Pouco empecilho à ocupação.
15/17 a 25/30	27/30 a 47/58	Uso e ocupação condicionados por estudos geológico-geotécnicos.
25/30 a 45	47/58 a 100	Áreas sem vocação para ocupação urbana.
> 45	> 100	Áreas inviáveis para outros usos que não a preservação.

Fonte: modificado de Souza e Sobreira (2014).

O Código Florestal (BRASIL, 2012c) em vigor, define as Áreas de Preservação Permanente (APPs) em seu Art. 3º, inciso II:

II - Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

Dessa forma, as APPs apresentam restrições legais para o uso e ocupação e devem ser consideradas em relação ao planejamento de Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo. O Art. 4º identifica as APPs nos entornos de lagos, reservatórios artificiais, restingas, manguezais, borda de tabuleiros, cursos d'água permanentes, temporários ou intermitentes, nascentes, olhos d'água, altitude e declividade. Destaca-se, no Art.4º:

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

(...)

V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

(...)

IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;

X - as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;

Moody e Cong (2008) relacionam o risco de erosão (ver Erosão) à inclinação do terreno, cujas classes em relação ao potencial erosivo estão resumidos no

Quadro 8.7.

Quadro 8.7. Risco de erosão em função da declividade e pontuação segundo Moody e Cong (2008).

Baixo (1)	Moderado (2)	Alto (3)	Muito alto (4)	Extremo (5)
Declive <2%	Declive de 2 a 5%	Declive de 5 a 10%	Declive entre 10 e 15%	Declive >15%

Fonte: modificado de Moody e Cong (2008).

Mueller *et al.* (2007) consideram a declividade como uma influência significativa na formação, manejo e risco de degradação do solo, indicando que gradientes maiores que 4% aumentam em muito o escoamento superficial e erosão, sendo necessário a adoção de técnicas que minimizem esse processo. Declividades a partir de 30% tornam o risco de erosão muito alto. Adotando pontuação que vai de 0 (pior condição) a 2 (melhor condição), com incrementos fracionados de 0,5 ou 0,25 em casos muito particulares, a pontuação proposta pelo SQR - Muencheberg Soil Quality Rating (MUELLER *et al.*, 2007) é apresentado no Quadro 8.8.

Quadro 8.8. Guia de orientação para a pontuação de Declividade.

Declividade (%)	Características	Pontuação de avaliação	
		Agricultura	Pastagem
<2	Plano a ligeiramente inclinado	2	2
2 a 5	Levemente inclinado	2	2
5 a 10	Inclinado	1	1,5
10 a 15	Fortemente inclinado	0,5	1
15 a 30	Moderadamente íngreme	0	0,5
>30	Íngreme e fortemente íngreme	0	0

Fonte: Mueller *et al.* (2007).

Costa *et al.* (2015), trabalhando com classes de fragilidade ambiental para o município de Araras (SP), adotaram os intervalos de declividade expressos no Quadro 8.9.

Quadro 8.9. Classes de fragilidade em relação à declividade.

Classes de Fragilidade	Declividade (%)
Muito fraca	Até 6
Fraca	6 a 12
Média	12 a 20
Forte	20 a 30
Muito forte	Acima de 30

Fonte: modificado de Costa *et al.* (2015).

As classes de declividade definidas por Souza e Sobreira (2014), Costa *et al.* (2015), Moody e Cong (2008), EMBRAPA (1979), Santos *et al.* (2006), Santos *et al.* (2015), e IBGE (2015), FEAM(a) [s.d.] e legislações consideradas (BRASIL, 1979, 2012c; MINAS GERAIS, 2007) estão relacionadas no Quadro 8.10.

Quadro 8.10. Classes, relevo, declividade e características.

Classes	Relevo	Declividade (%)			Características	
EMBRAPA (1979), IBGE (2015) / Costa <i>et al.</i> (2015)	EMBRAPA (1979), IBGE (2015)	Costa <i>et al.</i> (2015)	Souza e Sobreira (2014)	(FEAM(a) , [s.d.]	Souza e Sobreira (2014), Brasil (1979), Minas Gerais (2007)	
Muito fraca	Plano		Até 6	0 a 9	0 a 9	Terraços fluviais, planícies de inundação e topos de morro aplainados.
Fraca	Suave ondulado	3 a 8	6 a 12	9 a 27/30	9 a 30	Pouco empecilho à ocupação.
Média/Moderada	Ondulado	8 a 20	12 a 20			
Forte	Forte ondulado	20 a 45	20 a 30			
Muito forte	Montanhoso	45 a 75	> 30	27/30 a 47/58	30 a 100	Parcelamento não permitido com declividade >30%. Uso e ocupação condicionados por estudos geológico-geotécnicos.
				47/58 a 100		
	Escarpado	> 75		> 100	> 100	Áreas sem vocação para ocupação urbana.
						Áreas inviáveis para outros usos que não a preservação. Áreas de Preservação Permanente (APP) acima de 100%.

Fonte: modificado de Souza e Sobreira (2014), Costa *et al.* (2015), Moody e Cong (2008), EMBRAPA (1979), Santos *et al.* (2006), Santos *et al.* (2015), IBGE (2015), FEAM(a) [s.d.], Brasil (2012), Brasil (1979) e Minas Gerais (2007).

8.2.1 Como avaliar e pontuar a Declividade

A descrição e pontuação da **Declividade** teve como base os trabalhos de EMBRAPA (1979), Santos *et al.* (2006), Santos *et al.* (2015), IBGE (2015), Lei Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (BRASIL, 1979), Decreto Nº 44.646, de 31 de outubro de 2007 (MINAS GERAIS, 2007), Souza e Sobreira (2014), Relatório de Controle Ambiental Simplificado – RCAS (FEAM(a), [s.d.]), Código Florestal (BRASIL, 2012c), Moody e Cong (2008), Mueller *et al.* (2007) e Costa *et al.* (2015).

Procedimento – A Declividade de um terreno pode ser estimada de modo rápido, simples, prático e com baixo custo utilizando uma base de apoio com tamanho conhecido (a cavadeira utilizada na abertura do minipoço, por exemplo), um ponto de referência colocado a determinada distância e na mesma altura do ponto de apoio, um tubo fino para servir de “luneta” e um aplicativo instalado no celular. Embora a precisão da técnica seja muito restrita, a amplitude das classes de declividade tende a minimizar os erros. Em outras palavras, embora fundamentadas técnica e cientificamente, trabalha-se com estimativas e aproximações, dados os materiais utilizados nas medições de campo aqui propostos.

1. Utilizar um smartphone, baixar e instalar aplicativo de medição de declividade (clinômetro), que permita a leitura em porcentagem (experimente o Clinometer, gratuito);
2. Utilizar bola pequena, colorida, ou qualquer referência de fácil visualização como alvo da medição;
3. Posicionar o alvo na mesma altura do braço da cavadeira e a 20 m ou 30 m de distância desta;
4. Abrir aplicativo de medição de declividade (clinômetro) previamente instalado no smartphone;
5. Utilizar o braço da cavadeira como ponto de apoio para o celular;
6. Posicionar tubo fino sobre o celular mirando no alvo;
7. Encontrado o alvo, travar a medição;
8. Fazer ao menos três medições e considerar a média;
9. Pontuar de acordo com o indicado no Quadro 8.11.

Quadro 8.11. Descrição, características e pontuação de Declividade para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Declividade	Descrição e características	PA	PEU
0 a 3%	Terraços fluviais, planícies de inundação com topografia plana a ligeiramente inclinada. Formações superficiais espessas. Atenção às APPs de corpos d'água. Possibilidade de plantios sazonais para pequenas propriedades. Consultar Lei 12.651/12 – Código Florestal.	4	1
	Atenção à possibilidade de haver restrições quanto as APPs de topo de morro, descrita no Código Florestal (Lei 12.651/12).	5	5
3 a 12%	Pouco empecilho ao uso e ocupação urbanas. Superfície de pouco inclinada a movimentada. Solos empobrecidos com pedogênese em equilíbrio com a morfogênese, boa drenagem exigindo boas práticas de manejo.	5	5
12 a 20%		4	5
20 a 30%		3	4
30 a 45%	Áreas instáveis, com predomínio da morfogênese sobre a pedogênese. Parcelamento não permitido. Uso e ocupação condicionados por estudos geológico-geotécnicos.	3	3
45 a 75%	Terrenos instáveis com possibilidade de movimentação de massas. Áreas sem vocação para ocupação urbana. Áreas inviáveis para outros usos que não a preservação.	2	2
>75%	Formas abruptas, muito íngremes. Áreas inviáveis para outros usos que não a preservação. Áreas de Preservação Permanente (APP) acima de 100%.	1	1

Fonte: Autor.

8.3 Orientação da vertente

Especialmente em latitudes mais elevadas, acima de 23°N (Trópico de Câncer) e 23°S (Trópico de Capricórnio), vertentes voltadas para o norte no hemisfério sul ou para o sul no hemisfério norte, recebem maior insolação durante o ano, sendo então mais quentes e secas (faces Soalheiras). Ao contrário, vertentes voltadas para o sul no hemisfério sul ou para o norte no hemisfério norte, recebem menos luz solar durante o ano, sendo mais frias e úmidas (vertentes Noruega, úmbria, sombria). Fundos de vales e espaços mais planos tendem a concentrar umidade mais que topos de morro e encostas íngremes, que tendem a ser mais secas (FERREIRA, WILLIAMS P. M. *et al.*, 2012).

Fernandes Filho e Sá (2007) indicam que, se o gradiente de radiação solar em escala global se dá em função da inclinação do eixo terrestre, em escala local a topografia ganha grande expressão, modificando sua distribuição em função da forma do terreno, inclinação, orientação da face e formação de sombras nos terrenos vizinhos, refletindo e orientando o clima do lugar, fundamental para estudos agroclimáticos para implantação de agricultura e floresta. Utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e a extensão *Solar Analyst* para cálculo da radiação global (RG) e radiação solar direta (NH) os autores estudaram uma área no município de Antônio Dias, MG (18°39'S e 42°55'O). Os resultados confirmaram as faces Norte, Nordeste e Noroeste, seguidas das faces Leste e Oeste como maiores receptoras de RG, enquanto as faces Sudeste, Sul e Sudoeste, seguidas da Leste e Oeste como receptoras de menos radiação. Quanto à NH, terrenos planos recebem mais horas de radiação solar, provavelmente em função de menor sombreamento, seguido pelas faces Norte, Nordeste e Noroeste, com menos horas de sol nas faces Sudeste, seguida pelas faces Sul, Sudoeste e Oeste.

Oliveira e Ferreira (2013) estudaram a distribuição da radiação global na Bacia do Rio Paraibuna, divisa entre Minas Gerais e Rio de Janeiro, correlacionando-a aos atributos físicos de declividade e orientação das vertentes. Utilizando o programa ArcGis 10 e imagem SRTM da Embrapa, datada de 12 de agosto de 2012 (inverno), identificaram declividade menor que 30% na maior parte da bacia, com vertentes predominantemente voltadas para Sudeste e Noroeste. Concluíram as autoras que as

áreas mais elevadas, com maiores declives e com as faces voltadas para Sudeste e Noroeste apresentaram maiores valores de radiação.

Armani (2009) apresentou dados topoclimáticos de uma pequena bacia hidrográfica que mostram a correlação entre orientação e declividade de vertentes, umidade relativa e temperatura. O trabalho evidenciou uma diminuição média de 0,3°C na temperatura de vertentes voltadas a SW, com atraso em média de 30 minutos para começar a aquecer em relação à face NE, que apresentou desvios padrões maiores para temperatura, refletindo maior variação desse atributo. A umidade relativa também foi maior na vertente SW em relação à NE, ao passo que os fundos de vale mostraram aquecimento e resfriamento mais rápidos que os topos de morro.

Ferreira et al. (2012), apresentando estudo sobre a cafeicultura de montanha, definem como Noruega, para o hemisfério sul, as vertentes, encostas ou faces voltadas para o Sul e Soalheiras para aquelas voltadas para o Norte. Adotando como referência um maciço localizado a 20°S, concluíram os autores que a face Leste no solstício de inverno e a face Oeste no solstício de verão recebem os menores valores de radiação solar, sendo a face Noruega SE a mais fria e a face Soalheira NW mais quente, com temperaturas mais amenas nas faces NE da encosta Soalheira e SW da encosta Noruega.

Modenesi-Gauttieri e Hiruma (2004), analisando parte da Serra da Mantiqueira, na região do planalto de Campos do Jordão, assinalam vertentes da face norte com encostas mais secas e ensolaradas, enquanto as vertentes na face sul-sudeste apresentam maior sombreamento, umidade e exposição direta às frentes polares que derrubam as temperaturas após provocarem instabilidades climáticas e chuvas.

8.3.1 Como avaliar e pontuar a Orientação da vertente

No nível local, **Vertentes** (encostas, faces) voltadas para o norte no hemisfério sul ou para o sul no hemisfério norte, recebem maior insolação durante o ano, sendo então mais quentes e secas. Ao contrário, vertentes voltadas para o sul no hemisfério sul ou para o norte no hemisfério norte, recebem menos luz durante o ano, sendo mais frias e úmidas. Agrupando as contribuições de Lobato; Oliveira [S.d.], Fernandes Filho; Sá (2007), Oliveira; Ferreira (2013), Armani (2009), Ferreira et al. (2012), Oliveira e

Ferreira (2013), propõe-se o Quadro 8.12 como atributo para a pontuação de Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Procedimento – Para determinar a orientação geográfica da face ou vertente sob estudo existem maneiras diretas e precisas e outras menos precisas ou indiretas. Sempre de costas para o plano médio da vertente, a direção logo à frente do observador corresponde à orientação da vertente. De modo direto, pode-se conhecer essa orientação utilizando um *smartphone*, GPS ou o Google Earth.

- a. **GPS** – configurar para indicar o Norte verdadeiro (geográfico). Permanecer de costas para a vertente com o GPS posicionado à frente. A leitura da posição (azimute) mostrada na tela corresponde à direção geográfica da encosta ou vertente.
- b. **Smartphone** – nem todo celular dispõe de sensor magnético. Nos que o tem, baixar e instalar bússola e configurar para o modo geográfico. Fazer a leitura como indicado para o GPS.
- c. **Google Earth** – um modo ainda mais simples é baixar, instalar e abrir o Google Earth (*smartphone, tablete, notebook*) e então clicar em “meu local”. O programa buscará a localização do operador e mostrará o mapa ou terreno apontando para o Norte geográfico (em caso de local sem internet, baixar previamente a imagem da área ou região de estudo). De costas para a vertente, girar a imagem do Google Earth até que a mesma coincida com a paisagem à frente. A bússola mostrada no programa indica a direção da vertente.
- d. **Bússola** – aponta o Norte magnético e o Norte verdadeiro estará um pouco à direita do indicado na bússola (~20 graus). Encontrado o Norte, determinam-se os pontos cardeais e define-se a orientação da vertente.

Não havendo acesso às tecnologias indicadas, métodos menos exatos ou indiretos podem ser usados para inferir ou determinar o Norte verdadeiro ou geográfico e, a partir dele, estabelecer os pontos cardeais (norte, sul, leste oeste, nordeste, sudeste, etc.):

- a. **Relógio analógico** – no hemisfério sul, manter o relógio na posição horizontal e apontar o mostrador de 12 horas para o sol. No ângulo formado entre as 12

horas e o ponteiro da hora, a bissetriz (linha que divide ao meio o ângulo) indicará o Norte verdadeiro. O mesmo processo pode ser feito mentalmente utilizando um relógio digital.

- b. **Musgos e líquens** - observar os musgos nos troncos das árvores e rochas, que tendem a se desenvolver na parte sul (mais sombreado e úmido).
- c. **Entrada de tocas de animais** – no hemisfério sul, a abertura de tocas e ninhos tendem a se orientar para o Norte (mais quente e seco).
- d. **Vareta** - espetar verticalmente uma vareta no chão e marcar a ponta da sombra no solo; após 15 minutos ou mais, marcar novamente a ponta da sombra, que terá se deslocado. A linha que une as duas pontas indicará a orientação de oeste (primeira marca) para leste (segunda marca).

Quadro 8.12. Descrição, características e pontuação de Orientação da vertente para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Vertentes	Descrição e características	PA	PEU
Sul	Latitude menor que 23° S (Trópico de Capricórnio) – maior umidade, menores incidência solar, insolação, temperatura e produtividade primária.	1	1
	Latitude maior que 23° N (Trópico de Capricórnio) – a depender da declividade pode não haver incidência solar direta.	1	1
Sudeste e Sudoeste	Latitude menor que 23° (Trópico de Capricórnio) - menor incidência solar no inverno, maior no verão.	2	2
	Latitude maior que 23° (Trópico de Capricórnio) - a depender da declividade pode haver reduzida a nula incidência solar direta.	2	2
Leste	Maior incidência solar pela manhã, temperaturas mais amenas, maior umidade relativa.	3	3
Oeste	Maior incidência à tarde, temperaturas mais elevadas, menor umidade relativa.	3	3
Nordeste e Noroeste	Maior incidência solar a Nordeste pela manhã (relativamente mais úmido) e a Noroeste à tarde (relativamente mais seco).	4	4
Norte e áreas planas	Maiores incidência solar, insolação, temperatura e produtividade primária. Menor umidade na vertente norte, maior umidade nos fundos de vale e regiões planas.	5	5

Fonte: Autor.

8.4 Pedregosidade e Rochosidade

Pedregosidade e Rochosidade são atributos muito empregados na avaliação do potencial de uso agrícola de um espaço, por conta de potenciais danos a máquinas e equipamentos aliado às dificuldades de manejo, aração e plantio.

Para Agroecossistemas, o que se busca é a maior ou menor aptidão do espaço tendo em vista sua utilização múltipla: agricultura, pecuária, silvicultura, recuperação de áreas degradadas, produção agroecológica ou agroflorestal e manutenção de áreas de preservação e manutenção e fortalecimento dos serviços ecossistêmicos dados por ecossistemas saudáveis.

No tocante à Engenharia e Urbanismo, a inadequação do terreno para a produção de alimentos pode ser um incentivo para o *design* de intervenções e ocupação por um urbanismo biofílico e sustentável, guardando, promovendo e buscando maior relação com ambientes protegidos, embora tais áreas representem também fortes dificuldades para a implantação de infraestrutura subsuperficial, como redes de água e esgoto enterradas. A área “improdutiva” pode ainda apresentar vantagens em relação à utilização como fonte de material de construção e suporte para obras diversas, como casas, caminhos, estradas, rodovias, barragens, represas, edificações, etc.

8.4.1 Pedregosidade

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (SANTOS, HUMBERTO GONÇALVES DOS *et al.*, 2006) e Oliveira (2011) identificam Pedregosidade como a presença substancial de calhaus (2 a 20cm) e matacões (20 a 100cm), tanto na superfície quanto ao longo do perfil do solo, subdividindo-a em:

- **Fase Pedregosa** – ao longo de todo o perfil ou da superfície até profundidade maior que 40cm;
- **Fase Epipedregosa** - da superfície do solo até a profundidade máxima de 40cm (NEOSSOLOS LITÓLICOS podem ser exemplo dessa fase);
- **Fase Endopedregosa** – presença de calhaus e matacões abaixo de 40cm.

No Quadro 8.13, Oliveira (2011) relaciona as classes de pedregosidade, sua determinação e características.

Quadro 8.13. Classes de pedregosidade.

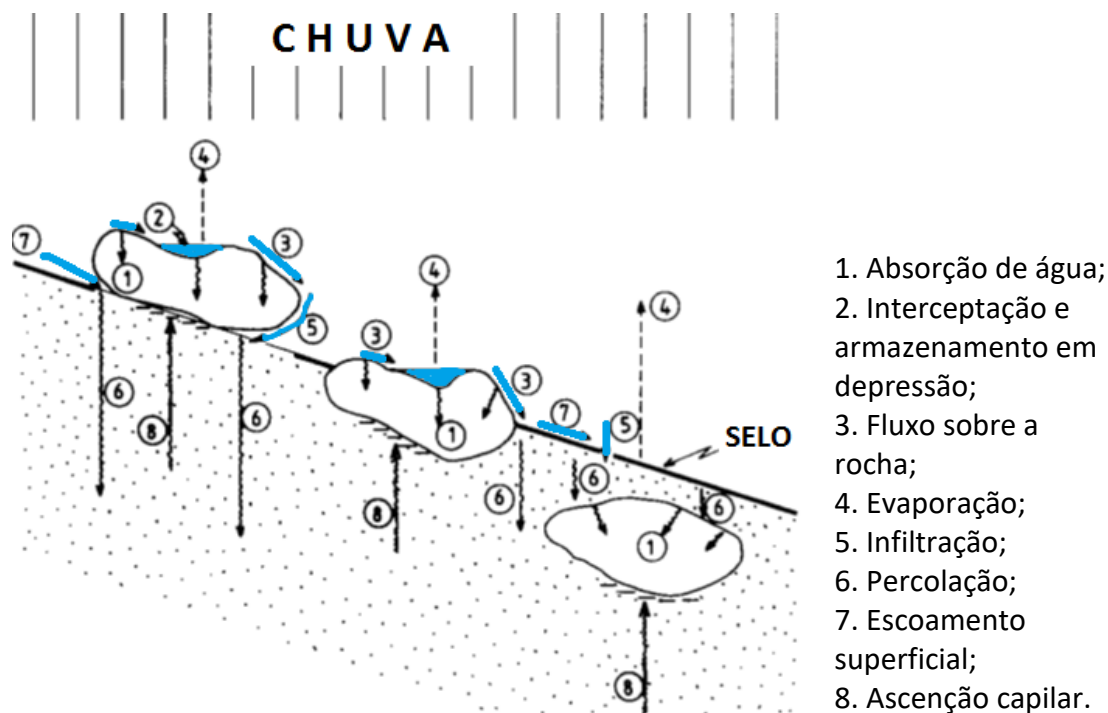
Classe	Determinação	Características
Não pedregosa	Inexistência de calhaus e/ou matacões.	Caso existentes são facilmente removíveis, não interferindo na aração.
Ligeiramente pedregosa	Calhaus/matacões esparsamente distribuídos, ocupando 0,01 a 0,1% da massa do solo ou superfície do terreno, distanciando-se de 10 a 30 m.	Alguma interferência na aração e desgaste por abrasão nos equipamentos agrícolas.
Moderadamente pedregosa	Calhaus/matacões ocupam 0,1 a 3% da massa do solo e/ou superfície do terreno, distanciando-se de 1,5 a 10 m.	Interferência significativa na aração.
Pedregosa	Calhaus/matacões ocupam 3 a 15% da massa do solo e/ou superfície do terreno, distanciando-se de 0,75 a 1,5 m.	Impraticável aração motorizada se matacões forem predominantes, menor limitação para maquinário leve e implementos manuais. Terrenos inadequados para culturas anuais. Adequados para culturas permanentes e reflorestamento com restrições. Recomendável utilização para preservação de fauna e flora.
Muito pedregosa	Calhaus/matacões ocupam 15 a 50% da massa do solo e/ou superfície do terreno, distanciando-se menos de 0,75 m entre si.	Inviável utilização de qualquer maquinário ou implemento agrícola. Viáveis apenas para florestas nativas.
Extremamente pedregosa	Calhaus/matacões ocupam 50 a 90% da superfície do terreno.	

Fonte: Oliveira (2011).

Oliveira (2011) aponta os matacões de 100cm como limite para a Pedregosidade e a partir desse tamanho se fala em Rochosidade. Define ainda o entendimento de cascalhos, calhaus e matacões:

- **Matacões** – diâmetro igual ou superior a 20cm. Juntamente com calhaus desempenham importante papel na hidrologia, como mostra a Figura 8.4, atuando como camada protetora (*mulch*), estando relacionados ao balanço de radiação, disponibilidade hídrica e temperatura do solo.

Figura 8.4. Subprocessos hidrológicos ocorrentes em solos superficiais contendo fragmentos rochosos em diferentes posições.



Fonte: modificado de Poesen; Lavee (1994).

- **Calhaus** – partículas com diâmetro de 2 a 20cm, constituídos de rochas, petroplintita, nódulos, concreções, seixos rolados, etc. Sua presença é considerada benéfica, uma vez que eleva a porosidade do solo, influenciando na permeabilidade interna, disponibilidade hídrica e redução da perda por evaporação. Contribui para impedir ou diminuir a erosão (baixa erodibilidade) ao reduzir o impacto da chuva sobre o solo, bem como o aumento da rugosidade implica em diminuição da velocidade de escoamento superficial e aumento da taxa de infiltração. Nos estágios seco ou molhado, o volume não varia e a coesão, adesão e compressibilidade são muito baixas.
- **Cascalhos** – fração variando de 0,2 a 2cm, constituída por fragmentos de rocha, seixos rolados, fragmentos de petroplintita, plintita, concreções, nódulos, etc.

comportam-se de maneira similar aos calhaus e sua presença em diferentes graus acrescenta terminologia adicional à textura com cascalho (8 a 15%), textura cascalhenta (15 a 50%) e textura muito cascalhenta (>50%).

Moody e Cong (2008) abordam a pedregosidade (*gravel/gravelly*) como a presença de cascalho no solo, restringindo as possibilidades de uso do mesmo e as variedades de cultivo. O Quadro 8.14 traz a classificação, percentual de cascalho, descrição e manejo.

Quadro 8.14. Classe, determinação da pedregosidade, características e manejo.

Classe	Determinação	Características	Manejo
Cascalho	35 a 60% de seixos (2 a 75 mm) por volume	A quantidade de cascalho interfere seriamente no cultivo, os cultivares são restritos, a precisão de plantio e aplicação de fertilizantes diminui, as plântulas são frequentemente enterradas durante o cultivo, a disponibilidade hídrica para as plantas é reduzida.	Adicionar resíduos orgânicos para aumentar o volume e quantidade de matéria orgânica no solo.
Muito cascalho	61 a 90% de seixos/calhaus (<i>pebbles</i>) por volume	O terreno contém tantos seixos que o cultivo se torna impraticável ou impossível; disponibilidade hídrica reduzida.	Utilizar técnicas apropriadas para o plantio, como covas individuais para cada planta e escolher a espécie adequada, como abacaxi, p.ex.
Terreno de cascalho	>90% de seixos por volume	Muito compacto, não sendo possível o plantio; disponibilidade hídrica reduzida.	Não utilizar para plantio.

Fonte: modificado de Moody e Cong (2008).

Souza *et al.* (2016) não descrevem as características ou implicações das classes ou o manejo proposto para as mesmas (Quadro 8.15), indicando apenas o percentual de pedregosidade, qualificação (pobre, moderado, bom e ótimo) e o peso atribuído ao indicador.

Quadro 8.15. Pedregosidade, pontuação e peso.

Indicador	0 (pobre)	1 (moderado)	2 (bom)	3 (ótimo)	Peso
Pedregosidade	Solo muito pedregoso (>50 %)	Pedregosidade intermediária (21 – 50 %)	Pouco pedregoso (1 – 20 %)	Nenhuma pedregosidade (0%)	2

Fonte: Souza *et al.* (2016).

8.4.2 Rochosidade

Chamam Santos *et al.* (2006) e Oliveira (2011) de **Fase de Rochosidade** à ocorrência de “substrato rochoso, lajes de rochas, parcelas de camadas delgadas de solos sobre rochas e/ou predominância de matacões (*bolders*)” (SANTOS *et al.*, 2006, p. 244) com diâmetro superior a 100cm e em quantidade tal que impeçam o uso de máquinas agrícolas. O Quadro 8.16 traz as classes de rochosidade, sua determinação e características.

Quadro 8.16. Classes de rochosidade.

Classe	Determinação	Características
Não rochosa	Não há afloramento rochoso ou matacões ocupam menos de 2% da superfície do terreno.	Não interferem na aração.
Ligeiramente rochosa	Afloramentos e/ou matacões ocupam de 2 a 10% da superfície do terreno, distanciados de 30 a 100 m entre si.	Não interferem na aração, sendo possível cultivar entre as rochas e/ou matacões.
Moderadamente rochosa	Afloramentos e/ou matacões ocupam de 10 a 25% da superfície do terreno, distanciados de 10 a 30 m entre si..	Impraticável o cultivo entre rochas e/ou matacões com maquinário motorizado, sendo possível uso de implementos de tração animal. Recomendável o cultivo de forrageiras ou pastagem natural melhorada.
Rochosa	Afloramentos e/ou matacões ocupam de 25 a 50% da superfície do terreno, distanciados de 3 a 10 m entre si.	Tração animal impraticável, alta relação custo/benefício. Recomendável utilização para preservação de fauna e flora..
Muito rochosa	Afloramentos, matacões e/ou manchas de solo raso ocupam de 50 a 90% da superfície do	Recomenda-se manter florestas nativas.

Classe	Determinação	Características
	terreno, distanciados a menos de 3 m.	
Extremamente rochosa	Afloramentos e/ou matacões ocupam mais de 90% da superfície do terreno.	

Fonte: Oliveira (2011).

Pereira e Neto (2004), tendo por fontes Lemos e Santos (1996) e Lepsch *et al.* (1991) apresentam os graus de limitação agrícola de um solo em relação à rochosidade e/ou pedregosidade (Quadro 8.17).

Quadro 8.17. Graus de limitação referentes à rochosidade e/ou pedregosidade.

Graus de limitação	Rochosidade (% de exposição rochosa em relação à massa do solo)	Pedregosidade (% de fragmentos grosseiros em relação à massa do solo)
0 : Nulo	Sem rochas	Sem fragmentos
1 : Ligeiro	< 2	< 15
2 : Moderado	2 a 15	15 a 50
3 : Forte	15 a 50	50 a 75
4 : Muito forte	> 50	> 75

Fonte: Lemos e Santos (1996) e Lepsch *et al.* (1991) *apud* Pereira e Neto (2004).

O Quadro 8.18 foi elaborado compilando informações de Oliveira (2011) e Brady e Weil (2013) e apresenta propriedades e comportamentos das frações grosseiras do solo. Se por um lado o excesso dessas frações no solo compromete os Agroecossistemas, por outro pode-se ponderar que, para a Engenharia e Urbanismo, embora a instalação de infraestrutura enterrada, disposição de efluentes, instalação de aterro sanitário, etc., possam ser restringidos ou inviabilizados, a obtenção de materiais para construção, uso como leitos drenantes, leito de estradas e rodovias, suporte para barragens, represas e edificações, dentre outras, pode ser facilitada e se tornar vantajosa.

Quadro 8.18. Propriedades e comportamento de frações grosseiras.

Propriedades/comportamento	Frações grosseiras
Tamanho de vazios	Grande
Porosidade	Muito alta
Taxa de drenagem	Muito alta
Permeabilidade	Muito alta
Potencial de lixiviação de poluentes	Muito alto
Capacidade de retenção de água	Muito baixa
Suscetibilidade à compactação	Muito baixa
Suscetibilidade à erosão eólica	Muito baixa
Suscetibilidade à erosão hídrica	Muito baixa
Potencial de expansão e contração	Muito baixo
Capacidade de armazenamento de nutrientes	Muito baixa
Mudança de volume (de seco para molhado)	Nenhuma
Compacidade	
Seco	Muito baixa
Molhado	Muito baixa
Plasticidade	
Molhado	Nenhuma
Seco	Nenhuma

Fonte: compilado e modificado de Oliveira (2011) e Brady e Weil (2013).

8.4.3 Como avaliar e pontuar Pedregosidade e Rochosidade

Considerando a NBR 7250 (ABNT, 1982b), Poesen e Lavee (1994), Santos *et al.* (2006), Moody e Cong (2008), Oliveira (2011), Souza *et al.* (2016) e Brady e Weil (2013), Pereira e Neto (2004), construiu-se o Quadro 8.19, buscando integrar Pedregosidade e Rochosidade, passível de utilização tanto em Agroecossistemas como em Engenharia e Urbanismo.

Procedimento – realizar a avaliação visual do entorno.

Quadro 8.19. Descrição, características e pontuação de Pedregosidade e Rochosidade para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Classe	Pedregosidade	Rochosidade	Características	PA	PEU
Extremamente pedregoso ou rochoso	50 a 90% da superfície do terreno.	> 90% da superfície do terreno.	Inviável qualquer uso. Manter os ecossistemas naturais e os serviços por eles promovidos.	1	1
Muito pedregoso ou rochoso	15 a 50% da massa do solo e/ou superfície do terreno.	50 a 90% da superfície do terreno.	Inviável utilização de qualquer maquinário ou implemento agrícola. Reduzida disponibilidade hídrica. Manter florestas nativas. Utilização prioritária para preservação de fauna e flora. Possível a realização de obras de contenção e de baixo impacto ambiental e habitações de pequeno e médio porte.	2	2
Pedregoso ou rochoso	3 a 15% da massa do solo e/ou superfície do terreno.	25 a 50% da superfície do terreno.	Impraticável aração motorizada se matacões forem predominantes. Alta relação custo/benefício. Tração animal impraticável. Terrenos inadequados para culturas anuais. Adequados para culturas permanentes e reflorestamento com restrições. Reduzida disponibilidade hídrica para as plantas. Recomendável utilização para preservação de fauna e flora. Restrição significativa para obras de infraestrutura enterrada. Eventual facilidade de obtenção de material construtivo. Possível urbanismo ecológico e biofílico.	3	3
Moderadamente pedregoso ou rochoso	Até 3% da massa do solo e/ou superfície do terreno.	10 a 25% da superfície do terreno.	Interferência significativa na aração. Impraticável o cultivo entre rochas e/ou matacões, possível uso de implementos de tração animal. Recomendável o cultivo de forrageiras ou pastagem natural melhorada. Adicionar cobertura morta e resíduos orgânicos. Restrições para implantação de infraestrutura enterrada. Urbanismo ecológico e biofílico.	4	4
Não a ligeiramente pedregoso ou rochoso	Inexistência ou presença muito reduzida de calhaus e/ou matacões.	Inexistência ou < 10% da superfície do terreno.	Não ou pouco interferem na aração, sendo possível cultivar entre as rochas e/ou matacões. Caso existentes, matacões e calhaus são facilmente removíveis e pedregulhos desgastam ligeiramente os implementos por abrasão. Não há restrições quanto ao cultivo ou obras de Engenharia e Urbanismo.	5	5

Fonte: Autor.

8.5 Erosão

A depender da quantidade e intensidade de chuva na região e estabelecido um processo erosivo laminar (escorrimento superficial), este pode ser acentuado pela declividade do terreno e, a depender do tipo de solo, rapidamente evoluir para a abertura de canais, valas e voçorocas, com implicações diretas na modelagem do relevo de um lugar. Em encostas crescentemente íngremes, o solo nu ou sem a devida proteção de vegetação, cobertura morta, rochas, etc., torna-se ainda mais suscetível, tanto à erosão eólica como hídrica.

No processo erosivo, a camada superficial, mais rica em nutrientes e matéria orgânica, bem como camadas inferiores são carregadas para os fundos de vale, onde tendem a sedimentar na base das encostas e/ou chegar aos corpos d'água (rios, lagos, represas, açudes, ribeirões, etc.) ocasionando seu assoreamento.

O assoreamento, por sua vez, implica em danos ainda maiores, tanto em qualidade quanto em quantidade de água, visto que os sedimentos passam a ocupar o leito dos cursos d'água, diminuindo a vazão de nascentes, ribeirões, riachos e rios. Comprometem ainda a capacidade de estocagem (volume de água disponível) de açudes, lagos e represas, bem como o habitat de invertebrados, peixes, anfíbios, aves e mamíferos, diminuindo assim a capacidade de manutenção dos serviços ecossistêmicos e, não raro, comprometendo a capacidade produtiva do pequeno e médio empreendedor rural, do pescador e piscicultor ao lavrador e pecuarista.

Nas cidades, canais de drenagem assoreados aumentam a possibilidade de transbordo, causando enchentes. No presente texto, a Erosão é tratada como um atributo da Paisagem, consequência tanto da erosividade associada à pluviosidade regional (ver Clima e Zoneamento Bioclimático), quanto à erodibilidade do solo do lugar, essa associada a atributos como Declividade, Textura, Matéria orgânica, Estrutura, Infiltração e manejo do solo (BRADY; WEIL, 2013).

O processo erosivo pode se intensificar sob o uso excessivo ou intensivo de maquinário pesado, sobrepastejo ou mesmo condições naturais do solo, levando a diferentes graus de compactação (ver Compactação) da camada superficial e subsuperficial. Como consequências da compactação, a estrutura e porosidade do solo

ficam comprometidas, dificultando e até impedindo a infiltração de água e o enraizamento das plantas. Sem poder infiltrar para as camadas inferiores, a água tende a se acumular e escorrer pela superfície e, com declividades mais acentuadas, ganhar crescente poder de movimentação das massas superficiais (rochas, matacões, pedras, solo), intensificando processos erosivos.

Nas regiões tropicais, onde a pluviosidade e temperatura são elevadas, o processo químico de hidrólise é acentuado e o intemperismo produz solos profundos, ao tempo em que movimenta grande quantidade de sedimentos, trabalhando o relevo de modo bastante intenso (IBGE, 2009). Segundo IBGE (2015) seis classes de erosão, como mostra o Quadro 8.20.

Quadro 8.20. Classes de Erosão, segundo o IBGE (2015).

Extrema-mente forte	Muito forte	Forte	Moderada	Ligeira	Não aparente
Horizontes A e B completamente removidos, horizonte C com frequentes sulcos muito profundos (voçorocas). Inadequado para fins agrícolas.	Horizonte A completamente removido e horizonte B com sulcos profundos (ravinas) e ocasionais sulcos muito profundos (voçorocas). Não podem ser cruzados por máquinas agrícolas.	Mais de 75% do horizonte A removido exceto em pequenas áreas. Horizonte B exposto, com sulcos profundos (voçorocas) ocasionais e sulcos rasos frequentes e não são desfeitos na aração.	25 a 75% do horizonte A removido na maior parte da área, sulcos rasos frequentes que não são desfeitos pelo preparo do solo. Camada arável é uma mistura de A e B.	25% do horizonte A ou camada arável removidos. Presença de sulcos superficiais e ocasionais rasos, passíveis de serem desfeitos durante o preparo do solo. Parte do horizonte A pode se misturar ao B.	O solo não apresenta sinais perceptíveis de erosão laminar ou em sulcos.

Fonte: modificado de IBGE (2015).

A suscetibilidade de determinado solo ou terreno geológico em ser erodido, ou a resistência do solo à remoção e transporte de suas partículas é chamado erodibilidade,

estando condicionada às propriedades do solo (ver Textura), posição topográfica, declividade da vertente e perturbação antrópica (IBGE, 2009). A erodibilidade, por vezes é confundida com erosividade, que é a capacidade que apresentam agentes geológicos como água, vento, rios, mares, etc., de promover a erosão.

A erodibilidade de um terreno se dá em função da (IBGE, 2009, 2015; SHEPHERD *et al.*, 2008):

- Porcentagem de cobertura do solo;
- Quantidade e intensidade de chuva;
- Porcentagem de infiltração de água e permeabilidade do solo;
- Declividade;
- Comprimento da rampa;
- Constituição dos horizontes ou camadas do solo;
- Textura;
- Estrutura do solo;
- Pedregosidade;
- Grau de perturbação antrópica.

O cuidado com o solo e notadamente com sua camada superficial é fundamento para a manutenção da produtividade e sustentabilidade dos agroecossistemas. A perda de solo, principalmente a camada mais superficial, implica em (SHEPHERD *et al.*, 2008):

- Menos matéria orgânica;
- Perda de nutrientes;
- Comprometimento da estrutura e porosidade do solo, com conseqüente redução da aeração e capacidade de infiltração e retenção de água;
- Redução da profundidade potencial de enraizamento;
- Redução da capacidade de suporte dos ecossistemas locais, sejam naturais ou antrópicos (silvicultura, agricultura, pecuária, construções diversas).

Moody e Cong (2008) abordam o risco de erosão, que nas zonas tropicais se dá mais em função da água que do vento. A erosão laminar remove a camada superficial

do solo de maneira mais uniforme, enquanto a concentração da água forma sulcos rasos no terreno, identificando a erosão em sulco (*rill erosion*) ou sulcos erosivos que, avançando na profundidade, formam as ravinas e voçorocas (*gully erosion*). Toda forma de erosão acarreta perda da fertilidade do solo, de modo que o risco de erosão ranqueia o risco de perda de solo (Quadro 8.21).

Quadro 8.21. Risco de erosão e pontuação segundo Moody e Cong (2008).

Baixo (1)	Moderado (2)	Alto (3)	Muito alto (4)	Extremo (5)
Sem evidência de erosão; ou declive <2%; ou declive <1% se <i>n</i> limitações estiverem presentes.	Evidência de acumulação de solo ao longo das depressões do terreno devido à erosão laminar; ou evidência de alguns sulcos; ou declive de 2 a 5%; ou declive de 1 a 2% se <i>n</i> limitações estiverem presentes..	Sulcos são comuns; ou exposição de raízes; ou declive de 5 a 10%; ou declive de 2 a 5% se <i>n</i> limitações estiverem presentes	Evidência de sulcos extensos; ou ravinas e voçorocas; ou declive entre 10 e 15%; ou declive entre 5 e 10% se <i>n</i> limitações estiverem presentes.	Evidência de sulcos severos e voçorocas; ou declive >15%; ou declive entre 10 e 15% se <i>n</i> limitações estiverem presentes.

Fonte: Moody e Cong (2008).

Väderstad (2016) considera que a erosão hídrica, em terrenos inclinados, está relacionada à quantidade e intensidade de chuvas, declividade, permeabilidade (taxa de infiltração), estrutura e textura. A erosão hídrica pode ser aferida mediante escavação e comparação do solo no topo de morro e na base da vertente, observando ainda a erosão laminar e erosão na borda de drenos e canais, assim como a sedimentação nas proximidades e assoreamento dos leitos drenantes. A erosão eólica está relacionada à rugosidade do terreno, teor de umidade, velocidade do vento, conteúdo de matéria orgânica e tamanho das partículas. Solos cultivados intensivamente e com pouca matéria orgânica podem ter sua estrutura pulverizada, tornando-se extremamente suscetíveis à ação dos ventos, reduzindo sua produtividade pela perda de nutrientes, baixa capacidade de retenção de água e redução no volume e profundidade das raízes. A erosão eólica deve ser observada na época de preparo do solo, levando-se em conta o tamanho da pluma ou nuvem de poeira que se ergue quando da passagem do trator

ou veículos e se o material particulado permanece dentro dos limites do terreno ou se é arrastado para fora de seus limites (Quadro 8.22).

Quadro 8.22. Pontuação para Erosão, segundo Väderstad (2016).

Condição pobre (0)	Condição moderada (1)	Boa condição (2)
A erosão hídrica é preocupante, com severa formação de ravinas e erosão laminar. O solo superficial no pé do declive tem mais de 30cm de profundidade em relação ao topo do morro e a quantidade de sedimentos nos canais e córregos pode ser alto. A erosão eólica é preocupante. Grandes nuvens de poeira ocorrem quando o solo é arado em dias de vento. Substancial perda e transporte de solo para fora do terreno.	A erosão hídrica é moderada, com quantidade significativa de sulcos e erosão laminar. A profundidade do solo superficial na base do declive tem espessura de 15 a 30cm maior que no topo de morro e a quantidade de sedimentos no leito drenante pode ser significativo. A erosão eólica é moderada. Significantes plumas de poeira levantam quando do preparo e cultivo em dias de vento. Quantidade considerável de material é carreado para fora do campo mas permanece nos limites da propriedade.	A erosão hídrica não é preocupante, com apenas pequenos sulcos e baixa erosão laminar. A profundidade do solo superficial na base do declive é menor que 15cm em relação ao topo de morro. A erosão eólica não é preocupante. Pequena pluma de poeira se levanta quando do cultivo e permanece no campo.

Fonte: Väderstad (2016).

O Quadro 8.23 apresenta as pontuações e descrição de Erosão, segundo Nicholls *et al.* (2004).

Quadro 8.23. Pontuação para Erosão, segundo Nicholls *et al.* (2004).

Menos desejável (1)	Moderada ou limite (5)	Mais desejável (10)
Erosão severa, presença de pequenas ravinas.	Evidente, mas sinais de baixa erosão.	Sem sinais visíveis de erosão.

Fonte: Nicholls *et al.* (2004).

Shepherd *et al.* (2008) propõem as seguintes descrições e pontuações para Erosão do solo (Quadro 8.24).

Quadro 8.24. Pontuação para erosão do solo, segundo Shepherd *et al.* (2008).

Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)
A erosão hídrica é especialmente preocupante quando forma canais, escoamento concentrado e erosão laminar severa. Solos superficiais acumulados na base das encostas são 30cm mais profundos que aqueles de topo de morro e grande quantidade de sedimentos tende a alcançar a calha de canais, córregos, rios e represas. A erosão eólica é significativa, já que durante o preparo do solo e/ou em dias de muito vento, grande quantidade de solo e nutrientes são mobilizados para fora da propriedade.	A erosão hídrica é moderadamente preocupante, apresentando canais e erosão laminar. A profundidade do solo superficial acumulado na base das encostas é de 15 a 30cm maior que no topo de morro e a quantidade de sedimentos que atingem a calha pode ser significativa. A erosão eólica é de moderada a significativa, levantando plumas de poeira quando o solo é cultivado e/ou em dias de ventania. Quantidade considerável de solo e nutrientes são mobilizados, embora permaneçam na propriedade.	Pouca ou nenhuma erosão hídrica. O acúmulo de solo superficial na base das encostas é menor que 15cm em relação à profundidade no topo de morro. A erosão eólica não é preocupante e apenas uma pequena pluma de poeira emana do solo em cultivo ou em dias de ventania, permanecendo todo na propriedade.

Fonte: Shepherd *et al.* (2008).

Casalinho, Martins e Lopes (2007) indicam as observações e limitações (alto, médio e baixo) para erosão no Quadro 8.25.

Quadro 8.25. Limitações para Erosão, segundo Casalinho, Martins e Lopes (2007).

	Níveis de limitação dos indicadores		
Indicador	Alto	Médio	Baixo
Erosão	Muitos sulcos ou valetas que não podem ser desmanchadas; ausência de vegetação/resíduos; cor da água escorrida é igual a cor do solo; áreas muito inclinadas.	Sulcos ou valetas que podem ser desfeitas com preparo do solo; cor da água escorrida semelhante à do solo; alguma vegetação e resíduos na superfície.	Inexistência de sulcos ou valetas; água escorrida é limpa; boa presença de vegetação e resíduos na superfície do solo; solo bem estruturado; áreas levemente inclinadas.

Fonte: Casalinho, Martins e Lopes (2007).

Souza *et al.* (2016) pontuam e descrevem, no Quadro 8.26, a Suscetibilidade à erosão.

Quadro 8.26. Pontuação para Suscetibilidade à erosão, segundo Souza et al. (2016).

Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)	Ótimo (3)
Muitos sulcos ou valetas que não podem ser desmanchados, ausência de vegetação/resíduos, costumam ocorrer em áreas muito inclinadas.	Sulcos ou valetas que podem ser desfeitos com preparo do solo, alguma vegetação e resíduos na superfície.	Inexistência de sulcos ou valetas, mas solo exposto com pouca vegetação e resíduos na superfície do solo.	Inexistência de sulcos ou valetas, boa presença de vegetação e resíduos na superfície do solo.

Fonte: Souza *et al.* (2016).

Práticas conservacionistas como plantio direto, manutenção de cobertura morta, adubação verde, preparo na umidade adequada, etc., mantém e aprimora as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo (SHEPHERD *et al.*, 2008):

- Manutenção dos serviços ecossistêmicos;
- Minimização dos riscos de degradação;
- Aumento da resiliência e qualidade do solo;
- Redução dos custos de plantio;
- Redução do escoamento superficial e erosão do solo;
- Evita a compactação causada pelo tráfego de máquinas e implementos;
- Otimiza a trafegabilidade e o período de semeadura;
- Diminui a dependência das condições climáticas;
- Fortalece a biodiversidade da microbiota e a presença e reprodução de minhocas;
- Retém e incorpora quantidades crescentes de CO₂ no solo;
- Aumenta os níveis de matéria orgânica;
- Potencializa o ganho de créditos de carbono;
- Diminui o uso de combustíveis fósseis ao facilitar o cultivo;
- Diminui a emissão de gases de efeito estufa;
- Diminui a pegada ecológica da atividade na região;
- Aumenta a aceitação dos produtos no mercado.

8.5.1 Como avaliar e pontuar a Erosão

As observações gerais e pontuais foram construídas a partir das formulações de Väderstad (2016), Moody e Cong (2008), Shepherd *et al.* (2008), Casalinho, Martins e Lopes (2007), Nicholls *et al.* (2004), Souza *et al.* (2016) e IBGE (2015).

As observações de campo devem ser visuais, considerando a área próxima como um todo e, sempre que possível, averiguar as condições do canal de drenagem ou corpo hídrico receptor. Observações pontuais complementam as gerais a partir de minipoços escavados: (i) sob cercas ou ecossistema pouco alterado, buscando as condições pretéritas do terreno; (ii) na base do declive ou próximo ao corpo receptor; (iii) na porção média do declive e/ou ponto de baixa inclinação onde possam se acumular sedimentos; (iv) no topo do declive.

Procedimento - Verificar a presença de solo exposto e se há formação de linhas de erosão no terreno. Nos pés de plantas (gramíneas, árvores, arbustos), próximas aos minipoços, verificar se solo ao redor das raízes foi removido pelo escoamento laminar. Verificar as condições do solo sob as cercas das divisas da propriedade e caso a área em estudo esteja mais baixa, isso pode indicar perda de solo. Nos corpos d'água, verificar se há assoreamento do leito e/ou comprometimento das margens e/ou acúmulo de sedimentos nas bordas

Quadro 8.27. Descrição, características e pontuação de Erosão para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo.

Erosão	Descrição e características	PA	PEU
Extremamente erodido	<p>Áreas prioritárias para recuperação.</p> <p>Sulcos severos, ravinas e voçorocas expondo horizontes A, B e C.</p> <p>Máquinas não trafegam. Controle com obras de engenharia. Água escorrida muito turva e “densa”. Ausência de vegetação e resíduos orgânicos. Espessura de sedimentos de mais de 30cm de profundidade na base do declive. Grande quantidade de sedimentos alcança a calha de canais, córregos, rios e represas.</p> <p>A erosão eólica é preocupante. Durante a aração forma grandes nuvens de poeira que são transportadas a grandes distâncias.</p>	1	1
Muito erodido	<p>Áreas prioritárias para recuperação.</p> <p>Horizonte A quase ou totalmente removido, com sulcos extensos, ravinas e princípio de voçorocas atingindo horizontes B e C ou evidências de cicatrizes, trincas, fissuras, desníveis, etc. no terreno, indicando a possibilidade de movimentos de massa mais pronunciados.</p> <p>O preparo do solo e cultivo mecanizado não é possível. A água que escorre é da cor do solo. Solo muito exposto, ausência de vegetação e algum resíduo orgânico transportado. Espessura de sedimentos de 20 a 30cm na base do declive. Quantidade significativa de sedimentos alcançam a calha.</p> <p>A erosão eólica se intensifica e nuvens de poeira deixam a propriedade.</p>	2	2
Erodido	<p>Horizonte A expressivamente removido. Camada arável mistura horizontes A e B. Sulcos rasos e raízes expostas por erosão laminar são comuns. Sulcos e valetas podem ser desfeitos com aração. A água escorrida é turva. Solo exposto, com presença de alguma vegetação e resíduos orgânicos. Espessura de sedimentos de 10 a 20cm de profundidade na base do declive. Os sedimentos alcançam a calha do corpo d’água.</p> <p>A erosão eólica é moderada, formando nuvens que permanecem na propriedade.</p>	3	3
Pouco erodido	<p>Horizonte A ou camada arável em risco. Embora controlável na aração, há pouca erosão laminar, raízes um pouco expostas e formação de pequenos sulcos gerando sedimentos que se acumulam nas depressões próximas do terreno. A água escorrida é um pouco turva. Solo exposto em alguns locais, maior parte coberto por vegetação e resíduos orgânicos sobre o solo. Espessura de sedimentos de 5 a 10cm de profundidade na base do declive.</p> <p>Erosão eólica pouco significativa, formando pluma que permanece no local.</p>	4	4
Sem erosão	<p>A erosão hídrica não é preocupante, a erosão laminar é localizada e não há sulcos. A água escorrida é límpida. Solo coberto, raízes não expostas, boa presença de vegetação e resíduos orgânicos. Espessura de sedimentos <5cm de profundidade na base do declive.</p> <p>A erosão eólica não é preocupante, quase não formando pluma.</p>	5	5

Fonte: Autor.

8.6 Movimento de massa

De acordo com o CEMADEN (CEMADEN, 2016), os movimentos de massa podem ser agrupados como: quedas, tombamentos e rolamentos; deslizamentos e escorregamentos; fluxo de detritos e lama; e subsidência e colapsos, com reflexos no relevo de um lugar. Nos centros urbanos, os movimentos de massa podem provocar graves danos materiais e humanos, especialmente em ocupações irregulares com relevo íngreme e infraestrutura inexistente ou mal planejada, de modo que a simples observação da existência pretérita de movimentos de massa na localidade ou região é indicadora de risco e potencial inibidora de ocupação irregular. Cortes de talude, depósitos de lixo, disposição inadequada de efluentes, modificações na drenagem natural, desmatamento, etc., podem ainda potencializar esses riscos.

8.6.1 Como avaliar e pontuar Movimento de massa

Na literatura consultada não foi encontrada pontuação ou descritivo para Movimento de massa e, portanto, esse item é uma proposta que emerge do presente trabalho.

Procedimento - Observar indícios ou referências à ocorrência de movimentações de massa (quedas, tombamentos e rolamentos; deslizamentos e escorregamentos; fluxo de detritos e lama; e subsidência e colapsos) nas proximidades e região, recentes ou antigos, devidos ou agravados por cortes de talude, disposição de efluentes e desmatamento. Utilizar imagens do Google Earth como suporte para a avaliação (Quadro 8.28).

Quadro 8.28. Descrição, características e pontuação de Movimento de massa para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo

Movimento de massa	Descrição e características	PA	PEU
Mesma vertente	Evidências recentes de movimentação de massa, agravados ou não por cortes de talude, disposição de efluentes e desmatamento na vertente em estudo .	1	1
Vertente próxima	Evidências recentes de movimentação de massa agravados ou não por cortes de talude, disposição de efluentes e desmatamento em vertente próxima .	2	2
Mesmo maciço	Evidências ou referências a movimentação de massa no mesmo maciço ou microbacia hidrográfica local .	3	3
Região	Evidências ou referências a movimentação de massa na região .	4	4
Sem evidências	Sem evidências ou referências a movimentação de massa na região.	5	5

Fonte: Autor.

9 Biota

O termo “**Biota**” pode ser entendido como o conjunto dos seres vivos que habitam um determinado ambiente. Flora, Fauna, Matéria orgânica, Odor e Organismos do solo estão intimamente relacionados. Considerou-se a Cobertura do solo como parte da Biota, tanto por motivo didático que considera o encadeamento dos procedimentos adotados para a avaliação de um lugar, quanto por sua relação direta com os outros atributos, visto que a cobertura antrópica (urbanismo, por exemplo) ou natural (floresta, campo, cerrado, etc.) refletem, interferem e determinam a vida presente no local.

A **Flora** é composta de plantas de superfície (musgos, líquens, gramíneas, arbustos, árvores, cipós, etc.), organismos capazes de realizar a fotossíntese ao mobilizar nutrientes e água presentes no solo, gás carbônico disperso na atmosfera e energia solar, sintetizando proteínas, carboidratos, óleos, antibióticos, néctar, flores, frutos, celulose, raízes, madeira, etc. (ver Matéria Orgânica) que em parte retornam ao solo como produtos e subprodutos de seu metabolismo.

A **Fauna** é entendida como a vida animal de superfícies de uma determinada região, que interage de maneiras complexas com a Flora e Organismos do solo ao disseminar sementes e frutos, escavar galerias e túneis, colonizar espaços degradados, transportar água e nutrientes, dispersar matéria orgânica (excrementos, pelos, carcaças), fazer ninhos, interligar ecossistemas (migrações, deslocamentos), dentre outros.

Em condições naturais, a **Cobertura do solo** pode-se dar tanto por cascalhos, pedregulhos e matacões (ver Pedregosidade e Rochosidade) como por material orgânico, vivo ou não vivo, mantendo-o protegido do excesso de chuva, vento e insolação, e ainda contribuindo para incrementar sua fertilidade. A camada orgânica que pode se formar sobre o solo, resultado da queda de folhas, galhos e troncos formando a serrapilheira, assim como a estratificação vegetal, contribuem para abrandar os raios solares, diminuir a variação térmica e reter umidade nas camadas mais próximas à superfície, criando condições para que fungos, bactérias e meso e macrorganismos promovam a degradação do material, promovendo a ciclagem dos nutrientes trazidos

das profundezas pelas raízes e transformados em uma infinidade de substâncias pelo metabolismo vegetal.

Os solos apresentam componentes minerais e orgânicos em diferentes proporções. **Matéria orgânica** é aquela constituída por moléculas orgânicas (principalmente as formadas por CHONPS: carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo e enxofre), sintetizadas em compostos orgânicos. Exercendo papel fundamental e indispensável na natureza, a matéria orgânica compõe e define os organismos vivos - de micro e meso a macrorganismos animais e vegetais -, os produtos que exsudam, as excretas que produzem e a matéria sem vida ao final de seu ciclo. A quantidade de matéria orgânica e seu grau de decomposição, a presença de exsudatos associados às argilas e a presença de bactérias do gênero *Streptomyces* (decomposição da matéria orgânica) produtoras de geosmina, podem ser inferidos pelo **Odor** exalado pelo umedecimento do solo.

Ao se falar em **Organismos do solo**, diz-se de micro, meso e macrorganismos: algas, fungos, bactérias, vírus, aracnídeos, artrópodes, crustáceos, anelídeos, platelmintos, etc., que vivem no solo. Diferencia-se aqui os **Organismos do solo**, formado pela fauna e flora do solo (micro, meso e macrorganismos), daqueles organismos maiores, vivendo na ou próximo à superfície do solo, que compõem a **Fauna** (insetos, aracnídeos, crustáceos, anfíbios, répteis, pássaros, mamíferos), bem como a vegetação que emerge do solo, com ele interage e o recobre (musgos, líquens, gramíneas, arbustos, árvores, cipós, etc.), compondo a **Flora**.

Quanto mais diversificados e numerosos forem os Organismos do solo, a Fauna e a Flora, mais conexões são estabelecidas, mais complexo se torna o ambiente e mais resiliente o ecossistema (BRADY; WEIL, 2013; MILLER JR, 2013; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; ODUM, 2009; PRIMAVESI, 2002).

9.1 Flora

Como **Flora**, entende-se aqui que seja o conjunto de organismos agrupados sob os nomes de plantas ou vegetais (musgos, líquens, gramíneas, arbustos, árvores, cipós, etc.). Capazes de realizar a fotossíntese, esses organismos são autotróficos, produzindo o próprio alimento a partir de água, gás carbônico, sais minerais e energia solar. Estão na base da cadeia alimentar biosférica, uma vez que iniciam todo o processo de produção primária de matéria orgânica e armazenamento bioquímico da energia solar, deslocados para o reino animal por meio de herbívoros e destes para os carnívoros e finalmente ciclados com a intervenção de micro e meso organismos.

Grupos vegetais (**Flora**) e animais (**Fauna**) estabelecem íntimas e múltiplas relações entre si, de tal modo que, a partir de novos ambientes ou de ambientes degradados, logo se inicia uma sucessão de espécies (séries sucessionais ou seres) vegetais, interligada de modo que acompanha e é acompanhada por uma sucessão de espécies animais (ODUM, 2009). A substituição temporal de comunidades vegetais e animais num dado local ao longo do tempo é chamada de **sucessão ecológica**, entendida como um processo natural de recuperação de um ecossistema degradado.

A visão clássica de sucessão ecológica propõe uma sequência conhecida e ordenada até que uma comunidade clímax se estabeleça numa área. No entanto, a partir da década de 1980, a comunidade científica tem incorporado uma visão de maior complexidade em que perturbações antropogênicas ou naturais, como fogo, deslizamento, soterramento, fragmentação da paisagem, eventos extremos, uso e ocupação do solo, etc., assumem grande importância no direcionamento da sucessão, que pode progredir, mas também regredir ou estacionar, gerando várias comunidades finais (clímaxes), eventualmente com convergência fisionômica, mas não necessariamente com as mesmas espécies e estrutura (GANDOLFI, 2015; MATTHES; MARTINS, 1996).

Estão estabelecidos no meio científico dois tipos de sucessão ecológica (MILLER JR, 2013; ODUM, 2009):

- a. **Sucessão primária** - estabelecimento gradual de comunidades em um terreno onde não há solo (ambiente terrestre) ou substrato de fundo (ambiente aquático): rochas

nuas, processo erosivo acentuado ou deslizamento, lago ou reservatório recém-criado, lava resfriada, etc.;

- b. **Sucessão secundária** – várias comunidades formadas por diferentes espécies se desenvolvem em terreno onde o solo já está formado (ambiente terrestre) ou em que haja sedimento de fundo (ambiente aquático): espaço desmatado, pasto degradado e abandonado, corpos d'água poluídos, terra inundada, etc.

O Quadro 9.1 resume aspectos esperados para a sucessão primária em ecossistemas diversos (terrestre, aquático, salobro, etc.) e que podem demandar centenas a milhares de anos até a fase clímax. Ecossistemas alterados, em estágio sucessional secundário, tem o tempo de resposta acelerado, variando de anos a décadas.

Quadro 9.1. Tendências da sucessão primária nos ecossistemas.

	Atributos do ecossistema	Em desenvolvimento (seres)	Maduro (clímax)
Condições ambientais	Aspectos físicos (solo, clima, umidade, etc.)	Maior variabilidade	Menor variabilidade
Populações	Tamanho do indivíduo	Pequeno	Grande
	Ciclo de vida	Curto/simples	Longo/complexo
	Crescimento	Rápido, alta mortalidade	Lento, maior sobrevivência
	Produção	Quantidade	Qualidade
	Flutuações	Maiores	Menores
	Resistência a alterações	Menor	Maior
Estrutura da comunidade	Estratificação (heterogeneidade espacial)	Pouca	Muita
	Composição de espécies (Flora e Fauna)	Mutável	Estável
	Diversidade de espécies (riqueza)	Baixa	Alta
	Estratégias	Estrategistas em <i>r</i>	Estrategistas em <i>k</i>
	Matéria orgânica total	Pouca	Muita
	Estabilidade	Menor	Maior
	Biomassa e detritos	Maior	Menor

	Atributos do ecossistema	Em desenvolvimento (seres)	Maduro (clímax)
Energética da comunidade	Respiração	Menor	Maior
	PPB/Respiração	>1	= 1 (equilíbrio)
	PPB/Biomassa	Alta	Baixa
	PPL	Alta	Baixa
	Cadeia alimentar	Linear (simples)	Rede (complexa)
Nutrientes	Ciclo de minerais	Aberto	Fechado
	Índice de ciclagem	Menor	Maior
	Retenção e conservação de nutrientes	Menor	Maior
	Nutrientes inorgânicos	Extrabióticos	Intrabióticos
	Troca de nutrientes entre organismos e ambiente	Rápida	Lenta
	Papel dos detritos na regeneração de nutrientes	Não importante	Importante
Possibilidade de exploração pelo homem	Produção potencial	Alta	Baixa
	Capacidade de resistir à exploração	Grande	Pequena
Geral	Eficiência na utilização de energia e nutrientes	Menor	Maior

Fonte: modificado de Odum (2009) e USP (s.d.).

Estrategistas em *r* – espécies com alto potencial reprodutivo (espécies pioneiras).

Estrategistas em *k* – espécies com menor potencial reprodutivo, direcionando suas energias para a manutenção e sobrevivência (espécies clímax).

PPB – Produção Primária Bruta; PPL – Produção Primária Líquida (PPL = PPB - R).

Gómez-Pompa e Vázquez-Yanes (1985), citados por Matthes e Martins (1996), em trabalho sobre a regeneração de florestas quentes e úmidas do México, expressam que, embora seja de conhecimento estabelecido que a presença ou ausência de determinadas espécies de plantas se relacionem à presença ou ausência de determinados animais e microrganismos, sejam eles dispersores, predadores, inibidores ou estimuladores de crescimento, são necessárias ainda muitas investigações em relação às mudanças ocorridas em espécies arbóreas e ciclo de vida da fauna em sucessão secundária, bem como as relações entre a flora microbiana ou saprófita e o ciclo de vida das árvores.

A alta complexidade do ambiente natural e a variabilidade dos componentes bióticos e abióticos em um espaço qualquer (mata, corpo d'água, mangue, duna, etc.), além de condições adversas (tempestades, raios, fogo, deslizamentos, etc.) eventuais ou recorrentes, impossibilitam estabelecer a linearidade de processos sucessionais e vários autores têm proposto hipóteses que os abarquem em sua totalidade (MATTHES; MARTINS, 1996).

Dessa forma, considerando linhas gerais teóricas de como poderia ocorrer a sucessão em dado espaço e tendo por objetivo propor uma avaliação genérica para a pontuação de Flora e Fauna, assume-se tenha alguma utilidade a sequência sucessional proposta no Quadro 9.2.

Quadro 9.2. Sucessão primária adotada para ambientes aquáticos e terrestres.

	Aquático	Terrestre
Primeiros organismos colonizam o novo ambiente.	Fitoplâncton e zooplâncton se desenvolvem no corpo d'água, produzem e mobilizam nutrientes.	Microrganismos, fungos e bactérias se estabelecem em fissuras e na superfícies da rocha nua.
Extração, acúmulo e liberação de nutrientes do substrato.	Protozoários e larvas de insetos ampliam a incipiente cadeia alimentar.	Líquens, musgos e microfauna edáfica modificam lentamente o ambiente, liberando nutrientes das rochas e incorporando-os em sua biomassa.
A diversidade aumenta com a incorporação de matéria e energia no sistema. A produtividade primária é alta.	Macrófitas submersas e mesofauna (moluscos, crustáceos, etc.) conseguem se estabelecer ampliando a produtividade, incorporação e ciclagem de nutrientes.	Gramíneas, mesofauna e macrofauna edáfica transformam as condições iniciais do solo, produzem, incorporam e ciclaram a matéria orgânica.
Intensifica-se a troca e intercâmbio com ecossistemas próximos.	Macrófitas flutuantes, peixes e anfíbios se desenvolvem.	Arbustivas, macrofauna edáfica e pequenos animais terrestres colonizam o lugar.
A diversidade de espécies e complexidade de relações é grande.	Macrófitas emersas, aves e mamíferos em maior profusão. Predadores de topo de cadeia começam a se estabelecer.	Árvores de crescimento rápido e fauna maior se estabelecem.
A produtividade primária se iguala à	O corpo d'água chega à maturidade: o rio está limpo e	Árvores de crescimento lento e animais de grande

	Aquático	Terrestre
respiração e a sucessão chega ao seu ápice.	vivo; a pequena lagoa ou braço de rio se transforma em banhado, charco, lagoa temporária. Predadores de topo de cadeia se estabelecem e transitam entre ambientes.	porte e topo de cadeia se estabelecem no ambiente.

Fonte: modificado e em parte baseado em USP (s.d.).

9.1.1 Como avaliar e pontuar Flora

Luz, temperatura, umidade, nutrientes e herbivoria refletem condições locais (ver Clima e Zonas Bioclimáticas, Formas de relevo, Declividade, Orientação de vertentes, Pedregosidade e Rochosidade, etc.), que afetam a germinação, fotossíntese e crescimento das plantas e, portanto, os caminhos sucessionais que se seguirão (MATTHES; MARTINS, 1996).

A descrição e pontuação da **Flora** teve como base os trabalhos de USP (s.d.), Odum (2009), Gómez-Pompa e Vázquez-Yanes (1985), Matthes e Martins (1996), Miller Jr (2013), Gandolfi (2015).

Procedimento - Avaliação visual do estágio sucessional da vegetação local, assim como porte, estratificação, densidade e diversidade de espécies, considerando as características de diferentes biomas (ex.: Mata Atlântica ou Campos de Altitude), pontuando conforme o Quadro 9.3.

Quadro 9.3. Descrição, características e pontuação de Flora para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo.

Flora	Descrição e características	PA	PEU
Ausência	Ausência ou início de colonização. Presença de fungos, líquens, samambaias, gramíneas. Porte baixo, sem estratificação, baixa densidade e baixa diversidade de espécies.	1	5
Baixa complexidade	Maior parte de gramíneas colonizam o ambiente, porte baixo, sem ou pouca estratificação, densidade crescente, baixa diversidade, monocultura de pastagem (braquiária, p.ex.). Baixa presença ou apenas passagem de fauna.	2	4
Média complexidade	Presença crescente de plantas arbustivas, porte baixo e médio, início de estratificação, maior densidade, maior diversidade, “campo sujo” com algumas árvores dispersas de maior porte, área de pousio ou em recuperação, profusão de cipós e lianas (trepadeira lenhosa), conglomerado de estrato arbóreo um pouco mais denso. Fauna mais presente, buscando alimento, proteção e abrigo.	3	3
Complexa	Árvores de espécies primária e secundária de porte médio emergem acima de gramíneas e arbustos, estratificação mais pronunciada, maior densidade, maior produção de matéria orgânica, diversidade de espécies, cipós e lianas (trepadeira lenhosa) nos limites. Internamente mais aberta, menos densa, microclima mais ameno, presença e estabelecimento de fauna. Campos naturais (campos de altitude, pampas, etc.) com grande diversidade de espécies.	4	2
Clímax	Árvores de médio e grande porte, grande aporte de biomassa no solo, intensa atividade de fauna, banco de sementes e plântulas presente, menor densidade, grande diversidade de espécies, microclima ameno (florestas). Cerrado, campos naturais (campos de altitude, pampas, etc.) em estágio de pleno equilíbrio com o ambiente, adaptados à queima periódica da qual necessitam para renovação e brotamento de sementes. Fauna presente, perceptível e de relativa fácil visualização.	5	1

Fonte: Autor.

9.2 Fauna

A **Fauna** diz respeito aos seres heterótrofos, aos animais (insetos, aracnídeos, crustáceos, anfíbios, répteis, pássaros, mamíferos), e está associada à disseminação de sementes e frutos, escavação de galerias e túneis, colonização de espaços degradados, transporte de água e nutrientes, dispersão de matéria orgânica (excrementos, pelos, carcaças) e interligação de ecossistemas (migrações, deslocamentos), dentre outros, de modo que a perda da fauna (defaunação) pode implicar em graves consequências para a biodiversidade, produção de alimentos, perda dos serviços ambientais, reprodução de espécies vegetais, fertilidade do solo e produção de água potável (LOPES, 2014).

Insetos, especialmente as abelhas, são responsáveis pela polinização de inúmeras espécies vegetais e sua perda ou diminuição de sua população interfere diretamente na produção de alimentos para diversas espécies, incluindo a humana (café, laranja, maçã, abóbora, cebola, feijão, girassol, soja), com reflexos na economia, saúde, bem-estar e meio ambiente (ALMEIDA, DANIELA DE *et al.*, 2003).

Anfíbios são considerados bons indicadores biológicos das condições ambientais, visto necessitarem tanto de água quanto de solo para os processos de reprodução, alimentação e abrigo, de modo que a falta desses animais pode indicar ambientes alterados ou muito comprometidos.

Usando o voo para deslocamento, as aves e pássaros podem cobrir grandes distâncias em busca de alimentos, disseminando sementes variadas em suas fezes ou carregadas em seus bicos.

Mamíferos podem ser grandes disseminadores de sementes em seus pelos e fezes. A anta, por exemplo, é considerada uma “jardineira” de florestas e, assim como a presença de outros herbívoros de grande e médio porte, são importantes também para os anfíbios e peixes, já que suas pegadas em terreno alagadiço se transformam em abrigos e locais de postura de ovos. Carnívoros de topo de cadeia como onças, serpentes, águias e jacarés controlam populações das quais se alimentam, como as capivaras, camundongos, ratos. Sem esse controle, algumas espécies, como vem ocorrendo com a capivara em algumas regiões e localidades do país, podem se reproduzir de maneira explosiva, com consequências graves sobre o ambiente, a

produção agrícola e a saúde humana (disseminação da febre maculosa, p.ex., associada a carrapatos) (JOLY, 2004).

Souza *et al.* (2016) pontuam e descrevem a Fauna (Quadro 9.4), composta por anfíbios, répteis, aves e mamíferos (macrofauna).

Quadro 9.4. Pontuação para meso e macro Fauna, segundo Souza et al. (2016).

Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)	Ótimo (3)
Ausência de qualquer indício da fauna do solo (pegadas, penas, pelos, ruídos, dejetos, etc.).	Já se encontram indícios da fauna do solo (pegadas, penas, pelos, ruídos, dejetos, etc.), sem a efetiva presença dos mesmos.	Há pouca fauna no ambiente e poucos indícios de sua presença (pegadas, penas, pelos, ruídos, dejetos, etc.).	Há abundância de fauna no ambiente e fortes indícios de sua presença (pegadas, penas, pelos, ruídos, dejetos, etc.).

Fonte: Souza *et al.* (2016).

9.2.1 Como avaliar e pontuar Fauna

A descrição e pontuação da **Fauna** teve como base os trabalhos de Lopes (2014), Almeida et al. (2003), Joly (2004) e Souza *et al.* (2016).

Procedimento - Observação auditiva, olfativa e visual da vida silvestre (não se considera animais de criação como cavalos, bois, cabras, etc.): anfíbios, répteis, aves, mamíferos. Avaliar a presença de trilhas de formigas ou de passagem de pequenos animais, odores acres (azedo, forte, penetrante), pelos, fezes, penas, etc.; cantos, vocalizações, zumbidos e sons diversos; e a visualização de pássaros, animais, insetos, etc., devem ser considerados para a pontuação de Fauna (Quadro 9.5).

Quadro 9.5. Descrição, características e pontuação de Fauna para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo.

Fauna	Descrição e características	PA	PEU
Ausência	Não se percebem indícios ou a presença de anfíbios, répteis, aves ou mamíferos na área. Sons, cantos, pios, ninhos, tocas, excrementos, pelos, penas, ruídos, pegadas, etc. inexistem. Térmitas (cupins) e formigas não colonizam o local.	1	5
Poucos sinais	Sinais esparsos como sons, excrementos, pegadas, etc. indicam passagem de anfíbios, répteis, aves ou mamíferos, mas não seu estabelecimento no local. Cupins e formigas cortadeiras iniciam a colonização das proximidades.	2	4
Presença moderada	Indícios da passagem e presença de fauna como excrementos, pelos, penas, ruídos, pegadas, etc. são mais comuns. Tocas, ninhos, escavações podem indicar presença mais estabelecida. Cupins e formigas cortadeiras presentes.	3	3
Muitos organismos	Anfíbios, répteis, aves ou mamíferos são percebidos nas proximidades. Sons, cantos, pios, ninhos, tocas, excrementos, pelos, penas, ruídos, pegadas, etc. são mais comuns (a depender do horário e época do ano). Cupins em menor número e aumenta a diversidade de formigas.	4	2
Muitos e diversificados organismos	Anfíbios, répteis, aves ou mamíferos são vistos e ouvidos nas proximidades. Sons, cantos, pios, ninhos, tocas, excrementos, pelos, penas, ruídos, pegadas, etc. são comuns e diversificados (a depender do horário e época do ano). Diversas espécies de formigas.	5	1

9.3 Cobertura do solo

A cobertura do solo pode ser entendida como uma zona de transição, contemplando uma zona de transição e mescla entre o biótico e o abiótico. Folhas, galhos, substâncias exsudadas, micro, meso e macrorganismos atuam em conjunto na produção e ciclagem contínua de nutrientes, proteção e manutenção dos serviços ecossistêmicos que um solo sadio pode oferecer (ver Infiltração, Erosão, Pedregosidade, Organismos do solo, Estrutura e Cor, Tonalidade, Odor e Mosqueado). Líquens, briófitas, gramíneas, arbustos, cipós, árvores, bem como pedregulhos, calhaus, cascalhos e matações (ver Pedregosidade) recobrem o solo mantendo sua agregação, minimizam os efeitos deletérios que o impacto de gotas d'água (chuva, irrigação) provocam na camada superficial, reduzem os efeitos erosivos de água e vento, participam de sua estruturação, mobilizam nutrientes, auxiliam na intemperização das rochas, produzem matéria orgânica que será ciclada e seus nutrientes reaproveitados, irrompem em poros, canais e galerias com suas raízes facilitando a aeração e infiltração de água, e provém alimento, refúgio e habitat para uma infinidade de espécies animais (pássaros, anfíbios, aves, mamíferos, répteis, aracnídeos, anelídeos, etc.) e microrganismos (algas, fungos e bactérias).

Para os agroecossistemas, manter a cobertura do solo, utilizando a palhada de culturas anteriores, a rotação de culturas, a manutenção de curvas de nível com linhas de vegetação nativa, a intercalação de pastagem com espécies arbóreas e de ciclo anual, a implantação de cobertura verde na entressafra, dentre outras, são estratégias apropriadas quando se deseja um solo em condições sadias, garantindo maior biodiversidade, importante tanto na produção de alimentos quanto para o bem-estar de populações humanas (SANGUINETTO, 2012).

Nicholls *et al.* (2004) abordam essas questões pontuando a cobertura do solo e o grau de decomposição de resíduos (Quadro 9.6).

Quadro 9.6. Cobertura do solo e grau de decomposição dos resíduos.

	Menos desejável (1)	Moderada (5)	Mais desejável (10)
Cobertura do solo.	Solo nu.	Menos de 50% do solo coberto por resíduos ou cobertura viva.	Mais de 50% do solo coberto por resíduos ou cobertura viva.
Grau de decomposição dos resíduos.	Resíduos orgânicos de decomposição lenta.	Presença de resíduos em decomposição do ano anterior.	Resíduos em vários estágios de decomposição, a maioria bem decompostos.

Fonte: Nicholls *et al.* (2004).

Casalinho, Martins e Lopes (2007) associam solos pobres em matéria orgânica como um dos indicadores de alto nível de limitação quanto à compactação, enquanto que a presença desta, associada a organismos do solo, indicam baixa limitação. O Quadro 9.7 aborda diretamente a matéria orgânica.

Quadro 9.7. Limitações para Matéria orgânica, segundo Casalinho, Martins e Lopes (2007).

Níveis de limitação dos indicadores		
Alto	Médio	Baixo
Solo com cores claras, sem resíduos orgânicos; ausência de minhocas e difícil de trabalhar.	Camada arável mais escurecida; poucos resíduos orgânicos e poucas minhocas.	Solo escuro; resíduos orgânicos abundantes; muitas minhocas; fofo e fácil trabalhar.

Fonte: Casalinho, Martins e Lopes (2007).

Souza *et al.* (2016) adotam percentuais para a cobertura do solo e associam a quantidade de serrapilheira (matéria orgânica) à maior ou menor suscetibilidade à compactação (Quadro 9.8).

Quadro 9.8. Pontuação para Quantidade, decomposição e incorporação da serapilheira no solo e Índice da cobertura, segundo Souza et al. (2016).

	Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)	Ótimo (3)
Quantidade, decomposição e incorporação de serrapilheira	Ausência de serapilheira.	Pouca serapilheira com decomposição muito lenta e sem incorporação ao solo.	Presença razoável de serapilheira em estágio intermediário de decomposição e incorporação na parte superficial do solo.	Muita serapilheira muito bem decomposta, resíduos em vários estágios de decomposição e excelente incorporação no solo.
Índice de cobertura	Nenhuma cobertura (0 %).	Solo pouco coberto (<60 %).	Cobertura intermediária (61 – 80 %).	Solo totalmente coberto por plantas saudáveis (>80 %).

Fonte: Souza et al. (2016).

9.3.1 Como avaliar e pontuar a Cobertura do solo

Para avaliar e pontuar a **Cobertura do solo**, considerou-se as contribuições de Nicholls *et al.* (2004), Casalinho, Martins e Lopes (2007), Sanguinetto (2012) e Souza *et al.* (2016), como mostra o Quadro 9.9, cuja metodologia de análise parte da observação visual na área do levantamento. Considera-se que quanto mais coberto e com maior quantidade de matéria orgânica, maior a produtividade vegetal e menor a fragilidade ambiental do terreno sob análise, reservando-se os mesmos, prioritariamente, para os Agroecossistemas.

Por outro lado, pensando na pontuação para Engenharia e Urbanismo (PEU), a biodiversidade e benefícios apresentados por elevada quantidade de matéria orgânica em uma área, seja em Organossolos (ricos em nutrientes) seja em solos de várzea (lembrando sua sujeição a alagamentos e lençol freático elevado), tende a desqualificá-la para a implantação de sistemas construídos e, por isso, optou-se em pontuação inversa àquela adotada para os Agroecossistemas. Em outras palavras, para esse atributo, considera-se que quanto mais adequado aos Agroecossistemas, menos adequados às Engenharias e Urbanismo e vice-versa (Quadro 9.9).

Procedimento – Avaliação visual da área de entorno.

Quadro 9.9. Descrição, características e pontuação de Cobertura do solo para Agroecossistemas (PA) e Engenharia e Urbanismo PEU).

Cobertura do solo	Descrição e características	PA	PEU
Sem cobertura	Solo nu, sem qualquer cobertura vegetal ou de resíduos orgânicos. Uso prioritário para Engenharias e Urbanismo com projetos acompanhados das melhores técnicas de drenagem e conservação do solo.	1	5
Pouca cobertura (<30%)	Até 30% da área coberta por vegetação ou resíduos orgânicos. Ausência de serrapilheira.	2	4
Cobertura moderada (30 a 60%)	De 30 a 60% de área coberta por vegetação ou resíduos orgânicos, com formação pontual de alguma serrapilheira não incorporada ao solo.	3	3
Boa cobertura (60 a 90%)	De 60 a 90% da área coberta por vegetação ou resíduos orgânicos, com presença mais distribuída de serrapilheira parcialmente incorporada na superfície.	4	2
Ótima cobertura (>90%)	Mais de 90% do solo coberto por vegetação e/ou resíduos orgânicos formando considerável camada de serrapilheira com excelente incorporação no solo.	5	1

Fonte: Autor.

9.4 Matéria orgânica

Todo processo de síntese de matéria orgânica tem início com a fotossíntese e quimiossíntese. Realizada por organismos fotossintetizantes (autótrofos ou produtores), compostos por microrganismos (algas, cianofíceas e algumas bactérias) e macrorganismos (plantas e uma lesma do mar recentemente descoberta, *Elysia chlorotica*), a fotossíntese é uma reação bioquímica em que gás carbônico (CO_2) e água (H_2O) são sintetizados, na presença de luz (energia dos fótons dissociando o hidrogênio e oxigênio da água) para formar a glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, fonte de matéria e energia) e liberar oxigênio (O_2) para o meio (ar, água ou solo).

Já a quimiossíntese é uma reação bioquímica em que gás carbônico (CO_2) e água (H_2O) são convertidos em glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) e oxigênio (O_2), utilizando energia liberada em reações de oxidação de substâncias inorgânicas como amônia, ferro, nitrito e enxofre. Exemplos de microrganismos que realizam a quimiossíntese são as sulfobactérias, capazes de oxidar compostos de enxofre e bactérias presentes nos solos e fundamentais para o ciclo do nitrogênio na biosfera, como as do gênero *Nitrosomonas*, responsáveis pela oxidação do íon amônio (NH_4^+) em nitrito (NO_2^-) e as do gênero *Nitrobacter* responsáveis pela oxidação do nitrito (NO_2^-) em nitrato (NO_3^-), este passível de absorção pelas plantas e utilizado na produção de proteínas.

Estabelecido esse processo inicial de produção do próprio alimento, os fotossintetizantes ou autótrofos são predados por organismos incapazes de se autnutrir, os heterótrofos, dando início à cadeia trófica ou cadeia alimentar, formada pelos produtores primários (autótrofos); consumidores primários (herbívoros); consumidores secundários e terciários (carnívoros de primeira e segunda ordens) e decompositores (fungos e bactérias). Auxiliando nesse processo há ainda os detritívoros, saprófagos ou necrófagos, formados por meso e macrorganismos como besouros, larvas, centopeias, urubus, abutres, etc., responsáveis pela degradação da matéria orgânica morta ou excretada e facilitando a atuação de fungos e bactérias (ver Organismos do solo).

No incessante processo de produção de matéria orgânica, a vida modificou e modifica constantemente o planeta, estando intimamente associada às transformações que ocorrem na biosfera, litosfera e hidrosfera. Neste processo, depressões, fundos de

vale e locais menos declivosos como planícies e planaltos tendem a acumular detritos localmente produzidos ou transportados de regiões mais elevadas, aumentando o teor de matéria orgânica incorporada ao solo. Em ambientes mais frios, com altitudes mais elevadas ou latitudes maiores, mais próximas aos polos terrestre e conseqüentemente mais frias, a ação de organismos decompositores diminui, resultando no acúmulo de material orgânico em diferentes estágios de degradação. Mais próximo aos trópicos e equador, ou em altitudes menores, com temperaturas crescentemente elevadas, a produção primária (vegetais, fitoplancton, algas), ao tempo que é incrementada, o é também a degradação promovida pelos decompositores. Em regiões mais úmidas e chuvosas, a decomposição e mobilização de nutrientes se intensifica ainda mais. Em terrenos com declividade pronunciada, ainda que seja grande a produção primária, a ação da gravidade, chuva e vento tendem a transportar para regiões mais baixas a matéria orgânica disponibilizada no ambiente.

Nos fundos de vales, topografia mais plana e depressões do terreno em que se favorece o acúmulo de material orgânico, a presença de elevada umidade, definida por lençol freático elevado, má drenagem ou inundação permanente ou sazonal, cria ambientes anóxicos, redutores, onde a decomposição do material orgânico fica comprometida, originando solos minerais hidromórficos (gleissolos) e solos orgânicos (turfas), pobres em nutrientes, restringindo o uso agrícola e acidez moderada a forte, comprometendo, por exemplo, a vida útil de estruturas enterradas (BRADY; WEIL, 2013; OLIVEIRA, 2011).

Por outro lado, com drenagem livre sob temperaturas menores, caso de planaltos e regiões montanhosas, o acúmulo de material orgânico em condições aeróbias dá origem aos Organossolos, potencialmente muito ricos em nutrientes. No solo, o acúmulo de material orgânico é responsável por coloração mais escura (ver Cor e tonalidade e Mosqueado) e pode definir sua taxonomia.

Oliveira (2011) e IBGE (2015) classificam o material orgânico quanto ao estado de decomposição em:

- **Fíbrico** – material fibroso, claramente de origem vegetal, com teor de fibras maior que 40%;

- **Hêmico** – estágio de decomposição entre o fíbrico e sáprico com teor de fibras entre 17 e 40%;
- **Sáprico** – material em estágio avançado de decomposição, baixo teor de fibras, maior densidade e menor capacidade de retenção de água, muito estável física e quimicamente, salvo se for drenado.

Oliveira (2011) e Santos *et al.* (2006) trazem a escala de humificação dos horizontes do solo, segundo Von Post (Quadro 9.10). Essa escala é reflexo de metodologia simples, consistindo em pressionar na palma da mão uma porção de solo molhado e avaliar a cor do líquido extraído por entre os dedos da mão fechada e a natureza das fibras vegetais e proporção do resíduo que permanece na mão findo o teste.

Quadro 9.10. Escala de humificação de Van Post.

Classificação	Grau	Decom- posição	Estrutura do vegetal antes do teste	Presença de material amorfo	Material obtido após compressão	Natureza do resíduo na palma da mão
Fíbrico	h1	Nula	Perfeitamente identificável	Nula	Água límpida.	Vegetais não decompostos.
	h2	Insignificante	Facilmente identificável	Nula	Água de cor amarelada a bruna.	Vegetais muito pouco decompostos.
	h3	Muito fraca	Identificáveis	Muito fraca	Água de cor turva, brunada a preta.	Vegetais pouco decompostos, massa fibrosa pouco úmida, resíduo não lamacento.
	h4	Fraca	Difícilmente identificáveis	Pouca	Água turva; nenhum material de solo orgânico passa entre os dedos.	Resíduo úmido de consistência ligeiramente granulosa, resíduo muito pouco lamacento.
Hêmico	h5	Média ou moderada	Reconhecíveis mas não identificáveis	Média	Água turva, brunada; algum material de solo orgânico passa entre os dedos.	Resíduo pastoso diluído, pouco lamacento, estruturas vegetais ainda visíveis a olho nu.
	h6	Média a forte	Não reconhecíveis	Elevada	Água enlameada: menos de 1/3 de material de solo orgânico passa entre os dedos.	Resíduo granuloso e macio, com algumas estruturas vegetais visíveis e muito lamacento.
Sápico	h7	Forte	Quase indistintas	Muito elevada	Água enlameada: cerca de metade de solo orgânico passa entre os dedos.	Resíduo diluído com algumas estruturas vegetais visíveis.
	h8	Muito forte	Indistintas	Muito elevada	Lama: 2/3 de solo orgânico passa entre os dedos.	Resíduo brando e diluído, resistente à decomposição: filamentos de raízes e material lenhoso.
	h9	Quase total	Praticamente irreconhecível	Muito elevada	Quase todo material de solo orgânico passa entre os dedos, como massa lamacenta homogeneizada (esponjosa).	Resíduo em pequena quantidade com estruturas pouco reconhecíveis.
	h10	Total	Irreconhecível	Muito elevada	Toda massa é homogênea e passa entre os dedos.	Sem resíduo.

Fonte: modificado de Oliveira (2011) e Santos *et al.* (2006).

As colorações estabelecidas por Von Post dizem respeito à degradação da matéria orgânica em solos orgânicos, aqueles com grande quantidade de matéria orgânica. Colorações avermelhadas e/ou adesão de partículas minerais na mão (ver Textura, Consistência, Cor e tonalidade e Mosqueado) revelam uma composição do solo tão mais mineral quanto mais pronunciadas forem essas colorações e adesões e consequentemente taxas mais reduzidas de matéria orgânica.

A NBR 6484 (ABNT, 2001) associa a cor preta ou cinza escuro a alto teor de matéria orgânica presente no solo, assim como Moody e Cong (2008), indicando tratar-se de solos turfosos ou orgânicos, ao passo que solos com nível moderado de matéria orgânica e algum óxido de ferro são de coloração brunada ou marrom (ver Cor e mosqueado).

De maneira geral pode-se dizer que, quanto maior o grau de decomposição do material orgânico, mais elevada a densidade do solo e, portanto, menor a subsidência, menor a limitação quanto à trafegabilidade e menor a taxa de retenção de água, características importantes para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo. A capacidade de suporte de materiais orgânicos é muito baixa, especialmente naqueles em que se estabeleceram recentemente canais de drenagem, com consequente rebaixamento do lençol freático e maior aeração do solo, aumentando a oxidação e acelerando a decomposição do material, resultando em rápida subsidência.

O uso de maquinário e o peso de estruturas construídas sobre esses solos agrava essa subsidência, levando ainda à diminuição da porosidade e consequente aumento da densidade, influenciando diretamente na condutividade hidráulica do solo, que cai drasticamente, podendo refletir negativamente no escoamento das águas após enchentes ou fortes chuvas (ver Permeabilidade, Porosidade e Compactação e potencial de enraizamento). Também a corrosividade nesses solos deve ser considerada em relação à Engenharias e Urbanismo. Por outro lado, a quantidade expressiva de material orgânico em decomposição nesses solos, natural ou artificialmente drenados, corresponde a elevada capacidade de troca de cátions (CTC) de 300 a 400 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ a pH neutro (OLIVEIRA, 2011), sendo portanto bastante produtivos.

Brady e Weil (2013), Oliveira (2011), Shepherd *et al.* (2008) e Santos *et al.* (2015) indicam características ou propriedades do solo associadas à matéria orgânica, que imprime neste coloração mais escura, tendendo ao preto (ver Cor e mosqueado):

- Desenvolvimento e estabilização da estrutura do solo;
- Infiltração e retenção de água;
- Redução do potencial erosivo da água e do vento;
- Equilíbrio de pH;
- Elevada capacidade de troca de cátions (CTC);
- Redução da emissão de gases de efeito estufa;
- Fonte de alimento para organismos do solo;
- Ampliação e diversificação da biomassa (vegetal, animal, microrganismos, matéria morta, serapilheira, raízes, etc.);
- Fonte e reserva de nutrientes para as plantas.

Na outra ponta, menor quantidade de matéria orgânica resulta em solos mais claros, indicando:

- Maior suscetibilidade aos processos erosivos;
- Redução da fertilidade ao reduzir o potencial fornecimento de nutrientes (menor CTC);
- Macro (N, P, K, S) e micronutrientes ficam mais suscetíveis à lixiviação;
- O solo passa a necessitar de quantidades crescentes de fertilizantes para manter a produtividade da área.

No Quadro 9.11 estão resumidas intrincadas relações apresentadas por Brady e Weil (2013) entre matéria orgânica e propriedades do solo, produtividade de plantas e qualidade ambiental.

Quadro 9.11. Efeitos da incorporação de matéria orgânica ao solo.

Efeitos	Descrição
Primários	Adicionado como cobertura viva ou morta (<i>mulch</i>), protege a superfície do solo da luz solar e gotas de chuva ou irrigação. Partículas grosseiras afofam o solo e formam macroporos, canais, etc. Fonte de alimento para a fauna do solo e atividades microbianas.
Secundários	Funções microbianas intensificadas: fixação de nitrogênio, decomposição, etc. Produção de substâncias húmicas. Produção de polissacarídeos e substâncias não húmicas.
Sobre o ecossistema do solo	Maior capacidade tampão; maior capacidade de retenção de água; maior capacidade de adsorção de íons; solo com cor mais escura (marrom escuro a preto); formação de macroporos e canais; maior estabilidade de agregados; aumento da mineralização; redução da toxicidade do alumínio; aumento da disponibilidade de Fe, Mn, Cu, Zn; aumento de N, P, S e micronutrientes; adsorção de poluentes como Pb, Cs, Cu; aumento da infiltração de água; aumento das trocas gasosas; maior retenção de Ca, Mg, K e micronutrientes; maior absorção de energia solar; moderação das temperaturas extremas do solo; redução da perda de água por evaporação; solo mais quente durante a noite e no inverno e mais frio durante o dia e no verão; inativação de toxinas e pesticidas; pH mais estável; melhor aeração e fornecimento de oxigênio para as raízes; maior infiltração e menor escoamento superficial de água; menor erosão do solo; aumento da disponibilidade de água para as plantas.
Efeitos ambientais	Menos água para irrigação; menor necessidade de adubação mineral; maior recarga de água subterrânea, menor poluição da água; menor degradação do solo; maior produção da planta; aumento do sequestro de carbono.

Fonte: Brady e Weil (2013).

9.4.1 Como avaliar e pontuar Matéria orgânica

A avaliação e pontuação para a **Matéria orgânica** considerou os conhecimentos expressos nos trabalhos Oliveira (2011) e IBGE (2015), Brady e Weil (2013), Shepherd *et al.* (2008), Santos *et al.* (2015), ABNT (2001), Moody e Cong (2008) e Shepherd *et al.* (2008). A metodologia adotada para o campo é a de avaliação visual e tátil, considerando

a escala de humificação proposta por Van Post e descrita por Oliveira (2011) e Santos *et al.* (2006).

Procedimento - Na superfície do terreno e na borda do minipoço aberto, avaliar a presença, grau de degradação e incorporação da matéria orgânica, pontuando conforme o Quadro 9.12.

Quadro 9.12. Descrição, características e pontuação de Matéria orgânica para Agroecossistemas (PA) e Engenharias e Urbanismo (PEU).

Matéria orgânica (MO)	Descrição e características	PA	PEU
Sem MO	Solo nu, sem qualquer sinal de resíduos orgânicos.	1	5
MO Fíbrica (mais de 40% de fibras)	Matéria orgânica pouco ou não incorporada ao solo. Solo com poucos resíduos orgânicos; presença acentuada de material fíbrico em estágio de decomposição nula a fraca; estrutura vegetal identificável; pouco a nenhum material amorfo.	2	4
MO Hêmica (17 a 40% de fibras)	Matéria orgânica com alguma incorporação ao solo. Solo com material hêmico em quantidade expressiva; estágio de decomposição mediana; estrutura vegetal reconhecível, mas pouco ou não identificável; média a elevada presença de material amorfo. Eventual aumento do pH do solo devido a ácidos húmicos e, especialmente em terrenos alagadiços, comprometimento de estruturas enterradas devido a intensos processos de oxi-redução.	3	3
MO Sáprica (baixo teor de fibras)	Matéria orgânica em associação com o solo superficial. Solo com material sáprico; decomposição forte a muito forte; elevada presença de material amorfo; filamentos de material lenhoso, raízes, estruturas pouco reconhecíveis ou sem resíduos. Eventual aumento do pH do solo devido a ácidos húmicos e, especialmente em terrenos alagadiços, comprometimento de estruturas enterradas devido a intensos processos de oxi-redução.	4	2
MO incorporada	Matéria orgânica incorporada e fazendo parte da estrutura do solo, apresentando pH mais estável.	5	1

Fonte: Autor.

9.5 Odor

Sob condições aeróbias, a decomposição de matéria orgânica e formação de húmus, confere odor característico de “terra molhada” ou “terra boa” (inodoro quando seco, cheiro de terra molhada quando úmido). Condições naturais anaeróbias podem induzir a formação de compostos de enxofre, etanol, acetaldeído e etileno, conferindo odores como de ovo podre (gás sulfídrico) em solos tiomórficos (presença de sulfatos). Solos com quantidade significativa de argila apresentarão pouco ou nenhum odor quando secos e cheiro de terra ou barro quando umedecidos. Em solos hidromórficos (Gleissolos), manchas amareladas podem indicar a presença de jarosita, um sulfato ácido de ferro e, nas turfás (Organossolos), o odor pode-se dar pela decomposição da matéria orgânica (IBGE, 2015; OLIVEIRA, 2011). Processos antrópicos como a disposição de rejeitos, aterros sanitários e lançamento no solo de lodos, efluentes, vinhoto, etc., podem indicar processo de poluição e contaminação perceptível pelo olfato.

Nicholls *et al.* (2004), Souza *et al.* (2016) consideram avaliar também o odor do solo, já que se pode relacioná-los ora com a textura, ora com a quantidade e grau de decomposição de matéria orgânica, ora com os compostos químicos presentes ou formados no solo e evidenciados por sua coloração. Bear e Thomas (1965) e Gerritsen (2003), dentre outros, ensinam que durante o período de seca, as plantas exsudam compostos químicos que permanecem retidos nas argilas, estando associados ao retardamento do brotamento de sementes e crescimento das plantas (BEAR; THOMAS, 1965). Também bactérias do gênero *Streptomyces* (bactérias filamentosas com ação importante na decomposição da matéria orgânica e produtoras de vários antibióticos e compostos naturais), especialmente *Streptomyces coelicolor* produzem a geosmina (do grego, “perfume da terra”), bastando 0,7 ppb para que seja percebida por humanos. Em ambiente aquático, as cianobactérias produzem a geosmina, responsável por eventual gosto de terra ou barro na água, carne de peixes, vegetais e frutas irrigadas (GERRITSEN, 2003). A geosmina, bem como os óleos produzidos pelas plantas e armazenado nas argilas, com as primeiras chuvas são dispersos como aerossóis na atmosfera, gerando um odor característico de chuva ou de terra molhada, nomeado por J.B. Bear e R.G. Thomas de petricor (do grego, “fluido eterno”) em texto publicado em 1964 na *Nature* (BEAR; THOMAS, 1964).

Nicholls *et al.* (2004) aglutinam em uma mesma descrição Cor, Odor e Matéria orgânica (Quadro 9.13).

Quadro 9.13. Pontuação para Cor, Odor e Presença de matéria orgânica, segundo Nicholls *et al.* (2004).

Indicador	Menos desejável (1)	Moderada ou limite (5)	Mais desejável (10)
Cor, odor e matéria orgânica	Pálido, odor químico e sem presença de húmus.	Ligeiramente marrom, sem odor e alguma presença de húmus.	Marrom escuro, odor fresco e abundância de húmus.

Fonte: Nicholls *et al.* (2004).

Souza *et al.* (2016), consideram a Cor e Odor do solo na definição de sua qualidade (Quadro 9.14).

Quadro 9.14. Pontuação para Cor e Odor do solo, segundo Souza *et al.* (2016).

Indicador	Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)	Ótimo (3)
Cor e odor do solo	Cor do solo da camada superficial parecida com a cor do material de origem, amarelo ou acinzentado e ausência de material orgânico e de odor.	Cor do solo da camada superficial pouco mais escura que a cor do material de origem, geralmente marrom claro e odor muito fraco.	Cor do solo da camada superficial bem mais escura que a cor do material de origem, geralmente marrom escuro e odor fraco pela presença de material orgânico.	Cor do solo da camada superficial bem diferente e escurecida e forte odor de matéria fresca pela presença abundante de material orgânico decomposto.

Fonte: Souza *et al.* (2016).

9.5.1 Como avaliar e pontuar Odor

A avaliação e pontuação para **Odor** considerou os conhecimentos expressos nos trabalhos IBGE (2015), Nicholls *et al.* (2004), Souza *et al.* (2016), Oliveira (2011), Bear e Thomas (1965) e Gerritsen (2003).

Procedimento - As mesmas amostras podem ser consideradas quanto ao **Odor** antes e após umedecimento, sendo pontuadas conforme Quadro 9.15.

Quadro 9.15. Descrição, características e pontuação de Odor para Agroecossistemas (PA) e Engenharias e Urbanismo (PEU).

Odor	Descrição e características	PA	PEU
Forte e desagradável	Decomposição de matéria orgânica em condição anaeróbia, tiomorfismo e/ou presença de poluentes ou contaminantes recém lançados ou incorporados.	1	1
Leve e desagradável	Decomposição de matéria orgânica em condição anaeróbia intermitente e/ou presença de poluentes ou contaminantes em estágio de degradação ou estabilização.	2	2
Neutro	Amostra inodora ou de mesmo aroma da referência.	3	5
Leve e agradável	Cheiro leve de barro, de terra molhada, indicando material argiloso.	4	4
Forte e agradável	Cheiro forte de terra molhada, cheiro de húmus, forte presença de material orgânico humificado e/ou maior teor de argila.	5	3

Fonte: Autor.

9.6 Organismos do solo

Diferentes modelos teóricos (guildas, esferas de influência, teias alimentares, efeitos reguladores, etc.) buscam descrever as relações complexas entre solo, vegetação, fauna (vertebrados), microrganismos, redes e teias alimentares, processos físicos e bioquímicos, etc. Via de regra, a fauna e flora do solo tem sido pouco estudada (CORREIA, 2002), embora ocupem papel fundamental na ciclagem de nutrientes, estruturação do solo e fertilidade, dentre outros.

Os **Organismos do solo** podem ser categorizados ecologicamente de maneiras diferentes, interessando-nos inferir sua quantidade e diversidade por aqueles visíveis a olho nu (meso e macrorganismos) ou indiretamente pelo uso de peróxido de oxigênio (microrganismos). Correia (2002), Moreira e Siqueira (2006), Sheperd *et al.* (2008) e Primavesi (2002) classificam esses organismos como micro, meso e macrofauna:

- **Microfauna (<0,2 mm)** – de pouco visíveis a invisíveis a olho nu, estabelecem e participam de micro teias alimentares na rizosfera e camadas mais superficiais do solo. Grupo composto por predadores, principalmente protozoários e nematóides vivendo na água do solo, alimentam-se de fungos e bactérias com grande impacto na liberação de nutrientes imobilizados na biomassa microbiana.
- **Mesofauna (0,2 a 2 mm)** – visíveis a olho nu ou lentes de aumento, são os principais transformadores da serapilheira. Grupo composto por enquitreídeos (oligoqueta), envolvidos na ciclagem biogeoquímica e mudanças de porosidade, afetando o transporte de solutos e disponibilidade de oxigênio; e micro e macroartrópodes (aranhas, tatuzinhos, ácaros e principalmente colêmbolas). Envolvidos na fragmentação e digestão de material orgânico bruto, por vezes predando microrganismos, mas também estabelecendo com estes relações mutualistas, em que o material orgânico ingerido, umedecido, parcialmente digerido e excretado é colonizado e mineralizado pela microfauna e microflora.
- **Macrofauna (>2 mm)** – visíveis a olho nu, são considerados engenheiros dos ecossistemas. Principalmente minhocas e térmitas (cupins) e diplópodes (centopeias e piolhos-de-cobra), grandes o bastante para internalizar o mutualismo com microrganismos em seus próprios tubos digestivos. Ingerindo materiais orgânicos e minerais, a interação entre ácidos orgânicos presentes na

digestão e microrganismos resultam em cropólitos de tamanho expressivo (0,1 a 2cm ou maiores), podendo compor os macroagregados do solo e participar ativamente na formação de estruturas estáveis, porosidade, densidade, etc. Geófagos, predadores e saprófagos, escavam buracos, galerias, túneis, ninhos, câmaras e estruturas compactas abaixo ou acima da superfície.

Fungos micorrízicos se associam às raízes das plantas e aumentam em muito sua capacidade de obtenção de água e nutrientes ao digerirem compostos orgânicos e inorgânicos (p. ex., fósforo) presentes no solo e transportá-los até as raízes. Fonte de nutrientes, liberados para as plantas quando de sua morte, microrganismos produzem uma infinidade de substâncias, como antibióticos que protegem a planta ao diminuir a incidência de patógenos, hormônios de crescimento, compostos que estimulam o enraizamento e substâncias agregadoras do solo, melhorando sua estrutura e prevenindo a formação de crosta superficial, que impede a aeração, infiltração e retenção de água. Como resultado, colheitas mais fartas com redução na utilização de energias não renováveis e de insumos industrializados (CASALINHO; MARTINS; LOPES, 2007; MCGARRY, 2004; NICHOLLS *et al.*, 2004; SHEPHERD *et al.*, 2008; VÄDERSTAD, 2016).

Um solo com fauna diversificada é um ótimo indicador de sua saúde, especialmente pela presença de minhocas (SHEPHERD *et al.*, 2008), uma vez que estas são diretamente afetadas tanto pelas propriedades do solo (que também modificam) quanto pelas práticas de manejo. No solo, o grupo mais numeroso é o de nematoides, sendo as minhocas o de maior biomassa, juntamente com fungos e bactérias (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Minhocas secretam hormônios de crescimento e os tuneis que escavam, revestidos de nutrientes, facilitam o enraizamento das plantas. Incrementam a atividade e diversidade microbiológica do solo, aumentando a população de actinomicetos (bactérias do solo produtoras de antibióticos) de 6 a 7 vezes após a passagem do solo por seu trato intestinal.

Ao escavar o solo, ingerir e digerir folhas e resíduos, as minhocas produzem húmus, rico em matéria orgânica, água e nutrientes. Com pH mais alto, auxilia na elevação do pH do meio, com reflexos na disponibilidade de nutrientes para as plantas

e contendo 5 vezes mais N, de 3 a 7 vezes mais P, 11 vezes mais K e 3 vezes mais Mg, além de cálcio, molibdênio e outros micronutrientes, impactando positivamente na porosidade do solo, aeração, estrutura e estabilidade dos agregados e retenção, infiltração e drenagem da água, diminuindo o escoamento superficial e a erosão. Das 25 a 30 toneladas por hectare ano de húmus produzidos pelas minhocas, 70% são depositados nas camadas inferiores do solo (SHEPHERD *et al.*, 2008).

Shepherd *et al.* (2008) propõem que se contém as minhocas a partir de amostra de 20cm³ de solo retirado para avaliar sua estrutura e então comparar o resultado com o disposto no Quadro 9.16. A presença e quantidade de minhocas na parte superior do solo varia em função da época do ano, espécie, umidade e temperatura, e modo que o acompanhamento da evolução da gleba sob estudo deve acontecer sob condições semelhantes, ano a ano.

Quadro 9.16. Pontuação para Número de minhocas em 20cm cúbicos de solo, segundo Shepherd *et al.* (2008).

Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)
<15, com uma espécie predominante	15 a 30, preferencialmente com 2 espécies ou mais	>30, preferencialmente com 3 espécies ou mais

Fonte: Shepherd *et al.* (2008).

Väderstad (2016) utiliza da mesma metodologia de Shepherd *et al.* (2008) quanto à determinação dos organismos do solo a partir da avaliação de sua estrutura (ver Estrutura) e diz da necessidade de a contagem de minhocas se dar na mesma época e sob condições semelhantes de clima e tempo, ano a ano. No entanto, propõe contar a quantidade de minhocas por um tempo pré-definido de 5 minutos, quando estatisticamente 2/3 das minhocas terão sido contadas e então comparar os resultados com o Quadro 9.17.

Quadro 9.17. Pontuação para Contagem de minhocas em 20cm cúbicos de solo, segundo Väderstad (2016).

Condição pobre (0)	Condição moderada (1)	Boa condição (2)
<4	4 a 8	>8

Fonte: Väderstad (2016).

McGarry (2004) dá ênfase ao número e tamanho das minhocas, escolhendo estas pelos benefícios que trazem ao solo e considerando que sua presença está relacionada à maior diversidade da microbiota. A contagem se faz também a partir da estrutura (ver Estrutura) observada com a retirada de amostra do solo (20 x 20 x 20 cm), incluindo a quantidade de túneis e resíduos produzidos pelas minhocas. A quantidade de minhocas (Quadro 9.18) pode ser multiplicada por 25 para se obter o total por metro quadrado.

Quadro 9.18. Pontuação para Número de minhocas, segundo McGarry (2004).

Poucas (0)	Moderado (1)	Abundante (2)
<4	4 a 8	>8

Fonte: McGarry (2004).

Casalinho, Martins e Lopes (2007) indicam as observações e limitações (alto, médio e baixo) para População de minhocas, considerando em separado a Presença de organismos (Quadro 9.19), quando é utilizado peróxido de hidrogênio (H₂O₂, água oxigenada) para inferir a quantidade de microrganismos presentes nas amostras.

Quadro 9.19. Limitações para população de minhocas e presença de organismos, segundo Casalinho, Martins e Lopes (2007).

	Níveis de limitação dos indicadores		
Indicador	Alto	Médio	Baixo
População de minhocas	Até duas minhocas por amostra tirada com pá-de-corte; ausência de canais, dejetos/resíduos orgânicos na superfície.	Presença de duas a quatro minhocas por amostra; poucos canais, dejetos e resíduos orgânicos na superfície.	Mais de cinco minhocas por amostra; grande quantidade de canais, dejetos e resíduos orgânicos no solo.
Presença de organismos	Não há vida no solo, ausência de resíduos orgânicos, insetos e/ou pequenas aranhas; ao se colocar água oxigenada numa amostra de solo úmido não há formação de efervescência ou bolhas.	Já é possível observar vida no solo; presença razoável de material orgânico na superfície e misturado ao solo; já há formação de bolhas ou efervescência quando se coloca água oxigenada numa amostra de solo.	Há muita vida no solo; pequenos insetos e aranhas; grande quantidade de resíduos orgânicos e palha misturada ao solo; muita efervescência ou formação de bolhas ao se colocar a água oxigenada numa amostra de solo.

Fonte: Casalinho, Martins e Lopes (2007).

Nicholls *et al.* (2004) referem à presença de invertebrados (Quadro 9.20) como um dos indicadores da qualidade do solo, considerando ainda a Atividade microbiológica, avaliada ou inferida mediante uso do peróxido de hidrogênio (água oxigenada, H₂O₂).

Quadro 9.20. Pontuação para Presença de invertebrados e Atividade microbiológica, segundo Nicholls *et al.* (2004).

	Menos desejável (1)	Moderada ou limite (5)	Mais desejável (10)
Presença de invertebrados	Sem sinal da presença ou atividade de invertebrados.	Alguns artrópodes e minhocas presentes.	Presença abundante de organismos invertebrados.
Atividade microbiológica	Muito pouca efervescência após aplicação de água oxigenada.	Leve a média efervescência.	Efervescência abundante.

Fonte: Nicholls *et al.* (2004).

Souza *et al.* (2016) pontuam e descrevem (Quadro 9.21) a Fauna do solo, composta por minhocas, formigas, gafanhotos, aranhas, cupins, etc. (mesofauna); e microrganismos presentes no solo, utilizando a reação de oxigenase para avaliar sua quantidade.

Quadro 9.21. Pontuação para meso e macrofauna, segundo Souza *et al.* (2016).

	Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)	Ótimo (3)
Fauna do solo (minhocas, formigas, gafanhotos, aranhas, cupins, etc.)	Ausência de qualquer indício da fauna do solo (canais, dejetos, resíduos orgânicos, etc.).	Já se encontram indícios da fauna do solo (canais, dejetos, resíduos orgânicos, etc.), sem a efetiva presença dos mesmos.	Há pouca fauna do solo e indícios de sua presença.	Há abundância de fauna do solo e fortes indícios de sua presença.
Reação de oxigenase	Não há reação de oxigenase no solo. Ao se	Já é possível observar a reação de	Reação de oxigenase facilmente	Alta reação de oxigenase no solo. Muita

	Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)	Ótimo (3)
	colocar água oxigenada numa amostra de solo úmido não há formação de efervescência ou bolhas.	oxigenase. Pouca formação de bolhas ou efervescência quando se coloca água oxigenada numa amostra de solo úmido.	observável. Formação intermediária de bolhas ou efervescência quando se coloca água oxigenada numa amostra de solo úmido.	efervescência ou formação de bolhas ao se colocar a água oxigenada numa amostra de solo úmido.

Fonte: Souza *et al.* (2016).

9.6.1 Como avaliar e pontuar os Organismos do solo

A pontuação proposta considera que quanto mais rico e diversificado em organismos seja um solo, mais benefícios ou menos restrições apresenta para os Agroecossistemas. De maneira inversa, para a Engenharia e Urbanismo considera-se que um local já bastante degradado, com presença reduzida de vida edáfica, apresenta menores restrições para a ocupação.

A descrição e pontuação de **Organismos do solo** teve como base os trabalhos de Correia (2002), Moreira e Siqueira (2006), Sheperd *et al.* (2008), Primavesi (2002), Väderstad (2016), McGarry (2004), Casalinho, Martins e Lopes (2007), Nicholls *et al.* (2004), Souza *et al.* (2016), Lopes (2014).

Procedimento - Observação a olho nu e com o auxílio de lupa (aumento de 10 ou mais vezes), tanto na porção superficial do solo e seus arredores, como nas camadas mais profundas durante o teste de Estrutura. A utilização de peróxido de hidrogênio (H₂O₂, água oxigenada) complementa as observações visuais, uma vez que sua efervescência é potencializada pela catalase, enzima presente na maioria dos organismos. A formação de pouca efervescência após algumas gotas sobre amostra umedecida indica baixa presença de microrganismos, ao passo que a alta efervescência indica alta presença de microrganismos (Quadro 9.22).

Quadro 9.22. Descrição, características e pontuação de Organismos do solo para Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo.

Organismos do solo	Descrição e características	PA	PEU
Ausência de organismos	Não se verifica presença ou atividade de macro, meso e microrganismos. Não há reação de oxigenase, formação de bolhas ou efervescência em amostra úmida.	1	5
Poucos organismos	Presença ou atividade pouco significativa de macro, meso e microrganismos. Canais e/ou dejetos de minhocas são escassos ou inexistentes. Fraca reação de oxigenase, pouca formação de bolhas ou efervescência em amostra úmida.	2	4
Presença moderada	Presença ou atividade de macro, meso e microrganismos. Canais, cropólitos e resíduos orgânicos são mais comuns. Algumas minhocas (<2) podem ser visualizadas. Moderada reação de oxigenase, com formação de bolhas ou efervescência em amostra úmida.	3	3
Muitos organismos	Macro, meso e microrganismos em maior número e diversidade. Canais, dejetos e resíduos orgânicos são comuns. Minhocas (2 a 8) são visualizadas em maior número. Reação de oxigenase intensificada, com boa formação de bolhas ou efervescência em amostra úmida.	4	2
Muitos e diversificados organismos	Macro, meso e microrganismos, assim como canais, dejetos e resíduos em grande quantidade e diversidade. Minhocas (>8) são visualizadas com facilidade. Forte reação de oxigenase, abundante formação de bolhas ou efervescência em amostra úmida.	5	1

Fonte: Autor.

10 Solo

É bem estabelecido que o “Solo” é resultado da interconexão de cinco variáveis ou fatores de formação: (i) material de origem, que sofre intemperismo ao longo do (ii) tempo em função do (iii) clima, (iv) relevo e (v) organismos vivos. Esses fatores de formação estão associados a outros cinco processos gerais: adição, perda, transformação, transporte interno e deslocamento (OLIVEIRA, 2011).

O intemperismo é uma poderosa força física e química atuante sobre a rocha mãe, ou rocha matriz, ou rocha original, promovendo seu desgaste, modificação ou decomposição. Em ambientes mais secos, o intemperismo físico é o principal agente de transformação. A elevação diurna da temperatura, que pode chegar aos 70° C naquelas rochas de coloração mais escura, seguido do resfriamento durante a noite, que pode baixar a temperatura a valores próximos do 0° C, resulta, ao longo do ciclo dia-noite, em diferentes taxas de expansão e contração do material, tanto na superfície quanto em camadas mais profundas. Como resultado dessas diferenças, ocorrem pequenas fissuras que evoluem a trincas e quebras, locais onde a umidade, salinidade e organismos vivos encontram abrigo e condições melhoradas de sobrevivência e desenvolvimento. Já em ambientes tropicais, caracterizados por maior umidade e temperatura, o intemperismo físico é superado pelo intemperismo químico, especialmente a hidrólise, quando a maior disponibilidade de água e íons H⁺, alteram a composição química e mineralógica da rocha, com os íons H⁺ substituindo e liberando íons maiores, como K⁺, Ca²⁺ e Na⁺. Essa substituição, ao tempo que disponibiliza nutrientes às plantas, enfraquece a estrutura inicial do material rochoso que, pouco a pouco vai-se transformando, em associação com a biota e reações físico-químicas diversas, em solos de diferentes qualidades e atributos, refletindo em comportamentos agrônômicos e geotécnicos distintos.

A **Infiltração** pode ser entendida como a quantidade de água (chuva, irrigação, derretimento de neve) que entra pela superfície do solo, enquanto a **Permeabilidade** é o fluxo da água no interior do solo, tanto verticalmente ao longo do perfil, quanto horizontalmente, acompanhando a declividade do terreno e **Drenagem**, a quantidade de água que deixa o maciço após atravessá-lo.

Infiltração, Permeabilidade e Drenagem apresentam velocidades variáveis de deslocamento, retenção e disponibilidade para as plantas em função do tamanho e distribuição de poros na superfície, quantidade de matéria orgânica incorporada, tipo de solo, compactação, estado inicial de umidade e estrutura, textura e porosidade da camada que atravessa, de modo que será mais rápida nos macroporos e texturas mais grosseiras e mais lenta nos meso e microporos e texturas mais finas.

A água que infiltra e percola o solo está associada à recarga do lençol freático, abastecimento hídrico das plantas, evapotranspiração, escoamento superficial, erosão, transporte físico e químico de substâncias, tanto na superfície como no interior do solo. Permeabilidade, velocidade de deslocamento, coeficiente de permeabilidade, condutividade hidráulica ou coeficiente de condutividade hidráulica, pode ser obtida utilizando a lei experimental de Darcy (ABNT, 1995), calculada à temperatura de 20°C e sob condição de saturação, que não é escopo do trabalho aqui apresentado ou **estimada** por método de campo simplificado, associada à **Infiltração** ou taxa de infiltração aqui descrita.

Compactação é a formação de uma camada endurecida, compacta, na superfície ou em camadas inferiores do solo. A compactação pode ter origem pedogenética, resultando em adensamento crescente do solo, configurando um horizonte B textural (mudança abrupta de textura, de mais arenoso acima a muito argiloso abaixo) ou a presença de duripã, fragipã e horizontes concrecional, plânico, cálcico, petrocálcico, glei, plíntico ou litoplíntico (OLIVEIRA, 2011), ou antrópica, com a compactação sendo resultado do manejo, aração, tráfego pesado ou erosão da camada superficial.

A **Estrutura** do solo está relacionada ao arranjo das partículas primárias (ver Textura), ligadas entre si por forças de atração e cimentação (ver Consistência), dadas por microrganismos, compostos orgânicos, óxidos (ferro, alumínio, manganês), carbonatos, sílica e argila, formando unidades estruturais secundárias, naturais, chamadas de agregados. A estrutura do solo é uma propriedade complexa, relacionada de um lado ao arranjo e tamanho de suas partículas e quantidade de argila, e de outro, a influências antropogênicas associadas ao seu uso e manejo.

As partículas do solo têm tamanhos diferentes (ver Textura) e se agrupam em função de suas características, presença de matéria orgânica, atuação de organismos,

argilas, óxidos de ferro, etc., formando agregados (ver Estrutura). Entre e dentro desses agregados, espaços vazios configuram poros, fissuras, canais, rachaduras, etc., estabelecendo a **Porosidade** do solo.

A **Cor** de um solo é um indicador importante para se conhecer sua saúde e comportamento. Resultado de interações químicas, físicas e biológicas, a coloração de um solo pode indicar características como: composição, material de origem, condições de formação, fertilidade, deficiências nutricionais, porosidade, estrutura, permeabilidade, suscetibilidade à erosão, etc.

A **Tonalidade** (de mais claro a mais escuro) em relação à amostra de referência (retirada de área protegida, embaixo de cercas antigas, terreno não utilizado, etc.) pode indicar a evolução do terreno sob utilização e, de modo geral, tonalidades mais claras indicam perdas em matéria orgânica, nutrientes, estrutura, permeabilidade, etc.

O **Mosqueado** indica a evolução do solo em condições atuais ou pretéritas de lençol freático elevado, submersão sazonal ou contínua, indicando condições anóxicas que interferem diretamente na degradação e incorporação de matéria orgânica, oxidação de compostos, toxicidade, estrutura, compactação, etc.

Textura é entendida como a porcentagem de partículas de diferentes diâmetros de argila, silte e areia (<2 mm) contidas na terra fina seca ao ar (TFSA), muitas vezes confundida com composição granulométrica, que diz respeito a todas as partículas minerais que compõem o solo (OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2015). A Textura está diretamente relacionada ao fluxo interno, retenção e disponibilidade de água, estrutura, aeração, drenagem, trabalhabilidade, trafegabilidade, vida edáfica, coesão, adesão, expansão, contração, compacidade, resistência à penetração de raízes, retenção ou lixiviação de nutrientes, formação de selo superficial, etc. A **classe textural** (porcentagem relativa de areia, silte e argila) das diferentes camadas ou horizontes que compõem o solo, indicam como o mesmo se comporta frente a solicitações geotécnicas, agrícolas, de engenharia civil e recuperação de ecossistemas naturais (BRADY; WEIL, 2013; OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2015).

A pedologia e ciências agrárias entendem **Consistência** como a manifestação das forças físicas de coesão e adesão atuantes nas partículas de em um solo sob diferentes

graus de umidade (OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2015). A engenharia usa **Consistência** para solos finos (silte e argila), definindo-a como a “propriedade de um solo argiloso ser menos ou mais deformável” (ABNT, 1995) ou a “facilidade relativa com a qual um solo pode ser deformado” (ABNT, 1982b), ou como a resistência à ruptura ou deformação (MCGARRY, 2004; SOIL SCIENCE DIVISION STAFF, 2017). Para solos grossos (areias e pedregulhos), a NBR 7250 utiliza a **Compacidade** (não pontuado nesse trabalho) como “estado de compactação dos depósitos granulares grossos”, classificando-os como: fofo, pouco compacto, medianamente compacto, compacto e muito compacto (ABNT, 1982b), enquanto a NBR 6502 (ABNT, 1995) define compacidade como um “estado de maior ou menor concentração de grãos ou partículas de um solo não coesivo (areia e siltes arenosos) em um dado volume”.

Desintegração é a quebra de agregados maiores em microagregados em função do aumento da umidade, processo que pode ser revertido e formar novos agregados (MCGARRY, 2004). Ocorre quando as forças que mantêm juntos os agregados são superadas por pressões internas advindas do umedecimento excessivo da argila. Como resultado do preenchimento dos poros pela água, o aumento da pressão do ar retido supera as forças de agregação, provocando a desintegração do agregado.

A **Dispersão** é um tipo de desintegração, que consiste na quebra irreversível dos agregados ao dispersar partículas primárias de areia, silte e argila (MCGARRY, 2004) em meio aquoso. Está relacionada à textura do solo (silte e/ou areia muito fina), tipo de argila, matéria orgânica, salinidade e troca de cátions. Desintegração e dispersão apontam para solos ricos em sódio, suscetibilidade à compactação, formação de crosta ou camada superficial endurecida (selamento superficial) e consequente aumento do risco de erosão. A matéria orgânica, especialmente em solos arenosos e francos, atenua a desintegração e dispersão devido às ligações químicas que promove entre as partículas e à redução da velocidade de encharcamento (MCGARRY, 2004; MOODY; CONG, 2008; NSW AGRICULTURE, 2000).

10.1 Permeabilidade

Para Oliveira (2011), a dinâmica da água no solo tem importância tanto para a agricultura, no dimensionamento de sistemas de drenagem e irrigação, erodibilidade, dimensionamento de terraços, saneamento de solos salinos, etc., como para a geotecnia, na recepção de efluentes e resíduos urbanos e industriais e riscos de contaminação do lençol freático e aquíferos. Pode-se acrescentar sua utilização em projetos de drenagem, rebaixamento do nível d'água e recalques (CAPUTO, 1988); projetos de barragens e lagoas de estabilização de rejeitos de modo a evitar a contaminação do lençol freático (ORTIGÃO, 2007); vazões, recalque, estabilidade (PINTO, 2006); fossas sépticas, lagoas de estabilização, filtros drenantes (ABNT, 1982a; ABT, 1993); e ainda projetos de hidrelétricas, fundações, construções que envolvam movimentações do solo, etc.

O território brasileiro apresenta solos muito antigos e profundos, sendo mais comuns os LATOSSOLOS (31,49% do território nacional), que apresentam boas características de permeabilidade e estrutura bem desenvolvida, e os ARGISSOLOS (26,84%) (SANTOS; FIDALGO; ÁGLIO, [S.d.]), caracterizados pela presença de horizonte B textural, horizonte plíntico, horizonte glei, mudança abrupta de textura (de superfície mais arenosa a subsuperfície mais argilosa), podendo configurar caráter plânico, solódico, duripã, fragipã, etc., indicando restrições ao fluxo da água que infiltra e percola. Em regiões montanhosas, solos pouco profundos são comuns nas encostas, formando os Litossolos (parte atual dos NEOSSOLOS, com 13,18%) que, mesmo sendo menos profundos, podem apresentar boas condições de permeabilidade pelas frestas, ranhuras, fendas e fissuras das rochas do embasamento (OLIVEIRA, 2011).

Quanto melhor a estrutura de um solo, maior sua permeabilidade, capacidade de drenagem e, sendo profundo, maior a capacidade de retenção de água, amenizando efeitos adversos para plantas, animais e sociedade nos períodos de secas, especialmente nas mais prolongadas. No cerrado, as plantas evoluíram para um enraizamento mais profundo e vigoroso, permitindo às plantas maior acesso a água e a macro e micronutrientes, contribuindo para sua saúde e produtividade mesmo no auge do período mais seco do ano. Plantas mais saudáveis auxiliam em níveis crescentes o acúmulo de serapilheira, incorporação de matéria orgânica, diversificação da fauna

(micro, meso e macro), formação de agregados e melhoria na estrutura, porosidade, aeração, drenagem e estoque hídrico.

10.1.1 Infiltração

McGarry (2004) afirma que a condutividade hidráulica saturada é uma das mais importantes propriedades do solo, controlando ampla variedade de propriedades relacionadas à qualidade ambiental: infiltração e retenção de água, escoamento superficial, lixiviação de pesticidas, contaminação de aquíferos, etc. Especialmente em solos bem estruturados, a avaliação da condutividade hidráulica saturada deve ser feita diretamente no campo, uma vez que a retirada de amostras pode implicar em quebras e obstruções de poros, rompendo as conexões presentes em um solo não alterado. Para **estimar** essa condutividade, o autor adota um método simples e rápido, creditando ao Dr. Freeman Cook (comunicação pessoal não referenciada), do *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO, Austrália), o desenvolvimento do mesmo. O autor reforça que, embora simples, o método é robusto e firmemente assentado em princípios fundamentais da física do solo, globalmente testados e aceitos e consiste em despejar 50 mm de água, equivalente a aproximadamente 400 ml², em um anel metálico ou plástico de 100 mm x 100 mm, anotando o tempo para a infiltração total da água no solo. Dois cenários são propostos para a utilização desse método:

- a. **Cenário 3-D (fluxo tridimensional)** – o anel é forçado alguns poucos milímetros dentro do solo, mantendo intacta sua estrutura e porosidade e permitindo assim a dispersão da água no solo, tanto vertical como horizontalmente (inclusive extrapolando os limites do anel abaixo da linha de contato com o solo), considerado mais adequado para avaliar a condutividade hidráulica. A estimativa de k e a pontuação do VS-Fast é apresentada no Quadro 10.1.

² Por convenção, a precipitação é medida em milímetro por metro quadrado (mm/m²). Dizer que a precipitação acumulada foi de 50 mm em um dia, equivale a dizer que caíram 50 litros de água da chuva em cada metro quadrado nesse dia. Como Moody e Cong (2008) e McGarry (2004) utilizam um tubo de 100 mm de diâmetro para o teste de campo, tem-se que a área da seção transversal desse tubo ($A=\pi r^2$) seja de 0,007854 m² e esta, multiplicada pela altura do cilindro, 0,05 m (50 mm), resulta em um volume de 0,3297 litro ou 329,7 ml, arredondado para 400 ml (nota do autor).

Quadro 10.1. Estimativa simplificada de k com base em um fluxo 3-D.

Tempo para 50 mm de água desaparecer da seção de um tubo de 50 mm de raio	Condutividade hidráulica k		Pontuação VS-Fast
	mm.h ⁻¹	m.s ⁻¹	
< 10 min.	> 36 (rápida)	10 ⁻⁵	2
10 min. a 2 h	> 3,6 (média)	10 ⁻⁶	1
> 2 h	< 1 (muito lenta)	10 ⁻⁷	0

Fonte: McGarry (2004).

- b. **Cenário 1-D (fluxo unidimensional)** – o anel é cravado profundamente no solo, de modo que a água percole apenas verticalmente, sendo utilizado quando o solo está rachado ou sua agregação dificulta a inserção do anel sem que ocorra vazamento superficial. A estimativa de k e a pontuação do VS-Fast é apresentada no Quadro 10.2.

Quadro 10.2. Estimativa simplificada de k com base em um fluxo 1-D.

Tempo para 50 mm de água desaparecer da seção de um tubo de 50 mm de raio	Condutividade hidráulica k		Pontuação VS-Fast
	mm.h ⁻¹	m.s ⁻¹	
< 30 min.	> 36 (rápida)	10 ⁻⁵	2
30 min. a 10 h	> 3,6 (média)	10 ⁻⁶	1
> 10 h	< 1 (muito lenta)	10 ⁻⁷	0

Fonte: modificado de McGarry (2004).

Moody e Cong (2008) descrevem três situações da interface água-solo: infiltração, permeabilidade e drenagem (MCDONALD *et al.*, 1990):

- **Infiltração** – os autores chamam taxa de infiltração à rapidez com que a água da chuva ou de irrigação penetra no solo. Uma taxa de infiltração baixa pode provocar alagamento se o terreno for plano ou escorrimento superficial, caso o terreno esteja em declive. Por outro lado, uma taxa de infiltração alta indica que a maior parte da água da chuva ou de irrigação infiltrará no solo e poderá resultar em drenagem (saída da água do solo).

- **Permeabilidade** – potencial de fluxo de água através do perfil do solo, relacionada com a condutividade hidráulica saturada e independente da posição do solo na paisagem;
- **Drenagem** – taxa de remoção de água do perfil do solo determinada pela posição do solo na paisagem.

Moody e Cong (2008), como McGarry (2004), adotam o proposto pelo Dr. Freeman Cook (comunicação pessoal) para estimar a condutividade hidráulica, tendo por base a taxa de infiltração de 50 mm de água, equivalente a 400 ml de água, a partir da seção de um tubo de 100 mm de diâmetro. O Quadro 10.3 relaciona a taxa de infiltração, condutividade hidráulica, classes de permeabilidade, o tempo estimado de permeabilidade e a indicação da textura, estrutura e porosidade associadas.

Quadro 10.3. Relação entre tempo de infiltração para um fluxo 3-D, condutividade hidráulica, classes de permeabilidade e descrição de características associadas.

Tempo	Taxa de infiltração	Condutividade hidráulica		Classe equivalente de permeabilidade	Permeabilidade (como tempo para todo o perfil umedecer até a capacidade de campo)	Descrição
		mm.h ⁻¹	m.s ⁻¹			
< 10 min.	Alta	> 36	>10 ⁻⁵	4 – Permeabilidade alta ($k_s > 20 \text{ mm.h}^{-1}$ ou $> 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$)	Horas	Textura arenosa ou franca, mesmo argilosa e com presença de sesquióxidos (óxido de alumínio, Al ₂ O ₃ ou óxido de ferro Fe ₂ O ₃), com estrutura fina, moderada a forte, podem ser altamente permeáveis, como os Latossolos e Argissolos; poros grandes e conectados são claramente visíveis.
10 min. a 2 h	Moderada	> 3,6	>10 ⁻⁶	3 - Permeabilidade moderada (k_s 2 a 20 mm.h ⁻¹ ou 10 ⁻⁷ a 10 ⁻⁶ m.s ⁻¹)	Dias	Geralmente textura argilosa com estrutura massiva, moderada ou forte; poros claramente visíveis.
> 2 h	Baixa	< 3,6	<10 ⁻⁶	2 - Permeabilidade lenta (k_s 0,2 a 2 mm.h ⁻¹ ou 10 ⁻⁸ a 10 ⁻⁷ m.s ⁻¹)	Semanas	Geralmente textura argilosa ou franco argilossiltosa, poucos poros visíveis, estrutura massiva, fraca ou moderada; ou dispersão classe 2 (ver Dispersão).
				1 – Permeabilidade muito lenta ($k_s < 0,2 \text{ mm.h}^{-1}$ ou $< 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$)	Meses	Geralmente textura argilosa ou argilossiltosa com estrutura grosseira e sem porosidade; ou dispersão classe 1 (ver Dispersão).

Fonte: modificado de Moody e Cong (2008).

10.1.2 Permeabilidade

Whitlow (1995) chama de permeabilidade ou condutividade hidráulica à capacidade que um solo apresenta de a água atravessá-lo. A velocidade com que a água o faz é chamada de coeficiente de permeabilidade (k), utilizado para medir a resistência que o solo oferece ao fluxo, que é afetado pela:

- Porosidade do solo;
- Distribuição dos tamanhos das partículas;
- Forma e orientação das partículas;
- Grau de saturação e presença de ar;
- Tipo de cátion e, se presente, espessura das camadas de adsorção associadas a minerais argilosos;
- Viscosidade da água do solo, que varia com a temperatura.

Os intervalos de valores médios de k para vários solos e sua relação com as condições de drenagem são mostrados no Quadro 10.4.

Quadro 10.4. Intervalos de valores para k ($m.s^{-1}$).

Tipo de solo		Intervalos de valores para k ($m.s^{-1}$)	Condições de drenagem
Cascalhos limpos		10^2 a 10^{-1}	Drenagem muito boa
Areias limpas	Argilas fissuradas e intemperizadas	10^{-2}	
Mistura de cascalho e areia		10^{-3}	Drenagem boa
		10^{-4}	
Areias muito finas		10^{-5}	Drenagem ruim
Siltes e areias siltosas		10^{-6}	
Siltes argilosos (>20% de argila)	10^{-7}		
Argilas sem fissuras		10^{-8}	Praticamente impermeável
		10^{-9}	

Fonte: Whitlow (1995).

Das (2008) informa os valores típicos do coeficiente de permeabilidade (Quadro 10.5) à temperatura de 20°C, uma vez que a mudança de temperatura influencia na densidade da água e, portanto, em sua fluidez por entre os vazios (poros) do solo.

Quadro 10.5. Valores típicos de coeficiente de permeabilidade para vários solos.

Material	Coeficiente de permeabilidade (mm.s ⁻¹)
Grossoiro	10 a 10 ³
Cascalho fino e areia grossa e média	10 ⁻² a 10
Areia fina e silte solto	10 ⁻⁴ a 10 ⁻²
Silte denso e silte argiloso	10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁴
Argila siltosa e argila	10 ⁻⁸ a 10 ⁻⁵

Fonte: Das (2008).

Adotando as classes de permeabilidade utilizadas pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos, Oliveira (2011) adaptou-as para as condições brasileiras (Quadro 10.6).

Quadro 10.6. Classes de permeabilidade, fluxo e características.

Classe	Fluxo (cm.h ⁻¹)	Fluxo* (m.s ⁻¹)	Características do solo
Muito rápida	>50	>10 ⁻⁴	Solos arenosos (areia grossa), cascalhentos: NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, NEOSSOLOS REGOLÍTICOS, NEOSSOLOS FLÚVICOS, etc.
Rápida	15 a 50	10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁴	Solos textura média (<20% de argila), arenosos (areia fina): LATOSSOLOS, NEOSSOLOS REGOLÍTICOS, NEOSSOLOS FLÚVICOS, etc.
Moderadamente rápida	5 a 15	10 ⁻⁵	Solos textura média (>20% de argila): LATOSSOLOS, CAMBISSOLOS, ARGISSOLOS, etc.
Moderada	1,5 a 5	10 ⁻⁶ a 10 ⁻⁵	Solos argilosos, porosos. CTC baixa: LATOSSOLOS, NITOSSOLOS, ARGISSOLOS, etc.
Moderadamente lenta	0,5 a 1,5	10 ⁻⁶	Solos argilosos (CTC média a elevada): solos "vérticos", ARGILOSSOLOS Planossólicos, etc.

Classe	Fluxo (cm.h ⁻¹)	Fluxo* (m.s ⁻¹)	Características do solo
Lenta	0,15 a 0,5	10 ⁻⁷ a 10 ⁻⁶	Solos argilosos (CTC elevada): VERTISSOLOS, PLANOSSOLOS vérticos. Duripã, fragipã. Horizonte plânico com caráter solódico: PLANOSSOLOS NÁTRICOS, etc.
Muito lenta	<0,15	<10 ⁻⁷	Solos argilosos, pouco porosos (CTC elevada): VERTISSOLOS. Camadas cimentadas (duripã). Horizonte plânico com caráter sódico: PLANOSSOLOS NÁTRICOS, etc.

Fonte: modificado de Oliveira (2011).

* Valores considerando a grandeza em potência de 10.

O *National Soil Survey Handbook* (USDA, 2017b) relaciona condições predominantes (Quadro 10.7) em um solo que permitem determinar a condutividade hidráulica saturada (k_{sat}).

Quadro 10.7. Condições predominantes e condutividade hidráulica saturada (k_{sat}).

Condições predominantes	k_{sat} (m.s ⁻¹)
Fragmentos grosseiros, solos vulcânicos, porosos.	$\geq 10^{-4}$
Muitos macroporos que se estendem verticalmente no perfil.	
Material poroso, muito friável, friável, macio ou solto.	10^{-4} a 10^{-5}
Material moderadamente úmido ou úmido, estrutura forte granular, em bloco ou prismática, menor que muito grosseiro e sem superfícies de fraqueza.	
Meso e macroporos que se estendem verticalmente no perfil.	
Estrutura grosseira em bloco ou prismática sem superfícies de fraqueza.	10^{-5} a 10^{-6}
35% de argila macia, ligeiramente dura, muito friável ou friável, sem superfícies de fraqueza.	
Poucas superfícies de fraqueza, poucas superfícies polidas (<i>slickensides</i>) ou ambas.	10^{-6} a 10^{-7}
Massiva e muito ou extremamente firme ou fracamente cimentada.	
Contínua e moderadamente cimentada.	
Comuns ou muitas superfícies de fraqueza ou comum ou muitas superfícies polidas (<i>slickensides</i>).	10^{-7} a 10^{-8}
Endurecimento contínuo ou cimentação muito forte.	

Fonte: modificado de USDA (2017).

Ortigão (2007) no Quadro 10.8, traz os valores de permeabilidade para solos arenosos e argilosos, considerando permeáveis aqueles de *drenagem livre*, com permeabilidade maior que 10^{-7} m.s^{-1} , sendo os demais de *drenagem impedida* ou impermeáveis.

Quadro 10.8. Valores de permeabilidade.

Permeabilidade		Tipo de solo	$k \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$
Solos permeáveis	Alta	Pedregulhos	$> 10^{-3}$
		Areias	10^{-3} a 10^{-5}
	Baixa	Siltes e argilas	10^{-5} a 10^{-7}
Solos impermeáveis	Muito baixa	Argila	10^{-7} a 10^{-9}
	Baixíssima	Argila	$< 10^{-9}$

Fonte: Ortigão (2007).

Pinto (2006) lembra que quanto menores as partículas, menores os espaços vazios entre elas e, portanto, menor o coeficiente de permeabilidade. Em outras palavras, a quantidade dos finos no solo e não necessariamente o tamanho das partículas é que determinarão sua permeabilidade, cujos valores típicos para areias, siltes e argilas são apresentados no Quadro 10.9. A estrutura do solo também é determinante, uma vez que solos residuais e evoluídos pedogeneticamente, como os LATOSSOLOS e ARGISSOLOS, mesmo argilosos a muito argilosos, apresentam grande macroporosidade, facilitando a percolação da água. Por outro lado, um solo arenoso fino do Estado de São Paulo, em estado natural, apresentou permeabilidade de 10^{-5} m.s^{-1} , reduzida a 10^{-7} m.s^{-1} após desfeita sua estrutura e recolocação com o mesmo índice de vazios e, submetido à compactação, teve seu coeficiente de permeabilidade reduzido ainda mais, caindo para entre 10^{-8} e 10^{-9} m.s^{-1} , novamente evidenciando o papel da estrutura do solo em sua permeabilidade.

Quadro 10.9. Valores típicos de coeficiente de permeabilidade de solos sedimentares.

Solo	$k \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$
Areias grossas	10^{-3}
Areias médias	10^{-4}
Areias finas	10^{-5}
Areias argilosas	10^{-7}
Siltes	10^{-6} a 10^{-9}
Argilas	$< 10^{-9}$

Fonte: modificado de Pinto (2006).

Verruijt (2012) explica que a permeabilidade é aproximadamente proporcional ao quadrado do tamanho do material particulado presente no perfil (ver Textura), sendo a argila de 100 a 1000 vezes menor que a areia. Uma indicação da condutividade hidráulica é disposta no Quadro 10.10.

Quadro 10.10. Condutividade hidráulica k .

Solo	k (m.s ⁻¹)
Pedregulho	10 ⁻¹ a 10 ⁻³
Areia	10 ⁻³ a 10 ⁻⁶
Silte	10 ⁻⁶ a 10 ⁻⁸
Argila	10 ⁻⁸ a 10 ⁻¹⁰

Fonte: Verruijt (2012).

Os valores típicos de coeficientes de permeabilidade k (m.s⁻¹) apresentados por Oliveira (2011), Ortigão (2007), Whitlow (1995), Pinto (2006), Verruijt (2012), Das (2008), Oliveira (2011) e USDA (2017) inicialmente pareceram muito diferentes por adotarem notações diferentes (mm.h⁻¹, m.s⁻¹, cm.h⁻¹) e por isso optou-se reuni-los sob a notação (m.s⁻¹) internacionalmente utilizada (Tabela 10.1). Com a tabela construída, percebeu-se que os valores são semelhantes, variando um pouco ora no tipo de solo, ora no valor indicado para k , mas consistentes entre os diferentes autores.

Tomando-se então as frações granulométricas adotadas por Oliveira (2011), Santos et al. (2015), ABNT (1982), ABNT (1995) (ver Textura) e relacionando-as aos valores médios de condutividade hidráulica disponibilizados por Ortigão (2007), Whitlow (1995), Pinto (2006), Verruijt (2012), Das (2008), Oliveira (2011) e USDA (2017), construiu-se o Quadro 10.11 com as classes de permeabilidade, frações granulométricas, valores médios do coeficiente de condutividade hidráulica k (m.s⁻¹), tempo adotado por McGarry (2004) e Moody e Cong (2008), que coincide com o calculado (regra de três simples) para infiltração de 50 mm (400 ml) de água.

Por fim, ambas as tabelas formaram a base para as pontuações propostas para Agroecossistemas (PA) e Engenharia e Urbanismo (PEU).

Tabela 10.1. Tipo de solo, permeabilidade e coeficiente de permeabilidade k ($m.s^{-1}$).

Tipo de solo		Permeabilidade			Coeficiente de permeabilidade k ($m.s^{-1}$)								
Ortigão (2007), Pinto (2006), Verruijt (2012), Whitlow (1995), Das (2008)		Ortigão (2007)		Oliveira (2011)	Whitlow (1995)	Oliveira (2011)	Ortigão (2007)	Pinto (2006)	Das (2008)	Verruijt (2012)			
Pedregulho (Material grosseiro)	Cascalhos limpos (Cascalho fino)	Solos permeáveis	Alta	Muito rápida	10^2				10^3 a	10^{-1} a			
					10				10	10^{-3}			
					1				10 a				
					10^{-1}		$> 10^{-3}$		10^{-2}				
Areias limpas	Areia grossa	Argilas fissuradas e intemperizadas			10^{-2}		10^{-3} a	10^{-3}		10^{-3} a			
Mistura de cascalho e areia	Areia média				10^{-3}	$> 10^{-4}$	10^{-5}	10^{-4}				10^{-6}	
	Areia fina				Rápida	10^{-4}	10^{-4} a		10^{-5}	10^{-2} a			
Areias muito finas	Areia argilosa						Moderadamente rápida	10^{-5}	10^{-5}		10^{-7}		
Siltes e areias siltosas	Silte					Baixa	Moderada	10^{-6}	10^{-5} a	10^{-5} a	10^{-6} a		10^{-6} a
									10^{-6}	10^{-7}	10^{-9}		10^{-8}
Siltes argilosos (>20% de argila)	Silte argiloso						Moderadamente lenta	10^{-7}	10^{-6}			10^{-4} a	
												10^{-5}	
Argilas sem fissuras	Argila siltosa				Solos impermeáveis	Muito baixa	Lenta	10^{-8}	10^{-6} a	10^{-7} a	$< 10^{-9}$	10^{-5} a	10^{-8} a
	Argila	Baixíssima	Muito lenta	10^{-9}				$< 10^{-7}$	$< 10^{-9}$	10^{-8}	10^{-10}		

Fonte: modificado de Ortigão (2007), Whitlow (1995), Pinto (2006), Verruijt (2012), Das (2008), Oliveira (2011).

Quadro 10.11. Classes de permeabilidade, frações granulométricas, valores médios do coeficiente de condutividade hidráulica k ($m.s^{-1}$), tempo calculado de infiltração e pontuações para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Classes de permeabilidade		Frações granulométricas	Valores médios de k ($m.s^{-1}$)	Características do solo (OLIVEIRA, 2011)	Tempo 50 mm (400 ml)* (MCGARRY, 2004; MOODY; CONG, 2008)	50 mm (400 ml)**
Solos permeáveis	Muito rápida	Matacão >200 mm	10^2			< 5 seg.
		Pedregulho grosso (Calhau) 60 a 20 mm	10			
		Pedregulho médio (Cascalhos) 20 a 6 mm	1			
		Pedregulho fino (Cascalhos) 6 a 2 mm	10^{-1}	Solos arenosos (areia grossa), cascalhentos: NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, NEOSSOLOS REGOLÍTICOS, NEOSSOLOS FLÚVICOS, etc.		
		Areia grossa 2 a 0,6 mm	10^{-2}			5 a 50 seg.
	Areia média 0,6 a 0,2 mm	10^{-3}			50 seg. a 8 min.	
Rápida	Areia fina 0,2 a 0,06 mm	10^{-4}	Solos textura média (<20% de argila), arenosos (areia fina): LATOSSOLOS, NEOSSOLOS REGOLÍTICOS, NEOSSOLOS FLÚVICOS, etc.	<10 min	8 min. a 1h20	
Média	Areia muito fina	10^{-5}	Solos textura média (>20% de argila): LATOSSOLOS, CAMBISSOLOS, ARGISSOLOS, etc.	10 min. a 2 h, horas	1h20 a 14 horas	

Classes de permeabilidade	Frações granulométricas	Valores médios de k ($m.s^{-1}$)	Características do solo (OLIVEIRA, 2011)	Tempo 50 mm (400 ml)* (MCGARRY, 2004; MOODY; CONG, 2008)	50 mm (400 ml)**	
		Areia argilosa		Solos argilosos, porosos. CTC baixa: LATOSSOLOS, NITOSSOLOS, ARGISSOLOS, etc.		
	Lenta	Areia siltosa	10^{-6}	Solos argilosos (CTC média a elevada): solos “vérticos”, ARGILOSSOLOS Planossólicos, etc.	> 2 h	14 horas a 6 dias
		Silte 0,06 a 0,002 mm				
	Silte argiloso	10^{-7}	Solos argilosos (CTC elevada): VERTISSOLOS, PLANOSSOLOS vérticos. Duripã, fragipã. Horizonte plânico com caráter solódico: PLANOSSOLOS NÁTRICOS, etc.	Semanas	6 a 58 dias	
Solos praticamente impermeáveis	Muito lenta	Argila siltosa	10^{-8}	Solos argilosos, pouco porosos (CTC elevada): VERTISSOLOS. Camadas cimentadas (duripã). Horizonte plânico com caráter sódico: PLANOSSOLOS NÁTRICOS, etc.	Meses	> 58 dias
		Argila <0,002 mm	10^{-9}			

Fonte: modificado de Oliveira (2011), Santos *et al.* (2015), ABNT (1982), ABNT (1995), Ortigão (2007), Whitlow (1995), Pinto (2006), Verruijt (2012), Das (2008), Oliveira (2011), USDA (2017).

*Tempo (**calculado) para 50 mm (400 ml) de água infiltrar pela seção de um tubo de 100 mm de diâmetro. PA – pontuação para Agroecossistemas. PEU – pontuação para Engenharia e Urbanismo.

10.1.3 Como avaliar e pontuar a Permeabilidade

Para estimar a **Permeabilidade** ou condutividade hidráulica (k), a partir da taxa de infiltração ou **Infiltração**, considerou-se os trabalhos de Brady e Weil (2013), Oliveira (2011), Santos *et al.* (2015), Oliveira (2011), McGarry (2004), Moody e Cong (2008), Ortigão (2007), Pinto (2006), Verruijt (2012), Whitlow (1995), Das (2008), USDA (2017), Casalinho, Martins e Lopes (2007) e Souza *et al.* (2016).

Procedimento - A metodologia adotada para o campo, com algumas adaptações, foi a proposta por McGarry (2004) e Moody e Cong (2008):

1. Limpar a área de teste, que deve ser plana ou aplainada, retirando o material orgânico (gramíneas, serrapilheira, etc.) da superfície;
2. Utilizar o anel plástico com altura de 15cm e diâmetro de 10cm (luva PVC 100 mm para esgoto), inserindo-o alguns milímetros no solo [cenário 3D de McGarry (2004)];
3. Colocar um saco plástico por dentro do anel plástico até que toque o solo, evitando que a água, ao ser vertida dentro do anel, gere distúrbios na superfície do solo;
4. Despejar 400 ml (volume equivalente a 50 mm) de água sobre o plástico;
5. Remover o plástico de modo que a água possa infiltrar no solo;
6. Anotar o tempo que a água demora para infiltrar totalmente no solo
 - a. Sendo o tempo estimado em horas ou dias, utilizar outros parâmetros para inferir a pontuação e/ou indagar moradores e trabalhadores da região sobre o tempo em que o local permanece alagado);
7. Utilizar o

8. Quadro 10.12 para pontuar a Permeabilidade do solo em Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo (as letras indicam a classe de permeabilidade).

Quadro 10.12. Descrição, características e pontuação de Permeabilidade (estimada pela Infiltração) para Agroecossistemas (PA) e Engenharia e Urbanismo (PEU).

Permeabilidade	Tempo	Descrição e características		PA	PEU
Muito rápida	< 5 seg.	Permeável. Matacão, pedregulho grosso (calhau) e pedregulho médio (cascalho). Infiltração rápida, sem retenção de água. NEOSSOLOS. Drenagem muito boa.	MR	1	1
		Permeável. Pedregulho fino, cascalhento, areia grossa. Infiltração rápida, pouca retenção de água. NEOSSOLOS. Drenagem muito boa.	MRA	2	2
Rápida	5 a 50 seg.	Permeável. Solos arenosos (areia grossa), cascalhentos. Infiltração média, retenção de água durante breve período. NEOSSOLOS. Drenagem muito boa.	RC	3	2
	50 seg. a 8 min.	Permeável. Solos arenosos (areia média), pouco cascalho. Rápida infiltração e alguma retenção de água. NEOSSOLOS. Drenagem boa.	RA	4	3
Média	8 min. a 1h20	Permeável. Solos textura média (<20%), arenosos, areia fina. LATOSSOLOS, NEOSSOLOS. Boa infiltração e retenção de água. Drenagem boa.	MAF	5	4
	1h20 a 14h	Permeável. Solos textura média (>20% de argila), areia muito fina. LATOSSOLOS, CAMBISSOLOS, ARGISSOLOS. Boa infiltração e retenção de água. Drenagem ruim.	MAMF	5	5
		Permeável. Areia argilosa. Solos argilosos, porosos, CTC baixa. LATOSSOLOS, NITOSSOLOS, ARGISSOLOS. Boa infiltração e retenção de água. Drenagem ruim.	MArg	5	5
Lenta	14 horas a 6 dias	Permeável. Areia siltosa, silte. Solos argilosos, CTC média a elevada, pouco porosos. ARGISSOLOS. Sujeito a alagamento intermitente. Drenagem ruim.	LA	2	1
	6 a 58 dias	Impermeável. Silte argiloso. Solos argilosos, CTC elevada. Camadas cimentadas, duripã, fragipã. VERTISSOLOS, PLANOSSOLOS. Acúmulo de água e condições anóxicas. Drenagem ruim.	LDur	1	1
Muito lenta	> 58 dias	Impermeável. Argila siltosa, argila. Solos argilosos, pouco porosos, CTC elevada. Camadas cimentadas (duripã). VERTISSOLOS, PLANOSSOLOS. Acúmulo de água e condições anóxicas. Drenagem praticamente inexistente.	ML	1	1

Fonte: Autor.

10.2 Compactação superficial e subsuperficial

Compactação é a formação de uma camada endurecida, compacta, na superfície ou em camadas inferiores do solo. A compactação pode ter origem pedogenética, resultando em adensamento crescente do solo, configurando um horizonte B textural (mudança abrupta de textura, de mais arenoso acima a muito argiloso abaixo) ou a presença de duripã, fragipã e horizontes concrecional, plânico, cálcico, petrocálcico, glei, plíntico ou litoplíntico (OLIVEIRA, 2011), ou antrópica, com a compactação sendo resultado do manejo, aração, tráfego pesado ou erosão da camada superficial.

A compactação pode ser diferenciada em superficial e subsuperficial:

- a. **Compactação superficial** (solo arável, primeiros 20 cm de solo) – a diminuição da porosidade pela compactação reduz e pode impedir a infiltração da água (chuva ou irrigação), favorecendo seu acúmulo e escoamento superficial, contribuindo com processos erosivos, rápida desagregação e transporte de solo, nutrientes e matéria orgânica.
- b. **Compactação subsuperficial** (profundidades maiores que 20 cm) – menos visível, a compactação do solo em camadas inferiores diminui a capacidade de infiltração, permeabilidade, retenção da água, aeração, compromete o habitat de organismos e microrganismos e restringe, podendo impedir o enraizamento das plantas, com consequente reflexos na produção dos agroecossistemas e obras de engenharia civil e construção.

O território brasileiro apresenta solos muito antigos e profundos, sendo mais comuns os LATOSSOLOS (31,49% do território nacional), que apresentam boas características de permeabilidade e estrutura bem desenvolvida, e os ARGISSOLOS (26,84%) (SANTOS, HUMBERTO GONÇALVES DOS; FIDALGO; ÁGLIO, [S.d.]), caracterizados pela presença de horizonte B textural, horizonte plíntico, horizonte glei, mudança abrupta de textura (de superfície mais arenosa a subsuperfície mais argilosa), podendo configurar caráter plânico, solódico, duripã, fragipã, etc., indicando restrições ao enraizamento de plantas. Em regiões montanhosas, solos pouco profundos são comuns nas encostas, formando os Litossolos (classe dos NEOSSOLOS, 13,18%) que,

mesmo sendo menos profundos, podem apresentar boas condições de enraizamento pelas frestas, ranhuras, fendas e fissuras das rochas do embasamento (OLIVEIRA, 2011).

Quanto melhor a estrutura de um solo, maior sua permeabilidade, capacidade de drenagem e, sendo profundo, maior a capacidade de retenção de água, amenizando efeitos adversos para plantas, animais e sociedade nos períodos de secas, especialmente nas mais prolongadas. No cerrado, as plantas evoluíram para um enraizamento mais profundo e vigoroso, permitindo às plantas maior acesso a água e a macro e micronutrientes, contribuindo para sua saúde e produtividade mesmo no auge do período mais seco do ano. Plantas mais saudáveis auxiliam em níveis crescentes o acúmulo de serapilheira, incorporação de matéria orgânica, diversificação da fauna (micro, meso e macro), formação de agregados e melhoria na estrutura, porosidade, aeração, drenagem e estoque hídrico.

Em condições específicas naturais como pouca declividade, ou antrópicas como a ocupação urbana não planejada ou manejo inadequado do solo pela agricultura e pecuária, a junção de compactação do solo em diferentes profundidades e a chegada de chuvas mais intensas ou irrigação excessiva podem acarretar em alagamentos mais ou menos prolongados no tempo e no espaço, comprometendo a produção agrossilvipastoril e trazendo consequências severas para as populações e ocupações urbanas. Não podendo infiltrar adequadamente (ver Infiltração), a água se acumula e começa a escorrer pela superfície, provocando erosão laminar que pode evoluir para processos mais severos (ver Erosão), carreando solo e nutrientes que se acumularão nas partes baixas do terreno e calhas de córregos, rios, açudes e represas, com consequências na quantidade e qualidade das águas e da vida que nela e dela depende.

A profundidade da camada endurecida (compactação, rocha, concreção, duripã, etc.) além de prejudicar o enraizamento das plantas pode implicar em custos mais elevados para a implantação de infraestrutura enterrada, como redes de água, gás e esgotamento sanitário, assim como aterros sanitários e construções diversas. Por outro lado, pode fornecer material construtivo (concreções, plintita, petroplintita, etc.) e base adequada para fundações e estruturas construtivas diversas.

Moody e Cong (2008) indicam que a compactação antrópica do solo se dá pelo cultivo, sobrepastejo e utilização de máquinas e equipamentos de maneira contínua,

quando o solo se encontra úmido a molhado. Próximo ao estado de plasticidade (ver Consistência, Desintegração e Dispersão), o solo se torna mais suscetível à compressão e moldagem, aumentando a densidade, reduzindo a porosidade, diminuindo a permeabilidade, facilitando o alagamento superficial e, com o tempo, tornando-se mais e mais endurecido. Chegado o período seco, o solo se torna ainda mais coeso, impedindo ou dificultando crescentemente o enraizamento das plantas e a saúde das plantações.

Incluem os autores a Compactação como parte das Limitações Estruturais do solo. Para sua aferição, indicam observar o minipoço, aberto para avaliação de múltiplos atributos, buscando por uma ou mais das características a seguir:

- Estrutura plana;
- Impedimento do crescimento de raízes;
- Síndrome do ângulo reto em raízes logo acima da camada compactada;
- Camada com consistência extremamente firme comparada às camadas imediatamente superior e inferior;
- Aumento da resistência do penetrômetro comparada com os solos acima e abaixo da camada.

Apontam ainda os mesmos autores, alternativas e possibilidades de manejo:

- Para sobrepujar a camada compactada, cultivar o solo quando este estiver mais seco que seu limite de plasticidade (menos úmido e não molhado);
- Utilizar espécies cujas raízes consigam romper a camada compactada (no Brasil são utilizadas, dentre outras, a ervilhaca, nabo forrageiro, tremoço branco, aveia preta, aveia branca, crotalária, feijão guandu, milheto);
- Manter a umidade do solo utilizando cobertura verde ou cobertura morta.

Shepherd *et al.* (2008) expressam que a presença de camada compactada no solo ou subsolo: dificulta o acesso das plantas a nutrientes e ao lençol freático profundo (e mais estável); dificulta a infiltração e percolação da água; facilita a lixiviação de nutrientes; contribui para alagamentos ao elevar o lençol freático para próximo à superfície; facilita a erosão da camada superficial; e diminui a aeração nas raízes

contribuindo para seu enfraquecimento e disseminação de doenças. Em condições anaeróbicas, o solo pode acumular níveis tóxicos de sulfeto de hidrogênio, sulfeto de ferro, dióxido de carbono, metano, etanol, acetaldeído, etileno e subprodutos de reações de redução, tanto químicas como bioquímicas. O potencial de enraizamento pode ainda ser restringido pelo pH, alumínio toxicidade, deficiências nutricionais, salinidade, sodicidade, variações do lençol freático, baixa oxigenação, deficiência de fósforo e cálcio, dentre outros (OLIVEIRA, 2011).

Se para a produção agrossilvipastoril a compactação se mostra um problema a ser contornado, visto influir diretamente no crescimento vegetal e portanto, na produção agrossilvipastoril (MOODY; CONG, 2008; NICHOLLS *et al.*, 2004; SÁ; JUNIOR, 2005; SHEPHERD *et al.*, 2008; VÄDERSTAD, 2016), para a Engenharia Civil ela pode ser um objetivo a ser alcançado (CAPUTO, 1988; PINTO, 2006, SÁ; JUNIOR, 2005). Utilizando de soquetes manuais a rolos compressores motorizados, a aplicação de pressão sobre o solo umedecido aumenta a proximidade entre as partículas que o compõem, reduzindo os vazios (porosidade) ao expulsar o ar neles contido³, promovendo seu adensamento e, conseqüentemente, reduzindo a infiltração e a permeabilidade. Com o aumento da densidade, aumenta a resistência do solo ao cisalhamento, deformação e compressibilidade, reduzindo a variação dos teores de umidade em seu interior (CAPUTO, 1988), características desejáveis quando da construção de barragens de terra, estabelecimento de camadas de vias de circulação, estabilização de aterros, redução de recalques, construção de fundações, preenchimento de valetas abertas para implantação de infraestruturas urbanas, etc. (PINTO, 2006).

10.2.1 Compactação superficial (primeiros 20 cm)

Casalinho, Martins e Lopes (2007) correlacionam compactação, profundidade do solo e potencial de enraizamento, tratando-os como dois indicadores: Compactação e Profundidade do solo (Quadro 10.13).

³ A compactação é um processo rápido, que expulsa o ar entre os vazios do solo. Já a consolidação é um processo mais lento que expulsa a água dos interstícios em função de pressão estática e contínua, como por exemplo, a pressão de um edifício sobre o solo.

Quadro 10.13. Níveis de limitação dos indicadores.

Indicador	Níveis de limitação dos indicadores		
	Alto	Médio	Baixo
Compactação	Solo endurecido, pobre em matéria orgânica; raízes deformadas; água não infiltra; implementos não penetram no solo.	Solo com alguma dificuldade para manejar; alguma resistência para penetração de implementos; água infiltra lentamente.	Solo fofo, solto, fácil de trabalhar; água infiltra de forma adequada; rico em minhocas, organismos e matéria orgânica.
Profundidade do solo	Solos rasos, com menos de 20cm de espessura na camada arável; compactação forte; raízes muito próximas à superfície.	Camada arável com profundidade entre 20 e 40cm; pouca compactação, sem ser muito prejudicial às raízes.	Solos com camada arável maior que 40cm; raízes desenvolvidas e profundas; ausência de compactação.

Fonte: Casalinho, Martins e Lopes (2007).

Nicholls *et al.* (2004) propõem a inserção vertical de uma haste de arame no solo, em vários pontos do terreno, até que o mesmo se dobre, indicando a resistência do solo à penetração (ver Consistência). Estimam dessa forma a profundidade de início da compactação, pontuando-a, conforme a descrição do Quadro 10.14. Não relacionam, no entanto, a utilização da técnica quanto à consistência do solo quando úmido ou seco.

Quadro 10.14. Pontuação para Compactação e Profundidade do solo, segundo Nicholls *et al.* (2004).

Menos desejável (1)	Moderada ou limite (5)	Mais desejável (10)
Solo compactado. Arame dobra prontamente.	Compactação pouco espessa. Resistência moderada à penetração.	Nenhuma compactação. Arame penetra com facilidade ao longo do perfil.
Subsolo exposto.	Fina camada de solo.	Solo superficial >10cm.

Fonte: Nicholls *et al.* (2004).

Souza *et al.* (2016) utilizam a mesma técnica da haste de arame proposta por Nicholls *et al.* (2004) para estimar a compactação e a profundidade do solo arável, e desconsideram a umidade do solo (ver Consistência) que interfere grandemente na avaliação. Pontuam a compactação e profundidade conforme o Quadro 10.15.

Quadro 10.15. Pontuação para Compactação e Profundidade do solo, segundo Souza *et al.* (2016).

	Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)	Ótimo (3)
Compactação	Solo endurecido, ausência de matéria orgânica. Ao tentar penetrar um arame, este encurva-se facilmente.	Solo com alguma dificuldade para manejar, pobre em matéria orgânica, arame ainda encurva-se.	Solo macio com fina camada compactada, mas com pouca matéria orgânica. Alguma restrição à penetração do arame.	Solo "fofo", sem compactação, rico em matéria orgânica. Arame penetra facilmente.
Profundidade do solo	Ausência da camada superficial e subsolo exposto.	Solos rasos, com menos de 0,20 m de espessura na camada superficial.	Solos com camada superficial entre 0,20 e 0,40 m.	Solos com camada arável maior que 0,40 m.

Fonte: Souza *et al.* (2016).

10.2.2 Compactação subsuperficial (profundidades maiores que 20 cm)

Shepherd *et al.* (2008) e McGarry (2004) adotam a mesma descrição e pontuação para a identificação da presença de duripã (camada compacta), como mostra o Quadro 10.16.

Quadro 10.16. Pontuação para Duripã.

Condição pobre (0)	Condição moderada (1)	Boa condição (2)
Forte endurecimento. Alta resistência à penetração da faca. Compactado, extremamente firme, muito duro e massivo, sem estrutura aparente, porosidade 0. Sem presença de raízes ou antigos canais, sem canais de mesofauna ou fissuras ou rachaduras. Pode apresentar muitos mosqueados laranja e cinza.	Endurecimento moderado. Resistência moderada à penetração. Solo firme, duro, estrutura aparentemente fraca, porosidade 0,5 a 1. Poucas raízes e antigos canais de raízes, poucos canais de mesofauna, poucas fissuras e rachaduras. Pode apresentar de poucos a médios mosqueados laranja e cinza.	Sem endurecimento. Baixa resistência à penetração. Raízes, antigos canais de raízes, canais de mesofauna, rachaduras e fissuras são comuns. Solo superficial friável, estruturado e com porosidade $\geq 1,5$.

Fonte: Shepherd *et al.* (2008) e McGarry (2004).

Väderstad (2016) relaciona compactação à formação de camada subsuperficial endurecida ou adensada (*tillage pan* ou *cultivation pan*) devido ao tráfego agrícola para o cultivo, colheita e transporte. A identificação dessa compactação por cultivo é feita no mesmo buraco aberto para avaliação de outros atributos. Compara-se então a porção inferior e superior da camada arável (solo superficial), pontuando de acordo com as condições definidas no Quadro 10.17.

Quadro 10.17. Pontuação para Compactação, segundo Väderstad (2016).

Condição pobre (0)	Condição moderada (1)	Boa condição (2)
Compactação muito firme a dura, bem desenvolvida na parte inferior do solo superficial. Severa compactação, sem estrutura, sem macroporos e rachaduras poucas ou inexistentes.	Firme, compactação moderada na parte inferior da camada arável, mostrando zonas de compactação mas incluindo áreas com estrutura fraca, rachaduras, fissuras e poucos microporos.	Sem compactação, estrutura friável e claramente evidente, presença de poros ao longo do solo superficial.

Fonte: Väderstad (2016).

10.2.3 Profundidade potencial de enraizamento

O potencial de enraizamento (BALL; BATEY; MUNKHOLM, 2007; MUELLER *et al.*, 2007; SCHOENEBERGER *et al.*, 2012; SHEPHERD, 2009; VÄDERSTAD, 2016) é dado pela profundidade a partir da qual as raízes encontram material endurecido, compactado, limitando ou mesmo impedindo seu desenvolvimento. Para conhecer esse potencial, no mesmo local de observação da compactação:

- Observar a presença e profundidade de canais, rachaduras e fissuras por onde o enraizamento pode ser facilitado ou interrompido;
- Notar horizonte e medir a profundidade onde ocorre acúmulo de raízes, espessamento das mesmas ou seu crescimento passa a ser horizontal (síndrome do ângulo reto), indicativos de camada mais espessa subjacente ao horizonte suprajacente;
- Presença de horizonte aplainado (MOODY; CONG, 2008);
- Notar a firmeza do solo, quando adquire coloração acinzentada ou fortemente cinza denotando condição de inundação prolongada, indicando lençol freático

elevado a maior parte do ano, a presença de duripã natural (ou concreção, silicificação, plintita, litoplintita, etc.) ou induzido (trafego, plantio, aração);

- Uma transição abrupta entre um horizonte fino (areia, silte, argila) e grosso (areia, cascalho) também limita o crescimento de raízes;
- Confrontar as observações com o Quadro 10.18.

Quadro 10.18. Pontuação para profundidade potencial de enraizamento.

Pobre (0)	Moderadamente pobre (0,5)	Moderada (1)	Moderadamente boa (1,5)	Boa (2)
<0,2 m	0,2 a 0,4 m	0,4 a 0,6 m	0,6 a 0,8 m	>0,8 m

Fonte: Shepherd *et al.* (2008).

10.2.4 Alagamento superficial

O alagamento superficial pode ser consequência da compactação ou endurecimento do solo superficial ou subsuperficial, mudança textural abrupta (quando uma camada inferior tem acúmulo ou concentração de argila muito maior que o superior, diminuindo a condutividade hidráulica e levando ao encharcamento e empoçamento superficial), elevado nível do lençol freático, baixa porosidade e permeabilidade, etc.

O empoçamento ou alagamento prolongado pode resultar em condições anaeróbicas, anóxicas (sem oxigênio) do solo, causando (SHEPHERD *et al.*, 2008):

- Estresse das raízes que necessitam de aeração para a respiração e crescimento;
- Morte das raízes finas e pelos responsáveis pela obtenção de água e nutrientes;
- Comprometimento do crescimento e mesmo morte de sementes, brotos, plântulas e culturas já estabelecidas;
- Incremento de doenças e pragas e redução da capacidade de defesa frente a patógenos;
- Culturas menos resistentes ao ataque de insetos;
- Declínio do vigor das plantas;
- Menor crescimento dos brotos;
- Descoloramento das folhas que pode levar à morte;

- Diminuição da produtividade.

Condições anaeróbias resultam ainda em reações químicas e bioquímicas de redução, gerando subprodutos tóxicos para as raízes (SHEPHERD *et al.*, 2008):

- Nitrato (NO_3^-), disponível para as plantas, reduzido por desnitrificação a nitrito (NO_2^-) e óxido nitroso (N_2O), um gás de efeito estufa;
- Sulfato (SO_4^{2-}), assimilável pelas plantas, reduzido a sulfetos, incluindo o sulfeto de hidrogênio (H_2S), sulfeto de ferro (FeS) e sulfeto de zinco (ZnS);
- O ferro (férrico, Fe^{+3}) é reduzido para íons de ferro solúvel (ferroso, Fe^{+2}) e o manganês (Mn) para íon manganoso (Mn^{+2});
- A respiração anaeróbia microbiana produz dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), ambos gases de efeito estufa, além de hidrogênio, etanol, acetaldeído e etileno que, em quantidade, afetam o desenvolvimento das raízes.

O empoçamento e alagamento podem ainda trazer transtornos e representar sérias restrições à ocupação urbana, aumentando os riscos de enchentes e deslizamentos em terrenos mais acidentados. Nesses, o acúmulo de água no plano de cisalhamento entre a camada superior e camada endurecida logo abaixo, funciona como lubrificante e facilita a movimentação da massa superficial, comprometendo tanto a produção agrosilvipastoril como obras de engenharia e urbanismo (pavimentação, drenagem, sistemas de água e esgotos, fiação enterrada, casas, edifícios, ruas, parques, etc.) (OLIVEIRA, 2011).

Para conhecer as características de Empoçamento e Alagamento de uma área ou região, Shepherd *et al.* (2008) indicam observar a resposta do terreno logo após forte chuva e/ou irrigação. Outra possibilidade é perguntar aos moradores e trabalhadores locais sobre onde ocorre o empoçamento após chuvas intensas ou alagamento a partir do transbordamento de cursos d'água e o tempo decorrido (dias) até o solo absorver essa água. A pontuação para esse atributo é dada pelo Quadro 10.19.

Quadro 10.19. Pontuação para Empoçamento e Alagamento superficial segundo Shepherd *et al.* (2008).

Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)
>5 dias. Empoçamento significativo por mais de 5 dias após chuva forte em solos saturados ou próximos à saturação.	2 a 4 dias. Empoçamento moderado por 2 a 4 dias após chuva forte em solos saturados ou próximos à saturação.	≤ 1 dia. Sem ou pouco empoçamento após um dia de chuva forte em solos saturados ou próximos à saturação.

Fonte: Shepherd *et al.* (2008).

10.2.5 Como avaliar e pontuar Compactação

Sendo por causas naturais ou antrópicas, a compactação superficial e/ou subsuperficial do solo pode implicar em consequências potencialmente danosas, cuja reversão demandará tempo, trabalho e altos custos, tanto para a produção agroecossistêmica como para a ocupação urbana.

A descrição e pontuação de **Compactação** conta com as contribuições de Oliveira (2011), Moody e Cong (2008), Shepherd *et al.* (2008) e McGarry (2004), Väderstad (2016), Casalinho, Martins e Lopes (2007), Nicholls *et al.* (2004), Souza *et al.* (2016) e Shepherd *et al.* (2008), Santos; Fidalgo; Áglio, [s.d.], Sá; Junior (2005), Ball; Batey; Munkholm (2007), Mueller et al. (2007) e Schoeneberger et al. (2012).

Incorporando as informações e conhecimentos disponibilizados pelos autores, decidiu-se aqui descrever e pontuar a **Compactação superficial** (primeiros 20 cm de solo ou solo arável), utilizando a técnica da haste de arame (NICHOLLS *et al.*, 2004) para avaliar a camada arável (~20cm). O arame utilizado deve ter diâmetro tal que não se curve com facilidade, nem se dobre com dificuldade e por isso adotou-se uma haste de 3 mm de espessura e 30cm de comprimento. Como há grande diferença de consistência em solo seco e úmido (ver Consistência), propõe-se realizar o teste sempre no local em que se processa o teste de Permeabilidade, aproveitando o umedecimento do perfil.

A **Compactação subsuperficial** é avaliada à profundidades maiores que 20 cm. Pode ter origem antrópica, resultado de manejo inadequado como pisoteio excessivo de gado, aração, tráfego de maquinário pesado, etc., ou origem natural, representada por rochosidade, concreções, fragipã, duripã, etc. Tanto uma quanto outra, na prática,

refletem restrições maiores ou menores ao enraizamento, disponibilidade de água e nutrientes, suscetibilidade ao encharcamento, alagamento, instalação de infraestrutura construtiva, etc. Dessa forma, a profundidade em que ocorre a compactação subsuperficial equivale ao Potencial de enraizamento.

Procedimento - Adota-se aqui o proposto por Nicholls *et al.* (2004), Souza *et al.* (2016) para avaliar e pontuar a **Compactação superficial** (até 20 cm de profundidade), complementado pelas observações propostas por Shepherd *et al.* (2008) e McGarry (2004), que indicam observar o minipoço ou um corte de estrada ou dreno próximos, de modo a verificar a profundidade de ocorrência ou a ausência de endurecimento (compactação, duripã, fragipã, concreções, etc.):

- a. Inserir verticalmente no solo, um arame de 3 mm de espessura e 30 cm de comprimento no mesmo local do teste de infiltração, de modo a evitar solo seco que pode apresentar grande consistência e conseqüente resistência à penetração;
- b. Anotar a profundidade caso o arame se dobre;
- c. Utilizar uma faca, martelo de ponta, espátula, etc., para golpear o perfil do solo, de cima para baixo, de maneira rápida, cadenciada e sistemática e observar a maior ou menor dificuldade de penetração da lâmina ao longo do perfil;
- d. Em ambos, avaliar a resistência à penetração e o esforço requerido.
- e. Observar com atenção a porção inferior da camada superior do solo (base dos horizontes A, O ou H) e a porção superior da camada subsuperficial (topo dos horizontes B, E, C, F ou R) em busca de sinais de compactação por aração ou tráfego pesado;
- f. Encontrando solo endurecido, anotar a profundidade e retirar uma porção adequada para avaliar sua estrutura, porosidade, número e cor de mosqueados, a presença de raízes, rachaduras, túneis, etc.

Para avaliar e pontuar a **Compactação superficial** (até 20 cm de profundidade) e a **Compactação subsuperficial** (mais de 20 cm de profundidade), utiliza-se o Quadro 10.20.

Quadro 10.20. Descrição, características e pontuação de Compactação superficial para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Compactação	Descrição e características	PA	PEU
Extremamente compacto	Alta resistência à penetração da haste de arame que se dobra antes ou após poucos milímetros de penetração. Camada compactada muito próxima ou na superfície do solo. Emergência de brotos dificultada, plantas rasteiras, pouco desenvolvidas, água não infiltra. Área suscetível a encharcamento, alagamento muito prolongado após fortes chuvas, escoamento laminar e erosão.	1	5
Muito compacto	Moderada a alta resistência à penetração da haste de arame que se curva a poucos centímetros de penetração. Camada compactada próxima à superfície, raízes superficiais, pouco profundas, baixa ancoragem, plantas com crescimento baixo. Água infiltra pouco, baixa disponibilidade hídrica, plantas brotam e logo murcham. Área suscetível a encharcamento, alagamento prolongado após chuva forte, escoamento laminar e erosão.	2	4
Medianamente compacto	Resistência moderada à penetração da haste de arame. Solo firme, camada compacta na subsuperfície, plantas pouco desenvolvidas. Área sujeita a encharcamento por período prolongado.	3	3
Pouco compacto	Moderada a baixa resistência à penetração da haste de arame. Camada compacta, se presente, está em profundidade maior, solo friável, leve, poroso, raízes mais profundas, vegetação mais vigorosa. Água infiltra no solo. Encharcamento, se presente, dura pouco tempo.	4	2
Não compacto	Baixa resistência à penetração da haste de arame. Sem compactação, solo fofo, solto, fácil de trabalhar, estruturado, ótima porosidade. Água infiltra com facilidade, sem empoçamento após chuva forte em solos saturados ou próximos à saturação.	5	1

Fonte: Autor.

10.3 Estrutura

Compreender o papel que a estrutura do solo desempenha em relação à sustentabilidade ambiental e econômica da produção agrícola, tem sido tema de pesquisas e estudos na França, Dinamarca, Nova Zelândia, Alemanha, Austrália, Escócia, Suíça e Inglaterra, dentre outros (BALL; BATEY; MUNKHOLM, 2007).

Em Agroecossistemas, a estrutura tem influência direta no desenvolvimento do sistema radicular e conseqüentemente no crescimento e desenvolvimento das plantas, na retenção e disponibilidade de nutrientes, no fluxo de ar e água, na atividade microbiana e na resistência à erosão, dentre outros (SANTOS *et al.*, 2015). Para Engenharia e Urbanismo, a estrutura do solo indica sua capacidade de suporte, resistência, compressibilidade, suscetibilidade ao colapsamento, recalque e escorregamento, dentre outros (CAPUTO, 1988; MITCHELL; SOGA, 2005; PINTO, 2006).

Nos países de língua inglesa, diferenciam-se agregados, torrões e *peds*, estes sendo estruturas maiores, naturais, visíveis no perfil do solo e compostos pelos agregados, enquanto os “torrões” são formados artificialmente ao se arar ou escavar o solo. Ao se manipular uma porção do solo, *peds* ou torrões, este tende a se fracionar seguindo as superfícies de fraqueza que separam naturalmente os agregados. Essas superfícies de fraqueza são formadas principalmente por processos físicos de (BRADY; WEIL, 2013):

- Umedecimento e secagem;
- Contração e expansão;
- Penetração e expansão de raízes;
- Congelamento e derretimento;
- Escavações da fauna;
- Atividades antrópicas.

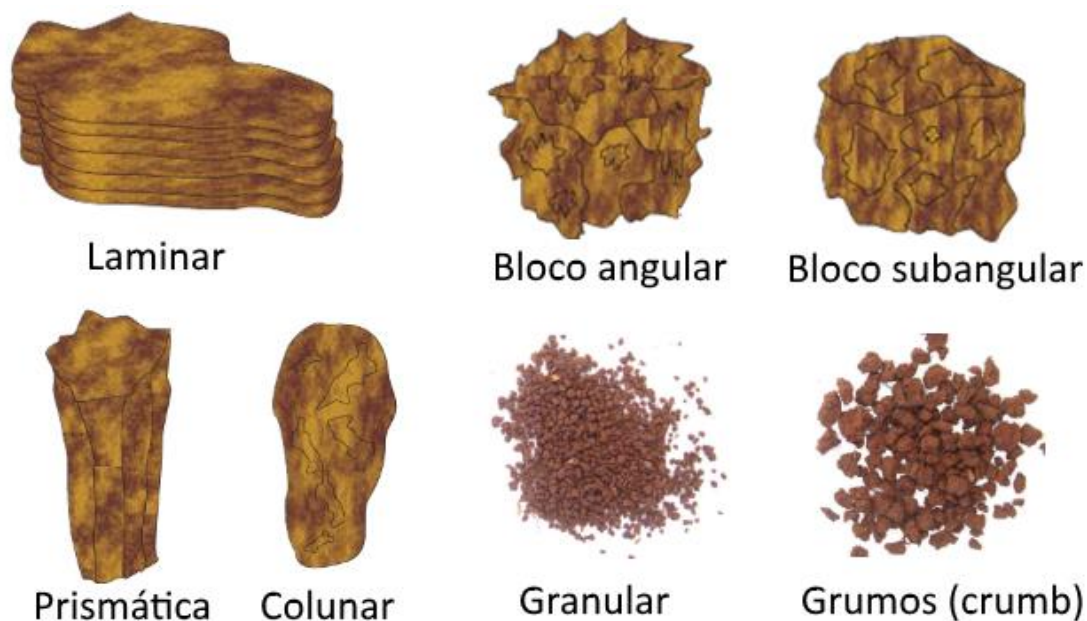
Ralisch *et al.* (2017) entendem a estrutura do solo como um dos atributos mais importantes para o estudo, monitoramento e manejo de sistemas de produção agropecuária, estando intimamente associada à capacidade de troca de íons, aeração, infiltração e disponibilidade de água, processos físicos, químicos e biológicos,

biodiversidade do solo e funções ecossistêmicas. A estrutura do solo expressa ainda os principais impactos antrópicos, sejam físicos (mecânicos), químicos ou biológicos, que contribuem para sua construção ou degradação, refletindo em sua fertilidade e produtividade. Listam os autores as funções do solo diretamente dependentes de uma boa estrutura:

- a. Enraizamento e crescimento das plantas;
- b. Tampão ambiental, regulando o fluxo de água no ambiente;
- c. Formação, atenuação e degradação de compostos naturais;
- d. Infiltração de água da chuva abastecendo mananciais subterrâneos, biosfera e atmosfera;
- e. Retenção e disponibilização de parte da água para as plantas e organismos da biota;
- f. Trocas gasosas essenciais para a respiração de raízes e da micro, meso e macrofauna;
- g. Favorecer a formação e decomposição de matéria orgânica, ciclagem e mineralização de nutrientes e equilibrar teores de carbono do solo e atmosfera;
- h. Ampliar a resistência e resiliência do solo frente a impactos externos como pisoteio, precipitação, tráfego de máquinas e equipamentos, erosão, etc.

A estrutura pode ser caracterizada segundo a forma (tipo), tamanho (muito pequena, pequena, média, grande e muito grande) e grau de desenvolvimento dos agregados. As unidades estruturais do solo (Figura 10.1) podem ser classificadas quanto ao tipo (forma) como (BRADY; WEIL, 2013; OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2015):

Figura 10.1. Tipos (forma) de agregados.



Fonte: imagens da internet (<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAA2wsAH/morfologia-estrutura-solo?part=2>) e imagens do autor (Granular e Grumos).

- a. **Laminar** – agregados com eixo horizontal maior que o vertical, mais frequente nos horizontes A e E (horizonte logo abaixo do horizonte A, mais arenoso devido à perda de argila e esbranquiçado devido à lixiviação de óxidos de ferro), podendo se configurar também no horizonte C. Naturalmente mais comum em regiões secas, frias e sujeitas ao congelamento. Indicativa de compactação por pisoteio, rodas de veículos, etc., ou herdada do material de origem.
- b. **Prismática** – agregados com eixo vertical muito maior que o horizontal, rompendo-se em estruturas menores, formadas por blocos angulares e subangulares, frequente em horizonte B ou C com características vérticas (argila Ta, atividade média a alta) e Chernossolos, mais comum em solos de regiões áridas e semiáridas. As unidades estruturais apresentam faces relativamente planas. Estão subdivididos em:
 - **Prismática** – agregado com o topo plano e angular. Nos horizontes subsuperficiais de vertissolos são comuns a estrutura prismática e em blocos grandes a muito grandes, presente no horizonte B de solos mal drenados. No SiBCS (SANTOS *et al.*, 2006) é um dos requisitos para definir os LATOSSOLOS BRUNOS;

- **Colunar** – agregado com topo arredondado, típica de horizonte plânico com caráter sódico (excesso de sódio, Na), chamado horizonte nátrico.
- c. **Bloco ou poliédrica** – agregados com eixos vertical, horizontal e profundidade de tamanhos semelhantes, comum no horizonte A de solos agricultados e predominando no horizonte B da maioria dos solos, particularmente em regiões úmidas. Estão subdivididos em:
- **Angulares** – blocos com faces planas e vértices proeminentes, agudos, presentes no horizonte B de solos em geral mal drenados;
 - **Subangulares** – blocos com faces côncavas, planas e convexas, vértices suavizados ou arredondados, comuns em horizontes B de solos bem drenados;
- d. **Granular ou esferoidal** – partículas arranjadas ao redor de um ponto, formando agregados de forma arredondada, típica de solos superficiais (horizonte A), especialmente em solos não ou pouco agricultados e resultado de maiores teores de matéria orgânica, atividade de micro e macrofauna, sistema radicular, amplitude de temperaturas, ciclos de umedecimento e secagem, etc. É comum em horizonte B de LATOSSOLOS VERMELHOS férricos (terra roxa), quando estes apresentam microestrutura <1 mm. Subdividem-se em:
- **Granular** – unidades estruturais pequenas, arredondadas, pouco porosas, que não se ajustam entre si;
 - **Grumos (*crumb*)** – unidades estruturais pequenas, arredondadas, muito porosas, que não se ajustam entre si.

O tamanho é um segundo aspecto utilizado na classificação estrutural do solo. O Quadro 10.21 relaciona a forma e arranjo das estruturas e seu tamanho (SANTOS *et al.*, 2015), facilitando sua classificação, seguida de uma terceira característica de classificação, o grau de desenvolvimento da estrutura, refletindo a coesão dentro e fora dos agregados e apresentando ou não unidades estruturais bem definidas.

Sem unidades estruturais:

- **Grãos simples** – não coerente;
- **Maciça** – coerente;

Com unidades estruturais ou *peds*:

- **Fraca** – unidades estruturais pouco frequentes e grande quantidade de terra solta;
- **Moderada** – unidades estruturais bem definidas com pouca terra solta;
- **Forte** – unidades estruturais facilmente separáveis e pouco ou nenhum solo solto.

Quadro 10.21. Forma e tamanho (mm) das estruturas do solo.

Tamanho	Forma e arranjo dos agregados						
	Laminar – predomina linha horizontal formando lâminas de espessura variável	Prismática – predomina linha vertical		Blocos – três dimensões semelhantes			
		Prismática – topo plano	Colunar – topo arredondado	Blocos angulares - faces planas, vértices agudos	Blocos subangulares – faces arredondadas e planas com vértices suavizados ou arredondados	Forma e aspecto arredondados, sem faces de contato	
						Granular – unidades de estrutura não ou pouco porosa	Grumosa – unidades de estrutura porosa
Muito pequena	< 1	< 10	< 10	< 5	< 5	< 1	< 1
Pequena	1 a 2	10 a 20	10 a 20	5 a 10	5 a 10	1 a 2	1 a 2
Média	2 a 5	20 a 50	20 a 50	10 a 20	10 a 20	2 a 5	2 a 5
Grande	5 a 10	50 a 100	50 a 100	20 a 50	20 a 50	5 a 10	-
Muito grande	> 10	> 100	> 100	> 50	> 50	> 10	-

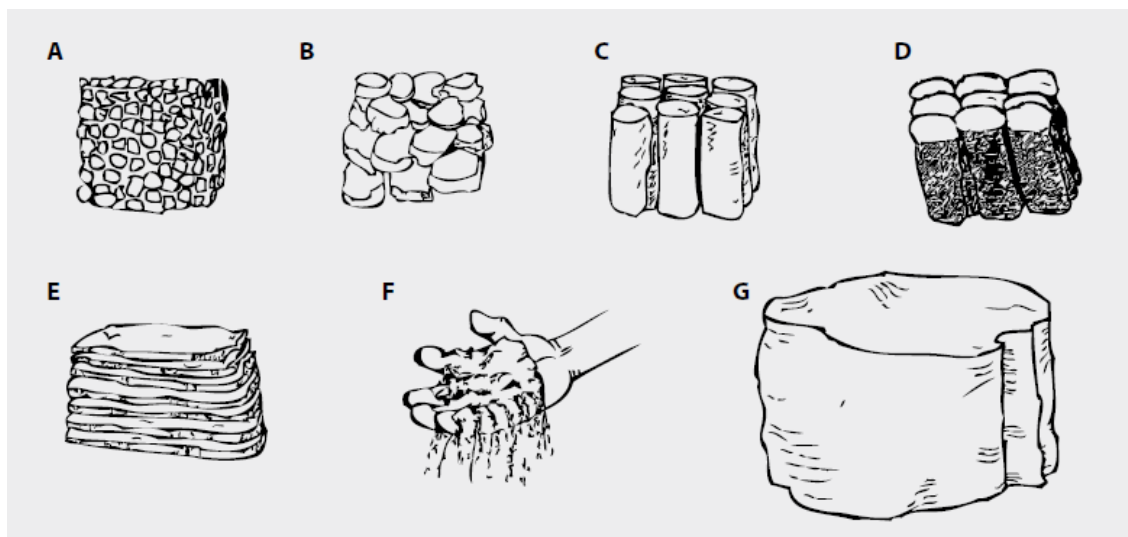
Fonte: modificado de Santos *et al.* (2015).

Moody e Cong (2008) e NASA (2014) apresentam uma descrição para a estrutura dos solos, cuja representação gráfica é dada na

Figura 10.2:

- a. **Granular** – semelhante a pequenos grumos, normalmente menores que 0,5 cm de diâmetro, encontrados na camada superficial;
- b. **Bloco** – blocos irregulares normalmente com 1,5 a 5 cm de diâmetro;
- c. **Prismático** – colunas verticais normalmente encontradas em horizontes subsuperficiais;
- d. **Colunar** – colunas verticais de coloração esbranquiçada devido a cobertura salina, normalmente encontrada em solos de clima árido.
- e. **Laminar** – lâmina fina e horizontal, normalmente encontrado em solos compactados;
- f. **Grãos simples** – o solo se rompe em partículas individuais, sem consistência, normalmente encontrada em solos arenosos;
- g. **Massivo** – sem estrutura visível, duro de romper, formando torrões (muito) grandes.

Figura 10.2. Descrição visual dos agregados.



Fonte: Moody e Cong (2008).

Textura e estrutura são propriedades interligadas, determinando muito do funcionamento ecológico do solo, visto que regulam (modificado de SHEPHERD *et al.*, 2008):

- A aeração do solo;
- A taxa de trocas gasosas;
- Temperatura do solo;
- Microclima do solo;
- Infiltração, percolação e estoque de água;
- Resistência à erosão;
- Oferta de nutrientes;
- Penetração e desenvolvimento das raízes;
- Trabalhabilidade do solo e trafegabilidade;
- Resistência do solo à degradação estrutural;
- Suscetibilidade à compactação;
- Absorção, transporte, adsorção, dispersão, degradação, transformação e incorporação de poluentes físicos, químicos e orgânicos, como águas servidas, rejeitos diversos, chorume, patógenos, resíduos domésticos e industriais, etc.

Caputo (1988) ensina que, quanto mais complexas, menos estáveis são as estruturas de um solo, de modo que ao serem destruídas não serão recompostas. A estrutura de um solo está associada à sua resistência, e almogar um solo (deformar sua estrutura), implica em perda de sua resistência. Um exemplo são os solos argilosos que se tornam lamacentos ao se destruir sua estrutura com o pisoteio, movimentação de maquinário e ação intermitente de condições secas e úmidas.

Em Mecânica dos Solos, tradicionalmente se considera os seguintes tipos de estrutura:

- **Granular simples** – característica das areias e pedregulhos, em que a gravidade predomina no arranjo das partículas, que se apoiam uma sobre as outras, apresentando diferentes graus de compacidade a depender se mais ou menos adensadas;
- **Alveolar ou em favo de abelha** – comum em siltes finos e algumas areias que, ao se sedimentarem tomarão forma de arco, constituindo alvéolos ou poros;

- **Flocular** – formado por partículas muito pequenas que sedimentam em arco sobre arco, formando alvéolos com camada dupla;
- **Esqueleto** – resultado do arranjo e composição de argila e coloides (grãos finos) com siltes e areias (grãos maiores), formando estruturas em esqueleto (*skeleton structure*).

Pinto (2006), Caputo (1988) e Mitchell e Soga (2005) discorrem sobre as formações mais comuns de solos e a estrutura que apresentam:

- a. **Residual ou autóctone** – originado do intemperismo da rocha matriz e evoluído no mesmo local de formação. O intemperismo e lixiviação intensos de solos tropicais, aliados a óxidos de ferro e alumínio, concorrem para a formação de estruturas granulares a maciças em que concreções e nódulos são comuns, podendo formar solos lateríticos. Solos expansivos, compostos por argilas de alta atividade, como o “massapê” do Recôncavo baiano (solo escuro e muito fértil, correspondendo aos Vertissolos) e solos muito porosos, como os solos de Brasília, são “solos colapsíveis”, visto que em determinadas condições de umidade sua estrutura se rompe, levando a grandes recalques em terrenos planos ou escorregamentos em terrenos mais íngremes.
- b. **Sedimentar ou alóctone** – solo erodido, transportado e depositado em bacias marinhas, salobras ou de água doce, recebendo diferentes designações em função do agente transportador:
 - **Aluvionar** – transportados pela água;
 - **Eólico** – transportados pelo vento;
 - **Coluvionar** – transportados pela ação da gravidade;
 - **Glaciar** – transportados por geleiras;
- c. **Orgânico** – solo de natureza vegetal, pelo acúmulo de plantas, galhos, raízes, etc.; e/ou de origem animal, como o acúmulo de conchas ou ação humana na formação das “terras de índio”.

Kay e Angers (2001), *apud* Ball; Batey; Munkholm (2007), propõem que a estrutura do solo deva ser descrita em termos de:

- a. **Forma** - arranjo heterogêneo de poros e sólidos em um dado tempo, indicando forma, tamanho e porosidade dos agregados; e acrescentando-se, idealmente, outros dois aspectos:
- b. **Estabilidade** - habilidade em manter sua estrutura após algum estresse; e
- c. **Resiliência** - habilidade de um solo em recuperar sua estrutura de modo natural.

Moody e Cong (2008) trabalham Estrutura associada à Consistência. Para conhecer a estrutura, os autores indicam a retirada de um bloco de 10 cm x 10 cm x 10 cm de solo ligeiramente úmido e então, cuidadosamente, pressionar o solo com as mãos. Apresentando estrutura, o solo se partirá nas linhas de fraqueza, evidenciando os agregados (*peds*). Em caso contrário, o cisalhamento será irregular e não mostrará os agregados, evidenciando a falta de estrutura do solo. A proporção de agregados é descrita como:

- **Massiva** – material coerente sem distinção de agregados;
- **Granulação simples** – material não estruturado, composto por grãos simples;
- **Fraca** – menos de 1/3 do material está em agregados;
- **Moderada** – de 1/3 a 2/3 do material está em agregados;
- **Forte** – mais de 2/3 do material está em agregados.

Em 2005, na França, o Grupo F “Exame e avaliação visual do solo” da ISTRO (*International Soil Tillage Research Organisation*) se reuniu para avaliar 10 diferentes metodologias de análise em campo da estrutura de um mesmo solo. Muitos dos pesquisadores tomaram como base as propostas de Peerlkamp (PEERLKAMP, 1967), concluindo que os critérios não eram robustos o bastante e que as escalas deveriam ser mais compactas, necessitando ainda incluir outras observações como cor, forma e orientação dos agregados, poros e raízes. O teste deveria ainda ser mais objetivo e prontamente compreensível por não-cientistas, de modo que chaves visuais foram incorporadas, com descrições estruturais simplificadas em uma escala de qualidade estrutural (BALL; BATEY; MUNKHOLM, 2007).

Tendo por base o trabalho de Peerlkamp (PEERLKAMP, 1967), Ball; Batey; Munkholm (2007) (VESS - *Visual Evaluation of Soil Structure*) incorporaram modificações, acrescentando rápidas descrições e imagens ilustrativas das estruturas e características diferenciadoras das cinco categorias ou classes adotadas, com pontuação variando de 1 (alta qualidade) a 5 (baixa qualidade). Em seus experimentos, avaliaram a influência do operador na pontuação das estruturas, manejo e tipo de cultivo, realizando testes suficientes para permitir uma análise estatística dos dados. A metodologia de avaliação é simples, baseada em análises visuais, demandando entre 5 e 15 minutos em cada ponto amostral, sendo consideradas preliminares e, ao mesmo tempo, complementares às análises laboratoriais, necessárias para quantificar aspectos específicos da estrutura. Preliminares por serem capazes de indicar onde coletar as amostras e complementares por serem as análises laboratoriais incapazes de um levantamento rápido e imediato da qualidade das estruturas em condições de campo.

Ball; Batey; Munkholm (2007) concluíram que, embora buscando critérios mais objetivos, diferenças nas avaliações podem ocorrer, devido a:

- i. Escolhas inadequadas de pontos amostrais, misturando e não separando áreas de alta e baixa produtividade que poderiam indicar diferenças estruturais do solo;
- ii. Diferenças de percepção dos operadores, apontando para a capacitação de múltiplos operadores avaliando um mesmo local, no lugar de múltiplas avaliações por um único operador;
- iii. Não houve diferença significativa entre operadores especialistas e não-especialistas, embora os primeiros tendam a perceber nuances não percebidas pelos segundos;
- iv. A metodologia mostrou-se sensível à diferentes manejos (tipos de cultura e aração), estabelecendo-se relações com diferentes propriedades do solo (densidade aparente, resistência à penetração e porosidade) e crescimento das culturas, resultando em indicações para aprimorar o manejo e evidenciando características físicas que influenciam na produtividade;
- v. Um indicador da resiliência estrutural de um solo pode ser obtida pelo erro padrão das pontuações, restringindo a variação das notas atribuídas pelos operadores.

Mueller *et al.* (2009) creditam a Peerlkamp (1967) a formulação de uma metodologia rápida, simples e eficiente de avaliação em campo, que consiste em se cavar um pequeno poço no terreno, retirando com pá uma fatia lateral de solo a ser examinada. Cuidadosamente esse solo é então fracionado, quebrado em suas linhas de fraqueza para evidenciar os agregados e avaliados atributos como estrutura, porosidade, etc. Posteriormente a metodologia foi adotada e aprimorada por diversos pesquisadores e instituições (FAO, 2006; MCGARRY, 2004; SHEPHERD *et al.*, 2008; MOODY; CONG, 2008; NASA, 2014; SOUZA *et al.*, 2016; VÄDERSTAD; INITIATIVE-SMI, 2005).

Em seus estudos, Mueller *et al.* (2009) testaram a capacidade diagnóstica de diferentes metodologias (Quadro 10.22) de avaliação visual da estrutura do solo, chave para o entendimento de processos físicos, químicos e biológicos que o caracterizam. Avaliando solos siltosos e argilosos do Canadá (Eldora), China (Luancheng) e Alemanha (Dedelow), as metodologias foram confrontadas com os resultados laboratoriais para densidade, força (resistência à penetração e cisalhamento) e permeabilidade (taxa de infiltração inicial); atividade biológica (contagem de minhocas); e rendimento de colheitas. Testes estatísticos determinaram alta correlação entre as metodologias testadas, bem como alta correlação entre a estrutura do solo, atributos físicos e rendimento das culturas. Tipo e tamanho dos agregados parecem ser características-chave na determinação da estrutura e, como sugestão para minimizar os erros devidos à subjetividade das metodologias, indicam os autores: (i) utilizar referenciais fotográficos e (ii) realizar as pontuações com mais de uma pessoa. As conclusões do estudo indicam que:

- a. As metodologias de avaliação visual são ferramentas úteis para o diagnóstico da estrutura, provendo informações semiquantitativas rápidas sobre a qualidade física e fertilidade do solo;
- b. A forma e tamanho dos agregados são fundamentais e facilmente reconhecíveis no diagnóstico da estrutura;
- c. Características estruturais únicas foram inter-relacionadas em muitos casos. Por exemplo, tipos de agregados (grumos e blocos subangulares) foram relacionados ao tamanho (agregados pequenos), gradação dos agregados (clara hierarquia de

tamanhos) e características biológicas (maior quantidade de raízes e de buracos de minhocas);

- d. Os métodos devem ser adaptados às condições específicas locais.

Quadro 10.22. Autor, critérios-chave e pontuações.

Autor	Metodologia	Critérios-chave	Pontuações
Peerlkamp (1967)	<i>Visual estimation of soil structure</i> ou Peerlkamp Method	Tamanho e tipo de agregados (pontuação conjunta).	1 = pior; 10 = melhor 1-2. Camada arável com torrões grandes, faces de ruptura densas e lisas, raízes apenas nas rachaduras. 3-4. Agregados densos, grandes, faces lisas, raízes entre agregados. 5-6. Agregados grandes, porosos, faces lisas. 7-8. Camada arável em sua maior parte com grumos porosos combinados com agregados porosos. Ocasionalmente presença de torrões mais densos. 9-10. Camada arável formada por grumos porosos e pouquíssimos agregados densos.
Peerlkamp, modificado por Batey and Ball (2005)	VESS. <i>Visual Evaluation of Soil Structure</i>	Tamanho e tipo de agregados, compactação, facilidade de quebra, raízes (pontuação conjunta).	1 = pior; 5 = melhor Descrição e amostra de fotografias.
Diez; Weigelt (1997)	<i>Bodenstruktur erkennen und beurteilen</i>	Tamanho e tipo de agregados (pontuação conjunta). Descrição e amostras fotográficas.	5 = pior 1 = melhor
Shepherd (2000)	VSA - <i>Visual Soil Assessment</i>	Tamanho dos agregados. Características da porosidade. Amostras fotográficas.	0 = pior 2 = melhor
Ball; Douglas (2003)	<i>A simple procedure for assessing soil structural, rooting</i>	Firmeza, tamanho e tipo de agregados. Abundância e padrão de raízes.	1 = pior 5 = melhor

Autor	Metodologia	Critérios-chave	Pontuações
	<i>and surface conditions</i>		
Werner; Thaemert (1989)	<i>Zur Diagnose des physikalischen Bodenzustandes auf Produktionsflaechen</i>	(a) Tamanho dos agregados; (b) tipo dos agregados; (c) forma dos vazios intra-agregados; (d) largura das interfaces dos agregados; (e) proporção de poros biogênicos.	5 = pior; 1 = melhor Média ponderada das pontuações para: a) tamanho do agregado: 1 pequeno (< 5 mm); 2 médio (5-20 mm); 3 grande (20-50 mm); 4 muito grande (> 50 mm); 5 sem estrutura. b) tipo do agregado: 1 arredondado; 2 bordas planas sem rugas; 3 bordas pontiagudas; 4 massivo. c) forma dos vazios intra-agregados: 1 cavidades rugosas; 2 fissuras rugosas; 3 cavidades lisas; 4 fissuras lisas; 5 adensado, não separável. d) largura das interfaces entre agregados: 1 aberta; 2 meio aberta; 3 fechado; 4 sem interfaces. e) proporção de poros biogênicos (> 1 mm): 1 muito alta; 2 alta; 3 média; 4 baixa.
FAO (2006)	<i>Guidelines for soil description</i>	(a) Tipo de agregado; (b) tamanho do agregado; (c) abundância de raízes; (d) diâmetro da raiz; (e) abundância de buracos de minhoca; (f) diâmetro dos buracos de minhoca.	Descrição sem pontuação.

Fonte: modificado de Mueller *et al.* (2009).

McKenzie (2013), visando à produção agrícola, elaborou listagem de fatores físicos, químicos e biológicos (Quadro 10.23), aqui reproduzidos em parte, a serem considerados na avaliação estrutural dos solos, associando estratégias de melhoria para as condições australianas.

Quadro 10.23. Fator a ser testado, processos associados, metodologias de avaliação rápida e estratégias de melhoria.

Fator a ser testado	Processo associado de importância prática para o fazendeiro	Avaliação rápida	Estratégias de melhorias economicamente viáveis a serem consideradas
Forma estrutural (severidade de compactação)	Infiltração de água. Estoque hídrico. Taxa de drenagem do excesso de água e poluentes. Perdas por erosão. Crescimento e função das raízes. Emissão de óxido nítrico e metano (ver alagamento superficial em Compactação).	SOILpak score (McKenzie, 2001a); VESS (BALL; BATEY; MUNKHOLM, 2007); VSA (Shepherd, 2009).	Descompactação mecânica; “Cultivo biológico”; (descompactação via processo de expansão e contração; umedecimento e secagem; e bioturbação).
Estabilidade estrutural na água	Habilidade do solo em manter funções vitais associadas à estrutura após umedecimento .	Avaliação da desintegração e dispersão de Emerson (Emerson, 1983); Teste de dispersão ASWAT (Field et al., 1997).	Gesso; Mistura de gesso e cal; Matéria orgânica.
Resiliência estrutural	Habilidade de o solo retomar sua estrutura por meio de processos naturais como expansão-contração associadas a ciclos de umedecimento e secagem.	Mistura semilíquida seca ao forno em uma placa de Petri (contração linear).	Adição de argila em solos arenosos; Revolvimento profundo com aiveca.
Textura	Capacidade de estocagem hídrica; Retenção de nutrientes.		Adição de argila em solos arenosos; Revolvimento profundo com aiveca.

Fonte: modificado de McKenzie (2013).

Atentos às críticas que tem sido levantadas quanto à subjetividade dos métodos de avaliação visual da estrutura do solo (VESS – *Visual Evaluation of Soil Structure*), especialmente em relação ao trabalho do operador e à forma de rompimento da estrutura de modo a evidenciar seus agregados formadores, Guimarães; Ball; Tormena (2011) decidiram comparar duas metodologias: a quebra manual dos agregados (BALL; BATEY; MUNKHOLM, 2007; BATEY; BALL, 2005; MCGARRY, 2004; MUELLER *et al.*, 2009; RALISCH *et al.*, 2017) e a quebra por queda (SHEPHERD, 2000; SHEPHERD *et al.*, 2008; SHEPHERD, 2009; VÄDERSTAD, 2016; VÄDERSTAD; INITIATIVE-SMI, 2005), esta última menos susceptível à interferência do operador. Concluíram os autores que a quebra manual ou por queda resulta em pontuações análogas e que a redução dos agregados e avaliação de sua forma incrementa o VESS, que se mostra ainda sensível o bastante para captar mudanças estruturais nos perfis do solo, facilitando sua melhoria ao direcionar seu manejo.

Segundo Giaraola *et al.* (2013), o plantio direto é a tecnologia mais importante adotada pela agricultura brasileira nos últimos 50 anos, sendo hoje utilizada em aproximadamente 45% da área cultivada no país. Nesses solos, camadas compactas em diferentes profundidades são comuns, podendo ou não interferir no desenvolvimento das raízes e consequente produção agrícola. A avaliação visual da estrutura do solo - VESS (*Visual Evaluation of Soil Structure*) se faz uma alternativa direta, de baixíssimo custo e uma ferramenta poderosa na avaliação de sua qualidade física e orientação quanto ao manejo mais adequado. Nos experimentos de plantio direto em terras roxas (NITOSSOLOS VERMELHOS ou *Red Oxisols*) do Paraná, os autores compararam:

- a. A descompactação biológica utilizando rabanete, a mecânica utilizando subsolador parabólico e o plantio direto, resultando em que apenas no ano em que a descompactação mecânica foi utilizada houve incremento na qualidade estrutural do solo, que se estabilizou nos anos seguintes com o uso do rabanete e plantio direto;
- b. Mudanças no rendimento da soja e qualidade estrutural do solo, com gradiente textural de menos a mais argiloso, não mostraram diferenças significativas (não houve influência da textura), indicando, no entanto, que melhorias da estrutura

que obtiveram pontuações médias, tenderia a uma melhora no rendimento das culturas;

- c. O método VESS (*Visual Evaluation of Soil Structure*) (BALL; BATEY; MUNKHOLM, 2007) e VSA (*Visual Soil Assessment*) (SHEPHERD, 2009), concluindo que, na parcela testada, o VSA permitiu um melhor diagnóstico, embora essa metodologia se mostre muito dependente do componente textural.

Guimarães *et al.* (2013) testaram a hipótese de que a qualidade estrutural do solo, avaliado pela VESS (BALL; BATEY; MUNKHOLM, 2007; GUIMARÃES; BALL; TORMENA, 2011), é sensível o bastante para detectar mudanças considerando diferentes manejos e diferentes camadas de solos superficiais (até 30 cm de profundidade) e identificar qual característica física é melhor descrita pela metodologia. A pontuação VESS da qualidade do solo (Sq) vai de 1 a 5, representando 1 melhor qualidade e 5 pior qualidade. No primeiro experimento foram avaliados solos de duas florestas nativas escocesas (textura argilosa e franco-arenosa), comparando-os com solos contíguos logo após a colheita, no qual foram amostrados pontos trafegados e não trafegados pelas máquinas agrícolas. Análises estatísticas foram feitas em relação às pontuações VESS e medidas de laboratório de resistência à penetração, densidade aparente e permeabilidade ao ar (Ka). Os resultados mostraram que a pontuação VESS (Sq) foi sensível o bastante para captar diferenças estruturais entre as camadas superior e inferior dos solos recobertos pelas florestas e dos solos trafegados e não trafegados pelas máquinas nos campos de cultivo, tendo mostrado compactação mais acentuada e profunda naqueles de textura argilosa e linhas de tráfego. A pontuação aumentou (pior qualidade) com o aumento da resistência à penetração e densidade aparente (alta correlação com a VESS) e diminuiu com o aumento da permeabilidade ao ar (melhor qualidade, mas baixa correlação com a VESS), mostrando-se sensível na avaliação da compactação do solo e identificação de camadas compactas, mesmo quando a compactação é pouco ou nada visível na superfície. Em um segundo experimento, parcelas de nitossolo (*Oxisoil*) paranaense sob manejo de plantio direto, foram comparados com o VESS: os limites críticos de umidade para a capacidade de campo; o ponto de murcha permanente, a resistência à penetração e a porosidade ao ar. Os

resultados apontaram uma correlação negativa entre o aumento da pontuação e a diminuição da capacidade de retenção de água pelo solo, sendo que, a partir da pontuação 3 ou superior, modificações no manejo precisam ser avaliadas de modo a melhorar a estrutura do solo. Concluem os autores que o VESS é capaz de identificar qualidades estruturais do solo cultivável, bem como a profundidade de camadas mais adensadas (compactadas), tanto em solos argilosos quanto arenosos. Correlações entre as pontuações VESS e testes quantitativos de laboratório, apontam a metodologia como um teste semiquantitativo eficiente na avaliação da qualidade física do solo, sendo a avaliação da camada superficial a mais importante.

Ralisch *et al.* (2017) expressando que os métodos convencionais de avaliação da qualidade do solo exigem conhecimentos especializados, laboratórios, equipamentos, tempo e dinheiro, justificando a elaboração de métodos mais rápidos e menos onerosos que, embora subjetivos, apresentem consistência científica e aplicação direta no manejo do solo nas propriedades rurais. O método proposto, DRES – Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo, considera amostras dos primeiros 25 cm do solo, observando e pontuando de 1 (solo totalmente degradado) a 6 (solo em melhores condições): tamanho e forma dos agregados e torrões, compactação ou degradação, forma e orientação das fissuras, rugosidade das faces de ruptura, resistência à ruptura, distribuição e aspecto do sistema radicular e atividade biológica. Para uma gleba homogênea, são coletadas amostras em blocos de solo de 20 cm de largura x 10 cm de espessura x 25 cm de profundidade, sempre sob condição de solo úmido, próximo à capacidade de campo, ainda que necessário umedece-lo artificialmente. O número de amostras é dado por hectares (ha):

- 3 a 5 amostras até 10 ha;
- 6 a 10 amostras de 11 a 50 ha;
- 11 a 15 amostras para áreas entre 51 e 100 ha.

McGarry (2004) descreve mas não pontua do Estrutura do solo em função do tipo, grau, tamanho e consistência dos agregados:

- a. **Nenhuma** – o solo apresenta granulação simples (arenosa) ou massiva;
- b. **Fraca** – agregados pobremente formados;

- c. **Moderada** – agregados bem formados, visíveis em solo revolvido;
- d. **Forte** – agregados muito bem formados e claramente distinguíveis.

Trabalhando com vinhedos, Nicholls *et al.* (2004) não discorrem sobre a estrutura do solo, apenas apresentam as pontuações utilizadas e as características correspondentes, expressos no Quadro 10.24.

Quadro 10.24. Estrutura e pontuação segundo Nicholls *et al.* (2004).

Condição pobre (1)	Condição moderada (5)	Boa condição (10)
Solos soltos, poeirentos, sem agregados visíveis.	Poucos agregados que se quebram com pressão fraca.	Agregados bem formados e difíceis de quebrar.

Fonte: Nicholls *et al.* (2004).

Shepherd *et al.* (2008) e Väderstad (2016) entendem solos com boa estrutura aqueles que sejam friáveis, finos (reduzida porcentagem de materiais mais grosseiros, maiores que 2 mm) e porosos, com agregados subangulares e arredondados. Os solos com estrutura pobre apresentam torrões em blocos angulares ou subangulares, grandes, densos e muito duros, com alta força de tensão (coesão e adesão). Os critérios de avaliação e pontuação adotados pelos autores estão descritos no Quadro 10.25 e Quadro 10.26, respectivamente.

Quadro 10.25. Estrutura e pontuação segundo Shepherd *et al.* (2008).

Condição pobre (0)	Condição moderada (1)	Boa condição (2)
Solo dominado por torrões grosseiros, muito firmes, angulares ou subangulares e poucos ou nenhum poro.	Solo com 50% de agregados finos e friáveis e torrões grosseiros, duros, forma angular ou subangular e poucos poros.	Solo sem quantidade significativa de torrões, friável, com agregados finos, arredondados e muito porosos.

Fonte: Shepherd *et al.* (2008).

Quadro 10.26. Estrutura e pontuação segundo Väderstad (2016).

Condição pobre (0)	Condição moderada (1)	Boa condição (2)
Solo dominado por torrões grosseiros e muito firmes, com poucos agregados finos.	Solo contém proporção semelhante de torrões grosseiros e firmes, com agregados finos e friáveis.	Boa distribuição de agregados finos sem a presença significativa de torrões.

Fonte: Väderstad (2016).

Ball; Batey; Munkholm (2007) (VESS - *Visual Evaluation of Soil Structure*) incorporaram modificações, acrescentando rápidas descrições e imagens ilustrativas das estruturas e características diferenciadoras das cinco categorias ou classes adotadas (Quadro 10.27), com pontuação variando de 1 (alta qualidade) a 5 (baixa qualidade).

Quadro 10.27. Categorias estruturais, descrição e distinções.

Pontuação e qualidade da estrutura	Facilidade de rompimento (solo úmido)	Tamanho e aparência dos agregados	Porosidade visível	Raízes	Característica distintiva
1 - Friável (tende a cair da pá)	Agregados separados com os dedos.	Maioria < 6 mm.	Altamente poroso.	Raízes ao longo do solo.	Agregados finos.
2 - Intactos (retidos em bloco na pá)	Agregados facilmente rompíveis com uma mão.	Mistura de agregados porosos e arredondados entre 2 e 7 mm. Sem presença de torrões.	A maioria dos agregados é porosa.	Raízes ao longo do solo.	Alta porosidade dos agregados.
3 - Firme	Sem dificuldade.	Mistura de agregados porosos de 2 mm a 10 cm; menos de 30% são < 1 cm. Alguns torrões angulares e não porosos podem estar presentes.	Macroporos e rachaduras presentes. Alguma porosidade dentro dos agregados (poros ou raízes).	Maioria das raízes ao redor dos agregados e torrões.	Baixa porosidade dos agregados.
4 - Compacto	Certa dificuldade.	Grandes, > 10 cm, subangulares, não porosos; horizontal ou laminar é possível; menos de 30% são < 7 cm.	Poucos macroporos e rachaduras.	Raízes agrupadas em macroporos e ao redor dos agregados ou torrões.	Macroporos distintos.
5 - Muito compacto	Difícil.	Maioria > 10 cm, muito poucos < 7 cm, angulares e não porosos.	Muito baixa; macroporos podem estar presentes; pode apresentar zonas anaeróbicas.	Poucas, se algumas, restritas às rachaduras.	Coloração azul-acinzentada.

Fonte: modificado de Ball; Batey; Munkholm (2007).

Souza (2015) traz Estrutura e Consistência do solo em um mesmo item, descrevendo no entanto mais a primeira que a segunda (Quadro 10.28).

Quadro 10.28. Estrutura e Consistência do solo e pontuação segundo Souza (2015).

Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)	Ótimo (3)
Solo “empoeirado” como areia, onde não há estrutura e/ou consistência. Incapacidade de formar agregados.	Poucos agregados, agregados muito grandes e difíceis de serem quebrados.	Quantidade média de agregados, com alguma resistência à quebra.	Muitos agregados que quebram com pouca pressão.

Fonte: Souza (2015).

10.3.1 Como avaliar e pontuar Estrutura

Mueller *et al.* (2009) creditam a Peerlkamp (1967) a formulação da metodologia em que se cava um pequeno poço no terreno, retirando com pá uma fatia lateral de solo, a partir da qual se avalia sua estrutura, porosidade, etc., e adotada posteriormente por FAO (2006), McGarry (2004), Shepherd *et al.* (2008), Moody; Cong (2008), NASA (2014), Souza *et al.* (2016) e Väderstad; Initiative-SMI (2005). Os pontos amostrais devem ser definidos para terrenos mais homogêneos, representativos de um mesmo tipo de solo, de modo a ser comparado com solos e/ou manejos diferentes dentro de uma mesma área. Um primeiro poço é cavado em terreno pouco alterado (embaixo de cerca antiga, área protegida, reserva legal, floresta, etc.) para servir de referência.

A maioria dos autores consultados não discrimina camadas intermediárias, eventualmente presentes no solo superficial (20 a 30 cm) retirado para avaliação visual. Camadas compactadas podem assim se misturar a camadas não compactadas, mascarando avaliações mais fidedignas da estrutura do solo. Guimarães *et al.* (2013) adotam a avaliação e pontuação de diferentes camadas presentes no solo superficial, propondo que, caso seja utilizada uma pontuação geral para o bloco, se adote um peso maior para a camada superior em relação à inferior. Na presente pesquisa, optou-se pela avaliação inicial da camada superficial, os primeiros 20 cm de solo, deixando em aberto a possibilidade de pontuações na planilha de avaliações intermediárias dessa

camada, avaliando camadas mais ou menos compactadas. Outra possibilidade é utilizar os espaços na planilha para avaliação de profundidades maiores (20 cm a 40 cm; 40 cm a 60 cm), caso se entenda necessário ou se queira conhecer as camadas mais profundas do lugar sob análise.

A descrição e pontuação da **Estrutura** (Quadro 10.29) conta com as contribuições de Brady e Weil (2013), Oliveira (2011), Santos *et al.* (2015), Moody e Cong (2008), NASA (2014), FAO (2006), McGarry (2004), Pinto (2006), Caputo (1988), Mitchell e Soga (2005), Kay e Angers (2001), *apud* Ball; Batey; Munkholm (2007), Nicholls *et al.* (2004), Souza (2015) Peerlkamp (1967) *apud* Mueller *et al.* (2009), Werner; Thaemert (1989) *apud* Mueller *et al.* (2009), Mueller *et al.* (2009), Shepherd *et al.* (2008), Guimarães; Ball; Tormena (2011), Guimarães *et al.* (2013), McKenzie (2013), Ralisch *et al.* (2017), Giarola *et al.* (2013) Väderstad (2016), Ball; Batey; Munkholm (2007) e McKenzie (2013).

Procedimento - Para determinar a estrutura do solo, adotou-se o **Teste de Queda** (SHEPHERD, 2000; SHEPHERD *et al.*, 2008; SHEPHERD, 2009; VÄDERSTAD, 2016; VÄDERSTAD; INITIATIVE-SMI, 2005), seguido pela **quebra manual** dos agregados quando se entender necessário (BALL; BATEY; MUNKHOLM, 2007; BATEY; BALL, 2005; MCGARRY, 2004; MUELLER *et al.*, 2009; RALISCH *et al.*, 2017):

1. Usar a cavadeira para fazer um buraco ou minipoço com 20 cm de profundidade em área pouco alterada (embaixo de cerca antiga, área protegida, reserva legal, floresta, etc.) e em seguida nos outros pontos amostrais;
2. Retirar da lateral do minipoço uma fatia de solo de mais ou menos 10 cm de espessura, 15 cm de largura e 20 cm de profundidade
3. Para realizar o **Teste de Queda**, preferencialmente o solo deve estar ligeiramente úmido, nem seco nem molhado, evitando a condição de seco, muito úmido ou encharcado (SANTOS *et al.*, 2015);
4. Soltar a amostra sobre uma bacia plástica no máximo **três vezes** e de uma altura de 1 m. Se torrões maiores se desprenderem após a primeira ou segunda queda, soltar cada torrão uma ou duas vezes mais. Se os torrões se partirem em estruturas pequenas (estrutura primária) após a primeira ou segunda queda, não há necessidade de nova soltura;
5. Solos de textura franco-arenosa - soltar a 50 cm de altura;

6. Solos de textura areia e areia franca - soltar a amostra a partir da pá, apenas uma vez a uma altura de 5 cm diretamente na bacia;
7. Transferir o solo para bandeja mais larga;
8. Aplicar pressão leve, quebrando os torrões em suas linhas de fratura. Se os torrões não se quebrarem com facilidade, não pressionar mais fortemente;
9. Organizar os torrões na bandeja, de uma ponta a outra, dos menores aos maiores, obtendo uma medida da distribuição dos agregados;
10. Observar o exterior dos agregados (porosidade, forma, tamanho e raízes) e dentro dos agregados (porosidade);
11. Pontuar segundo o Quadro 10.29.

Quadro 10.29. Descrição, características e pontuação de Estrutura do solo para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Estrutura	Rompimento (solo úmido)	Tamanho e aparência dos agregados	Porosidade visível	Raízes	Característica distintiva	PA	PEU
Granulação simples	Material não coerente, solto.	Material não estruturado, sem agregados, composto por grãos simples, soltos, arenosos, < 2 mm.	Vazios entre as partículas.	Ocupam os vazios.	Material poeirento ou arenoso.	2	3
Massiva	Difícil.	Material coerente sem distinção de agregados, torrões muito grandes, grosseiros, firmes, angulares ou subangulares, não porosos, maioria > 10 cm, muito poucos < 7 cm.	Muito baixa; macroporos podem estar presentes; pode apresentar zonas anaeróbicas.	Poucas, se algumas, restritas às rachaduras.	Coloração azul-acinzentada.	1	5
Fraca	Certa dificuldade.	2/3 de torrões grandes, > 10 cm, grosseiros, angulares a subangulares, não porosos; torrões horizontais ou laminares são possíveis. 1/3 ou menos de agregados mais finos e friáveis, < 7 cm.	Poucos macroporos e rachaduras.	Raízes agrupadas em macroporos e ao redor dos agregados ou torrões.	Macroporos presentes.	3	4
Mediana	Sem dificuldade.	2/3 de mistura de agregados porosos, arredondados, de 2 mm a 10 cm; menos de 30% são < 1 cm. Alguns torrões angulares e não porosos podem estar presentes.	Macroporos e rachaduras presentes. Alguma porosidade dentro dos agregados.	Maioria das raízes ao redor dos agregados e torrões.	Baixa porosidade nos agregados.	4	2
Ótima	Agregados facilmente rompíveis.	Mistura de agregados porosos e arredondados entre 2 e 7 mm, maioria < 6 mm. Sem presença de torrões. Grumoso (indica origem orgânica ou ação biótica).	Maioria dos agregados porosos a muito porosos.	Raízes ao longo do solo.	Agregados finos e alta porosidade.	5	1

Fonte: Autor.

10.4 Porosidade

A **Porosidade**, resultado dos espaços vazios entre e dentro dos agregados, facilitam ou dificultam a condução e armazenamento de gases e líquidos, estabelecendo a Permeabilidade do solo (OLIVEIRA, 2011). No conjunto, porosidade e permeabilidade influenciam diretamente o desenvolvimento vegetal e, portanto, a agricultura, a silvicultura, a formação de pastagens, a revegetação de áreas degradadas, etc., já que determinam em maior ou menor grau a infiltração de água, aeração, facilidade de enraizamento, acesso a nutrientes e habitat para microrganismos, dentre outros (BRADY; WEIL, 2013; MCGARRY, 2004; OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2015; SHEPHERD *et al.*, 2008; VÄDERSTAD, 2016). Influenciam ainda em obras de engenharia, como a fundação de barragens de terra, obras de drenagem, rebaixamento do nível d'água, adensamento, recalque, estabilidade, vazão, etc. (ORTIGÃO, 2007; PINTO, 2006).

Solos com boa estrutura apresentam alta porosidade entre e dentro dos agregados, ao passo que solos com estrutura pobre apresentam baixa porosidade tanto entre como no interior dos torrões, comprometendo a drenagem e aeração, reduzindo as trocas gasosas, retendo compostos tóxicos (metano, dióxido de carbono, sulfitos, etc.) e restringindo o acesso de raízes à água e nutrientes. Quanto mais poroso o solo, melhor sua drenagem e aeração, evitando o excesso de água que forma ambientes de redução (ver Cor, odor e mosqueado e Compactação) e consequente produção de gases de efeito estufa e/ou compostos potencialmente danosos às plantas (SHEPHERD *et al.*, 2008). A redução na aeração reduz a oxigenação, implicando na redução da absorção pelas plantas de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e enxofre (S) nas formas de sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+). Também a atividade de micro e mesorganismos (ver Organismos do solo), fica prejudicada, refletindo na capacidade do sistema em decompor e ciclar matéria orgânica e nutrientes, assim como a disponibilidade de água para as plantas, comprometendo sua saúde e produtividade.

O fluxo de água no solo inicia na superfície, infiltrando pelos macroporos para as camadas inferiores, de modo que solos com textura muito fina (silte e argila) ou com estrutura comprometida (aração, pisoteio, tráfego, etc.), podem apresentar poros muito pequenos junto à superfície, podendo evoluir para a formação de uma camada

selante, que compromete a infiltração de água (pluvial, irrigação, despejo), dificulta a emergência dos brotos de culturas, contribui para o alagamento superficial temporário e, dependendo da declividade do terreno (ver Declividade), facilitando a formação de enxurradas e conseqüente erosão (ver Erosão) em graus variados (OLIVEIRA, 2011).

Sendo a porosidade relacionada a espaços vazios formados em função da textura, presença de matéria orgânica, formação de agregados, etc., apresentam diâmetro variável e podem ser classificados como proposto no Quadro 10.30 (BRADY; WEIL, 2013; OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2015):

Quadro 10.30. Classificação de Porosidade quanto ao diâmetro dos poros em mm.

Classe	Brady e Weil (2013) ¹	Oliveira (2011) ²	Santos <i>et al.</i> (2015)
Muito grandes			>10
Grandes	0,08 a ≥5	>5	5 a 10
Médios		2 a 5	2 a 5
Finos/pequenos		1 a 2	1 a 2
Muito finos/muito pequenos		0,075 a 1	<1 mm
Mesoporos	0,03 a 0,08	0,035 a 0,075	
Microporos	0,005 a 0,03	0,005 a 0,03	Invisíveis mesmo com aumento de 10x
Ultramicroporos	0,0001 a 0,005	0,03 a 0,005	
Criptoporos	<0,0001	<0,0001	

Fonte: modificado de Brady e Weil (2013), Oliveira (2011) e Santos *et al.* (2015).

¹ Baseado em *Soil Science Society of America* (2001).

² Baseado em Brewer (1964).

Brady e Weil (2013) consideram macroporos aqueles espaços vazios, geralmente entre agregados, permitindo a livre movimentação de ar e água de drenagem, sendo ainda habitat de várias espécies animais (ver Organismos do solo). Já os microporos, presentes em sua maioria dentro dos agregados, geralmente são ocupados por água e conseqüentemente, apresentam baixa ou inexistente aeração. A água nos microporos tem movimento lento e pode não estar disponível às plantas. O Quadro 10.31 relaciona classes, diâmetro, identificação, características e funções dos poros.

Quadro 10.31. Classe simplificada, diâmetro, identificação e características e funções dos poros.

Classe simplificada	Diâmetro (mm)	Identificação	Características e funções
Macroporos	>0,1	Visíveis a olho nu.	Encontrados entre as unidades estruturais; drenagem da água gravitacional; aeração eficaz; facilitam enraizamento; habitat de animais.
Mesoporos	<0,1	Visíveis com aumento de 10x.	Retenção de água após drenagem; movimentação capilar da água; habitat de pelos radiculares e fungos.
Microporos	<0,03	Invisíveis mesmo com aumento de 10x.	Interior das unidades estruturais; disponibilidade hídrica para plantas; habitat da maioria das bactérias.
	<0,005		Agrupamento de argilas; retenção de água não disponível à maioria das plantas; o tamanho exclui a maioria dos microrganismos.
	<0,0001		Seu tamanho exclui todos os microrganismos e as moléculas de maior tamanho.

Fonte: modificado de Brady e Weil (2013), Oliveira (2011) e Santos *et al.* (2015).

Para aferir a Porosidade (Quadro 10.32), Väderstad (2016) indica retirar uma parcela de solo da lateral do buraco cavado e avaliar a porosidade comparando com as fotos e descrições de seu manual. Solos com boa estrutura apresentam boa porosidade, enquanto solos com unidades estruturais grandes podem não apresentar macro e microporos no interior dos torrões, comprometendo a aeração, enraizamento e permeabilidade.

Quadro 10.32. Pontuação para Porosidade, segundo Väderstad (2016).

Condição pobre (0)	Condição moderada (1)	Boa condição (2)
Macroporos não são visíveis, estrutura interna dos torrões massiva e compacta. A superfície dos torrões é lisa, sem fissuras ou furos, podendo apresentar ângulos agudos.	Macroporos entre e dentro dos agregados visíveis ao se examinar com lupa, indicando compactação moderada.	Muitos macroporos entre e dentro dos agregados, associado a boa estrutura.

Fonte: Väderstad (2016).

Shepherd *et al.* (2008) indicam a retirada de uma porção de solo da lateral de buraco cavado, para examinar a porosidade em relação às descrições (Quadro 10.33) apresentadas em seu manual, observando a presença de espaços, rachaduras, furos e fissuras entre e dentro dos agregados e torrões avaliados em Estrutura.

Quadro 10.33. Pontuação para Porosidade, segundo Shepherd *et al.* (2008).

Condição pobre (0)	Condição moderada (1)	Boa condição (2)
Sem macro e microporos aparentes, com torrões de estrutura compacta e massiva. Os torrões podem apresentar ângulos agudos e superfície lisa, com nenhuma ou poucas fissuras ou buracos.	Macro e microporos entre e dentro dos agregados, visíveis em observação aproximada. Solo apresenta alguma consolidação.	Solo com macro e microporos entre e dentro dos agregados, associado a boa estrutura.

Fonte: Shepherd *et al.* (2008).

Souza *et al.* (2016) chamam de Porosidade ao atributo que, na realidade, descreve e pontua a infiltração e/ou retenção de água no solo (Quadro 10.34).

Quadro 10.34. Pontuação para Porosidade, segundo Souza *et al.* (2016).

Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)	Ótimo (3)
Infiltração muito lenta da água com alto carreamento superficial de partículas.	Pouca retenção de água ou infiltração ainda lenta.	Boa retenção ou infiltração de água.	Excelente retenção ou infiltração de água sem carreamento de partículas.

Fonte: Souza *et al.* (2016).

Casalinho, Martins e Lopes (2007) utilizando de outros atributos, apontam indiretamente a porosidade (Quadro 10.35) segundo os níveis de limitação do indicador.

Quadro 10.35. Limitações para Porosidade, segundo Casalinho, Martins e Lopes (2007).

Níveis de limitação dos indicadores		
Alto	Médio	Baixo
Pouca matéria orgânica, infiltração muito lenta da água; secamento rápido, solo pesado ou arenoso.	Presença razoável de matéria orgânica, pouca retenção de água ou com infiltração ainda lenta.	Bom teor de matéria orgânica e resíduos, boa retenção ou infiltração de água; solo estruturado.

Fonte: Casalinho, Martins e Lopes (2007).

10.4.1 Como avaliar e pontuar Porosidade

Para avaliar **Porosidade**, considerou-se os trabalhos de Brady e Weil (2013), Oliveira (2011) e Santos *et al.* (2015), Väderstad (2016) e Shepherd *et al.* (2008), Casalinho, Martins e Lopes (2007), Souza *et al.* (2016), Soil Science Society of America (2001), Brewer (1964), Ortigão (2007), Pinto (2006) e McGarry (2004) .

Procedimento - A metodologia de campo foi adequada em relação às propostas por Väderstad (2016) e Shepherd *et al.* (2008):

- Utilizar a cavadeira e retirar da lateral do minipoço uma fatia de solo de mais ou menos 10 cm de espessura, 15 cm de largura e 20 cm de profundidade;
- Torcer a amostra com gentileza, buscando seu rompimento nas linhas de falha e/ou promover a queda do solo sobre bacia plástica (ver Estrutura);
- Na face rompida da amostra, observar a macroporosidade, espaços, lacunas, buracos, canais, quebras, rachaduras, fissuras entre e dentro dos agregados e torrões.
- Examinar os torrões e agregados, com auxílio da lupa, verificando a presença de mesoporos em seu interior.
- Pontuar conforme o Quadro 10.36.

Quadro 10.36. Descrição, características e pontuação de Porosidade para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Porosidade	Descrição e características	PA	PEU
Sem ou pouca porosidade	Poros, canais e fissuras não são visíveis. Torrão apresenta-se liso, angular, compacto, sem espaços para aeração, retenção de água ou enraizamento. Presença de concreções, duripã, fragipã, camada adensada ou compactada.	1	1
Porosidade moderada	Macroporos, canais e fissuras presentes e mesoporos visíveis com lupa. Solo com compactação moderada e presença de agregados. Raízes encontram espaço para crescimento.	3	2
Boa porosidade	Macroporos, canais e fissuras e linhas de fraqueza visíveis entre os agregados. Mesoporos em maior quantidade e microporos perceptíveis com auxílio da lupa. Facilidade de enraizamento.	4	4
Ótima porosidade	Boa estrutura, com macro, meso e microporos entre e dentro dos agregados. Poros bem distribuídos ao longo do perfil permitindo bom fluxo e retenção de água, ar e nutrientes.	5	5
Porosidade muito elevada	Profusão de macroporos, solo arenoso ou muito pedregoso, sem estrutura e pouca presença de meso e microporos (silte e argila) que retenham água e nutrientes.	2	3

10.5 Cor, Tonalidade e Mosqueado

A NBR 7250 (ABNT, 1982b) e a NBR 6484 (ABNT, 2001), embora considerando o caráter subjetivo, indicam as seguintes designações para as cores: branco, cinza, preto, marrom, amarelo, vermelho, roxo, azul e verde, podendo complementar com claro ou escuro. Quanto a esse atributo, as normas descrevem a coloração e apenas a NBR 6484 (ABNT, 2001) aponta as cores escuras, preto ou cinza escuro, como tendo quantidade significativa de matéria orgânica.

Brady e Weil (2013), Oliveira (2011), Shepherd *et al.* (2008) e Santos *et al.* (2015) indicam algumas características associadas às cores do solo:

Cor mais escura, tendendo ao preto - no geral, indica quantidade maior de matéria orgânica, que desempenha importante papel nos processos físicos, químicos e biológicos do solo, determinando a saúde geral do mesmo.

A presença de matéria orgânica (cor mais escura, preta) está associada a(o):

- Desenvolvimento e estabilização da estrutura do solo;
- Infiltração e retenção de água;
- Redução do potencial erosivo da água e do vento;
- Equilíbrio de pH;
- Elevada capacidade de troca de cátions (CTC);
- Redução da emissão de gases de efeito estufa;
- Fonte de alimento para organismos do solo;
- Ampliação e diversificação da biomassa (vegetal, animal, microrganismos, matéria morta, serapilheira, raízes, etc.);
- Fonte e reserva de nutrientes para as plantas.

Menor quantidade de matéria orgânica resulta em solos mais claros, indicando:

- Maior suscetibilidade aos processos erosivos;
- Redução da fertilidade ao reduzir o potencial fornecimento de nutrientes (menor CTC);
- Macro (N, P, K, S) e micronutrientes ficam mais suscetíveis à lixiviação;

- O solo passa a necessitar de quantidades crescentes de fertilizantes para manter a produtividade da área.

Além da matéria orgânica, a cor do solo é fortemente influenciada pela oxidação do ferro e manganês. Condições de umidade, temperatura e presença de ácidos húmicos, oriundos da decomposição da matéria orgânica, influenciam na oxidação do ferro em hematita (Fe_2O_3), de cor avermelhada e goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), de cor amarelada.

Cores brunadas (marrons: 5YR valor \leq 5; 7,5YR valor \leq 4; 10YR valor \leq 4), bruno-amareladas, bruno-avermelhadas e vermelha – desde que não apresentem mosqueados, indicam solos bem aerados e bem drenados, oriundos de rochas ácidas (teor de sílica $>66\%$), como o granito. A hematita apresenta forte poder pigmentante, de modo que uma pequena quantidade ($\sim 1,7\%$) será suficiente para imprimir coloração mais avermelhada ao solo. A relação hematita/goethita responderá por diferentes tonalidades entre o vermelho e o amarelo, incluindo o bruno (marrom). Em regiões tropicais e úmidas, a coloração avermelhada (alta relação hematita/goethita) do solo no topo do morro pode progressivamente se tornar mais amarelada (baixa relação hematita/goethita) em direção ao sopé, dada maior concentração de umidade nas partes baixas do relevo, o que favorece a formação da goethita no lugar da hematita.

Em terras elevadas, altimontanas, a menor temperatura auxilia no acúmulo de matéria orgânica na camada superior do solo, tornando-o mais escuro e, logo abaixo, no início do horizonte B, os ácidos húmicos produzidos pela decomposição da matéria orgânica sobrejacente, inibirão a formação de hematita, conferindo uma coloração brunada ao horizonte, que se torna mais avermelhada à medida que aumenta a profundidade. A oxidação do manganês (Mn^{3+} para Mn^{2+}), imprime ao solo colorações amareladas e brunadas (marrons).

Cores acinzentadas, azuladas e neutras – ocorrem pela redução do ferro (Fe^{3+} para Fe^{2+} , óxido ferroso) e manganês (Mn^{3+} para Mn^{2+} , óxido manganoso). As cores acinzentadas são resultado da solubilização e lixiviação dos óxidos que recobrem partículas de minerais silicatados (feldspatos, anfibólios, piroxênios, quartzo e micas), caracteristicamente mais claros. São solos formados sob condição de alagamento e/ou lençol freático elevado (gleização), como em planícies aluviais, ou drástica diminuição

da condutividade hidráulica devido à baixa porosidade do horizonte B, presença de fragipã, duripã, concreções, etc. nos horizontes subjacentes. Em condições anaeróbias, esses solos podem produzir compostos tóxicos, danosos às raízes das plantas, como sulfeto de enxofre, dióxido de carbono, metano, etanol, acetaldeído e etileno, reduzindo a capacidade da planta em absorver água e nutrientes, implicando em vigor e crescimento comprometidos e aumento da suscetibilidade das raízes ao ataque de pragas e doenças.

Cor vermelho-escura - solos com boa fertilidade e bom comportamento agrícola, alto teor de ferro e micronutrientes (Zn, Cu, Mn), oriundos predominantemente de basaltos e diabásios (rochas básicas, teor de sílica de 45 a 52%). Associados a textura argilosa e argila de baixa atividade, são ótimos solos para piso de estradas e construções.

Cor amarelada – solos amarelos fixam mais fósforo que os vermelhos e tendem a apresentar maior umidade, auxiliando as plantas em períodos mais secos. A coloração é resultado de óxidos de ferro na forma de goethita [FeO(OH)] na fração argila, formada sob condições atuais ou pretéritas de maior umidade. Numa mesma topossequência pode-se encontrar solo avermelhado a montante e amarelado a jusante, já que na base das encostas a umidade tende a se concentrar.

Manchas esbranquiçadas – em geral associadas à presença de carbonato de cálcio.

Mosqueado ou variegado – o solo pode apresentar cores distintas ou mosqueados em um ou mais perfis e se a proporção for maior que 50%, diz-se de um solo variegado. Diferentes colorações no perfil do solo podem indicar partes do material de origem pouco ou não intemperizado; solo com drenagem comprometida, deficiente ou formado sob condições anaeróbias dadas por lençol freático elevado ou submersão; e presença ou acumulação de materiais orgânicos ou minerais. Santos *et al.* (2015) discriminam os mosqueados quanto à quantidade, tamanho das manchas e contraste de cores em relação ao fundo. Quanto à quantidade, tem-se:

- Pouco – área das manchas <2%;
- Comum – área das manchas entre 2 e 20%;
- Abundante – área das manchas >20%.

Moody e Cong (2008) não pontuam mas, utilizando a Carta de Munsell, avaliam o atributo Cor para inferir características e implicações, como proporção de matéria orgânica, quantidade e estado de oxidação de óxidos de ferro, grau de aeração, tipo de solo, trabalhabilidade, etc. A Carta de Munsell mostra: (i) o Matiz, a cor, dada por numeração seguida das letras, em inglês: R – *red* (vermelho); Y – *yellow* (amarelo); B – *blue* (azul); G – *green* (verde); e P – *purple* (roxo), ou N – *neutral*, no caso de solos acromáticos (branco, preto ou cinza-claro, croma 0 (zero) e nenhum matiz; (ii) o Valor ou tonalidade, na escala vertical, variando de 0 (preto absoluto) a 10 (branco absoluto); (iii) o Croma, na escala horizontal, relativo à saturação da cor e variando de 0 (cores neutras e acinzentadas) em gradação até 20.

O Quadro 10.37 reflete os levantamentos de Moody e Cong (2008) juntamente com as contribuições de Oliveira (2011).

Quadro 10.37. Características e implicações de manejo associadas à cor do solo e pontuações propostas.

Cor do solo	Munsell (matiz, valor, croma)	Tipos e características do solo	Implicações
Preto	5YR < 3/1 e 2	Turfa ou Organossolos – alto conteúdo de matéria orgânica.	Condição anaeróbia devido a problemas de drenagem; pH baixo; risco de alta denitrificação. Alta subsidência ao serem drenados.
	7.5YR < 3/1 e 2	Vertissolos	Trabalhabilidade; problemas de cultivo; deficiência de zinco (Zn).
	10YR < 3/1 e 2	Solos derivados de calcário sob condições de redução.	Deficiência de fósforo (P), ferro (Fe) e zinco (Zn); problemas de drenagem.
Branco, pálido ou lavado	todos 8/< 4	Solos arenosos.	Deficiências nutricionais; lixiviação de nitrato, potássio e sulfatos; baixa disponibilidade hídrica para as plantas.
Vermelho e Vermelho escuro	10R todos/6-8 2,5YR todos/6-8	Solos bem drenados com elevado conteúdo de óxidos de ferro (hematita).	Vermelho - moderada fixação de P; possível toxidez por alumínio (Al) e talvez por manganês (Mn); baixa

Cor do solo	Munsell (matiz, valor, croma)	Tipos e características do solo	Implicações
			disponibilidade hídrica; boa estrutura. Vermelho escuro - solos com boa fertilidade e bom comportamento agrícola, alto teor de ferro e micronutrientes (Zn, Cu, Mn).
Amarelo ou amarelo-brunado	7,5YR > 6/> 6 10YR > 6/> 6 2,5Y > 6/> 3 5Y > 6/> 2	Solos imperfeitamente drenados a moderadamente bem drenados com elevado conteúdo de óxidos de ferro (goethita).	Moderada fixação de P, embora em maior quantidade em relação ao vermelho; possível toxicidade de Mn; baixa disponibilidade hídrica; compactação; tendem a apresentar maior umidade que os solos vermelhos, auxiliando as plantas em períodos mais secos.
Brunos (marrons)	2.5YR < 7/3 e 4 5YR < 6/3 e 4 7.5YR < 6/3 e 4 10YR < 6/3 a 8 2.5Y < 5/2 a 6	Solos com nível moderado de matéria orgânica e algum óxido de ferro.	Baixa a moderada fixação de P; baixa a moderada disponibilidade hídrica; em terras elevadas, especialmente em climas quentes e úmidos, solos bem aerados e bem drenados.
Gleizado, cinza ou azulado	Cinza ou todas /3 a 7/1	Permanentemente alagado; condições anaeróbicas (redução).	Problemas de drenagem; baixa condutividade hidráulica; risco de alta denitrificação; risco de emissão de metano; baixa porosidade; presença de fragipã, duripã, concreções, etc.; produção de compostos tóxicos às plantas.
Mosqueado	Laranja, amarelo, vermelho	Alagamento intermitente; condições anaeróbicas intermitentes (redução).	Problemas intermitentes de drenagem; risco de denitrificação e emissão de metano quando alagado.

Fonte: modificado de Moody e Cong (2008) e Oliveira (2011).

Seguem os autores (MOODY; CONG, 2008), indicando as opções de manejo para minimização dos impactos na produtividade dos solos incluem:

- Construir canais para drenagem do excesso de água;
- Aumentar a drenagem com a implantação de leiras;
- Fracionar a aplicação de nitrogênio e fertilizantes para reduzir a concentração de nitratos e sulfatos;
- Incrementar a CTC com a manutenção de cobertura morta;
- Aumentar a disponibilidade hídrica do solo por meio de cobertura morta e adubação verde na rotação de culturas.

Shepherd *et al.* (2008) argumentam que a cor do solo é um indicador muito útil na avaliação de sua qualidade, já que pode fornecer medidas indiretas de propriedades que não são facilmente acessíveis e precisas. Para avaliar e pontuar a cor do solo, propõem se tome uma porção de solo obtida sob a cerca ou área protegida e as amostras coletadas no campo, comparando-as com as fotografias e critérios expressos em seu manual (Quadro 10.38). Em item separado, os autores consideram a presença, quantidade e cor dos mosqueados, indicadores de quão bem aerados e drenados são os solos, além de indicar mudanças na sua estrutura sob tráfego intenso e sobrecultivo (ver Compactação).

Quadro 10.38. Pontuação para Cor do solo e mosqueados, segundo Shepherd et al. (2008).

	Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)
Cor do solo	A cor do solo é significativamente mais pálida em relação àquela retirada abaixo da cerca ou área protegida (referência).	A cor do solo é um pouco mais pálida, mas não tão diferente daquela da referência.	Solo escuro, não muito diferente da referência.
Número e cor de mosqueados	>50% de mosqueado laranja e particularmente cinza.	10 a 25% de mosqueados cinza e laranja indicando drenagem deficiente e condição de alagamento periódico.	Mosqueados geralmente ausentes.

Fonte: Shepherd *et al.* (2008).

A coloração brunada/alaranjada do óxido de ferro (Fe^{3+}) e manganês (Mn^{3+}), em condições anaeróbias sofrem redução para óxido ferroso (Fe^{2+}) e óxido manganoso (Mn^{2+}), de coloração acinzentada. O desenvolvimento de mosqueados nas várias tonalidades de laranja ou cinza estão relacionadas a graus de oxidação e redução do Fe e Mn à medida que a oxigenação no solo decresce. A presença de mosqueado cinza indica que o solo é pobremente aerado e mal drenado na maior parte do ano.

Casalinho, Martins e Lopes (2007) apresentam no Quadro 10.39 os critérios adotados para definição dos níveis de limitação expressos pela Cor do solo.

Quadro 10.39. Pontuação para Cor do solo, segundo Casalinho, Martins e Lopes (2007).

Níveis de limitação dos indicadores		
Alto	Médio	Baixo
Cor do solo da camada arável parecida com a cor do saibro, amarelas ou acinzentadas; sem material orgânico.	Cor do solo da camada arável já é mais escura que a cor do saibro, pela presença de material orgânico.	Cor do solo da camada arável bem diferente e escurecida pela forte presença de material orgânico decomposto.

Fonte: Casalinho, Martins e Lopes (2007).

Nicholls *et al.* (2004) aglutinam em uma mesma descrição Cor, Odor e Matéria orgânica (Quadro 10.40).

Quadro 10.40. Pontuação para Cor, Odor e Presença de matéria orgânica, segundo Nicholls *et al.* (2004).

Indicador	Menos desejável (1)	Moderada ou limite (5)	Mais desejável (10)
Cor, odor e matéria orgânica	Pálido, odor químico e sem presença de húmus.	Ligeiramente marrom, sem odor e alguma presença de húmus.	Marrom escuro, odor fresco e abundância de húmus.

Fonte: Nicholls *et al.* (2004).

Väderstad (2016) orienta observar a coloração da mesma amostra coletada para avaliar a estrutura do solo e compará-la com amostra coletada em área não cultivada, utilizando a descrição do Quadro 10.41 e imagens apresentadas no manual. Em atributo

separado, o autor considera a presença, número e coloração de mosqueados, geralmente em tons de laranja e cinza. Em relação ao descrito por Shepherd *et al.* (2008), o autor acrescenta que o aumento da concentração de dióxido de carbono e metano devido à aeração deficiente, reduz a capacidade de absorção de água pelas plantas, induzindo à murcha precoce. O alagamento pode ainda reduzir a absorção de nutrientes, particularmente nitrogênio, fósforo e potássio, retardar a mineralização de resíduos orgânicos e contribuir para o aumento de substâncias químicas tóxicas para as raízes das plantas.

Quadro 10.41. Pontuação para Cor do solo, segundo Väderstad (2016).

	Condição pobre (0)	Condição moderada (1)	Boa condição (2)
Cor do solo	Solo significativamente mais pálido comparado com a amostra da área não cultivada.	Cor do solo um tanto mais pálida, mas não tão diferente daquela da referência.	Cor escurecida não muito diferente da referência.
Número e cor de mosqueados	>50% de mosqueado laranja e particularmente cinza.	10 a 25% de mosqueados cinza e laranja indicando drenagem deficiente em condição de alagamento periódico.	Mosqueados geralmente ausentes.

Fonte: Väderstad (2016).

Souza *et al.* (2016), consideram a Cor e Odor do solo na definição de sua qualidade (Quadro 10.42).

Quadro 10.42. Pontuação para Cor e Odor do solo, segundo Souza et al. (2016).

Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)	Ótimo (3)
Cor do solo da camada superficial parecida com a cor do material de origem, amarelo ou acinzentado e ausência de	Cor do solo da camada superficial pouco mais escura que a cor do material de origem, geralmente	Cor do solo da camada superficial bem mais escura que a cor do material de origem, geralmente marrom escuro e odor fraco pela	Cor do solo da camada superficial bem diferente e escurecida e forte odor de matéria fresca pela presença abundante de

material orgânico e de odor.	marrom claro e odor muito fraco.	presença de material orgânico.	material orgânico decomposto.
------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	-------------------------------

Fonte: Souza *et al.* (2016).

10.5.1 Como avaliar e pontuar a Cor, Tonalidade e Mosqueado

A descrição e pontuação de **Cor, Tonalidade e Mosqueado** conta com as contribuições de Shepherd *et al.* (2008), Väderstad (2016), Casalinho, Martins e Lopes (2007), Nicholls *et al.* (2004), Souza *et al.* (2016), Moody e Cong (2008), Brady e Weil (2013), Oliveira (2011), Santos *et al.* (2015), NBR 7250 (ABNT, 1982b), NBR 6484 (ABNT, 2001), Bear e Thomas (1965), Gerritsen (2003) e IBGE (2015).

Assim como feito na avaliação de Estrutura, deve-se coletar uma amostra de solo retirada de local pouco manejado, como embaixo de cercas antigas, áreas protegidas, reserva legal, floresta, etc., considerando-a como referência para comparação com amostras coletadas no campo.

Como os solos podem apresentar mudanças significativas de classe, horizonte, textura, cor, etc., dentro da área de estudo, deve-se escolher pontos amostrais com cor de solo semelhante (preta, amarela, vermelha, brunada, cinza), indicando tratar-se de mesmo tipo de solo e então comparar as tonalidades das amostras em relação à referência. Uma tonalidade mais clara, empalidecida, indica empobrecimento do solo, com perda de matéria orgânica e nutrientes, ao passo que uma tonalidade mais escura indica solo em melhores condições. A variação ou não de tonalidade deve ser avaliada e, sendo o caso, o avaliador pode manter, aumentar ou diminuir um ponto à nota da cor do solo.

Procedimento - A avaliação da cor deve ser feita com o solo umedecido (pouco mais úmido que seco):

1. Utilizar agregados ou porção de solo oriundo dos testes de Permeabilidade e Estrutura;
2. Realizar a avaliação em local com ótima luminosidade, sem sombreamento, mas evitando a incidência direta da luz solar;

3. Utilizar o aplicativo *Soil Analysis* e *Munsell color chart*, ambos disponíveis para sistema Android, que identificarão as cores seguindo o sistema Munsell;
4. Pontuar segundo o Quadro 10.43, baseado no proposto por Moody e Cong (2008) e Oliveira (2011);
5. Comparar a amostra em relação à amostra do ponto de referência para determinar a tonalidade, de mais clara à mais escura, pontuando de acordo com o Quadro 10.44;
6. Pontuar o Mosqueado conforme o Quadro 10.45.

Quadro 10.43. Descrição, características e pontuação de Cor para Agroecossistemas (PA) e Engenharia e Urbanismo (PEU).

Cor	Munsell (matiz, valor, croma)	Descrição e características	PA	PEU
Acinzentado ou Cinza-azulado	Cinza ou todas 3 a 7/1	Solos permanentemente alagados, condições anaeróbicas (redução), problemas de drenagem, baixa condutividade hidráulica, risco de alta denitrificação, risco de emissão de metano, baixa porosidade, presença de fragipã, duripã, concreções, etc., produção de compostos tóxicos às plantas,.	1	1
Preto	5YR < 3/1 e 2	Solo orgânico, alto conteúdo de matéria orgânica; elevada CTC, muito fértil.	5	2
		Solo turfoso, condições anaeróbicas, problemas de drenagem, pH baixo, risco de alta denitrificação, alta subsidência ao ser drenado, odor eventualmente sulfuroso.	3	1
	7.5YR < 3/1 e 2	Vertissolos, argila de atividade alta (Ta), difícil trabalhabilidade, problemas de cultivo, deficiência de zinco (Zn), problemático em relação a estruturas enterradas e alicerces.	3	1
Branco, pálido ou lavado	todos 8/< 4	Deficiências nutricionais; lixiviação de nitrato, potássio e sulfato; baixa disponibilidade hídrica.	2	2
Amarelo ou Amarelo brunado	7.5YR > 6/> 6 10YR > 6/> 6 2.5Y > 6/> 3	Solos imperfeitamente drenados a moderadamente bem drenados com elevado conteúdo de óxidos	3	5

Cor	Munsell (matiz, valor, croma)	Descrição e características	PA	PEU
	5Y > 6/> 2	de ferro (goethita), moderada fixação de P, possível toxicidade de Mn, baixa disponibilidade hídrica, compactação, fixa mais fósforo que solo vermelho e tende a apresentar maior umidade que estes, auxiliando as plantas em períodos mais secos.		
Bruno (marrom)	2.5YR < 7/3 e 4 5YR < 6/3 e 4 7.5YR < 6/3 e 4 10YR < 6/3 a 8 2.5Y < 5/2 a 6	Solos com nível moderado de matéria orgânica e algum óxido de ferro. Baixa a moderada fixação de P, baixa a moderada disponibilidade hídrica; em terras elevadas, especialmente em climas quentes e úmidos, solos bem aerados e bem drenados.	4	3
Vermelho	10R todos/6 a 8 2.5YR todos/6 a 8	Solos bem drenados com elevado conteúdo de óxidos de ferro (hematita), alta fixação de P, possível toxidez de Al e Mn (?), baixa disponibilidade hídrica, boa estrutura.	3	5
Vermelho escuro		Solos bem drenados com elevado conteúdo de óxidos de ferro (hematita), solos com ótima fertilidade e bom comportamento agrícola, alto teor de ferro e micronutrientes (Zn, Cu, Mn).	5	1
Mosqueado	Laranja, amarelo, vermelho	Laranja, amarelo, vermelho, preto, branco, etc. Material em processo de intemperização ou alagamento intermitente, condições anaeróbicas intermitentes (redução); risco de desnitrificação e emissão de metano quando alagado.	2	2

A tonalidade deve ser avaliada e, sendo o caso, o avaliador pode manter, aumentar ou diminuir um ponto à nota da cor do solo, indicando-o nas Observações.

Quadro 10.44. Descrição, características e manutenção, diminuição ou aumento da pontuação de Cor quanto à Tonalidade.

Tonalidade	Descrição e características	Adequação
Muito pálida	Amostra significativamente mais pálida em relação à referência.	Diminuir 1 ponto
Pálida	Amostra empalidecida em relação à referência.	Manter a pontuação
Neutra	Amostra na mesma tonalidade da referência.	
Escurecida	Amostra pouco escurecida em relação à tonalidade da referência.	
Muito escurecida	Amostra significativamente mais escurecida em relação à tonalidade da referência.	Aumentar 1 ponto

Quadro 10.45. Descrição, características e pontuação de Mosqueado para Agroecossistemas (PA) e Engenharia e Urbanismo (PEU).

Mosqueado	Descrição e características	PA	PEU
Variegado	Mais de 50% de mosqueado amarelo, laranja e particularmente cinza, sem material orgânico.	1	1
Muito mosqueado	Mosqueados ocupam mais de 20% da área.	2	2
Mosqueado	10 a 25% de mosqueados cinza e laranja indicando drenagem deficiente em condição de alagamento periódico.	3	3
Pouco mosqueado	Mosqueados ocupam de 2 a 10% da área.	4	4
Sem mosqueado	Mosqueados geralmente ausentes ou ocupando menos de 2% da área.	5	5

10.6 Textura

Quanto à Textura, pode-se então organizar os solos em duas grandes classes: (i) solo grosso, frações grosseiras ou granulação grossa compostos por, cascalhos, calhaus e matações (ver Pedregosidade e Rochosidade) ou quando mais de 50% da granulação é visível a olho nu, o que inclui as areias fina, média e grossa; e (ii) solo fino, frações finas ou granulação fina, compostos por silte e argila (OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2015) ou com granulação invisível a olho nu, o que exclui as areias (ABNT, 1982b, 1995; ALMEIDA, [S.d.]; OLIVEIRA, 2011).

Para a engenharia, a classificação granulométrica se dá em função do comportamento do solo e não pela predominância de tamanhos de grãos. Informações visuais e táteis (ABNT, 1982b, 2001), de fácil compreensão e reprodução, evidenciam características qualitativas de um solo, enquanto no laboratório obtém-se informações quantitativas (ALMEIDA, [S.d.]). Em laboratório, o teste de sedimentação (método da pipeta) é dos mais utilizados e consiste em adicionar água e dispersante (normalmente hidróxido de sódio – NaOH ou hexametáfosfato de sódio – $(\text{NaPO}_3)_6$) a uma porção de solo, agitar a solução, deixar decantar, secar, peneirar, pesar e calcular as porcentagens (EMBRAPA, 1997). Uma versão simplificada do teste de sedimentação foi proposta por Van Lengen (2004)⁴ para a determinação de terra boa para a produção de adobe. O método utiliza amostras de solo, água, sal de cozinha (NaCl) como agente dispersante dos aglomerados, agitação da solução, decantação e observação da proporção de argila e areia decantados. “Se a quantidade de areia for igual ou até duas vezes a quantidade de argila, a terra é boa para construir e não será preciso acrescentar areia nem argila à mistura” (VAN LENGEN, 2004, págs. 299 e 301). Importante frisar que a análise sensorial não prescinde da análise laboratorial, podendo, no entanto, precede-la, de forma a obter-se uma avaliação inicial para o planejamento ambiental, urbano e produtivo de uma bacia hidrográfica.

⁴ O autor realizou inúmeros testes com diversas amostras coletadas em um LATOSSOLO VERMELHO buscando definir sua classe textural. Enquanto a porção areia era mais facilmente identificada, a interface entre as porções silte e argila se mostravam pouco claras, dando margem a muitas dúvidas. Confrontando os diversos resultados obtidos nos testes com análise laboratorial que definiu as amostras como argilosa (horizonte superficial) ou muito argilosa (horizonte B), considera-se que a experiência guarda o potencial de refinamento da percepção visual ao ponto de aproximar os resultados caseiros daquele obtido em laboratório.

Os componentes da terra fina (areia, silte e argila) apresentam propriedades diferenciadas em função do tamanho das partículas e o mineral constituinte (BRADY; WEIL, 2013; OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2015):

Areia – partículas visíveis a olho nu, com tamanho variando de 0,05 mm a 2 mm, sensação áspera ao toque, arredondadas ou angulares, normalmente compostas por ilmenita (TiO_2) e principalmente quartzo (SiO_2), mineral de baixa reatividade, difícil intemperização, sem cargas iônicas às quais se possam aderir íons disponíveis às plantas, formando solos nutricionalmente pobres. Essa fração pode ainda ser formada por nódulos e concreções; agregados de argila não-dispersa e minerais primários intemperizáveis na fração areia (OLIVEIRA, 2011).

Sendo partículas maiores, as areias apresentam superfície específica baixa, pouca coesão, pouca aderência, sem plasticidade (ver Consistência), pouca capacidade de retenção hídrica e de nutrientes e pobres em matéria orgânica devido à sua rápida mineralização. Apresentam importante atuação em relação aos fluxos de ar e água ao formar macro e mesoporos no solo, propiciando elevada porosidade, permeabilidade e facilidade de preparo para o cultivo.

Por não apresentar características filtrantes como a retenção de íons e matéria orgânica, solos em que predominam essa textura são impróprios ou limitantes quanto à instalação de obras de engenharia civil (devido à baixa coesão e baixa consistência das partículas de areia), bem como aterros, depósitos de resíduos industriais e disposição ou tratamento de efluentes (devido à facilidade de contaminação de corpos hídricos).

Silte – partículas não visíveis a olho nu, com tamanho entre 0,002 e 0,2 mm, sensação sedosa ao toque (como talco ou farinha de trigo), angulares. Quartzo, agregados de argila, ilmenita (TiO_2) e minerais de fácil intemperização, como feldspatos e micas, são os materiais constituintes. Liberam grande quantidade de sais que ficam disponíveis à nutrição das plantas, caso não sejam lixiviados.

Como o tamanho das partículas é menor, poros menores (micro e mesoporosidade) se formam, diminuindo a permeabilidade do solo, mas restando mais água que a fração areia. A fração silte apresenta pouca variação de volume entre seco e molhado, maior consistência (coesão) quando seco e compressibilidade e plasticidade

intermediárias entre areia e argila. Solos com grande quantidade de silte e areia fina, por apresentarem baixa consistência quando molhados (baixa pegajosidade e baixa plasticidade), estão mais sujeitos à formação de fina camada recobrimdo a superfície do solo (selamento), comprometendo a emergência de plântulas, a infiltração de água e facilitando a erosão hídrica.

No Brasil, solos da classe siltosa (silte >80%) são raros, e os franco-siltosos (silte >50%) pouco frequentes. Estes estão ligados ao material de origem, como sedimentos siltosos, argilo-siltosos e siltitos, bem como solos derivados de filito sericítico, xistos e calcário, chegando a textura argilossiltosa ou franco argilossiltosa. Quando arados ou com o trânsito intenso de veículos, solos com teor de silte (menor coesão) acima de 25% são propensos a formar nuvens de poeira mais densas do que em solos argilosos (mais coesos). A compactação se mostra mais intensa em solo siltoso em relação ao arenoso (OLIVEIRA, 2011).

Argila – partículas não visíveis a olho nu, com tamanho <0,002 mm, de formato laminar, grande superfície específica (mais de $6 \times 10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$). Em função de processos físico-químicos, as argilas podem formar cargas positivas ou negativas, facilitando a retenção de água e nutrientes que podem se tornar disponíveis às plantas e adsorver substâncias diversas como poluentes, macro e micronutrientes, microrganismos, etc.

A argila é a fração granulométrica mais importante do ponto de vista físico-químico devido à capacidade de retenção de cátions, ânions e água, resultando em maior capacidade de troca catiônica (CTC) nas argilas de alta atividade (argilas Ta), e menor CTC nas argilas de baixa atividade (argilas Tb). No solo brasileiro predominam argilas minerais de baixa atividade (argilas Tb), óxidos e hidróxidos de ferro (goethita e hematita) e alumínio (gibbsita). As argilas podem ser mais (Ta) ou menos (Tb) expansivas e, quando secas, formam massa muito coesa e dura, tornando-se pegajosa e plástica quando molhada, características importantes tanto para Agroecossistemas com Engenharia e Urbanismo.

Devido ao tamanho muito reduzido, formam poros muito pequenos e numerosos, diminuindo a taxa de drenagem e aeração e aumentando a capacidade de retenção de água, embora em boa parte esta não esteja disponível às plantas devido à tensão de adesão (pressão matricial). O tipo de argila, o material de origem e a

quantidade no solo determinarão sua fertilidade, capacidade de expansão e contração, retenção de água, etc.

As argilas podem ser classificadas em dois grandes grupos: as argilas silicatadas 1:1 (uma lâmina tetraédrica de silício ligada a uma lâmina octaédrica de alumínio), muito estáveis, não expansíveis, com baixa capacidade de troca catiônica (baixa CTC) sendo a caulinita (argila 1:1, Tb, baixa atividade) o principal e mais abundante mineral nos solos, predominando nos LATOSSOLOS, ARGISSOLOS, CAMBISSOLOS TbB e NITOSSOLOS; e as argilas silicatadas 2:1 (uma lâmina octaédrica entre duas lâminas tetraédricas), com alta capacidade de troca catiônica (alta CTC), subdivididas em esmectitas e vermiculitas, expansíveis, e ilitas (micas de granulação fina) e cloritas, não expansíveis, predominando nos LUVISSOLOS, CHENOSSOLOS e alguns NEOSSOLOS (OLIVEIRA, 2011).

Solos com esmectitas e vermiculitas (argila 2:1, Ta, alta atividade) necessitam de atenção quanto ao manejo. Em relação à produção agrícola apresentam muita viscosidade e aderência quando molhados, dificultando o cultivo, escavação e tráfego. Já na Engenharia e Urbanismo, devido às características expansíveis que apresentam, podem comprometer fundações, paredes, tubulações enterradas e pavimentos, pressionando o custo das obras.

Por outro lado, solos com esmectitas são muito propícios a receberem represas e lagoas, bem como terras úmidas e banhados construídos para o tratamento de efluentes, devido à alta capacidade de adsorção e baixa permeabilidade. A Engenharia Ambiental tem utilizado a bentonita (mistura de diferentes argilas, notadamente esmectitas ou montmorilonitas) em várias aplicações, como impermeabilizante de aterros e bacias de contenção e remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos da água (BRADY; WEIL, 2013).

Organossolos – solos pouco evoluídos formados pelo acúmulo de material orgânico. Embora não seja textural, mas de dimensão coloidal, a matéria orgânica desempenha papel importantíssimo, principalmente nas camadas superficiais, devido sua capacidade de troca de cátions (CTC). Em ambientes de drenagem deficiente e baixos teores de oxigênio (ambiente redutor) e em diferentes estágios de decomposição (ver Matéria orgânica e Odor) formam um horizonte hístico (horizonte H), enquanto o acúmulo de material orgânico em ambientes de grande umidade, mas de livre drenagem, com baixa

decomposição em função da baixa temperatura (regiões altomontanas ou de alta latitude) ou condições tóxicas por excesso de alumínio, formam o horizonte orgânico (horizonte O).

Na Geologia e por diversos autores, Organossolos e turfas ou turfeiras são tratados como sinônimos. Nas várzeas, o acúmulo de material orgânico formará um horizonte hístico (H) à medida que os pântanos, brejos, alagados e meandros isolados de rios forem acumulando e sobrepondo material orgânico. Nas planícies costeiras, o acúmulo se dará na interface entre o ambiente fluvial e marinho, sucedendo os mangues e retendo elevados teores de enxofre (sulfatos e sulfetos).

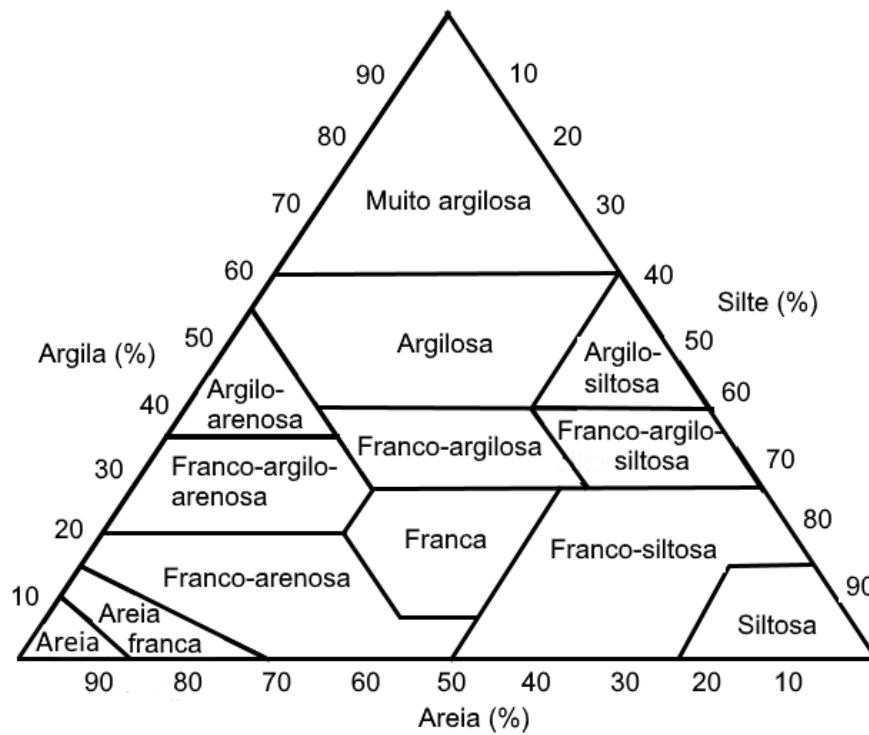
Nas regiões montanhosas, de clima frio e úmido, a matéria orgânica se acumulará em função da reduzida decomposição dada pelas condições ambientais formando um horizonte orgânico (O).

Em geral os Organossolos são solos ácidos e pobres quimicamente, podendo, no entanto, apresentar condições de alta produtividade (turfeiras drenadas de origem lenhosa), com uso na agricultura de ciclo curto e horticultura, notadamente na agricultura familiar. Devido ao uso restrito e por abrigar espécies únicas de animais e plantas, crescem as recomendações de serem prioritariamente destinados à preservação (BRADY; WEIL, 2013; OLIVEIRA, 2011; PEREIRA; ANJOS; VALLADARES, 2005).

A composição granulométrica derivada de Atterberg é utilizada pela Embrapa e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SBCS (OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2015) na definição das 13 classes texturais (Figura 10.3) e 5 grupos texturais (Fonte: modificado de Oliveira (2011).

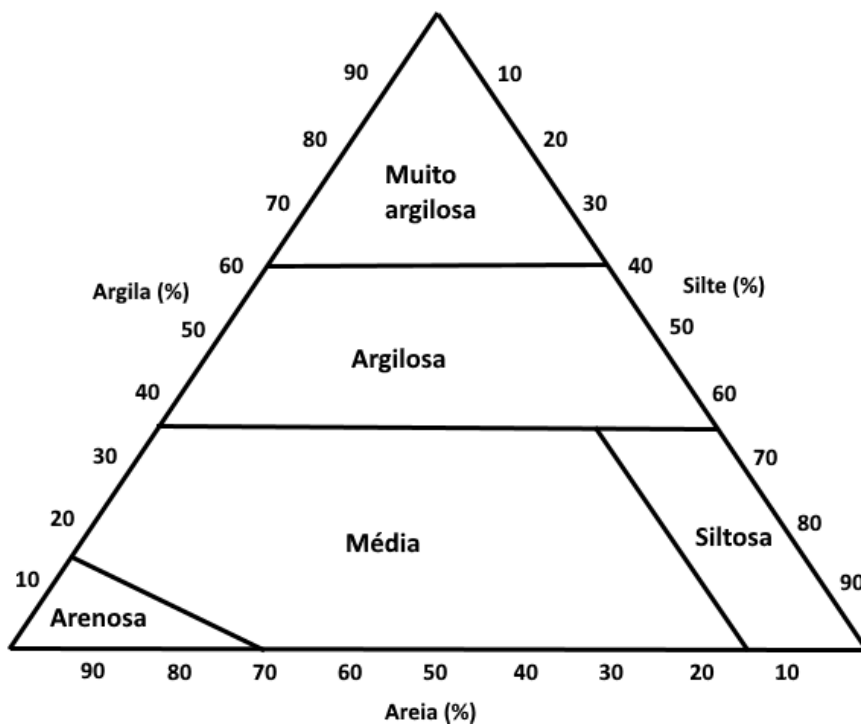
Figura 10.4), seguindo o proposto pelo Serviço de Conservação de Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Quadro 10.46). Distinguem-se as frações grosseiras, compostas por matações, calhaus e cascalhos das frações finas (terra fina seca ao ar), compostas por areias grossa, média e fina, silte e argila.

Figura 10.3. Diagrama triangular de Feret para as classes texturais.



Fonte: modificado de Oliveira (2011).

Figura 10.4. Diagrama triangular de Feret para os grupos texturais.



Fonte: modificado de Oliveira (2011).

Almeida [s.d.] apresenta outros sistemas de classificação, como o Sistema Universal de Classificação de Solos – SUCS, utilizado na engenharia e geotecnia que, no geral, classifica os solos em grossos, finos e altamente orgânicos (turfa). Solos grossos são aqueles em que menos de 50% dos sólidos passam por peneira de malha 200 (abertura de 0,075 mm), ou seja: calhaus, cascalhos, areias grossa, média e fina; e solos finos, compostos por silte e argila. Solos grossos apresentam baixa compressibilidade, enquanto solos finos são altamente compressíveis, características de grande interesse para obras de pavimentação, barragens, aterros sanitários, fundações, etc.

Assim também o faz a NBR 7250 (ABNT, 1982b), voltada para a construção civil, que classifica os solos tátil e visualmente como (Quadro 10.46): (i) Grossos - quando mais da metade dos grãos são visíveis a olho nu, formados por areias e pedregulhos (ver Pedregosidade e Rochosidade); (ii) Finos - quando mais da metade dos grãos não podem ser vistos a olho nu, formados por silte e argila, apresentando propriedades plásticas (ver Consistência) de grande importância e critério fundamental para identificação e classificação de solos na engenharia civil; e (iii) Orgânicos - apresentam significativa quantidade de matéria orgânica e cor escura (preto ou cinza escuro). A NBR 6502 (ABNT, 1995) diferencia os tamanhos das partículas de silte e argila, bem como trata frações maiores que 2 mm por pedregulhos, e estes, quando arredondados ou semi-arredondados, os chama cascalhos ou seixos.

Quadro 10.46. Frações granulométricas do solo segundo Atterberg, Embrapa, SBCS, ABNT e SUCS.

Atterberg		Embrapa e SBCS		ABNT NBR 7.250		ABNT NBR 6.502		Sistema Universal de Classificação de Solos - SUCS	
Frações grosseiras				Solo grosso				Granulação grossa - mais de 50% maior que 0,42 mm	
Matacão >200 mm									
Calhaus 200 a 20 mm		Calhaus 200 a 20 mm		Pedregulhos >2 mm	Pedregulho grosso 60 a 20 mm	Pedregulhos - mais de 50% maior que 2 mm			Pedregulhos puros (pouco ou nenhum fino)
Cascalhos 20 mm a 2 mm		Cascalhos 20 mm a 2 mm			Pedregulho médio 20 a 6 mm				Pedregulhos com finos (apreciável quantidade de finos)
					Pedregulho fino 6 a 2 mm				
Frações finas				Solo fino				Granulação fina – mais de 50% menor que 0,072 mm	
Areia grossa 2 a 0,2 mm		Areia grossa 2 a 0,2 mm		Areia grossa ~1 mm	Areia grossa 2 a 0,6 mm	Areias - mais de 50% menor que 2 mm			Areias puras (pouco ou nenhum fino)
				Areia média ~0,5 mm	Areia média 0,6 a 0,2 mm				Areia com finos (apreciável quantidade de finos)
Areia fina 0,2 a 0,02 mm		Areia fina 0,2 a 0,05 mm		Areia fina ~0,1 mm	Areia fina 0,2 a 0,06 mm				
Silte 0,02 a 0,002 mm		Silte 0,05 a 0,002 mm		Silte e argila <0,074 mm (peneira nº 200)	Silte 0,06 a 0,002 mm	Siltes e argilas			Limite de liquidez (LL) menor que 50%. Baixa compressibilidade
Argila <0,002 mm		Argila <0,002 mm			Argila <0,002 mm				Limite de liquidez (LL) maior que 50%. Alta compressibilidade

Fonte: modificado de Oliveira (2011), Santos *et al.* (2015), ABNT (1982), ABNT (1995), Vargas (1977) *apud* Almeida ([s.d.]).

Brady e Weil (2013) apresentam três grandes classes texturais, considerando os solos arenosos, francos e argilosos, que se subdividem em 12 classes texturais. Francos são solos de textura média em que há mistura de areia, silte e argila que, mesmo em quantidades diferentes, exibem *propriedades* em proporções semelhantes (Quadro 10.47), de modo que, mesmo uma porção pequena de argila induzirá propriedades argilosas a um solo, ao passo que pequenas quantidades de silte e areia pouco influenciarão sobre as mesmas.

Quadro 10.47. Solos, textura e classe textural.

Solos		Textura	Classe textural
Não coesivos (compacidade)	Solos arenosos	Grosseira	Arenoso
			Areia franca
	Solos francos	Moderadamente grosseira	Franco arenosa
			Média
		Franco siltosa	
		Siltosa	
		Moderadamente fina	Franco argiloarenosa
			Franco argilosiltosa
Franco argilosa			
Coesivos (consistência)	Solos argilosos	Fina	Argilo arenosa
			Argilo siltosa
			Argilosa

Fonte: Brady e Weil (2013).

Características e comportamento das frações

Compilando informações de Oliveira (2011) e Brady e Weil (2013), apresentam-se propriedades, potenciais, adequações, capacidades, suscetibilidades e aptidões das Areias, Siltes e Argilas (

Quadro 10.48).

Quadro 10.48. Características e propriedades das areias, siltes e argilas.

	Nenhuma, muito baixa ou baixa	Intermediária	Alta
Areia	Plasticidade, adesão, compactidade, suscetibilidade à compactação, potencial de expansão e contração, mudança de volume de seco para molhado, adequabilidade para construção de represas e aterros, suscetibilidade à erosão hídrica, teor de matéria orgânica no solo, capacidade de retenção de água e nutrientes.	Suscetibilidade à erosão eólica.	Porosidade, aeração, permeabilidade, potencial de lixiviação de poluentes, taxa de drenagem, aptidão de cultivo após a chuva e rápida decomposição de matéria orgânica.
Silte	Compactidade (intermediária a alta quando encharcado), adequabilidade para construção de represas e aterros, expansão e contração.	Aeração, plasticidade, adesão (quando seco), mudança de volume de seco para molhado, armazenamento de nutrientes, aptidão de cultivo após a chuva, potencial de lixiviação de poluentes, suscetibilidade à compactação, velocidade de decomposição de matéria orgânica, médio a alto teor de matéria orgânica no solo, taxa de drenagem lenta a média, permeabilidade intermediária a baixa e média a alta capacidade de retenção de água e nutrientes.	Porosidade, adesão (quando molhado), capacidade de armazenamento de nutrientes, suscetibilidade à erosão hídrica, suscetibilidade à erosão eólica.
Argila	Potencial de lixiviação de poluentes, suscetibilidade à erosão hídrica (solo agregado), suscetibilidade à erosão eólica, lenta decomposição de matéria orgânica, porosidade muito baixa em Tb ¹ , taxa de drenagem muito lenta, permeabilidade baixa em Tb, aeração pobre e aptidão de cultivo após a chuva.	Potencial de expansão e contração em Tb.	Adesão, compactidade baixa quando seca e alta quando molhada, mudança de volume de seco para molhado, armazenamento de nutrientes, adequabilidade para construção de represas e aterros, potencial de expansão e contração em Ta, suscetibilidade à erosão hídrica (solo não agregado), suscetibilidade à compactação, alto a médio teor de matéria orgânica no solo, porosidade muito alta em Ta ² , permeabilidade alta em Tb, alta a muito alta capacidade de retenção de água e nutrientes.

Fonte: compilado e modificado de Oliveira (2011) e Brady e Weil (2013).

¹ Tb - Argilas de atividade baixa, com CTC menor que 27 cmol.kg⁻¹ de argila.

² Ta - Argilas de atividade alta, com CTC (Capacidade de Troca Catiônica) maior ou igual a 27 cmol.kg⁻¹ de argila, por definição presente nos VERTISSOLOS, CHERNOSSOLOS e LUVISSOLOS.

Moody e Cong (2008) indicam características associadas a diferentes texturas e horizontes texturais relacionados e práticas de manejo associadas (Quadro 10.49).

Quadro 10.49. Textura, características e manejo.

Textura	Características	Manejo
Arenosa	Alta taxa de infiltração; facilidade de enraizamento; facilidade de murchamento por secagem rápida do solo; baixa disponibilidade hídrica; baixa capacidade de retenção de água e nutrientes; lixiviação excessiva de nutrientes (nitrato, potássio e sulfato).	Monitorar o cultivo em relação a deficiências nutricionais; manter o solo coberto para evitar erosão; aplicação fracionada de fertilizantes líquidos.
Franca	Taxa média de infiltração; média a alta suscetibilidade à compactação; média disponibilidade hídrica para as plantas; enraizamento sem restrições; texturas franco arenosas, especialmente de areia fina, e franco siltosas altamente suscetíveis à erosão hídrica.	Cultivar apenas quando o solo estiver mais seco que seu limite plástico; medidas de controle de erosão; cobertura superficial.
Argilosa	Baixa taxa de infiltração; moderada a alta disponibilidade hídrica; restrições ao enraizamento; moderada a alta suscetibilidade à compactação mecânica; possibilidade de alagamento superficial em locais planos e escoamento superficial em áreas declivosas; aração dificultada com solo úmido.	Arar o solo somente quando mais seco que o limite de plasticidade, evitando a compactação; manutenção de cobertura do solo.
Orgânica	Pode ser necessária drenagem artificial; ocorrência de subsidência; possível deficiência de micronutrientes (cobre, molibdênio, boro, zinco e manganês); pode haver alta taxa de mineralização de nitrogênio.	Drenagem artificial; plantio em leiras; adubação foliar com micronutrientes; pode ser necessário altos níveis de herbicidas.
Horizonte superficial arenoso ou franco sobre subsolo argiloso ou rochoso; horizonte argiloso sobre rocha.	A erosão pode expor o subsolo implicando em severa degradação; possibilidade de alagamento periódico em regiões mais baixas (lençol suspenso); nos solos arenosos, enraizamento limitado pelo subsolo, maior suscetibilidade a períodos secos e menor disponibilidade de nutrientes.	Alta prioridade para o controle de erosão.

Fonte: Moody e Cong (2008).

Determinação da textura em campo

Para obtenção da textura do solo em campo, McGarry (2004) indica tomar uma porção do mesmo e trabalha-lo, acrescentando água gota a gota, até obter-se uma consistência pegajosa. A massa é então transformada em uma pequena bola e posteriormente em cilindro, sendo a textura determinada tendo por referência o triângulo textural da Figura 10.6 (diferente do triângulo de Feret) e o Quadro 10.50.

Quadro 10.50. Determinação da textura de solo em campo.

Classe textural	Características
Areia	Solo inconsistente, partículas separadas, acumulando-se apenas na forma piramidal.
Areia franca	Solo com silte e argila suficientes para se tornar pegajoso, formando bola fácil de se romper.
Francossiltosa	Similar à areia franca, mas o solo pode ser moldado em um cilindro pequeno e curto. Sensação sedosa.
Franca	Contém mais ou menos a mesma quantidade de areia, silte e argila, que pode ser trabalhado em um cilindro de ~15 cm que se quebra ao dobrar.
Francoargilosa	Similar à franca, podendo ser dobrada em U sem se quebrar.
Argila fina (Argilosa)	O cilindro pode formar um círculo mas apresenta rachaduras.
Argila pesada (Muito argilosa)	O cilindro pode formar um círculo sem apresentar rachaduras.

Fonte: modificado de McGarry (2004).

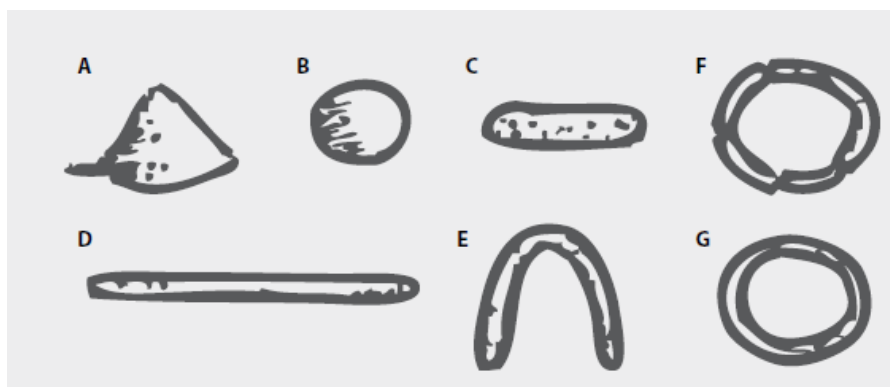
Moody e Cong (2008), referenciando como fonte a Euroconsult (1989), apresentam a mesma determinação de textura de McGarry (2004) (Quadro 10.50), acrescentando a Figura 10.5 com os formatos esperados para o solo com presença de finos e indicando McDonald *et al.* (1990) como referência para o tamanho da fita que se forma ao moldar o solo, relacionada às diferentes texturas (Quadro 10.51).

Quadro 10.51. Classe textural, características, formatos e tamanhos da fita.

Classe textural	Características ¹	Formatos (cilindro)	Tamanhos da fita (cm) ²
Areia	Solo inconsistente, partículas separadas, acumulando-se apenas na forma piramidal.	A	<1,5
Areia franca	Solo com silte e argila suficientes para se tornar pegajoso, formando bola fácil de se romper.	B	1,5 a 2,5
Francossiltosa	Similar à areia franca, mas o solo pode ser moldado em um cilindro pequeno e curto. Sensação sedosa.	C	2,5
Franca	Contém mais ou menos a mesma quantidade de areia, silte e argila, que pode ser trabalhado em um cilindro de ~15 cm que se quebra ao dobrar.	D	2,5
Francoargilosa	Similar à franca, podendo ser dobrada em U sem se quebrar.	E	4,0 a 5,0
Argila fina (Argilosa)	O cilindro pode formar um círculo mas apresenta rachaduras.	F	5,0 a 7,5
Argila pesada (Muito argilosa)	O cilindro pode formar um círculo sem apresentar rachaduras.	G	>7,5

Fonte: Euroconsult (1989)¹ e McDonald *et al.* (1990) *apud* Moody e Cong (2008).

Figura 10.5. Determinação do comportamento do solo em condição pegajosa.

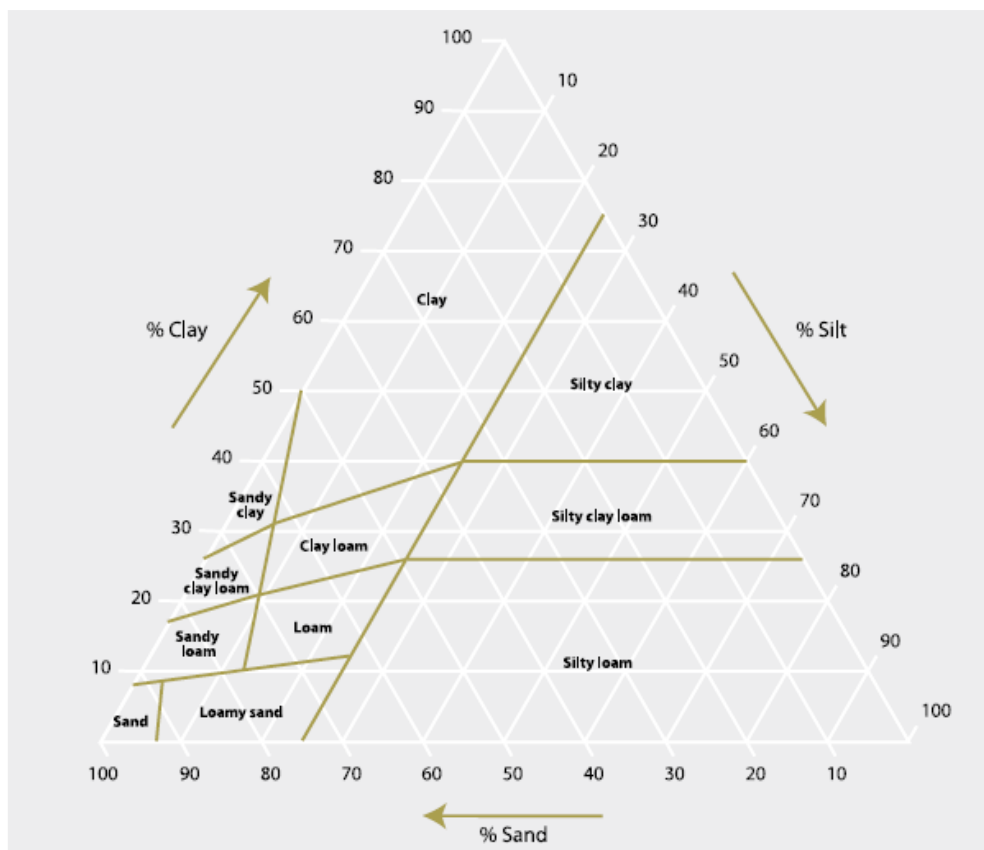


Fonte: Euroconsult (1989) *apud* Moody e Cong (2008).

A Figura 10.6 apresenta o triângulo textural adotado por McGarry (2004), Moody e Cong (2008), McDonald *et al.* (1990), Euroconsult (1989), McDonald *et al.* (1990) *apud* Moody e Cong (2008). Sendo diferente do triângulo textural de Ferret, depende-se

que a técnica da fita na definição das classes texturais deva ser posta em perspectiva e considerada com certa reserva e, propõe-se, deva ser utilizada como acessória na definição das classes texturais.

Figura 10.6. Triângulo textural adotado por Moody e Cong (2008).



Fonte: McDonald *et al.* (1990) *apud* Moody e Cong (2008).

Maschmedt (2004) *apud* Davenport *et al.* (2011) apresenta um teste de campo simples para estimar a porcentagem de argila presente em uma amostra de solo:

1. Tomar uma porção de solo, esfarelar com as mãos e acrescentar água aos poucos;
2. Trabalhar a massa por um ou dois minutos de modo a homogeneizar a amostra, eventualmente formando uma bola;
3. Apertar a massa de modo a formar uma fita plana de 2 a 3 mm de espessura. Quanto maior a fita, maior o conteúdo de argila, como mostra o Quadro 10.52.

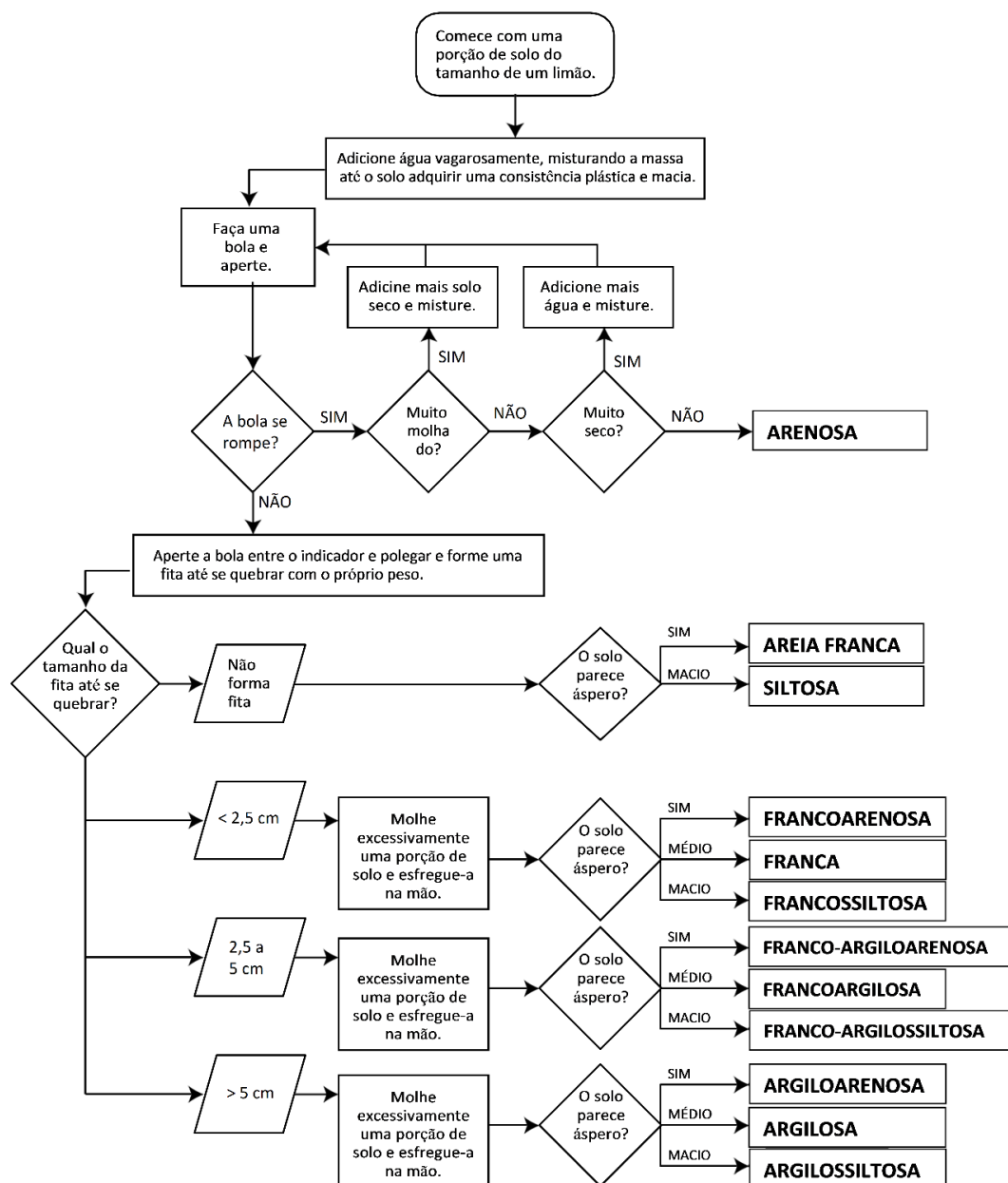
Quadro 10.52. Descrição sensorial, tamanho de fita, porcentagem de argila e classe textural.

Descrição	Fita (mm)	Porcentagem de argila (%)	Classe textural
Não forma bola.	0	0-5	Areia
Bola se mantém coesa - pouco coesa.	5	5	Areia franca
Bola se mantém unida - pegajosa, mancha os dedos com argila.	5-15	5-10	Arenoargilosa
Bola se mantém unida - sensação muito arenosa, mas esponjosa.	15-25	10-20	Franco-arenosa
Bola se mantém unida - sensação suave e sedosa.	25	25	Francossiltosa
Bola se mantém unida - sensação suave e esponjosa.	25	25	Franca
Bola se mantém firmemente unida – sensação arenosa e plástica	25-40	20-30	Franco-argiloarenosa
Bola se mantém firmemente unida - sensação lisa, sedosa e plástica.	40-50	30-35	Franco-argilossiltosa
Bola se mantém firmemente unida - sensação lisa e plástica.	40-50	30-35	Francoargilosa
Bola se mantém fortemente unida – sensação plástica	50-75	35-40	Pouco argilosa
Bola se mantém fortemente unida – parece massa de modelar	>75	40-50	Médio argilosa
Bola se mantém fortemente unida, difícil de manipular – parece massa de modelar endurecida	>75	>50	Muito argilosa

Fonte: Maschmedt (2004) *apud* Davenport *et al.* (2011).

Thien (1979) *apud* USDA (2017) propõe uma sequência metodológica para aferição sensorial da textura dos solos, descrita pelo fluxograma da Figura 10.7.

Figura 10.7. Fluxograma para a determinação da textura pela sensação tátil.



Fonte: modificado de Thien (1979) *apud* USDA (2017).

Brady e Weil (2013) propõem uma avaliação visual, tátil e sonora para inferir a textura. A técnica consiste em tomar uma porção de solo do tamanho de um limão e trabalhá-la, acrescentando água, até que se torne bem úmida, mas não lamacenta, e adquira uma consistência uniforme. Agregados de silte e argila podem se comportar inicialmente como se fossem grãos de areia e é necessário que o manuseio da massa seja constante e dure alguns minutos de modo a homogeneizá-la por completo.

Durante o processo observa-se:

- Sensação áspera e som rangido, audível quando próximo ao ouvido - indicativos de significativa presença de areia;
- Maciez e sedosidade com pouca pegajosidade e pouca resistência à deformação, aspecto fosco e quebradiço - indicativos de alta proporção de silte;
- Maleabilidade, pegajosidade e plasticidade, aspecto liso e brilhante - indicativos da presença de argila.

A massa é então trabalhada para formar uma bola que será pressionada entre o indicador e polegar, observando-se seu comportamento. Em seguida, a massa deve ser novamente pressionada entre o indicador e polegar de modo a formar uma fita larga e fina, anotando-se o comprimento adquirido quando de seu rompimento.

As observações devem ser interpretadas considerando o triângulo de Feret (Figura 10.3) e o Quadro 10.53.

Quadro 10.53. Avaliação sensorial na determinação de classes texturais.

Classe textural	Respostas ao manuseio	
Areia	Amostra não coesa, não forma bola, desfaz-se facilmente.	
Areia franca	Amostra forma pequena bola, mas não uma fita.	
Franco-arenosa	Tira friável que se rompe com menos de 2,5 cm de comprimento.	Rangido audível e sensação áspera.
Franca		Rangido pouco audível e sensação ligeiramente áspera e macia.
Francossiltosa		Rangido inaudível e sensação de maciez e sedosidade.
Silte		
Franco argiloarenosa	Amostra moderadamente pegajosa e plástica. Tira se rompe entre 2,5 e 5 cm de comprimento.	Rangido audível e sensação de aspereza.
Franco argilosa		Rangido pouco audível e sensação de pouca aspereza e alguma maciez .
Franco argilossiltosa		Rangido inaudível e sensação macia e sedosa.
Argiloarenosa	Pegajosidade e plasticidade dominantes. Tira se rompe com mais de 5 cm.	Rangido audível e sensação de aspereza predomina.
Argilossiltosa		Rangido inaudível e sensação de maciez e sedosidade.
Argila		Rangido pouco audível, leve aspereza, maciez e sedosidade.
Muito argilosa		

Fonte: modificado de Brady e Weil (2013).

A experiência do autor e observação dos grupos de trabalho, mostrou que durante o manuseio da amostra e ao lavar as mãos, é possível inferir o grupo textural da amostra (Quadro 10.54), observando aspectos como aspereza, sedosidade, maciez, maleabilidade, brilho, aderência, pegajosidade e plasticidade (ver Consistência).

Quadro 10.54. Grupo textural a partir do manuseio e limpeza das mãos.

Grupo textural	Manuseio	Ao lavar as mãos
Arenoso	Sensação de aspereza, difícil de moldar.	Todo material se desprende com facilidade das mãos com fina lâmina de água.
Franco (textura média)	Alguma aspereza e também maciez ou sedosidade.	Material se desprende com facilidade sob fina lâmina de água; as mãos podem ficar com um brilho fosco e/ou apresentar alguma coloração, a depender da quantidade de silte ou argila.
Siltoso	Sensação sedosa, pouca aspereza, brilho opaco, material quebradiço, pouco aderente e pouco plástico.	As mãos ficam com brilho fosco e quase todo material se desprende das mãos com facilidade sob fina lâmina de água.
Argiloso	Sensação de maciez, material liso, brilhante, aderente, fácil de moldar.	Material adere às mãos, difícil de sair sem esfregar, deixa resíduos e coloração (vermelha, amarela, brunada, preta, cinza) nas mãos.

Fonte: Autor.

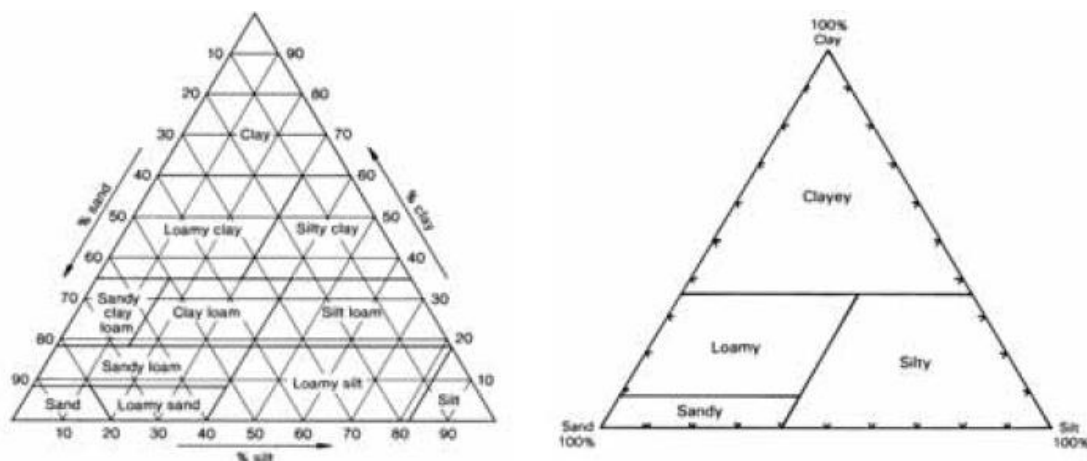
Pontuação da Textura

Shepherd *et al.* (2008) utilizam um terceiro triângulo textural (Figura 10.8) e critérios visuais e auditivos (Quadro 10.55) para definir a textura do solo e sua pontuação. Indicam os seguintes passos para a avaliação de solos em relação à agricultura:

- Coletar amostras (metade do polegar) representativas do solo superficial e de camadas internas;

- Umedecer o solo e trabalhá-lo na palma da mão com a ponta dos dedos até atingir o ponto de máxima viscosidade (consistência entre o sólido e líquido, pegajosa ou gelatinosa);
- Durante o manuseio, prestar atenção às sensações táteis e auditivas da amostra;
- Moldar o solo em uma pequena bola e pressioná-lo observando os resultados;

Figura 10.8. Classes texturais e grupos texturais adotados por Shepherd *et al.* (2008).



Fonte: Shepherd *et al.* (2008).

Quadro 10.55. Avaliação para agricultura. Pontuação, textura e teste tátil, visual e auditivo.

Pontuação	Classe textural e descrição
Bom (2)	Franco siltosa - sensação saponácea, ligeiramente pegajosa, sem rangido audível. Moldável em bola coesa que fissura sob pressão.
Moderadamente bom (1,5)	Franco argilosa - muito liso, pegajoso e plástico. Moldável em bola coesa que deforma sem fissurar.
Moderado (1)	Franco arenosa - sensação levemente áspera e rangido pouco audível. Moldável em bola coesa que fissura sob pressão.
Moderadamente pobre (0,5)	Areia franca - sensação áspera e rangido audível. Moldável em bola que desintegra sob leve pressão. Argilossiltosa e argila - muito liso, muito pegajoso e muito plástico. Moldável em bola coesa que deforma sem fissurar.
Pobre (0)	Areia - sensação áspera e rangido audível. Não pode ser moldado em uma bola.

Fonte: modificado de Shepherd *et al.* (2008).

Mueller *et al.* (2007) pontuam, apresentam características e indicam as classes de textura segundo a classificação alemã (não representada) e FAO/USDA (Quadro 10.56).

Quadro 10.56. Pontuação, características e classe de textura.

Pontuação	Características	Classe de textura FAO/USDA
2	Loess ¹ , franco arenoso, franco, 8-20% de matéria orgânica (MO), sem materiais grosseiros (> 2 mm).	Franco siltosa, siltosa, franca, franco argilosiltosa.
1,5	Francoarenosa, franca ou <i>loess</i> com menos de 2% de MO, arenosa com 4-8% MO, argila de planície e turfa de pântano, material grosseiro <5%.	Francoarenosa, franco argiloarenosa, argiloarenosa, Francoargilosa.
1	Arenosa e francoarenosa, argilosa com pouca MO, melhores solos com alta proporção de material grosseiro (5-10%), argila densa, turfa de pântano (Organossolo de região alagadiça).	Areia franca.
0,5	Areias fina a média, baixo a média MO, material grosseiro >10%, argilas endurecidas, solo turfoso (Organossolo).	Arenosa, argilosa.
0	Areia média a grossa, >30% de material grosseiro.	Areia grossa.

Fonte: Mueller *et al.* (2007).

¹Loess – material transportado pelo vento e acumulado em depósitos abrangendo áreas dos EUA, Argentina, Europa Oriental e China Central, composto principalmente por silte e formando solos muito férteis e potencialmente produtivos (BRADY; WEIL, 2013).

10.6.1 Como avaliar e pontuar Textura

Como visto, vários são os sistemas desenvolvidos para estimar a textura de um solo utilizando os sentidos. Alguns deles foram descritos de modo que o leitor possa escolher aquele que melhor se adequa a seus interesses e características pessoais, podendo mesmo utilizar diferentes sistemas de modo a resolver dúvidas quanto à classificação textural e garantir maior confiança nos resultados.

Em Textura, buscou-se sintetizar e compatibilizar as práticas de campo propostas por Moody e Cong (2008), Shepherd *et al.* (2008), Brady e Weil (2013), Mueller *et al.* (2007), e os ensinamentos e trabalhos desenvolvidos por Oliveira (2011), Santos *et al.* (2015), ABNT (1982), ABNT (1995), Vargas (1977) *apud* Almeida ([s.d.]), Maschmedt (2004) *apud* Davenport *et al.* (2011) e Thien (1979) *apud* USDA (2017).

Buscando maior facilidade e confiança na estimação do atributo, as técnicas descritas foram reproduzidas em campo, utilizando diversas texturas de solo e usando ou não peneiras para separar o material mais grosseiro. Em várias ocasiões e por diferentes motivos (umidade da amostra, insolação, desconforto térmico, chuva, etc.), experimentou-se recolher amostras dos solos e realizar os testes de Textura, Consistência, Desintegração e Dispersão em condições ambientais mais favoráveis (mata fechada, local sombreado, varanda coberta, laboratório, cozinha, lavanderia, etc.) e com acesso à água, o que permitiu otimizar o tempo investido nas avaliações.

Procedimento Geral - Coleta de amostras para a determinação de Textura, Consistência, Desintegração e Dispersão

1. Em saco plástico transparente, anotar, com caneta de retroprojeter, as coordenadas geográficas do ponto amostral;
2. Ensacar 500g de amostra do solo;
3. Em local com maior conforto ambiental (mata fechada, local sombreado, varanda coberta, laboratório, cozinha, lavanderia, galpão, etc.) e com acesso a água, realizar os testes de Textura, Consistência, Desintegração e Dispersão.

Procedimento - A avaliação da Textura de cada ponto amostral observa os seguintes passos:

1. Retirar do saco plástico uma porção de solo que caiba na palma da mão;
2. Macerar o solo na palma da mão, desfazendo os agregados ou utilizar um cadinho ou estrutura similar para pulverizá-lo;
3. Retirar as partículas e aglomerados maiores que 2 mm (avaliação visual) ou utilizar peneira de malha 2 mm para fazê-lo (peneiras com abertura aproximada é facilmente encontrada em lojas de utilidades domésticas ou supermercados);

4. Acrescentar água aos poucos umedecendo a amostra até um ponto ótimo, que pode ser conhecido ao fechar a mão, pressionando a mostra e em seguida abri-la novamente, observando o resultado: se muito seco o solo apresentará aspecto quebradiço e se faz necessário acrescentar água; se muito úmido, gotas de água escorrem entre os dedos e é preciso acrescentar mais solo;
5. Manusear o solo por alguns minutos de modo a homogeneizá-lo (de início, agregados de silte e argila podem se comportar como grãos de areia, que se desfarão com o manuseio);
6. Retirar material grosseiro ou orgânico ainda presente;
7. Modelar a massa de solo em uma pequena bola e experimentar sua firmeza, pressionando-a entre o indicador e polegar;
8. Entre o indicador e polegar, modelar uma fita até que se rompa com o próprio peso;
9. Refinar o teste saturando com água pequena porção da massa de solo, esfregando-o na palma da mão;
10. Durante o processo, observar características de maciez, sedosidade, aspereza, rangidos, brilho e tamanho da fita.

As pontuações para Agroecossistemas tiveram como base a média daquelas utilizadas por Shepherd *et al.* (2008) e Mueller *et al.* (2007) (Quadro 10.57), voltadas para a agricultura e pecuária. Os autores estabeleceram pontuações com valores intermediários entre 0 e 2 (0, 0,5, 1, 1,5 e 2), que foram adaptadas para as pontuações de 1 a 5 e então relacionadas ao Grupo Textural e Classe Textural, seguindo o que se utiliza corriqueiramente no Brasil para a classificação de solos e orientações de manejo.

Entende-se que os Agroecossistemas (produção agrossilvipastoril, proteção e manutenção dos ecossistemas e dos serviços ambientais por eles providos) são a base sobre a qual se devem assentar o uso e ocupação do solo em uma microbacia, bem como o planejamento, implantação e desenvolvimento de obras de engenharia e de um urbanismo que se deseje sustentável e biofílico. Não havendo paralelo ou trabalhos que orientassem as pontuações para Engenharia e Urbanismo, considerou-se: (i) as características mais ou menos propícias ou limitantes para a instalação de obras diversas

de engenharia civil e urbanismo, tendo em vista os descritivos e características próprias de cada classe e grupo textural, apresentados pelos autores consultados; (ii) a adequabilidade ou restrição complementares à pontuação dos Agroecossistemas, de modo que, naquelas texturas em que esses apresentam maior valor, decresce a pontuação para a Engenharias e Urbanismo e vice-versa, sinalizando para um planejamento que diminua a tensão e conflitos entre ambos.

Quadro 10.57. Pontuações adaptadas de Shepherd *et al.* (2008) e Mueller *et al.* (2007) para os grupos e classes texturais.

Grupo textural	Classe textural	Shepherd <i>et al.</i> (2008)	Mueller <i>et al.</i> (2007)	Média
Arenoso	Areia	1	1	1
	Areia franca	2	3	2,5
Médio (Franco)	Francoarenosa	3	3	3
	Franca		5	5
	Franco siltosa	5	5	5
	Franco argiloarenosa		4	4
	Franco argilosa	4	4	4
Siltoso	Franco argilossiltosa		5	5
	Siltosa		5	5
Argiloso	Argiloarenosa		4	4
	Argilossiltosa	2	4	3
	Argilosa	2	2	2
Muito argiloso	Muito argilosa		2	2
Turfoso	Região alagadiça		3	3
	Arenosa ou argilosa		2	2

Fonte: modificado de Shepherd *et al.* (2008) e Mueller *et al.* (2007)

Como resultado final, obteve-se o Quadro 10.58 relacionando avaliações sensoriais, características, classes texturais e pontuações para os Agroecossistemas (PA) e Engenharias e Urbanismo (PEU).

Quadro 10.58. Descrição, características e pontuação de Textura para Agroecossistemas (PA) e Engenharias e Urbanismo (PEU).

Bola	Fita (cm)	Tato	Audição	Solo molhado	Argila (%)	Classe textural	Abr.	PA	PEU
Sem bola	Sem fita	Sensação áspera.	Rangido audível.	Áspero	0-5	Arenosa	A	1	1
Bola pouco firme	Sem fita ou < 0,5	Pouco coesa, sensação suave.	Rangido inaudível.	Macio		5	Siltosa	S	5
		Pouco coesa, sensação áspera.	Rangido audível.	Áspero	Areia franca		AF	2	1
	< 2,5	Sensação áspera.	Rangido pouco audível.	Áspero	10-20	Francoarenosa	FAR	3	2
		Sensação suave e sedosa.	Rangido inaudível.	Macio	25	Francossiltosa	FS	5	3
		Sensação suave e esponjosa.	Rangido pouco audível.	Entre macio e áspero		Franca	F	5	4
Bola firme	2,5 a 5	Sensação áspera e plástica.	Rangido audível.	Áspera	20-30	Franco argiloarenosa	FAA	4	5
		Sensação lisa, sedosa e plástica.	Rangido inaudível.	Macio	30-35	Franco-argilossiltosa	FAS	5	4
		Sensação lisa e plástica.	Rangido pouco audível.	Entre macio e áspero		Francoargilosa	FA	4	5
Bola fortemente coesa	>5	Sensação áspera e plástica.	Rangido audível.	Áspera	35-40	Argiloarenosa	AA	3	3
		Lembra massa de modelar, sensação suave e sedosa.	Rangido inaudível.	Macio	40-50	Argilossiltosa	AS	3	4
		Massa grudenta, lisa, sensação suave, leve aspereza.	Rangido pouco a inaudível.	Entre macio e áspero	>50	Argilosa a muito argilosa	AG	2	4 (2*)
Organossolos – solos originados do acúmulo de material orgânico.						Turfosa	T	3	1

Fonte: Autor.

* Solos com argila de atividade alta (Ta) pode ser muito limitante para PEU e sua pontuação deve ser reduzida para 2.

10.7 Consistência

A NBR 7250 (ABNT, 1982b) e a NBR 6484 (ABNT, 2001) referem compactidade para areias e siltes arenosos e consistência para argilas e siltes argilosos, classificando-os mediante ensaios com o SPT (do inglês *Standard Penetration Test*), como mostra o Quadro 10.59.

Quadro 10.59. Classificação dos solos quanto à compactidade e consistência, mediante uso do SPT.

Solo	Índice de resistência à penetração (N)	Designação ¹
Areias e siltes arenosos (Compactidade)	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos (Consistência)	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	> 19	Dura(o)

¹ As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.

Fonte: NBR 7250 (ABNT, 1982b) e NBR 6484 (ABNT, 2001).

Conhecer a consistência de um solo permite inferir as respostas que o mesmo apresentará ao longo do ano em função das variações sazonais de umidade, o que facilita planejar empreendimentos, ações e estratégias (quando arar ou escavar, por exemplo) visando à diminuição de custos, otimização de mão de obra e equipamentos, redução do gasto energético e desgaste de equipamentos, manutenção de cronogramas, etc. O comportamento do solo, considerando os aspectos de consistência (coesão e adesão), desintegração e dispersão, quando submetido ao tráfego intenso de veículos e animais em estradas, ruas, caminhos e trilhas; ao uso intensivo de maquinário pesado na produção agrícola; ao pisoteio constante do gado; e à variação de umidade

ao longo do ano (chuva e estiagem), determinará maior ou menor grau de comprometimento de sua estrutura e da camada superficial e subsuperficial quanto à possibilidade do selamento superficial e compactação, refletindo na emergência das plântulas, formação de alagamento superficial, escoamento superficial, erosão (perda de solo), enraizamento de plantas, drenagem, permeabilidade, porosidade, capacidade de suporte, etc.

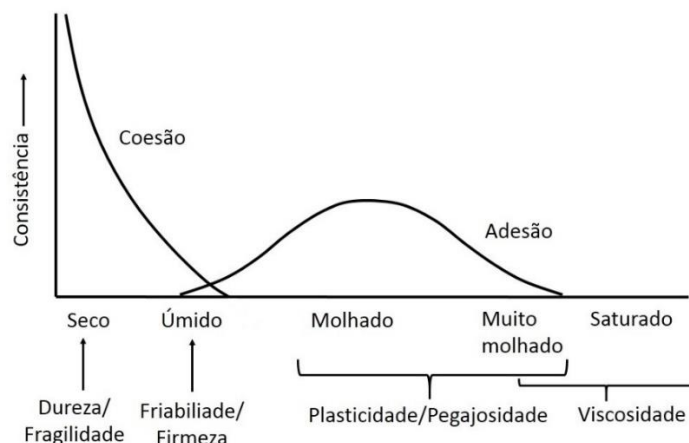
Moody e Cong (2008) indicam que a compactação antrópica do solo (ver Compactação) se dá pelo cultivo, sobrepastejo e utilização de máquinas e equipamentos de maneira contínua, quando o solo se encontra úmido a molhado. Próximo ao estado de plasticidade o solo se torna mais suscetível à compressão e moldagem, aumentando a densidade, reduzindo a porosidade, diminuindo a permeabilidade, facilitando o alagamento superficial e, com o tempo, tornando-se mais e mais endurecido. Chegado o período seco, o solo se torna ainda mais coeso, chegando a adquirir consistência extremamente firme e impedindo ou dificultando crescentemente o enraizamento das plantas e a saúde das plantações.

Têm influência na consistência (coesão e adesão) a umidade, a textura (quantidade de areia, silte e argila), os constituintes sólidos, os cátions adsorvidos, a presença de sais e a quantidade de matéria orgânica e de compostos orgânicos. A **coesão** se manifesta por meio de ligações físico-químicas (eletrostáticas, iônicas, covalentes, van der Waals, pontes de hidrogênio e magnética - óxidos de ferro como hematita e goethita) entre as partículas do solo. As ligações químicas são muito fortes nas rochas sãs ou pouco alteradas e respondem pela formação de concreções e horizontes endurecidos, como o concrecionário, litoplíntico e petrocálcico. As forças eletrostáticas agem particularmente nas argilas, ligando silte e areia e influenciando na macroestrutura do solo. Sendo resultado de atrações moleculares, a coesão é máxima em solo seco, decrescendo com o aumento da umidade até tornar-se mínima ou nula.

Já a **adesão** é resultado da tensão superficial da água, que passa a ser um elemento ligante entre as partículas do solo. Essa força inexistente em solo seco, é mínima em solo úmido, máxima em solo molhado e novamente mínima em solo muito molhado, quando a água passa a atuar como elemento lubrificante entre as partículas (OLIVEIRA, 2011).

A Figura 10.9 auxilia no entendimento da consistência ao apresentar graficamente as relações de coesão e adesão em função da crescente umidade do solo: seco (sem água nos poros), úmido, molhado, muito molhado e saturado (encharcado, quando a água ocupa todos os poros do solo).

Figura 10.9. Consistência do solo.



Fonte: modificado de Oliveira (2011).

Quando seco, o solo é avaliado quanto à sua rigidez, dureza ou fragilidade (resistência ao rompimento). Quando úmido, diz-se de sua friabilidade ou firmeza (maior ou menor resistência ao rompimento com baixa deformação) (ABNT, 1995). Molhado ou muito molhado o solo apresenta propriedades de plasticidade (susceptibilidade à deformação permanente sem sofrer ruptura, fissuramento ou variação apreciável de volume) (ABNT, 1982b, 1995, 2001) e pagajosidade (aderência); e de muito molhado a saturado (encharcado), tem-se a viscosidade (consistência entre o sólido e líquido, quando o solo pode se liquefazer).

A resistência de um solo ao cisalhamento (ruptura), próximo ao ponto de saturação, tende a ser menor onde estejam presentes argilas de atividade alta (T_a , argilas 2:1, montmorilonita e ilita, maior plasticidade e pegajosidade, presentes nos VERTISSOLOS, LUVISSOLOS e CHERNOSSOLOS) e maior para argilas de atividade baixa (T_b , argilas 1:1, caulinita, menos plasticidade e pegajosidade, presentes nos LATOSSOLOS e CAMBISSOLOS). Esse é um ponto importante a se considerar,

especialmente em relação à ocupação urbana que se estabeleça na ou próximo a regiões muito declivosas, montanhosas ou escarpadas.

Nas regiões tropicais, em função da umidade e calor acentuados, os solos tendem a ser mais evoluídos, no sentido de o intemperismo físico e químico, especialmente a hidrólise, agirem com mais vigor sobre os materiais. Nessas condições, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio se formam, atenuando a plasticidade e pegajosidade das argilas e influenciando positivamente na trabalhabilidade do solo. Por outro lado, essas mesmas condições climáticas, em situações específicas como a elevação e rebaixamento sazonal do lençol freático, podem induzir a formação e acentuar a presença de concreções e camadas endurecidas, resultado da cimentação de partículas em função do deslocamento e acúmulo desses mesmos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio em diferentes horizontes do solo (BRADY; WEIL, 2013; OLIVEIRA, 2011).

O Quadro 10.60 apresenta a relação entre os teores de umidade e o comportamento do solo com médio a alto conteúdo de argila em relação à sua consistência, grau de consistência, capacidade de suporte, preparo para o plantio e resultado da aração (OLIVEIRA, 2011).

Quadro 10.60. Relação entre teor de umidade e comportamento do solo.

	Teor de umidade				
	Seco	Úmido	Molhado	Muito Molhado	Saturado
Consistência	Duro	Friável (firme)	Plástico e pegajoso	Muito plástico e muito pegajoso	Viscoso
Grau de consistência	Muito alto	Baixo	Alto	Alto	Muito baixo
Capacidade de suporte	Alta	Moderada	Baixa	Muito baixa	Ausente
Preparo para o plantio	Solo pesado	Solo leve	Solo pesado. Implementos tendem a derrapar e atolar.	Solo leve. Tração baixa. Atola.	Preparo virtualmente impossível
Resultado da aração	Solo forma torrões e poeira	Grânulos; ótimo efeito na estrutura	Empoçamento. Compactação.	Compactação.	

Fonte: modificado de Oliveira (2011).

McGarry (2004) entende consistência como a resistência do solo, da estrutura do solo, em relação à pressão, estresse mecânico ou utilização que dele se faz ou dos impactos que sobre ele se promove em função do uso agrícola. Como a consistência depende do teor de umidade, orienta para que os testes comparativos entre as amostras sejam feitos em condições de umidade semelhante dentro de uma mesma área. Sem pontuar, o autor classifica a Consistência como solta, friável, firme e extremamente firme, colocando-a ao lado de tamanho, tipo e grau dos agregados como forma de descrever a Estrutura do solo.

Mais adiante, ao abordar a formação de camada compacta (ver Compactação) devido ao cultivo (*tillage pan*), McGarry (2004) indica pontuação de condição pobre para consistência firme a muito firme, moderada para consistência firme, e boa para consistência friável (Quadro 10.61).

Quadro 10.61. Pontuação para Compactação do solo segundo McGarry (2004).

Condição pobre (0)	Condição moderada (1)	Boa condição (2)
Compactação por cultivo bem desenvolvida na parte inferior da camada superior do solo (ou parte superior do subsolo), com estrutura massiva ou laminar, consistência firme a muito firme e muito poucos ou nenhuma fenda vertical ou poros.	Firme, desenvolvimento moderado de compactação por cultivo na parte inferior do solo superficial (ou parte superior do subsolo), estrutura laminar ou massiva clara, porém contendo uma ou mais: áreas de solo estruturado acima ou abaixo da compactação, fissuras ou poros contínuos.	Sem compactação por cultivo, com estrutura friável e porosidade da camada superior ao subsolo.

Fonte: McGarry (2004).

O Protocolo de Caracterização do Solo (NASA, 2014) indica que um solo com estrutura de grão único sempre terá consistência solta e textura arenosa ou muito arenosa, enquanto solos mais densos terão consistência mais firme. Para medir a consistência, o protocolo define os seguintes passos:

- a. Retirar um *ped* (conjunto de agregados formando um “torrão”) do horizonte que se queira estudar e se estiver muito seco, borrifar um pouco de água para umedece-lo;

- b. Segurar o *ped* entre o polegar e o indicador e pressionar com força crescente até que se rompa.
- c. Categorizar o solo como:
- i. **Solto** – dificuldade em obter um *ped*, a estrutura se desfaz com o manuseio;
 - ii. **Friável** – o *ped* se desfaz sob leve pressão;
 - iii. **Firme** – o *ped* se quebra sob forte pressão;
 - iv. **Extremamente firme** – o *ped* não pode ser quebrado com os dedos.

Moody e Cong (2008), seguindo o Protocolo de Caracterização do Solo da NASA (NASA, 2014), descrevem a Consistência associada à Estrutura do solo, porém sem pontuá-la. A consistência deve ser determinada com o solo úmido e, caso esteja seco, acrescentar umidade. Toma-se então um pequeno bloco entre os dedos indicador e polegar e pressiona-se até o solo se romper, descrevendo a consistência do solo como solto, friável, firme ou extremamente firme, esta última indicativa, no campo, de compactação do solo (ver Compactação).

O Quadro 10.62 foi baseado nas indicações de Fitzpatrick; McKenzie; Maschmedt (1999) *apud* Moody e Cong (2008), descrevendo a consistência e implicações de manejo.

Quadro 10.62. Consistência do solo úmido, descrição e implicações de manejo.

Consistência	Descrição	Implicações
Solta, fraca	Porção de solo de 25-30 mm esboroa sob ligeira pressão aplicada entre o indicador e polegar, equivalente de 0 a 20 Newtons.	Sem restrições ao crescimento de raízes. Ligeira restrição ao fluxo hídrico.
Firme	O bloco se rompe sob moderada a forte pressão, equivalente a uma força entre 20 e 80 Newtons.	O fluxo de água pode eventualmente ser restrito, contribuindo para períodos de alagamento.
Forte a rígida	O bloco de solo não pode ser rompido (80 e 800 Newtons).	O enraizamento fica impedido. O fluxo de água pode ser interrompido.

Fonte: Fitzpatrick; McKenzie; Maschmedt (1999) *apud* Moody e Cong (2008).

Souza (2015) e Souza *et al.* (2016) pontuam Estrutura e Consistência (ver Estrutura) do solo em um mesmo item, sem contudo definirem consistência ou o grau de umidade considerado (Quadro 10.63).

Quadro 10.63. Estrutura e Consistência do solo e pontuação segundo Souza (2015).

Pobre (0)	Moderado (1)	Bom (2)	Ótimo (3)
Solo “empoeirado” como areia, onde não há estrutura e/ou consistência. Incapacidade de formar agregados.	Poucos agregados, agregados muito grandes e difíceis de serem quebrados.	Quantidade média de agregados, com alguma resistência à quebra.	Muitos agregados que quebram com pouca pressão.

Fonte: Souza (2015) e Souza *et al.* (2016).

Ball; Batey; Munkholm (2007) adotam pontuações baixas representando maior qualidade, ao passo que pontuações maiores representam menor qualidade dos atributos avaliados. Os autores não relacionam ou pontuam a consistência como um atributo individualizado, mas a utilizam como “facilidade de rompimento” do solo úmido, associado ao tamanho e aparência dos agregados, porosidade visível, raízes e aparência após a quebra, para a determinação da Qualidade Estrutural do solo, que vai de friável a muito compacto (Quadro 10.64).

Quadro 10.64. Qualidade estrutural e facilidade de rompimento.

Qualidade da estrutura	Facilidade de rompimento (solo úmido)	Pontuação
Friável (tende a cair da pá)	Agregados separados com os dedos.	1
Intactos (retidos em bloco na pá)	Agregados facilmente rompíveis com uma mão.	2
Firme	Sem dificuldade.	3
Compacto	Certa dificuldade.	4
Muito compacto	Difícil.	5

Fonte: modificado de Ball; Batey; Munkholm (2007).

Shepherd *et al.* (2008) (Quadro 10.65) e Väderstad (2016) (Quadro 10.66) incluem a consistência, sem nomeá-la como tal, na avaliação da Estrutura do solo (ver Estrutura), considerando os de boa estrutura aqueles que sejam friáveis, enquanto os

de condição pobre apresentam torrões densos e muito duros, com alta força de tensão (coesão e adesão).

Quadro 10.65. Estrutura e pontuação segundo Shepherd *et al.* (2008).

Condição pobre (0)	Condição moderada (1)	Boa condição (2)
Solo dominado por torrões grosseiros, muito firmes, angulares ou subangulares e poucos ou nenhum poro.	Solo com 50% de agregados finos e friáveis e torrões grosseiros, duros, forma angular ou subangular e poucos poros.	Solo sem quantidade significativa de torrões, friável, com agregados finos, arredondados e muito porosos.

Fonte: Shepherd *et al.* (2008).

Quadro 10.66. Estrutura e pontuação segundo Väderstad (2016).

Condição pobre (0)	Condição moderada (1)	Boa condição (2)
Solo dominado por torrões grosseiros e muito firmes, com poucos agregados finos.	Solo contém proporção semelhante de torrões grosseiros e firmes, com agregados finos e friáveis.	Boa distribuição de agregados finos sem a presença significativa de torrões.

Fonte: Väderstad (2016).

10.7.1 Como avaliar e pontuar Consistência

A Consistência é abordada nas NBR 7250 (ABNT, 1982b), NBR 6502 (ABNT, 1995) e NBR 6484 (ABNT, 2001), sob o ponto de vista da Engenharia Civil; Oliveira (2011), Santos *et al.* (2015), NASA (2014), Soil Science Division Staff (2017) o fazem na perspectiva da Pedologia; McGarry (2004), Moody e Cong (2008), Fitzpatrick; McKenzie; Maschmedt (1999) *apud* Moody e Cong (2008), Ball; Batey; Munkholm (2007), Souza (2015), Souza *et al.* (2016), Shepherd *et al.* (2008) e Väderstad (2016) direcionam seus estudos para a agricultura e pecuária; e Brady e Weil (2013) apresentam pontes entre as diferentes abordagens. Agricultura, pecuária, silvicultura, ecossistemas naturais e os serviços por eles proporcionados, são aqui nomeados Agroecossistemas, enquanto Engenharia e Urbanismo englobam as obras e instalações de engenharia e incluem a urbanização.

As pontuações e descrições dadas pelos autores nortearam, em parte, as pontuações adotadas para solo seco, úmido, molhado e muito molhado, e podem ser resumidas considerando seus aspectos mais gerais:

- a. **Consistência firme a muito firme** – associada a condição pobre do solo, com baixa pontuação e formação camada compacta ou compactada em função do manejo agrícola e apresentando estrutura massiva ou laminar;
- b. **Consistência firme** – associada a pontuação intermediária, com moderada compactação associada a estrutura laminar ou massiva;
- c. **Consistência friável** – associada a pontuação mais elevada, condição boa e ótima do solo, sem apresentar compactação.

No campo, a Consistência deve ser avaliada com o solo úmido, embora a Pedologia peça que a caracterização seja feita quando em condição de solo seco, úmido, molhado e muito molhado. Sendo mais completa e facilitando o entendimento do comportamento do solo ao longo do ano, essa descrição utilizada na Pedologia é aqui adotada.

Com vistas a facilitar o trabalho de campo, otimizar o tempo e considerar o conforto dos participantes (ver Textura), indica-se que amostras sejam coletadas dos minipoços, ensacadas e transportadas para local mais adequado e confortável, com acesso facilitado a água (limpeza, hidratação, umidificação das amostras). Com base na literatura pesquisada e nos trabalhos de campo desenvolvidos, para a coleta de amostras, orienta-se:

4. Em saco plástico transparente, anotar, com caneta de retroprojeter, as coordenadas geográficas do ponto amostral;
5. Ensacar 500g de amostra do solo;
6. Em local com maior conforto ambiental (mata fechada, local sombreado, varanda coberta, laboratório, cozinha, lavanderia, galpão, etc.) e com acesso a água, realizar os testes de Textura, Consistência, Desintegração e Dispersão.

Para determinar a Consistência das amostras, procede-se ao **Teste de Ruptura** (BRADY; WEIL, 2013; MCGARRY, 2004; MOODY; CONG, 2008; NASA, 2014; SANTOS *et al.*, 2015), utilizado por pedólogos e profissionais de Ciências Agrárias para determinar o comportamento do solo seco e úmido:

1. De cada amostra selecionam-se alguns pequenos blocos de solo ou agregados (tamanho de uma ervilha);
2. Para o teste de solo seco, caso a amostra esteja úmida, deixa-la secar ao ar por 24 horas;
3. Para o teste de solo úmido, caso a amostra esteja seca, borrifar um pouco de água para umedecê-la;
4. Um a um, pressiona-se crescentemente os agregados: entre o indicador e polegar, entre as palmas das mãos ou sob os pés, até que se rompam ou esboroem;
5. Consultar o quadro de Consistência e pontuar o atributo.

10.7.2 Como avaliar e pontuar Solo seco

Os trabalhos de Oliveira (2011), Brady e Weil (2013), Santos *et al.* (2015) são a base para a descrição e pontuação da consistência do solo seco, classificados em extremamente duro, muito duro, duro, ligeiramente duro, macio e solto (Quadro 10.67). Indicam os autores que nesse estágio, o solo é avaliado quanto à sua rigidez (dureza) ou fragilidade, ou seja, a força que o solo pode suportar sem que se rompa. As características texturais auxiliam na pontuação e descrição, uma vez que solos argilosos podem ser de difícil trabalhabilidade, aumentando custos associados a energia, trabalho, mão de obra, desgaste de equipamentos, etc. Por outro lado, solos mais arenosos e inconsistentes são fáceis de arar ou escavar, mas apresentam limitações quanto à fertilidade, retenção hídrica, disposição de efluentes, imobilização de contaminantes e recepção de aterros sanitários, dentre outras.

Procedimento – tomar pequeno agregado ou torrão (tamanho de uma ervilha) de **solo seco** e pressioná-lo com força crescente entre o polegar e o indicador. Caso não esboroe, pressionar crescentemente entre as palmas das mãos ou sob o pé, observando o resultado.

Quadro 10.67. Descrição, características e pontuação de Consistência do solo seco para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Teste de ruptura	Descrição e características	PA	PEU
Extremamente duro	Extremamente resistente à pressão, não esboroa sob o pé pressionando com o peso do corpo. Comum em solos de textura argilosa com argila de atividade alta (argila Ta, CTC \geq 27 cmolc/kg). Fragipãs (alta coesão, baixa adesão), Duripãs (alta coesão, alta adesão).	1	1
Muito duro	Material muito resistente à pressão, não esboroa sob pressão dos dedos ou das mãos, mas esboroa sob pressão leve dos pés. Comum em solos de textura argilosa com argila de atividade alta (argila Ta, CTC \geq 27 cmolc/kg). Fragipãs (alta coesão, baixa adesão), Duripãs (alta coesão, alta adesão). Fragipãs de textura arenosa podem ser muito duros quando secos e muito friáveis quando úmidos.	2	2
Duro	Material moderadamente resistente à pressão, esboroa com dificuldade entre os dedos, mas esboroa sem dificuldade entre as mãos. Comum em LATOSSOLOS e CAMBISSOLOS, presença de argila de atividade baixa (argila Tb, CTC $<$ 27 cmolc/kg) que, mesmo de textura muito argilosa, raramente ultrapassa a consistência dura.	4	5
Ligeiramente duro	Material fracamente resistente à pressão, esboroa sob pressão leve entre os dedos.	5	4
Macio	Material fracamente coerente e frágil, esboroa sob pressão muito fraca entre os dedos, pulverizando ou quebrando em grãos individuais.	4	3
Solto	Material não coerente, não forma torrões ou agregados ao ser retirada uma porção do solo, comum em solos arenosos. Comum em Horizontes superficiais de textura arenosa, NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS.	3	1

Fonte: modificado de Oliveira (2011), Brady e Weil (2013), Santos *et al.* (2015) e NASA (2014).

10.7.3 Como avaliar e pontuar Solo úmido

A Consistência do solo úmido é descrita quanto à sua friabilidade ou firmeza e pode ser classificado em solto, muito friável, friável, firme, muito firme e extremamente firme. Friável é a facilidade que um solo apresenta de se deformar antes do rompimento,

ou a capacidade de um solo úmido, sob pequena ou moderada pressão, desfazer torrões maiores em seus agregados constituintes, que permanecem estáveis.

Brady e Weil (2013) indicam que a friabilidade é uma das principais características associadas à facilidade de preparo dos solos para plantio, bem como escavações na construção civil. Solos muito secos ou muito úmidos, perdem o ponto ótimo de friabilidade, implicando em maior gasto energético em seu preparo, ao mesmo tempo em que compromete sua estrutura. Solos argilosos são mais propensos à compactação (devido à coesão) e encharcamento (devido à grande retenção de água), tornando-se mais suscetíveis ao colapsamento e liquefação quando excessivamente molhados.

Oliveira (2011), Brady e Weil (2013), Santos *et al.* (2015) e NASA (2014) formam a base de conhecimento para a descrição e pontuação da **Consistência úmida** do solo (Quadro 10.68), utilizando o Teste de Ruptura (BRADY; WEIL, 2013; MCGARRY, 2004; MOODY; CONG, 2008; NASA, 2014; SANTOS *et al.*, 2015) pontua-se apenas os Agroecossistemas, uma vez que Brady e Weil (2013) indicam outro método para Engenharia e Urbanismo.

Procedimento – tomar pequeno agregado ou torrão (tamanho de uma ervilha) de **solo úmido** e pressioná-lo com força crescente entre o polegar e o indicador. Caso não esboroe, pressionar crescentemente entre as palmas das mãos ou sob o pé, observando o resultado.

Quadro 10.68. Descrição, características e pontuação de Consistência do solo úmido para Agroecossistemas.

Teste de ruptura	Descrição	PA	PEU
Extremamente firme	Não esboroa sob o pé pressionando com o peso do corpo. Comum em solos de textura argilosa com argila de atividade alta (argila Ta, CTC \geq 27 cmolc/kg). Fragipãs (alta coesão, baixa adesão), Duripãs (alta coesão, alta adesão).	1	X
Muito firme	Material muito resistente à pressão, não esboroa sob pressão dos dedos ou das mãos, mas esboroa sob pressão leve dos pés. Fragipãs de textura arenosa podem ser muito duros quando secos e muito friáveis quando úmidos.	2	X
Firme	Resistência perceptível esboroa com dificuldade entre os dedos, mas sem dificuldade entre as mãos. Comum em LATOSSOLOS e CAMBISSOLOS, presença de argila de atividade baixa (argila Tb, CTC < 27 cmolc/kg) que, mesmo de textura muito argilosa, raramente ultrapassa a consistência dura quando seco.	4	X
Friável (fácil fragmentação)	Esboroa sob pressão leve a moderada entre os dedos, mas agrega-se por compressão posterior. Fácil escavação e aração.	5	X
Muito friável	Material fracamente coerente e frágil, esboroa sob pressão muito fraca entre os dedos, mas agrega-se por compressão posterior. Suscetibilidade à erosão hídrica. Fácil escavação e aração.	4	X
Solto	Material não coerente, estrutura de grãos simples, comum em solos arenosos ou de textura arenosa, NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS.	3	X

Fonte: modificado de Oliveira (2011), Brady e Weil (2013), Santos *et al.* (2015) e NASA (2014).

Brady e Weil (2013) diferenciam o termo consistência entre pedólogos, que o entendem como a resistência à ruptura, e engenheiros civis, que a entendem como resistência à penetração de um objeto. O Teste de Penetração, descrito no Quadro 10.69, sugere vaga similaridade com o SPT (*Standard Penetration Test*) normatizado pela NBR 6484 (ABNT, 2001), mas não é assim expresso pelos autores, nem sua utilização restrita a solos grossos, indicando apenas que os resultados são utilizáveis no âmbito da Engenharia Civil.

O **Teste de Penetração** (BRADY; WEIL, 2013) é um teste simples e rápido, considerando as necessidades da Engenharia Civil e feito sob a umidade de campo ou capacidade de campo (capacidade de um solo reter o máximo de água sem que haja percolação no perfil ou o escoamento superficial). Como nem sempre a época do ano e a umidade do solo estão na capacidade de campo, sugere-se que o teste seja feito no mesmo local onde se realizou o teste de Permeabilidade, que terá previamente umedecido o solo.

Procedimento - O teste é realizado em umidade de campo (utilizar mesmo local do teste de Permeabilidade) utilizando um lápis ou graveto de diâmetro compatível forçando a extremidade não pontuda contra o solo, buscando penetrá-lo; ou a unha, no caso de solos mais resistentes. O resultado do esforço indica sua consistência, como mostra o Quadro 10.69.

Quadro 10.69. Descrição, características e pontuação de Consistência do solo úmido para Engenharia e Urbanismo.

Teste de penetração	Descrição e características	PA	PEU
Duro	A extremidade do lápis não marca o solo e a unha do polegar penetra com dificuldade.	X	2
Muito rijo	A extremidade do lápis faz uma leve marca e a unha do polegar penetra facilmente.	X	3
Rijo	A extremidade do lápis penetra cerca de 0,5 cm.	X	5
Médio	A extremidade do lápis penetra cerca de 1,25 cm com esforço moderado.	X	4
Mole	A extremidade do lápis penetra profunda e facilmente no solo. Possível presença de grande quantidade de matéria orgânica incorporada.	X	1

Fonte: modificado de Brady e Weil (2013).

10.7.4 Como avaliar e pontuar Solo molhado

O solo é dito molhado quando atinge ou ultrapassa um pouco a capacidade de campo, avaliando-se sua plasticidade e pegajosidade. A **Plasticidade** é entendida como a capacidade que um solo apresenta de ser moldado, mantendo a nova forma ao cessar a pressão exercida, assumindo as classes: não plástica, ligeiramente plástica, plástica e muito plástica. Já a **Pegajosidade** é a propriedade que um solo apresenta de aderir a

outros objetos e pode ser descrita como: não pegajosa, ligeiramente pegajosa, pegajosa e muito pegajosa.

Plasticidade e pegajosidade (ver Textura) são atributos associados à quantidade e tipo de argila presentes no solo. Um solo argiloso a muito argiloso, molhado ou muito molhado, será mais plástico e pegajoso, tornando-se pesado e escorregadio, aderindo a implementos, dificultando a trafegabilidade, facilitando o deslizamento e atolamento, comprometendo estradas e edificações e, no limite da plasticidade, poderá tornar-se fluido e deslizar sobre encostas, com riscos graves aos ecossistemas naturais e antrópicos a jusante.

Procedimento Plasticidade - Para aferir a plasticidade de um solo, procede-se ao **Teste do Cilindro** (OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2015), que consiste em tomar uma porção de solo pulverizado, homogeneizado e umedecido pouco a pouco (ver Textura), até atingir ou superar um pouco a capacidade de campo, que pode ser aferida ao pressionar a massa de solo fechando os dedos sobre a palma da mão, de modo que a umidade não escorra por entre os vãos dos dedos. Caso isso ocorra, acrescenta-se um pouco mais de solo para absorver o excesso de umidade. Em seguida, observa-se o comportamento do solo enquanto a massa é rolada na palma da mão ou sobre um vidro, buscando modelar um fio ou cilindro de 3 a 4 mm de diâmetro e 6 cm de comprimento. O resultado do teste, a classificação, a classe pedológica e a pontuação são descritos no .

Quadro 10.70.

Quadro 10.70. Descrição, características e pontuação de Consistência do solo molhado (Plasticidade) para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Teste do cilindro	Descrição e características	PA	PEU
Muito plástica	Forma-se um fio difícil de deformar. Comum em solos de textura argilosa com argila de atividade alta (Argila Ta, alta atividade, ≥ 27 cmolc/kg) como NITOSSOLO VERMELHO Alítico, CHERNOSSOLOS e VERTISSOLOS.	2	1
Plástica	Forma-se um fio que deforma sob pressão moderada. LATOSSOLOS e CAMBISSOLOS, textura argilosa a muito argilosa, argila de atividade baixa (Argila Tb, baixa atividade, <27 cmolc/kg).	4	5
Ligeiramente plástica	Forma-se um fio facilmente deformável. Solos de textura média (francos).	5	4

Não plástica	Sem liga, quando muito forma um fio facilmente deformável. Horizontes superficiais de textura arenosa, NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS.	3	2
--------------	--	----------	----------

Fonte: modificado de Oliveira (2011) e Santos *et al.* (2015).

Procedimento Pegajosidade - Para avaliar a Pegajosidade é feito o **Teste de Aderência** (OLIVEIRA, 2011; SANTOS *et al.*, 2015), utilizando a mesma porção de solo anteriormente pulverizada, homogeneizada e molhada, sendo agora comprimida e descomprimida entre o polegar e o indicador. A Pegajosidade é determinada observando-se o comportamento da massa sob o ponto de vista de sua aderência aos dedos, como explicitado no Quadro 10.71.

Quadro 10.71. Descrição, características e pontuação de Consistência do solo molhado (Pegajosidade) para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Teste de Aderência	Descrição e características	PA	PEU
Muito pegajosa	Forte aderência após compressão entre os dedos, alongando-se quando afastados. Comum em solos de textura argilosa com argila de atividade alta (Argila Ta, alta atividade, ≥ 27 cmolc/kg) como NITOSSOLOS VERMELHO Alíticos, CHERNOSSOLOS e VERTISSOLOS.	1	1
Pegajosa	Cessada a pressão e afastados os dedos o material rompe-se após breve alongamento. Pouco ou nenhum alongamento. LATOSSOLOS e CAMBISSOLOS mesmo com textura muito argilosa, argila de atividade baixa (Argila Tb, baixa atividade, < 27 cmolc/kg).	4	4
Ligeiramente pegajosa	Cessada a pressão e afastados os dedos o material desprende-se de um deles. Pouco ou nenhum alongamento. LATOSSOLOS e CAMBISSOLOS mesmo com textura muito argilosa de atividade baixa (Argila Tb, baixa atividade, < 27 cmolc/kg).	5	5
Não pegajosa	Quase inexistente aderência aos dedos. Horizontes superficiais de textura arenosa, NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS.	3	2

Fonte: modificado de Oliveira (2011) e Santos *et al.* (2015).

10.8 Desintegração e Dispersão

Desintegração e Dispersão estão relacionadas, no entendimento de McKenzie (2013), à capacidade que um solo apresenta de manter suas funções vitais associadas à sua estabilidade estrutural sob condições de umidade.

A **Desintegração** (*slaking*) pode ser entendida como a desintegração espontânea dos agregados na água (MOODY; CONG, 2008), quebra dos agregados em microagregados que podem ser reagrupados em novos agregados (MCGARRY, 2004), ou a quebra do solo em fragmentos menores sob umidade, sendo comum em solos australianos e bruno-avermelhados (NSW AGRICULTURE, 2000) e estando associada à falta de matéria orgânica mantendo a coesão entre as partículas (MCKENZIE, DAVID C., 2013). No processo de desintegração devido à chuva ou irrigação, partículas de silte e argila se desprendem do solo, formando fina camada de agregados granulares soltos que recobrem a superfície do solo, normalmente sem prejudicar a emergência de cultivares. Com o secamento, essa fina camada pode evoluir para o encrostamento superficial, dificultando a emergência de culturas ou mesmo tornando o solo localmente impermeável (ver Compactação) e suscetível à erosão.

A **Dispersão** é entendida como a dispersão de partículas de argila na água durante a Desintegração (MOODY; CONG, 2008), a separação do solo em partículas individuais (NSW AGRICULTURE, 2000), ou a quebra dos agregados em partículas primárias de areia, silte e argila (MCGARRY, 2004; MCKENZIE, 2013), processo irreversível e que resulta na formação de estruturas massivas e indesejáveis para a agricultura (MCGARRY, 2004).

A Dispersão está associada à textura do solo, tipo de argila, matéria orgânica, salinidade (sódio) e troca de cátions, especialmente após perturbação (manejo, cultivo) em condições de umidade (chuva, irrigação). Solos com estrutura fraca e instável estão sujeitos à Dispersão de partículas, podendo formar crostas superficiais ou torrões endurecidos após o secamento e bloqueando poros abaixo da superfície. Solos dispersivos podem estar associados a grande expansão das argilas constituintes quando molhados (ver Vertissolos, argilas de atividade alta, Ta). Com a expansão das argilas, a porosidade interna diminui, restringindo o acesso da água e ar à zona de raízes e mantendo baixo o estoque hídrico após as chuvas ou irrigação.

Mitchell e Soga (2005) ensinam que muitos solos finos, estando secos, ao serem mergulhados em água desintegram, colapsando em uma pilha de peças menores ou sedimentos de pequenas partículas. Isso pode ocorrer imediatamente após imersão ou demandar algum tempo, sendo mais vigoroso naqueles materiais muito secos em comparação com aqueles com alguma umidade. Em Engenharia essa característica é preocupante em relação a escavações e durabilidade, quando utilizados como agregados ou argamassa em construções diversas. Quatro são os modos de desintegração identificados:

1. **Dispersão** (*dispersion slaking*) – o torrão de argila se mantém intacto enquanto partículas de argila descolam da superfície e dispersam em função do tipo de argila e química da água;
2. **Turgescência** (*swelling slaking*) – a argila expande por adsorção e pressão osmótica e o material se torna amolecido;
3. **Desagregação superficial** (*surface slaking*) – agregados de partículas de argila se desprendem da superfície em função da pressão do ar armazenado no material e acumulam como sedimento nas adjacências do material;
4. **Desintegração** (*body slaking*) – o material se desintegra, de dentro para fora, em função de maior pressão exercida pelo ar contido dentro da amostra que supera as forças de agregação das partículas de argila, que então colapsam formando um amontoado.

Grandes áreas da superfície terrestre, especialmente no meio-oeste e sudoeste dos EUA, partes da Ásia, América do Sul e Sul da África são recobertas por solos suscetíveis ao colapsamento, recebendo a terminologia de solos colapsáveis, cuja desintegração pode ser desencadeada pela água sozinha ou pela ação conjunta de saturação e carga. Os solos colapsáveis podem ter origem endógena (solos residuais) ou exógena (deposição hídrica ou eólica), formando estruturas granulares fracas de textura siltosa a areia fina. Em solos residuais, a lixiviação de solutos e material coloidal deixa para trás estrutura granular sujeita ao colapsamento. Sedimentos eólicos ou hídricos sujeitos ao colapsamento são mais comuns nas regiões áridas e semiáridas, resultado de formações com textura solta e estrutura fraca. Nesses locais, fluxos torrenciais podem ocorrer, depositando localmente camadas de sedimentos fracamente

estruturados, bem como a evaporação da água pode deixar sais na subsuperfície que promovem certa cimentação, mas prontamente se desfazendo com o aumento de umidade, resultando na subsidência do terreno (MITCHELL; SOGA, 2005).

A NSW Agriculture (2000) indica utilizar agregados pequenos (3 a 5 mm de diâmetro), para avaliar e pontuar a Desintegração e Dispersão em um único teste. O procedimento para testar a **Desintegração**, onde normalmente só o solo superficial é avaliado, é o seguinte:

- a. Coletar amostras de solo e, dependendo do teor de umidade, deixa-las secar ao ar por 1 a 5 dias;
- b. Tomar ao menos três agregados secos de 3 a 5 mm de diâmetro e submergi-los totalmente em água de chuva ou água destilada;
- c. Manter o frasco protegido de vibração ou vento;
- d. Avaliar e pontuar após **5 minutos** utilizando os critérios dispostos no Quadro 10.72. A pontuação menor reflete maior qualidade do solo.

Quadro 10.72. Descrição, manejo e pontuação para Desintegração do solo.

Descrição	Manejo	Pontuação
O agregado permanece intacto.	O solo é estável ao umedecimento. Típico de solos de pastagens. Nenhuma ação é necessária.	0
O agregado colapsa nas bordas mas permanece intacto.		1
O agregado colapsa em peças angulares.	Típico de autorrecobrimento por argila. Forma camada superficial solta e granular, com talvez encrostamento fino e frágil. Se o solo não dispersar, nenhuma ação é necessária.	2
O agregado colapsa em peças pequenas (<2 mm de diâmetro) e arredondadas, formando um cone.	A superfície pode formar uma crosta. Só representa problema se o solo for arenoso, franco e alguns franco-argilosos. Indicação: reduzir o cultivo, incorporar matéria orgânica e aplicar gesso.	3
O agregado colapsa em grãos simples (grãos de areia).	Solo muito propenso a formação de crosta e endurecimento (arenoso e franco). Indicação: reduzir o cultivo, incorporar matéria orgânica e irrigar mais frequentemente.	4

Fonte: modificado de NSW Agriculture (2000).

Para testar a **Dispersão** (NSW AGRICULTURE, 2000), o procedimento é o que segue:

- a. Coletar amostras de solo e deixa-las secar da noite para o dia;
- b. Tomar ao menos três agregados secos de 3 a 5 mm de diâmetro e submergi-los totalmente em água de chuva ou água destilada;
- c. Manter o frasco protegido de vibração ou vento;
- d. Avaliar e pontuar após **10 minutos** e **2 horas** utilizando os critérios dispostos no Quadro 10.73. A pontuação menor reflete maior qualidade do solo.
- e. Nas duas situações a pontuação é anotada e somada.

Quadro 10.73. Descrição e pontuação para Dispersão do solo.

Descrição	Pontuação
Nenhuma dispersão.	0
Leve dispersão, reconhecida por leve pluma ao redor da amostra.	1
Moderada dispersão com óbvia formação de pluma.	2
Forte dispersão, com pluma considerável e metade do volume original disperso.	3
Completa dispersão, deixando apenas grãos de areia em uma nuvem de argila.	4

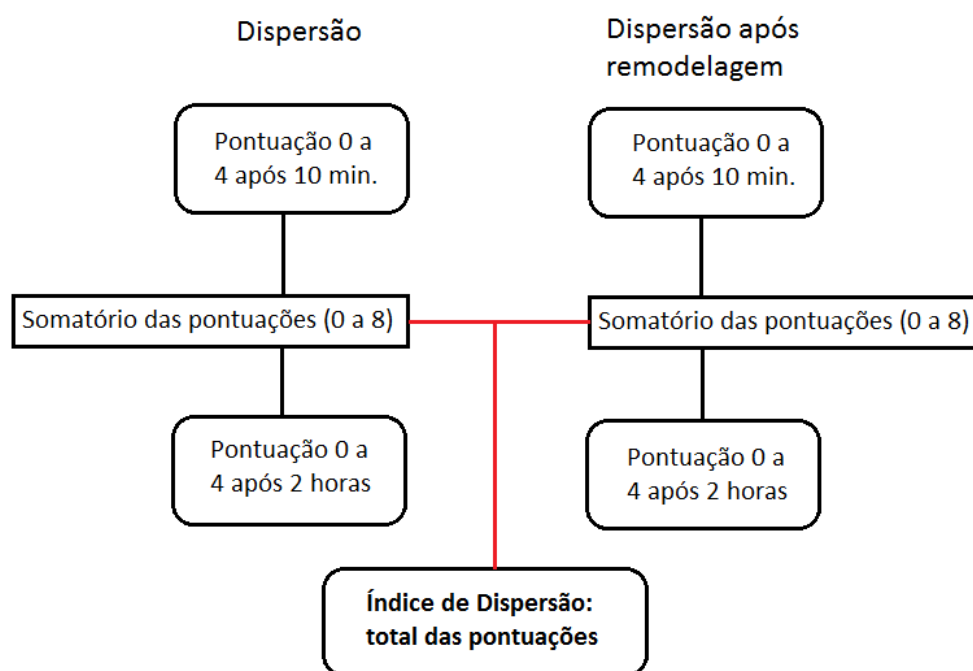
Fonte: modificado de NSW Agriculture (2000).

Se o solo **não dispersar** (NSW AGRICULTURE, 2000), e apenas se não dispersar, repetir o teste após **remodelagem** da amostra, simulando o que ocorre quando da movimentação do solo (retirada de material de empréstimo, preparo de sub-base de estradas, escavação, agricultura, etc.):

- a. Umedecer a amostra com água destilada e remodela-la com uma faca por 1 minuto. Alternativamente utilize a amostra usada para definir a textura;
- b. Submergir os agregados remodelados em água de chuva ou água destilada;
- c. Avaliar e pontuar a remodelagem após 10 minutos e 2 horas utilizando os critérios dispostos no Quadro 10.73;
- d. Fazer o somatório total das pontuações para Dispersão aos 10 minutos e 2 horas e Dispersão após remodelagem aos 10 minutos e 2 horas, encontrando o Índice de Dispersão, como mostra a Figura 10.10;

- e. O Quadro 10.74 indica o manejo adequado para a área de acordo com Índice de Dispersão encontrado.

Figura 10.10. Índice de Dispersão.



Fonte: modificado de NSW Agriculture (2000).

Quadro 10.74. Índice de Dispersão e manejo.

Índice de Dispersão	Manejo
0 e 1	Solo muito estável, resiste à dispersão após preparo.
2 e 3	Solo propenso à compactação.
4 e 5	Solo dispersará se cultivado sob umidade merecendo atenção.
6	Solo dispersa fortemente se cultivado sob umidade.
7 e 8	Utilizar o plantio direto e incorporar matéria orgânica.
9 a 13	Possível necessidade de gesso. Indicado realizar análise laboratorial.
14 a 16	Argilas dispersam fortemente. Ambiente empobrecido para o crescimento das plantas. Necessário a aplicação de gesso.

Fonte: modificado de NSW Agriculture (2000).

McGarry (2004), cita Field; McKenzie; Koppi (1997) como proponentes de teste rápido para determinar a desintegração e dispersão dos agregados de um solo:

- a. Encher com água de chuva, destilada ou de irrigação em uma vasilha transparente, como um pires, copo, vidro, etc.
- b. Mergulhar um agregado seco ao ar dentro da vasilha;
- c. Avaliar o agregado após 10 minutos de imersão ou, se possível, após 2 horas.
- d. Pontuar o grau de dispersão (Quadro 10.75). Pontuação menor indica menor qualidade.

Quadro 10.75. Pontuação para graus de dispersão.

Descrição	Pontuação
Nenhuma dispersão (embora o agregado possa desintegrar).	4
Leve dispersão, reconhecida por leve pluma na água próxima da amostra.	3
Moderada dispersão com óbvia formação de pluma.	2
Forte dispersão, com pluma considerável e metade do volume original do agregado disperso.	1
Completa dispersão, com o agregado original disperso em argila, silte e grãos de areia.	0

Fonte: Field; McKenzie; Koppi (1997) *apud* McGarry (2004).

Ainda McGarry (2004), citando trabalho de McKenzie *et al.* (1992), apresenta outra (Quadro 10.76) pontuação:

Quadro 10.76. Pontuação para desintegração e dispersão.

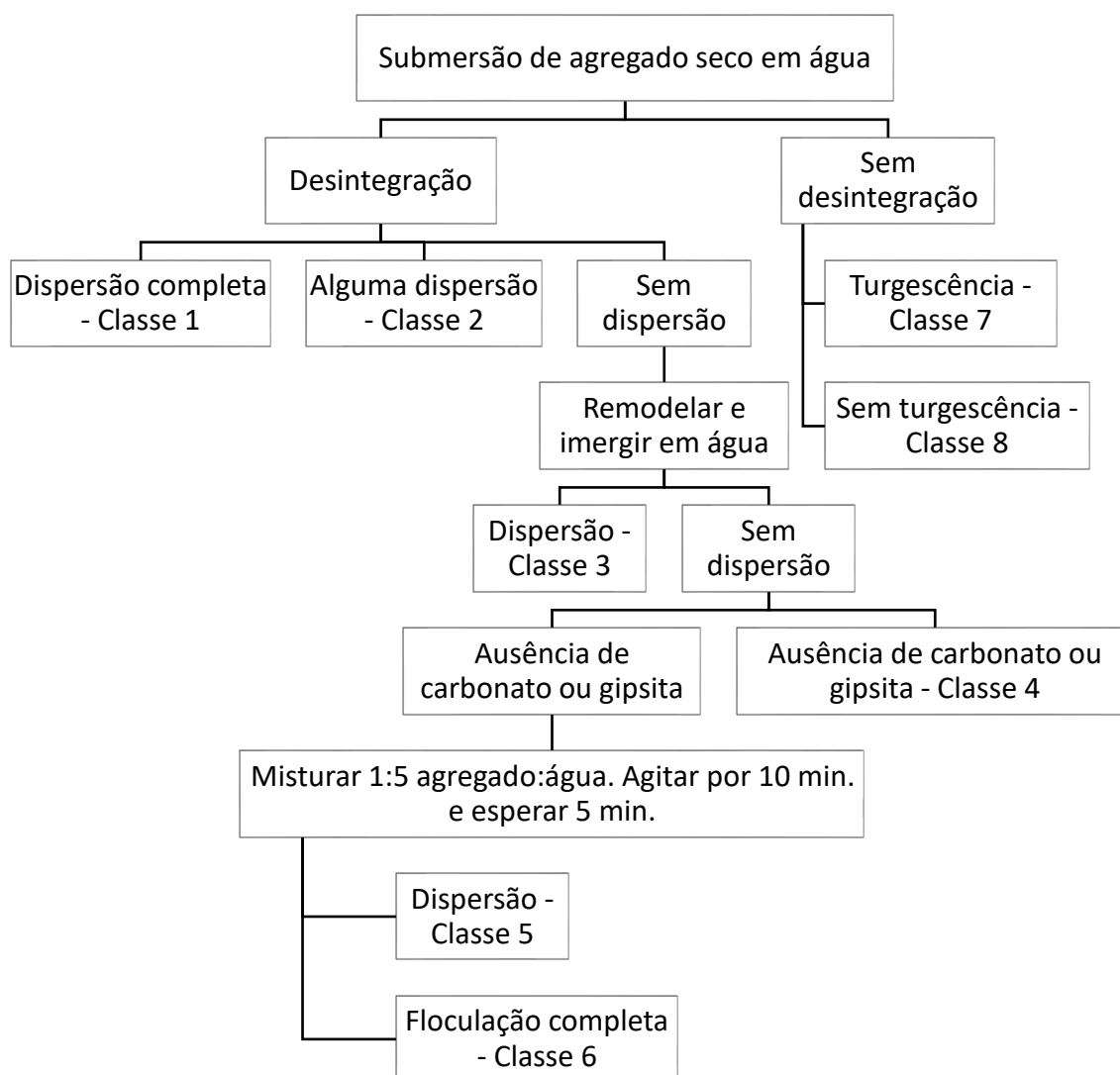
Descrição	Pontuação
O agregado permanece intacto, sem desintegração ou dispersão	4
Agregado desintegra sem dispersão	4
O agregado desintegra e dispersa parcialmente	2
O agregado desintegra e dispersa completamente	0

Fonte: McKenzie *et al.* (1992) *apud* McGarry (2004).

Moody e Cong (2008) seguem proposta semelhante à da NSW Agriculture (2000), referenciando Emerson (1967) como fonte primária, assim como o fazem McGarry (2004) e McKenzie (2013). A Desintegração e Dispersão espontâneas dos agregados do solo em água indica sua baixa estabilidade e pode ser determinada tomando-se duas ou três amostras do tamanho de ervilhas que são mergulhadas por 5 minutos em água

destilada, água de chuva ou água utilizada na irrigação do local. Não havendo dispersão, nova amostra de agregados é trabalhada, adicionando-se água até atingir consistência pegajosa, quando então é moldada em pequena bola e mergulhada na água e avaliada após 5 minutos. Os resultados observados são comparados com o disposto na Figura 10.11, para definição da Classe de Dispersão, com as implicações e manejo descritos no Quadro 10.77.

Figura 10.11. Classes de Dispersão.



Fonte: modificado de Moody e Cong (2008).

Quadro 10.77. Classe de Dispersão, implicações e manejo.

Classe de Dispersão	Implicações	Manejo
1 e 2	Dispersão espontânea devido à alta saturação por sódio ou baixa condutividade elétrica. Tipicamente baixa taxa de carbono orgânico. Formação de crosta, compactação e erosão facilitadas.	Adicionar gesso para deslocar o sódio trocável e manter a condutividade elétrica da solução do solo. Manter o solo coberto com resíduos orgânicos, mulch ou cobertura viva.
3	A dispersão ocorrerá se o solo for cultivado ou trafegado sob umidade de campo. Tipicamente baixa taxa de carbono orgânico. Haverá compactação se cultivado ou trafegado quando mais molhado que o limite de plasticidade e endurecerá quando secar.	Restringir o plantio e tráfego se o solo estiver mais molhado que o limite de plasticidade. Utilizar a cobertura (mulching) para reter umidade evitando o endurecimento do solo.
4 a 8	Agregados estáveis. Excelente condição do solo.	

Fonte: modificado de Moody e Cong (2008).

10.8.1 Como avaliar e pontuar Desintegração e Dispersão

A **Desintegração** e **Dispersão** dos agregados são características com grande influência no manejo do solo, seja para Agroecossistemas, seja para Engenharia e Urbanismo. Considerando os trabalhos de McKenzie (2013), McGarry (2004), Mitchell; Soga (2005), Moody e Cong (2008), NSW Agriculture (2000), McKenzie *et al.* (1992) *apud* McGarry (2004), Field; McKenzie; Koppi (1997) *apud* McGarry (2004).

Procedimento - Avaliação dos atributos Desintegração e Dispersão:

- Separar alguns agregados de 3 a 5 mm de diâmetro (tamanho de uma ervilha) do teste de Estrutura e utilizá-los na umidade que estejam para uma primeira abordagem;
- Estando mais úmidos que secos, recolher amostra em saco plástico para reavaliação após secagem ao ar;
- Em paralelo, utilizar parte da amostra já trabalhada na identificação da Textura (ver Textura) e fazer pequena bola do tamanho de uma ervilha;

- d. Submergir separadamente os agregados e a bola moldada em água de chuva, água destilada, água filtrada ou água de irrigação (sendo possível, realizar o teste com água destilada e a disponível na propriedade);
- e. Manter o frasco protegido de vibração ou vento;
- f. Após **10 minutos**, avaliar e pontuar a **Desintegração** utilizando os critérios dispostos no Quadro 10.78 e a **Dispersão** utilizando os critérios do Quadro 10.79.

Quadro 10.78. Descrição, características e pontuação de Desintegração para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Teste de Desintegração	Descrição e características	PA	PEU
Grãos simples	O agregado colapsa em grãos simples (grãos de areia). Solo propenso a formação de crosta e endurecimento (arenoso e franco). Indicação: reduzir a movimentação do solo, incorporar matéria orgânica e irrigar mais frequentemente. Em engenharia, avaliar a possibilidade de colapsamento e deslizamentos.	1	1
Peças pequenas	O agregado colapsa em peças pequenas (<2 mm de diâmetro) e arredondadas, formando um cone. A superfície pode formar uma crosta. Só representa problema se o solo for arenoso, franco e alguns franco-argilosos. Indicação: reduzir a movimentação do solo, incorporar matéria orgânica, calcário ou gesso. Em engenharia, avaliar a possibilidade de colapsamento e deslizamentos.	2	2
Peças angulares	O agregado colapsa em peças angulares. Típico de autorrecobrimento por argila. Forma camada superficial solta e granular, com talvez encrostamento fino e frágil. Se o solo não dispersar, nenhuma ação é necessária.	3	3
Colapso lateral	O agregado colapsa nas bordas mas permanece intacto. O solo é estável ao umedecimento. Nenhuma ação é necessária.	4	4
Não desintegra	O agregado permanece intacto.	5	5

Fonte: Autor.

Quadro 10.79. Descrição, características e pontuação de Dispersão para Agroecossistemas e Engenharia e Urbanismo.

Teste de Dispersão	Descrição e características	PA	PEU
Completa	Completa dispersão, deixando apenas grãos de areia em uma nuvem (pluma) de argila. Formação de crosta, compactação e erosão facilitadas. Adicionar calcário ou gesso para deslocar o sódio trocável. Manter o solo coberto com resíduos orgânicos, mulch ou cobertura viva aumentando a quantidade de matéria orgânica no solo. Em engenharia, avaliar a possibilidade de colapsamento e deslizamentos.	1	1
Forte	Forte dispersão, com pluma considerável e metade do volume original disperso. Solo dispersa fortemente se cultivado sob umidade. Baixa taxa de carbono orgânico. Formação de crosta, compactação e erosão facilitadas. Manter o solo coberto com resíduos orgânicos, mulch ou cobertura viva. Em engenharia, avaliar a possibilidade de colapsamento e deslizamentos.	2	2
Moderada	Moderada dispersão com formação de pluma. Solo dispersará se cultivado sob umidade merecendo atenção. Restringir a movimentação do solo (retirada de material de empréstimo, sub-base de estradas, escavação, agricultura, etc.) e tráfego se o mesmo estiver mais molhado que o limite de plasticidade. Utilizar o plantio direto e incorporar matéria orgânica.	3	3
Leve	Leve dispersão, reconhecida por leve pluma ao redor da amostra. Solo propenso à compactação.	4	4
Sem dispersão	Nenhuma dispersão. Agregados estáveis. Excelente condição do solo.	5	5

Fonte: Autor.

11 Integração

Realizado o levantamento de campo, os dados são transferidos para uma planilha eletrônica (Figura 11.1) em que atributos, subtotais e totais das pontuações de cada Operador ou Pesquisador são calculados. Os pesos adotados, assim como o máximo possível desses pesos aparece ao lado da coluna dos Atributos.

Na mesma planilha eletrônica são calculadas estatísticas básicas (Figura 11.2):

- a. Média das pontuações individuais.
- b. Desvio Padrão (DP) das pontuações.
- c. Coeficiente de Variância (CV) das pontuações. Na planilha eletrônica, as células do Coeficiente de Variância (CV) serão preenchidas automaticamente com verde se houver baixa dispersão ($\leq 15\%$); amarelo para média dispersão (entre 15 e 30%); e vermelho para alta dispersão dos dados (maior que 30%) (Figura 11.3), indicando possível presença de *outliers*, quando o Operador ou Pesquisador tem a oportunidade de rever os dados e alterá-los ou não.
- d. Média Ponderada (MP) das pontuações, quando são considerados os pesos atribuídos a cada atributo ($MP = Média \times Peso$).
- e. Pontuação Máxima (PM) de cada atributo: calculada pela multiplicação do Peso (P) do atributo por 5 (a pontuação varia de 1 a 5) ($PM = P \times 5$).
- f. Média Decimal (MD), obtida pela divisão das médias ponderadas pelos pesos máximos de cada atributo ($MD = MP \times PM$).

Figura 11.1. Recorte de planilha eletrônica para inserção dos dados de campo.

Altitude (m)		917												
Uso		Mina acima. Divisa 3 terrenos. 05/11/17												
Profundidade		Peso	Max.	0,20m			0,20 a 0,40			0,40 a 0,60				
PAISAGEM				Obs.	PA	PEU	Obs.	PA	PEU	Obs.	PA	PEU		
Clima e Zonas Bioclimáticas		3	15		3	2								
Subtotal			15		3	2								
RELEVO														
Forma de relevo		2	10	DR	3	3								
Declividade		3	15	F	3	3								
Orientação da vertente		2	10		1	2								
Pedregosidade e Rochosidade		1	5		5	5								
Cobertura do solo		3	15		5	1								
Erosão		2	10		4	4								
Movimento de massa		2	10		2	2								
Subtotal			75		23	20								
BIOTA														
Flora		2	10		3	3								
Fauna		2	10		2	4								
Organismos do solo		3	15		3	3								
Matéria orgânica		3	15		3	3								
Odor		1	5		4	4								
Subtotal			50		15	17		0	0		0	0		
SOLO														
Infiltração		3	15	M	5	4								
Compactação		3	15		3	3								
Estrutura		3	15		4	2								
Porosidade		3	15		4	4								
Cor e tonalidade		2	10	10YR 4/2	4	3								
		-	-		-	-								

Fonte: Autor.

Figura 11.2. Recorte de planilha semafórica com estatísticas básicas.

Pesquisador/Operador	Evandro Sanguinetto									
Longitude E (UTM)	443800									
Latitude S (UTM)	7517650									
Altitude (m)	917									
Uso	Mina acima. Divisa 3 terrenos. 05/11/17									
Profundidade	Média		DP		CV		Pond.		Decimal	
PAISAGEM	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU
Clima e Zonas Bioclimáticas	2,4	2,6	0,55	0,55	0,23	0,21	7	8	0,48	0,52
Subtotal	2	3					7	8	0,48	0,52
RELEVO										
Forma de relevo	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	6	6	0,60	0,60
Declividade	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	9	6	0,60	0,40
Orientação da vertente	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00	2	2	0,20	0,20
Pedregosidade e Rochosidade	5	5	0,00	0,00	0,00	0,00	5	5	1,00	1,00
Erosão	4	4	0,84	0,84	0,22	0,22	8	8	0,76	0,76
Movimento de massa	3,25	1,75	1,50	1,50	0,46	0,86	7	4	0,65	0,35
Subtotal	19	17					36	46	0,60	0,76
BIOTA										
Flora	3	3	0,55	0,55	0,21	0,16	5	7	0,52	0,68
Fauna	2	4	0,00	0,00	0,00	0,00	4	8	0,40	0,80
Cobertura do solo	5	1	0,00	0,00	0,00	0,00	15	3	1,00	0,20
Matéria orgânica	3	3	0,45	0,45	0,14	0,16	10	8	0,64	0,56
Odor	4	4	0,45	0,45	0,12	0,11	4	4	0,76	0,84
Organismos do solo	4	2	0,71	0,71	0,18	0,35	12	6	0,80	0,40
Subtotal	21	17					50	36	0,99	0,73
SOLO										
Infiltração	5	4	0,00	0,00	0,00	0,00	15	12	1,00	0,80
Compactação	3	3	0,55	0,71	0,16	0,24	10	9	0,68	0,60

Fonte: Autor.

Figura 11.3. Dispersão do Coeficiente de Variância (CV).

Menor ou igual a 15% → baixa dispersão: dados homogêneos
Entre 15 e 30% → média dispersão
Maior que 30% → alta dispersão: dados heterogêneos

Fonte: Autor.

Na última coluna da planilha eletrônica, as Médias Decimais (MD) foram agrupadas em classes de modo a se obter totalizações numérico-semafóricas (qualiquantitativas), onde:

- g. A Amplitude de Classe (AC), foi obtida pela divisão da Amplitude Total (AT = máx. – min.) pela quantidade de classes k que se deseja ($AC = AT/k$ ou $(1 - 0,2)/5 = 0,16$).
- h. As Classes (C) assumem valores intermediários entre 0,2 e 1, em função da Amplitude de Classe calculada, indo de muito restritiva a sem restrição (Figura 11.4). Na planilha eletrônica, as células das Médias Decimais (MD) são preenchidas automaticamente com (i) vermelho (Classe Muito restritiva, variando de 0,2 a 0,36), laranja (Classe Restritiva, variando de 0,36 a 0,52), amarelo (Classe Moderada, variando de 0,52 a 0,68), verde claro (Classe Pouco restritiva, variando de 0,68 a 0,84) e verde (Classe Sem restrição, variando de 0,84 a 1,0).

Figura 11.4. Classes semafóricas de restrição.

Muito restritiva	Entre 0,2 a 0,36
Restritiva	Entre 0,36 a 0,52
Moderada	Entre 0,52 a 0,68
Pouco restritiva	Entre 0,68 a 0,84
Sem restrição	Entre 0,84 a 1,00

Fonte: Autor.

Com informações numéricas e semafóricas (Figura 11.5), ficam em evidência (vermelho e laranja) aqueles atributos mais restritivos e que pedem maior atenção por representarem maior restrição ao uso, quer para Agroecossistemas, quer para

Engenharias e Urbanismo. Essas particularizações tanto auxiliam na tomada de decisão por parte do gestor, quanto na diminuição de custos na utilização de recursos (físicos, humanos, maquinário, insumos, etc.) sempre escassos, potencialmente se transformando em um forte aliado no *design* e planejamento de empreendimentos sustentáveis e biofílicos ao indicarem possibilidades de manejo.

Figura 11.5. Planilha numérico-semafórica comparando pontos amostrais em uma mesma bacia hidrográfica.

Latitude (UTM)	445298				445260				443978				443836					
Longitude (UTM)	7520204				7520223				7517731				7517700					
Altitude (m)	863				859				910 m				947					
Uso	Pomar 2				Brachiaria 10a.				Pasto. Divisor de águas.				Mina acima. 17/09/17					
Profundidade	0,20m				0,20m				0,20m				0,20m					
	Individual		Grupo		Individual		Grupo		Individual		Grupo		Individual		Grupo			
	Decimal		Decimal		Decimal		Decimal		Decimal		Decimal		Decimal		Decimal			
	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU		
PAISAGEM																		
Clima e Zonas Bioclimáticas	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,48	0,52	1,00	1,00
Subtotal	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,48	0,52	1,00	1,00
RELEVO																		
Forma de relevo	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,80	0,80	0,80	0,80
Declividade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,40	0,40	0,40
Orientação da vertente	0,70	0,70	0,65	0,65	0,50	0,50	0,54	0,54	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,48	0,48	0,52	0,52
Pedregosidade e Rochosidade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,90
Erosão	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,90	1,00	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,60	0,60	0,65	0,65
Movimento de massa	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,30	0,30	0,32	0,32	0,32	0,32	0,39	0,39	0,40	0,40
Subtotal	0,93	0,71	0,92	0,72	0,93	0,71	0,91	0,69	0,76	0,71	0,71	0,71	0,71	0,67	0,56	0,65	0,59	
BIOTA																		
Flora	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fauna	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	1,00	0,45	0,75	0,45	0,80	0,40	0,80	0,70	0,50
Cobertura do solo	1,00	0,20	0,97	0,23	1,00	0,20	1,00	0,20	0,80	0,40	0,70	0,50	0,70	0,50	0,80	0,40	0,70	0,50
Matéria orgânica	0,40	0,80	0,50	0,70	0,40	0,80	0,40	0,80	0,80	0,40	0,55	0,65	0,55	0,65	1,00	0,20	0,65	0,55
Odor	0,80	0,80	0,83	0,77	0,60	1,00	0,77	0,83	0,80	0,80	0,75	0,85	0,75	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80
Organismos do solo	0,80	0,40	0,70	0,50	0,40	0,80	0,53	0,67	0,80	0,40	0,50	0,70	0,50	0,70	1,00	0,20	0,90	0,30
Subtotal	0,63	0,63	0,63	0,62	0,43	0,83	0,51	0,75	0,75	0,65	0,51	0,69	0,51	0,69	0,76	0,36	0,81	0,54
SOLO																		
Permeabilidade	0,80	0,60	0,80	0,60	1,00	0,80	1,00	0,80	0,80	0,60	0,80	0,60	0,80	0,60	0,40	0,80	1,00	0,80
Compactação	0,80	0,40	0,80	0,40	0,80	0,40	0,83	0,37	0,80	0,40	0,75	0,45	0,75	0,45	0,40	0,80	0,40	0,80
Estrutura	1,00	0,20	0,90	0,30	0,60	0,80	0,60	0,80	0,80	0,40	0,80	0,40	0,80	0,40	0,40	0,60	0,85	0,30
Porosidade	0,80	0,80	0,83	0,80	0,60	0,40	0,53	0,57	0,60	0,40	0,75	0,70	0,75	0,70	1,00	1,00	0,60	0,70
Cor e tonalidade	0,80	0,60	0,83	0,53	0,80	0,60	0,80	0,60	0,80	0,60	0,80	0,60	0,80	0,60	0,80	0,60	0,80	0,60
Mosqueado	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Textura	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,80	0,80	0,80	0,80
Subtotal	0,82	0,58	0,81	0,59	0,76	0,64	0,75	0,66	0,76	0,55	0,77	0,60	0,77	0,60	0,76	0,80	0,77	0,71
CONSISTÊNCIA																		

Fonte: Autor.

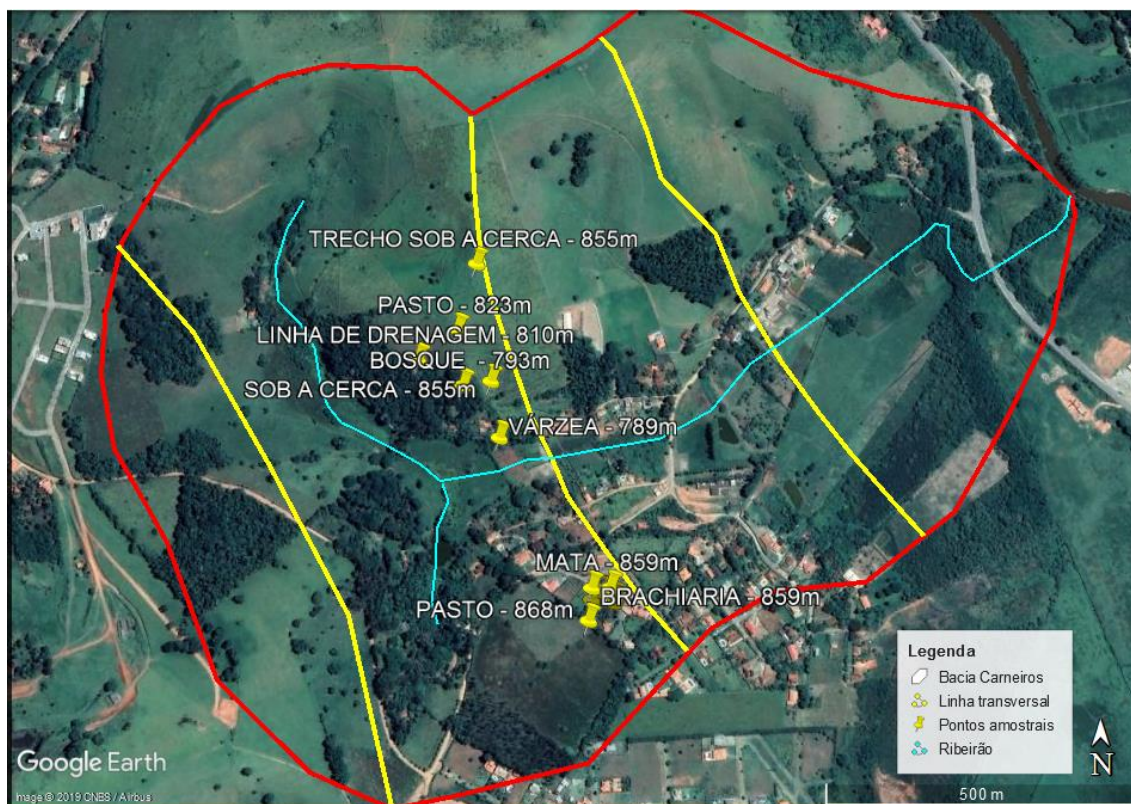
Legenda: PA – Pontuação para Agroecossistemas; PEU – Pontuação para Engenharias e Urbanismo.

12 Diagnóstico ambiental – resultados experimentais

O objetivo do trabalho foi desenvolver um conjunto de procedimentos metodológicos para o diagnóstico ambiental e, para isso, foram avaliados diversos pontos amostrais em diferentes locais. Os resultados aqui apresentados são parciais, estão resumidos a suas linhas gerais, não se esgotam com o exposto e apenas exemplificam o potencial de utilização de SENSIA. A avaliação de uma área mais extensa, uma bacia ou mesmo uma microbacia hidrográfica (cursos d'água até 3ª ordem) é trabalho para uma nova etapa de investigações.

Na Bacia do Carneiros (Figura 12.1), durante a construção de SENSIA (ver Fluxograma SENSIA), as planilhas numérico-semafóricas resultantes dos levantamentos, captam as diferenças de relevo, biota e solo de um lado e outro do ribeirão, assim como evidenciam diferentes manejos em uma mesma área, ainda que pequena.

Figura 12.1. Pontos amostrais avaliados na Bacia do Carneiros.



Fonte: modificado de Google Earth Pro (2018).

12.1 Diagnóstico Gaia Terranova

Nesse ponto do trabalho, Clima, Orientação da Vertente, Movimento de Massa, Flora e Fauna não eram ainda atributos considerados nos levantamentos e por isso estão zerados.

Os resultados dos levantamentos em Gaia Terranova (SANGUINETTO, 2010, 2012) foram feitos em áreas internas (Figura 12.2), manejadas de modos diferentes ao longo dos últimos 10 anos e comparadas com as avaliações em um ponto amostral em terreno vizinho (Fonte: modificado de Google Earth Pro (2018)).

Figura 12.3), há décadas sob manejo de pastagem já em estado degradado e sem manutenção.

Figura 12.2. Pontos amostrais em Gaia Terranova e área de pasto a Sudoeste.



Fonte: modificado de Google Earth Pro (2018).

Figura 12.3. Resultados de SENSIA para diferentes manejos em Gaia Terranova.

	GAIA TERRANOVA							
	445291		445295		445261		445283	
Latitude (UTM)	445291		445295		445261		445283	
Longitude (UTM)	7520222		7520201		7520203		7520212	
Altitude (m)	859		863		863		859	
(Ref. Alt. 866m)	Mata (ref.)		Pomar		Horta casinha		Cava biopiscina	
	Decimal		Decimal		Decimal		Decimal	
Grupos	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU
CLIMA								
Clima e Zonas Bioclimáticas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subtotal	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!
RELEVO								
Forma de relevo	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,80	0,80
Declividade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
Orientação da vertente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pedregosidade e Rochosidade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Erosão	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Movimento de massa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subtotal	0,95	0,95	0,90	0,90	0,90	0,90	0,88	0,88
BIOTA								
Flora	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fauna	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cobertura do solo	1,00	0,20	1,00	0,20	0,40	0,80	0,20	1,00
Matéria orgânica	0,80	0,40	0,60	0,60	0,40	0,80	0,20	1,00
Odor	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	1,00	0,60	1,00
Organismos do solo	1,00	0,20	0,80	0,40	0,40	0,80	0,20	1,00
Subtotal	0,92	0,32	0,80	0,44	0,42	0,82	0,24	1,00
SOLO								
Permeabilidade	0,60	0,40	0,80	0,60	0,80	0,60	0,80	0,60
Compactação	0,80	0,40	0,80	0,40	0,80	0,40	1,00	0,20
Estrutura	1,00	0,20	1,00	0,20	0,80	0,40	0,60	0,80
Porosidade	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80
Cor e Tonalidade	0,80	0,60	0,80	0,60	0,80	0,60	0,60	1,00
Mosqueado	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Textura	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Subtotal	0,82	0,58	0,85	0,61	0,79	0,61	0,77	0,68
CONSISTÊNCIA								
Consistência (seco)	0,80	1,00	0,80	1,00	0,80	1,00	1,00	0,80
Consistência (úmido PA)	1,00		1,00		1,00		1,00	
Consistência (úmido PEU)		0,60		0,60		0,60		0,60
Consistência (plasticidade)	1,00	0,80	0,80	1,00	0,80	1,00	0,80	1,00
Consistência (pegajosidade)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Desintegração	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,40	0,40
Dispersão	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Subtotal	0,83	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,74	0,69
Total	0,86	0,64	0,83	0,67	0,73	0,74	0,67	0,78

Fonte: Autor.

Legenda: PA – Pontuação para Agroecossistemas; PEU – Pontuação para Engenharias e Urbanismo.

Os diferentes pontos amostrais refletem áreas trabalhadas de maneiras diferentes:

- a. Mata – manejo mais adensado, com pequena mata implantada com espécies nativas;
- b. Pomar – espaçamento maior, com cítricos (laranjas e tangerinas), figo e bosque de ipês amarelos;
- c. Horta – espaço mantido mais aberto em que se conduziu pequena horta;
- d. Cava biopiscina – aprofundamento médio do solo de 1,20 m, desnudando o Horizonte A e parte do Horizonte B.

Com área total de 2.400 m², o Relevo é virtualmente o mesmo e variou pouco nos quatro pontos avaliados. Localmente, o Pomar e a Horta foram classificados como Planares Retilíneos, com moderada limitação, sem que isso interferisse no subtotal da classificação do Relevo.

Em Biota, a Cobertura do solo, Matéria orgânica e Organismos do solo foram classificados como restritivos na Horta, evidenciando um manejo descuidado e em sintonia com o histórico de abandono da área nos últimos anos. Um subtotal “Muito restritivo” em Agroecossistema para a Cava da biopiscina, reflete com exatidão a inexistência da Cobertura do solo, Matéria orgânica e Organismos do solo, devido a retirada de toda camada superficial e parte do Horizonte B pela escavação. Os resultados mostram que a Biota foi comprometida pelo manejo da Horta e Cava da biopiscina, indicando que, no estado atual, seu uso preferencial se daria no âmbito das Engenharias e Urbanismo e não dos Agroecossistemas.

O Solo é o mesmo em toda área, de modo que as poucas diferenças observadas nas pontuações estão associadas ao manejo das áreas. Na Mata, tanto Estrutura como Porosidade não apresentam restrições e, no entanto, a Permeabilidade foi “Moderada”, estando abaixo dos outros pontos amostrais, refletindo um maior tempo de Infiltração, que se pode explicar em função da grande quantidade de raízes presentes no lugar. Em Consistência, a Plasticidade e Desintegração tiveram melhores pontuações, infere-se, devido à maior presença de Matéria orgânica, que contribui para maior consistência do solo, evitando sua desintegração e plasticidade moderada em condições de encharcamento. Já na Cava da biopiscina, chama a atenção a inexistência de

Compactação ou camada adensada, refletindo novamente a profundidade em que se fizeram os testes.

No Total, a planilha aponta a Mata como “Sem restrição” para os Agroecossistemas, embora mantenha um elevado potencial, com “Moderada restrição”, para as Engenharias e Urbanismo. Na outra ponta, a Cava da biopiscina obteve classificação “Moderada” para os Agroecossistemas e “Pouco restritiva” em relação às Engenharias e Urbanismo.

12.2 Prognóstico geral quanto ao manejo e à ocupação da paisagem

Para o tomador de decisão, por exemplo uma família que queira construir e desenvolver um uso múltiplo para o terreno, a leitura da planilha poderia indicar algumas possibilidades:

1. Manter a Mata como está.
2. Com baixíssimo investimento, aumentar a quantidade de matéria orgânica no Pomar, acrescentando adubo orgânico oriundo de compostagem feita no próprio local e/ou esterco de gado adquirido nas vizinhanças. Só essa ação já traria reflexos positivos para os Organismos do solo, melhorando a Biota como um todo. O Solo se beneficiaria com o aumento dos Organismos do solo, acelerando a ciclagem e disponibilidade de nutrientes, a abertura de canais, o aumento da porosidade, a retenção de água, etc., refletindo em maior produtividade das frutíferas ali instaladas. Também a Consistência do solo seria melhorada, ao modificar a Plasticidade e reduzir a Desintegração.
3. A Horta está em uma situação intermediária, com pouca restrição tanto para os Agroecossistemas quanto para as Engenharias e Urbanismo, ampliando as possibilidades do lugar.
4. A Cava da piscina, por sua vez, apresenta uma classificação “Muito restritiva” para a Biota, sinalizando fortemente seu uso dentro das Engenharias e Urbanismo. A pontuação e classificação geral ou total para esse ponto amostral, mantém a “Pouca restrição” para as Engenharias e Urbanismo e “Moderada” restrição para os Agroecossistemas e, considerando apenas as pontuações e não a cava em si, este seria o lugar ideal para se construir a casa.

Ao se acrescentar resultados do levantamento realizado em ponto amostral em área de pastagem degradada a Sudoeste de Gaia Terranova (Figura 12.4), percebe-se que SENSIA evidencia diferenças nas pontuações que foram associadas ao manejo da área.

Figura 12.4. Resultados de Gaia Terranova e ponto amostral em pastagem degradada.

	GAIA TERRANOVA								SUDOESTE	
Latitude (UTM)	445291		445295		445261		445283		445255	
Longitude (UTM)	7520222		7520201		7520203		7520212		7520169	
Altitude (m)	859		863		863		859		868	
(Ref. Alt. 866m)	Mata (ref.)		Pomar		Horta casinha		Cava biopiscina		Pasto	
Grupos	Decimal		Decimal		Decimal		Decimal		Decimal	
	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU
CLIMA										
Clima e Zonas Bioclimáticas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subtotal	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!
RELEVO										
Forma de relevo	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60	0,80	0,80	0,60	0,60
Declividade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	1,00	1,00
Orientação da vertente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pedregosidade e Rochosidade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Erosão	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,60
Movimento de massa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subtotal	0,95	0,95	0,90	0,90	0,90	0,90	0,88	0,88	0,80	0,80
BIOTA										
Flora	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fauna	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cobertura do solo	1,00	0,20	1,00	0,20	0,40	0,80	0,20	1,00	0,80	0,40
Matéria orgânica	0,80	0,40	0,60	0,60	0,40	0,80	0,20	1,00	0,40	0,80
Odor	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	1,00	0,60	1,00	0,80	0,80
Organismos do solo	1,00	0,20	0,80	0,40	0,40	0,80	0,20	1,00	0,40	0,80
Subtotal	0,92	0,32	0,80	0,44	0,42	0,82	0,24	1,00	0,56	0,68
SOLO										
Permeabilidade	0,60	0,40	0,80	0,60	0,80	0,60	0,80	0,60	1,00	0,80
Compactação	0,80	0,40	0,80	0,40	0,80	0,40	1,00	0,20	0,40	0,80
Estrutura	1,00	0,20	1,00	0,20	0,80	0,40	0,60	0,80	0,80	0,40
Porosidade	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,20	0,20
Cor e Tonalidade	0,80	0,60	0,80	0,60	0,80	0,60	0,60	1,00	0,80	0,60
Mosqueado	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Textura	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Subtotal	0,82	0,58	0,85	0,61	0,79	0,61	0,77	0,68	0,66	0,61
CONSISTÊNCIA										
Consistência (seco)	0,80	1,00	0,80	1,00	0,80	1,00	1,00	0,80	0,80	1,00
Consistência (úmido PA)	1,00		1,00		1,00		1,00		1,00	
Consistência (úmido PEU)		0,60		0,60		0,60		0,60		1,00
Consistência (plasticidade)	1,00	0,80	0,80	1,00	0,80	1,00	0,80	1,00	1,00	0,80
Consistência (pegajosidade)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Desintegração	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,40	0,40	0,80	0,80
Dispersão	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Subtotal	0,83	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,74	0,69	0,80	0,80
Total	0,86	0,64	0,83	0,67	0,73	0,74	0,67	0,78	0,70	0,71

Fonte: Autor.

Legenda: PA – Pontuação para Agroecossistemas; PEU – Pontuação para Engenharias e Urbanismo.

12.3 Diagnóstico comparativo com o ponto amostral Sudoeste

A pontuação Total e a classe “Pouco restritiva” do ponto amostral Sudoeste, coloca-o próximo e entre os resultados da Horta e Cava da biopiscina, indicando uso preferencial para as Engenharias e Urbanismo, ao mesmo tempo que o afasta do Pomar e, principalmente, da Mata, por uma margem de pontuação que aparenta ser representativa.

No ponto amostral Sudoeste, o subtotal Relevo está uma classe abaixo dos pontos amostrais de Gaia Terranova em função de “Moderada restrição” do atributo Erosão, que exige atenção de modo a não se agravar.

Em Biota, embora o solo esteja relativamente com boa cobertura (a visita evidenciou cobertura por gramíneas baixas e manchas de solo exposto), a quantidade de Matéria orgânica foi classificada como “Restritiva”, o mesmo ocorrendo com Organismos do solo.

A classificação “Moderada” para Solo, reflete a baixa pontuação em Compactação, classificada como “Restritiva” e, principalmente a Porosidade, classificada como “Muito restritiva”. A aparente dissonância entre esses dois atributos e a Permeabilidade, classificada como “Sem restrição”, pode indicar que houve percolação lateral da água infiltrante durante o teste. Dito de outra forma, devido à presença de camada adensada ou compacta na subsuperfície, a água percorreu o solo mais horizontal que verticalmente. Se isso se confirma, em períodos de chuvas mais intensas, a água tenderá a rapidamente ocupar os vazios das camadas mais superficiais, resultando em encharcamento e formação de lâmina superficial, escorrimento e erosão laminar, explicando a classificação de “Moderada” Erosão.

Sendo o mesmo tipo de solo em todos os pontos amostrais, espera-se que a Consistência do solo nesse ponto amostral esteja dentro da média, diferenciando-se apenas da Mata, infere-se, em função de esta apresentar maior quantidade de Matéria orgânica, que influencia bastante nesse atributo.

12.4 Prognóstico geral quanto ao manejo e à ocupação da paisagem

Algumas possíveis soluções de manejo para melhoria das condições gerais ao redor do ponto amostral Sudoeste, poderia incorporar:

- a. Instalação de curvas de nível;
- b. Plantio de linhas de vegetação arbórea ou arbustiva, redirecionando a propriedade para uma solução de ILPF – Integração Lavoura, Pecuária, Floresta (EMBRAPA, 2019);
- c. Utilização de leguminosas arbustivas (p.ex. feijão guandu) e/ou arbóreas (p.ex. leucena) para fixação de nitrogênio, rompimento de camada subsuperficial adensada ou compactada, produção de biomassa, sombreamento para aumentar o conforto animal, etc.;
- d. Ampliação da cobertura do solo e quantidade de matéria orgânica disponível no sistema, adotando estratégias como cobertura verde, plantio direto e manutenção da palhada do capim (eliminar a prática de queimadas anuais).

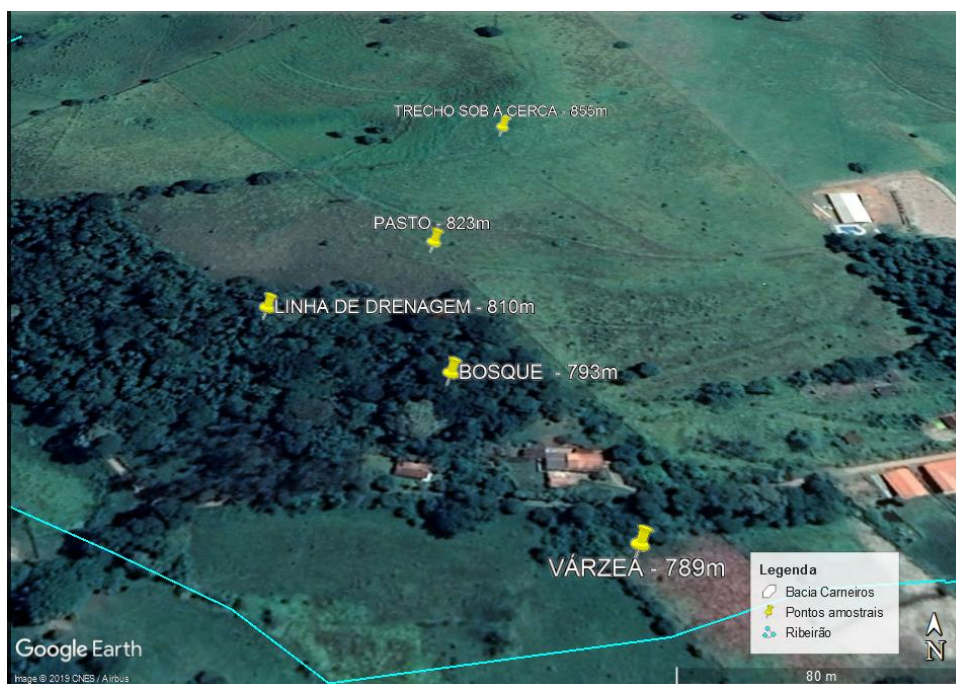
12.5 Diagnóstico de pontos amostrais a Noroeste de Gaia Terranova

Os pontos amostrais Noroeste estão localizados na Bacia do Carneiros, do outro lado do ribeirão, a Noroeste de Gaia Terranova (Figura 12.5).

No plano geral, a classificação dos pontos amostrais (Figura 12.6) é “Pouco restritiva” para os Agroecossistemas, variando para “Moderada” para Engenharias e Urbanismo em alguns pontos. As pontuações estão próximas entre si, sendo os pontos amostrais Bosque e Pasto “Pouco restritivos”, tanto para Agroecossistemas, quanto Engenharias e Urbanismo. Os pontos: Sob cerca, Linha de drenagem e Várzea indicam utilização por Agroecossistemas, com destaque para Várzea, cuja pontuação nesse item é a maior do conjunto amostral.

Em termos de Relevo, o ponto Sob cerca foi classificado “Sem restrição” para uso com Agroecossistemas e Engenharias e Urbanismo, seguido pelos pontos Bosque e Pasto, com uso tendendo para as Engenharias e Urbanismo, sendo Erosão o atributo que os diferencia. O ponto Linha de drenagem apresenta-se como “Muito restritivo” para Forma de relevo e “Moderado” para Declividade, ambos sendo decisivos para a classificação “Moderada” desse conjunto avaliativo, o menor dentre os pontos avaliados.

Figura 12.5. Pontos amostrais a Noroeste de Gaia Terranova.



Fonte: modificado de Google Earth Pro (2018).

Figura 12.6. Resultados das avaliações dos pontos amostrais a Noroeste de Gaia Terranova.

NOROESTE										
Latidade (UTM)	445067		445047		445973		445108		445037	
Longitude (UTM)	7520753		7520550		7520592		7520464		7520642	
Altitude (m)	855		793		810		789		823	
(Ref. Alt. 866m)	Sob cerca		Bosque		Linha drenagem		Várzea		Pasto	
Grupos	Decimal		Decimal		Decimal		Decimal		Decimal	
	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU
CLIMA										
Clima e Zonas Bioclimáticas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subtotal	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!
RELEVO										
Forma de relevo	0,60	0,60	0,60	0,60	0,20	0,20	0,60	0,60	0,60	0,60
Declividade	1,00	1,00	0,80	1,00	0,60	0,60	0,80	0,20	0,80	1,00
Orientação da vertente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pedregosidade e Rochosidade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Erosão	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00
Movimento de massa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subtotal	0,85	0,85	0,78	0,85	0,60	0,60	0,83	0,60	0,83	0,90
BIOTA										
Flora	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fauna	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cobertura do solo	0,80	0,40	0,40	0,80	0,80	0,40	1,00	0,20	1,00	0,20
Matéria orgânica	0,40	0,80	0,40	0,80	0,40	0,80	1,00	0,20	0,40	0,80
Odor	0,60	1,00	0,40	0,40	0,40	0,40	0,80	0,80	0,60	1,20
Organismos do solo	0,40	0,80	0,40	0,80	0,40	0,80	0,40	0,80	0,40	0,80
Subtotal	0,54	0,70	0,40	0,76	0,52	0,64	0,80	0,44	0,60	0,66
SOLO										
Permeabilidade	0,60	0,40	1,00	0,80	0,80	0,60	0,80	0,60	0,80	0,60
Compactação	0,60	0,60	0,40	0,80	0,80	0,40	0,80	0,40	0,80	0,40
Estrutura	0,80	0,40	0,80	0,40	0,80	0,40	0,60	0,60	0,60	0,60
Porosidade	0,80	0,80	0,60	0,40	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Cor e Tonalidade	0,80	0,60	0,80	0,60	0,80	0,60	1,00	0,40	0,80	0,60
Mosqueado	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Textura	0,20	0,20	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Subtotal	0,66	0,55	0,73	0,64	0,79	0,61	0,78	0,62	0,76	0,64
CONSISTÊNCIA										
Consistência (seco)	0,40	0,40	0,80	1,00	1,00	0,80	0,80	1,00	0,80	1,00
Consistência (úmido PA)	1,00		0,80		1,00		0,80		1,00	
Consistência (úmido PEU)		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00
Consistência (plasticidade)	1,00	0,80	1,00	0,80	1,00	0,80	1,00	0,80	1,00	0,80
Consistência (pegajosidade)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Desintegração	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00
Dispersão	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Subtotal	0,77	0,60	0,80	0,69	0,80	0,60	0,80	0,69	0,83	0,69
Total	0,70	0,64	0,69	0,71	0,71	0,61	0,80	0,60	0,76	0,70

Fonte: Autor.

Legenda: PA – Pontuação para Agroecossistemas; PEU – Pontuação para Engenharias e Urbanismo.

A Biota apresenta muita variação entre os pontos amostrais, destacando-se o Bosque, onde Cobertura do solo, Matéria orgânica, Odor e Organismos do solo foram classificados como “Restritivos” para os Agroecossistemas, indicando uso preferencial para Engenharias e Urbanismo. Embora à distância o espaço apresente boa cobertura

vegetal arbórea, em seu interior é possível perceber a degradação em função da ocupação por bovinos. A Várzea apresenta a maior pontuação para Agroecossistemas, sinalizando, assim como em Relevo, seu uso prioritário para esse fim. Organismos do solo obteve baixa pontuação, talvez em função do uso mais intensivo (pastagem, agricultura de subsistência e queima periódica).

Nos pontos amostrais Bosque, Linha de drenagem, Várzea e Pasto, a classificação do Solo é a mesma, com pontuações muito próximas entre si, indicando um mesmo tipo de solo. Destaque para o ponto amostral Sob cerca, que apresentou níveis moderados de Permeabilidade e Compactação e “Muito restritivo” quanto à Textura. Posicionado em um pequeno platô a meia encosta, o lugar é muito usado pelo gado para descanso e onde se esperaria maior acúmulo de esterco e conseqüente pontuação mais elevada para Matéria orgânica e Organismos do solo, o que não ocorre, já que ambos atributos foram classificados como “Restritivos”. A Permeabilidade “Moderada” aponta para solos que se comportam como arenosos (areia média), corroborado pela Textura arenosa encontrada (“Muito restritiva”). A baixa Declividade do lugar, a identificação de alguma erosão (“Pouco restritiva”), a presença do gado contribuindo para a compactação ou adensamento do solo na subsuperfície, o pisoteio trazendo ação mecânica de desgaste do solo e comprometimento dos organismos do solo e ainda a urina, contribuem para a degradação física e química dos compostos e partículas do solo. A ação das chuvas, por fim, pode levar a um rápido encharcamento no lugar, seguido da formação de lençol suspenso e transporte para jusante (morro abaixo) de partículas menores (silte e argila) e nutrientes, resultando um solo mais arenoso.

12.6 Prognóstico geral quanto à gestão integrada da paisagem

Forma de relevo e Declividade são atributos cujas características podem ser modificadas, porém, não raro, a altos custos em maquinário, mão de obra, engenharia e energia, exigindo ainda a avaliação e acompanhamento por profissionais especializados. Dessa forma, no ponto amostral Linha de drenagem, utilizar a área para Agroecossistemas seria menos oneroso ao proprietário. Sendo a restrição em uma linha de drenagem, e estando a mesma cercada por bosque, sugere-se que a área faça parte da Reserva Legal da propriedade, com o plantio de espécies nativas com múltiplas

possibilidades de manejo: produção de mel, frutos, sementes e castanhas; atração de fauna; produção de lenha; e aproveitamento da madeira ao final do ciclo vegetativo da espécie.

Em Biota, tanto os Bosques como sob a cerca sinalizam o uso por Engenharias e Urbanismo. No Bosque, sendo a Declividade classificada como “Pouco restritiva”, o lugar poderia ser destinado à construção de chalés, área de descanso, contemplação, caminhadas, parque ou mesmo moradias, estas após estudo em relação à integridade das árvores que o compõem. No ponto Sob a cerca, a baixa Declividade e uma Biota apenas “Moderada”, também poderia ser local de residências, com atrativo ampliado em termos de vista, uma vez que está em altitude mais elevada em relação aos demais.

Por fim, a Várzea, por suas características mais favoráveis, deveria ser reservada à produção de alimentos. O manejo adequado, eliminando o fogo e retirando o gado da área, rapidamente contribuiria para melhor pontuação em Organismos do solo, aumentando a classificação da Biota. Esta, fortalecida, teria aumentada sua produtividade primária, mobilizando e disponibilizando nutrientes em maior quantidade. A análise físico-química do solo, aliada a mudanças de manejo e orientação por profissional da área, poderia conduzir à produção orgânica de frutas, verduras e legumes para abastecimento da comunidade local.

12.7 Diagnóstico por Especialista x Grupo

A Figura 12.7 explicita duas situações em que se desejava inferir eventuais discrepâncias nos resultados das avaliações de campo.

Situação 01 – Pomar 02

- a. Grupo composto por um especialista (o autor) e outras quatro pessoas com formações diversas;
- b. Alguns atributos não haviam sido incorporados ao trabalho;
- c. Capacitação do grupo enquanto a avaliação dos atributos acontecia, de modo que a cada atributo, explicitava-se sua importância para o conjunto do levantamento, os significados de cada descritivo e as diferenças de pontuações adotadas.

Situação 02 – Divisa 3 terrenos

- a. Grupo composto por um especialista (o autor) e outras quatro pessoas com formações diversas;
- b. Atributos na configuração atual;
- c. Grupo não capacitado previamente.

Nas duas situações, não houve um planejamento estatístico para validar ou não eventuais diferenças nas pontuações e diagnósticos. À época, o que se desejava era aprimorar os descritivos e pontuações, buscando ainda inferir se haveria discrepância entre as pontuações dadas pelo especialista e aquelas dadas por diferentes grupos, com e sem orientação ou capacitação.

Figura 12.7. Diagnósticos comparando avaliação por Especialista e Grupo diversificado com e sem treinamento.

	445298 7520204 863 Pomar 2. 27/08/17 0,20m				443800 7517650 917 Divisa 3 terrenos. 05/11/17 0,20m			
	Individual		Grupo		Individual		Grupo	
	Decimal		Decimal		Decimal		Decimal	
	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU	PA	PEU
CLIMA								
Clima e Zonas Bioclimáticas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,40	0,45	0,55
Subtotal	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	0,60	0,40	0,45	0,55
RELEVO								
Forma de relevo	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Declividade	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,40	0,60	0,40
Orientação da vertente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20
Pedregosidade e Rochosidade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Erosão	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,75	0,75
Movimento de massa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,20	0,65	0,35
Subtotal	0,90	0,90	0,90	0,90	0,63	0,48	0,60	0,78
BIOTA								
Flora	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,80	0,55	0,65
Fauna	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,80	0,40	0,80
Cobertura do solo	1,00	0,20	0,96	0,24	1,00	0,20	1,00	0,20
Matéria orgânica	0,40	0,80	0,52	0,68	0,80	0,40	0,60	0,60
Odor	0,80	0,80	0,84	0,76	0,80	0,80	0,75	0,85
Organismos do solo	0,80	0,40	0,68	0,52	1,00	0,20	0,75	0,45
Subtotal	0,74	0,50	0,73	0,51	0,77	0,46	0,69	0,54
SOLO								
Permeabilidade	0,80	0,60	0,80	0,60	1,00	0,80	1,00	0,80
Compactação	0,80	0,40	0,80	0,40	0,80	0,40	0,65	0,65
Estrutura	1,00	0,20	0,88	0,32	1,00	0,20	0,80	0,40
Porosidade	0,80	0,80	0,84	0,80	0,80	1,00	0,80	1,00
Cor e tonalidade	0,80	0,60	0,84	0,52	0,80	0,80	0,80	0,80
Mosqueado	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Textura	0,60	0,60	0,60	0,60	0,80	1,00	0,55	0,60
Subtotal	0,82	0,58	0,81	0,59	0,88	0,73	0,79	0,73
CONSISTÊNCIA								
Consistência (seco)	0,80	1,00	0,88	0,92	1,00	0,80	1,00	0,80
Consistência (úmido - PA)	1,00		0,92		1,00		1,00	
Consistência (úmido - Penetração - PEU)		0,80		0,72		0,80		0,80
Consistência (plasticidade)	1,00	0,80	0,88	0,92	1,00	0,80	1,00	0,80
Consistência (pegajosidade)	1,00	1,00	0,92	0,88	0,60	0,40	0,60	0,40
Desintegração	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dispersão	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Subtotal	0,97	0,93	0,93	0,91	0,93	0,80	0,93	0,80
TOTAL	0,91	0,75	0,89	0,75	0,81	0,62	0,86	0,81

Fonte: Autor.

Legenda: PA – Pontuação para Agroecossistemas; PEU – Pontuação para Engenharias e Urbanismo.

Na situação 01, Pomar 2, com capacitação do grupo, as pontuações e classificação em todos os atributos e em todos os subtotais de Relevo, Biota, Solo e Consistência, assim como o total geral foram coincidentes, apresentando pouca variação.

Na situação 02, Divisa 3 terrenos e sem capacitação prévia do grupo, observou-se maior discrepância nas pontuações e classificações, podendo-se identificar: (i) falta de

experiência e/ou atenção do grupo em relação à pontuação do Clima e percepção do Movimento de massa ocorrido no local anos atrás; (ii) dificuldades no reconhecimento da Flora local, Matéria orgânica, Odor e Organismos do solo, Compactação, Estrutura e Textura. Em vista disso, novas alterações foram feitas nos descritivos, de modo a aprimorar sua leitura e entendimento.

Como resultado dessas comparações, entende-se que seja necessário:

1. Capacitar previamente as equipes que farão o trabalho de campo;
2. Aprofundar a pesquisa, estabelecendo novos levantamentos estatisticamente planejados, com aumento do número de pontos amostrais e diferentes formações, com e sem especialista e grupos diferentes e diversificados, de modo a aprimorar os descritivos e pontuações de SENSIA.

13 Considerações finais

SENSIA não entrega conclusões, mas produtos definidos pela Tese e pelo Caderno ou Manual de Campo, que explicitam procedimentos para o diagnóstico quali-quantitativo sensorial de um lugar. Produto pronto para uso, mas orientado para a evolução e aperfeiçoamento constantes, SENSIA pede por novas pesquisas que correlacionem as observações de campo e testes laboratoriais e estatísticos que validem ou não e aprimorem tanto os procedimentos quanto os descritivos e as pontuações aqui adotadas.

SENSIA, permite o levantamento de campo por público diversificado, e o lançamento dos dados na planilha automatizada, resulta em tabela numérico-semafórica apresentando o diagnóstico quali-quantitativo dos levantamentos realizados. No entanto, se o levantamento pode ser feito por técnicos e não-técnicos, os possíveis prognósticos ou orientações quanto à ocupação e gestão da paisagem não podem prescindir de algum conhecimento mais aprofundado. Reforça-se assim, que os resultados do levantamento e diagnóstico utilizando SENSIA, especialmente em relação àqueles atributos avaliados como “Restritivos” e “Mais restritivos”, sinaliza para a necessidade de estudos técnicos aprofundados e avaliação por profissionais qualificados.

No conjunto, SENSIA apresenta potencial de aplicação por indivíduos, produtores, consumidores, proprietários, poder público, iniciativa privada e sociedade civil organizada. Constituindo um corpo de informações cientificamente consistentes, de baixo custo, rápido levantamento e possíveis de serem utilizadas tanto por técnicos quanto não técnicos, entende-se que **SENSIA**:

1. Seja um procedimento de avaliação e diagnóstico quali-quantitativo com utilidade em várias áreas do conhecimento, apresentando ainda características inter, multi e transdisciplinares.
2. Abranja um amplo espectro de utilização e expresse um elevado potencial educativo em relação às ciências ambientais, geociências, ecologia, engenharias civil, sanitária, ambiental, florestal, agrícola e agrônômica, arquitetura e urbanismo, turismo, geografia, etc.
3. Forneça informações quali-quantitativas para a tomada de decisões em escala local.

4. Apresente resultados numéricos e semafóricos de fácil compreensão.
5. Permita a capilarização da coleta de dados ambientais.
6. Auxilie na tomada de decisões e planejamento integrado de bacias hidrográficas, contemplando o uso múltiplo.
7. Contribua para compatibilizar o uso e ocupação antrópicos (Engenharias e Urbanismo) e a permanência e fortalecimento dos ecossistemas naturais em sintonia com a produção agrícola, pecuária e madeireira (Agroecossistemas).
8. Instrumentalize a população para a efetiva e ampla participação no levantamento de dados e tomada de decisão junto aos Comitês de Bacia e Agências de Água (BARBOSA, 2019).
9. Contribua para o *design*, planejamento e implantação de empreendimentos urbanos e rurais sustentáveis e biofílicos.
10. Guarde o potencial de utilização combinada com SIGs, fornecendo dados de campo para a produção de mapas em escalas ampliadas (áreas reduzidas, abrangência local). Nesse caso, sugere-se que o número de pontos amostrais seja aumentado, de modo que um processo de interpolação dos dados levantados permita a confecção de mapas temáticos do lugar sob estudo, sendo necessário novas pesquisas, estudos e trabalhos visando aferir e desenvolver esse uso.
11. Contribua em processos de Licenciamento Ambiental e/ou Estudos de Impacto Ambiental simplificados.
12. Possa evoluir para um aplicativo de *smartphone* de uso gratuito, uma ferramenta de uso descentralizado e amplamente disseminada, capaz de fornecer dados de campo georreferenciados dos mais variados pontos do país e do mundo, contribuindo para o levantamento em escala de maiores detalhamentos das condições paisagísticas, bióticas e edáficas locais, bem como seu monitoramento e evolução.

13.1 Patenteamento e aplicações

SENSIA entrou com pedido de patenteamento na Agência de Inovação - AIn da UFSCar sob número PI 2018/017. Em sua 49ª reunião, o COEPI – Comissão Especial de Propriedade Intelectual deliberou favoravelmente à proteção do pedido, cuja protocolização no INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial deve acontecer nas

próximas semanas. Parte do processo pede por indicação de aplicações mais específicas, que foram assim discriminadas:

1. **Cursos de capacitação, extensão, aperfeiçoamento e formação, com carga horária variável (8h a 52h)** – metodologicamente SENSIA integra teoria e prática e interliga diferentes disciplinas e áreas do saber.
 - a. Instituições de ensino públicas e privadas (técnico, graduação e pós-graduação);
 - b. Técnicos - Meio Ambiente, Agropecuária, Agroecologia, Edificações, etc.;
 - c. Graduação e pós-graduação - Geografia, Biologia, Engenharia Civil, Engenharia Ambiental, Engenharia Hídrica, Engenharia Florestal, Agronomia, Arquitetura e Urbanismo, Gestão Ambiental, Agroecologia, Agrofloresta, Ciências da Terra, Ciências Ambientais, etc.
2. **Meio ambiente e recursos hídricos** – a participação de diferentes atores (poder público, iniciativa privada e organizações civis) na gestão ambiental é imposição legal. No entanto, há grande dificuldade de um entendimento entre os diferentes atores por falta de um instrumento capaz de alinhar as diferentes competências, capacidades, formações, práticas e qualificações desses atores. SENSIA pode contribuir, à medida em que o conjunto de informações que levanta são de fácil entendimento e replicação por técnicos e não técnicos.
 - a. Agência Nacional de Águas – ANA, Agências de Água, Comitês de Bacia Hidrográfica – capacitação de conselheiros, sociedade civil e demais atores;
 - b. Unidades de Conservação – capacitação de gestores, funcionários e público visitante;
 - c. Secretarias Municipais e Estaduais de Meio Ambiente, Agricultura, Urbanismo, etc. – capacitação de diferentes atores;
 - d. Institutos Florestais, ONGs, Emater, Epamig, etc. – cursos de extensão e atualização para servidores, funcionários e público em geral;
 - e. Companhias municipais, estaduais e privadas de água e saneamento;
 - f. Projetos, programas e ações de conservação, preservação e recuperação de solos, águas e ecossistemas.
3. **Educação Ambiental** – poderoso instrumento de EA para público diversificado: escolas, faculdades, universidades, órgãos públicos e privados.

4. **Coleta de dados ambientais** – instrumento descentralizado, rápido e prático para a coleta de dados ambientais, passível de utilização em mapeamentos diagnósticos de uso e ocupação do solo e acompanhamento da evolução temporal e espacial de diferentes manejos e técnicas.
5. **Plano Diretor e ocupação territorial** – diagnóstico inicial do território, levantamento de dados, indicações de zoneamento, planejamento urbano e rural, educação para a sustentabilidade.
6. **Agricultura, pecuária e silvicultura** – usos potenciais da paisagem, adequações legais, planejamento do uso e ocupação, integração entre diferentes propriedades e atividades.
7. **Gestão pública** – canal de comunicação entre o poder público e comunidade, na orientação e acompanhamento de atividades diversas: agricultura, pecuária, agroecologia, expansão urbana, áreas de risco, saúde, etc.
8. **Desenvolvimento de aplicativo** – o conjunto de informações que SENSIA consegue levantar ganharia escala com o desenvolvimento de aplicativo gratuito para celular. Os dados coletados de maneira descentralizada seriam recebidos e organizados em um banco de dados passível de negociação junto a diferentes players: agência de águas, hidrelétricas, empresas de sensoriamento remoto, ONGs, organismos nacionais e internacionais, governos, ministérios, empresas de planejamento, construtoras, etc.

14 Referências

- ABNT. *NBR 13969. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.* . Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 1997a
- ABNT. *NBR 15220-3. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.* . Rio de Janeiro: ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 2003
- ABNT. *NBR 6484. Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio.* . Rio de Janeiro: ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 2001
- ABNT. *NBR 6484/1997: Solo - Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Método de Ensaio.* p. 1–17, 1997b.
- ABNT. *NBR 6502. Rochas e solos.* . Rio de Janeiro: ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 1995
- ABNT. *NBR 7229. Projeto, construção e operação de tanques sépticos.* . Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 1982a
- ABNT. *NBR 7250. Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos.* . Rio de Janeiro: ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 1982b
- ABNT. *NBR 7.229. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.* . Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 1993
- ALMEIDA, Daniela De *et al.* *Plantas visitadas por abelhas e polinização.* . Piracicaba: ESALQ. Disponível em: <<http://www.semabelhasalimenta.com.br/wp-content/uploads/2015/02/Plantas-da-Flora-Apicola-ESALQ.pdf>>. , 2003
- ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo De. *Caracterização Física e Classificação dos Solos.* . Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de Engenharia. Departamento de Transportes. Disponível em: <[http://ufrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material de apoio/APOSTILA_SOLOS.pdf](http://ufrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material_de_apoio/APOSTILA_SOLOS.pdf)>. , [S.d.]
- ALVES, José Eustáquio Diniz. *As novas projeções da ONU sobre a população brasileira e mundial.* Disponível em: <<http://www.ufjf.br/ladem/2017/06/28/as-novas-projecoes-da-onu-sobre-a-populacao-brasileira-e-mundial-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>>. Acesso em: 7 maio 2019.
- AMERICA, Soil Science Society of. *Glossary of Soil Science Terms.* Madison: [s.n.], 2001.
- ANDRADE, Liza Maria Souza De; ROMERO, Marta Adriana Bustos. *Desenho de assentamentos urbanos sustentáveis: proposta metodológica.* 2004, São Paulo: claCS'04 e ENTAC'04, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228716585_Desenho_de_Assentamentos_Urbanos_Sustentaveis_proposta_metodologica>.
- ARMANI, Gustavo. *Análise topo e microclimática tridimensional em uma bacia hidrográfica de clima tropical úmido de altitude.* 2009. 134 f. Universidade de São

- Paulo - USP, 2009. Disponível em:
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-02022010-145510/publico/GUSTAVO_ARMANI.pdf>.
- AZEREDO, Thiago. *Massas de ar*. Disponível em:
<<http://educacao.globo.com/geografia/assunto/geografia-fisica/massas-de-ar.html>>. Acesso em: 23 jan. 2018.
- BALL, B. C. *et al.* The numeric visual evaluation of subsoil structure (SubVESS) under agricultural production. *Soil & Tillage Research*, n. 148, p. 85–96, 2015. Disponível em:
<<http://openaccess.sruc.ac.uk/bitstream/handle/11262/10670/10670.pdf?sequence=2&isAllowed=y>>.
- BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. J. Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. *Soil Use and Management*, n. 23, p. 329–337, 2007. Disponível em:
<https://www.academia.edu/23821000/Field_assessment_of_soil_structural_quality_a_development_of_the_Peerlkamp_test>.
- BALL, B.C.; DOUGLAS, J.T. A simple procedure for assessing soil structural, rooting and surface conditions. *Soil Use and Management*, n. 19, p. 50–56, 2003.
- BARBOSA, Flávia Darre. *Comitês de Bacias Hidrográficas, representação e participação: desafios e possibilidades à gestão da água e dos recursos hídricos no Brasil*. 2019. 420 f. Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, 2019.
- BATEY, T.; BALL, B. The Peerlkamp method. 2005, INRA Research Station, Estre'es-Mons, France: Não publicado., 2005.
- BEAR, I. J.; THOMAS, R. G. Petrichor and Plant Growth. *Nature*, n. 207, p. 1415–1416, 1965. Disponível em:
<<http://www.nature.com/nature/journal/v207/n5004/pdf/2071415a0.pdf>>.
- BEAR, I.J.; THOMAS, R.G. Nature of Argillaceous Odour. *Nature*, v. 201, p. 993–995, 1964. Disponível em:
<<http://www.nature.com/nature/journal/v201/n4923/pdf/201993a0.pdf>>.
- BEATLEY, Timothy. *Biophilic Cities: integrating Nature into Urban Design and Planning*. Washgton: Island Press, 2011.
- BEATLEY, Timothy; NEWMAN, Peter. Biophilic Cities Are Sustainable, Resilient Cities. p. 3328–3345, 2013.
- BEJAN, Adrian; ZANE, J. Peder. *Design in Nature: how the constructal law governs evolution, in biology, physics, technology, and social organization*. 1st. ed. New York: Anchor Books, 2013.
- BENEVOLO, Leonardo. *História da Cidade*. 6a. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2015.
- BENYUS, Janine M. *Biomimética. Inovação inspirada pela Natureza*. São Paulo: Editora Cultrix e Amana-Key, 2003.
- BERG, Agnes E. Van den; HARTIG, Terry; STAATS, Henk. Preference for Nature in Urbanized Societies: Stress, Restoration, and the Pursuit of Sustainability. *Journal of Social Issues*, v. 63, n. 1, p. 79–96, 2007. Disponível em:
<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1540-4560.2007.00497.x/epdf>>.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. *Elementos da natureza e propriedades do solo*. 3a edição ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRASIL. *Em 2030, 90% da população brasileira viverá em cidades*. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cidadania-e-justica/2016/10/em-2030-90-da-populacao-brasileira-vivera-em-cidades>>. Acesso em: 7 maio 2019.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. *Diário Oficial da União*, p. 1–32, 2012a.

BRASIL. *Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos*. Brasília: [s.n.], 1997

BRASIL. *LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012*. Brasil: Senado Federal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. , 2012b

BRASIL. *LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012*. Brasil: Presidência da República. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. , 2012c

BRASIL. *LEI No 6.766, DE 19 DE DEZEMBRO DE 1979*. Brasil: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm>. , 1979

BRASIL. *LEI No 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000*. [S.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm>. , 2000

BREWER, R. *Fabric and mineral analysis of soils*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1964.

BROWNING, W.D.; RYAN, C.O.; CLANCY, J.O. *14 Patterns of Biophilic Design*. Disponível em: <<http://www.terrapinbrightgreen.com/reports/14-patterns/>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

BUI, Elisabeth N.; LOUGHHEAD, Andrew; CORNER, Robert. Extracting soil-landscape rules from previous soil surveys. *Australian Journal of Soil Research*, v. 37, p. 495–508, 1999.

CAPERNA, Antonio *et al.* *Definition of Biourbanism. Biourbanism Task Force*. Disponível em: <<http://www.biourbanism.org/biourbanism-definition/>>. Acesso em: 16 jan. 2019.

CAPRA, Bernt. *MindWalk: Ponto de Mutação. Baseado na obra de Fritjof Capra, O Ponto de Mutação*. Estados Unidos: [s.n.], 1990

CAPRA, Fritjof. *A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos*. São Paulo: Cultrix, 2006.

CAPRA, Fritjof. *A teia da vida. Uma nova compreensão dos sistemas vivos*. 1a edição ed. São Paulo: Cultrix/Amana-Key, 2006.

CAPRA, Fritjof. *As conexões ocultas: Ciência para uma vida sustentável*. São Paulo: Amana-Key, 2005.

CAPUTO, Homero Pinto. *Mecânica dos Solos e suas aplicações*. 6a. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988.

CARLESI, Sebastián Elola. *Construção participativa de indicadores de qualidade do solo para avaliação da sustentabilidade de unidades olerícolas no Sul do Uruguai*. 2008. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2008. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/91390/249445.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

CARRÉ, Florence; GIRARD, M.C. Quantitative mapping of soil types based on regression kriging of taxonomic distances with landform and land cover attributes. *Geoderma*, v. 110, n. 3–4, p. 241–263, 2002.

CARRÉ, Florence; MCBRATNEY, Alex B. Digital terrain mapping. *Geoderma*, v. 128, n. 3–4, p. 340–353, 2005.

CARRUS, Giuseppe *et al.* Landscape and Urban Planning Go greener , feel better ? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri-urban green areas. *Landscape and Urban Planning*, v. 134, p. 221–228, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.022>>.

CARVALHO, Pompeu Figueiredo De; BRAGA, Roberto. *Da negação à reafirmação da natureza na cidade : o conceito de “renaturalização” como suporte à política urbana.* . Rio Claro: [s.n.] , 2003

CASALINHO, Helvio Debli; MARTINS, Sérgio Roberto; LOPES, Ângelo da Silva. Qualidade do solo em sistemas de produção de base ecológica: a percepção do agricultor. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 2, n. 1, p. 59–62, 2007. Disponível em: <<http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/rbagroecologia/article/view/6234/4544>>.

CEMADEN. *Movimento de Massa*. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/deslizamentos/>>. Acesso em: 21 out. 2017.

CERRI, Leandro Eugenio da Silva. Carta Geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. 1990, Salvador: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6., Salvador, 1990. Anais ... Salvador, ABGE, v.1, 1990. p. 309–317.

CERRI, Leandro Eugenio da Silva *et al.* Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. 1996, Rio de Janeiro: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8, 1996.

CNUMAD. *Agenda 21.* . Rio de Janeiro: [s.n.], 1992. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>>.

CONAMA. *RESOLUÇÃO CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986.* . Brasil: Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>>. , 1986

CONAMA. *RESOLUÇÃO Nº 369, DE 28 DE MARÇO DE 2006.* . Brasil: Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2006_369.pdf>. , 2006

CONGRESSO NACIONAL. *LEI N. 9.433, de 8 de janeiro de 1997.* . [S.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. , 1997

CONSTRUROHR. *Detalhamento da Norma*. Disponível em: <<http://www.desempenho.construrohr.com.br/norma/detalhamento>>. Acesso em: 6

fev. 2018.

COPAM/CERH-MG. *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008*. . Brasil: SIAM-MG. Disponível em:

<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. , 2008

COPAM. *Deliberação Normativa COPAM nº 58, de 28 de novembro de 2002*. . [S.l.]:

Conselho Estadual de Política Ambiental. Disponível em:

<https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/sma/legislacao/arquivos/dn_58_2002.pdf>. , 2002

COPAM. *Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004*. . [S.l: s.n.].

Disponível em:

<<http://sisemanet.meioambiente.mg.gov.br/mbpo/recursos/DeliberaNormativa74.pdf>>. , 2004

CORREIA, Maria Elisabeth Fernandes. *Relações entre a diversidade da fauna do solo e o processo de decomposição e seus reflexos sobre a estabilidade dos ecossistemas*. .

Seropédica: [s.n.], 2002. Disponível em:

<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/27434/1/doc156.pdf>>.

COSTA, Carlos Wilmer *et al.* Fragilidade ambiental e escassez hídrica em bacias hidrográficas: Manancial do Rio das Araras – Araras, SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. no.4, p. 946–958, 2015. Disponível em:

<<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=156&SUMARIO=5120>>.

COUNCIL OF EUROPE. *Convenção Europeia da Paisagem*. Disponível em:

<<https://rm.coe.int/CoERMPublicCommonSearchServices/DisplayDCTMContent?documentId=09000016802f3fb7>>. Acesso em: 28 jan. 2018.

DANSK SYMBIOSECENTER. *Kalundborg Symbiose*. Disponível em:

<<http://www.symbiosis.dk/>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

DAS, Braja M. *Advanced soil mechanics*. 3a edição ed. London e New York: Taylor e Francis Group, 2008.

DAVENPORT, David *et al.* *Spread, delve, spade, invert: a best practice guide to the addition of clay to sandy soils*. . [S.l.]: Grains Research and Development Corporation.

Disponível em:

<http://www.agbureau.com.au/projects/sandy_soils/6476_Spread_delve_spade_invert_1_.pdf>. , 2011

DELORS, Jacques. *Educação: um tesouro a descobrir. Relatório da UNESCO da Comissão Internacional sobre educação para o século XXI*. São Paulo e Brasília: Cortez e MEC: UNESCO, 2003.

DIEZ, T.; WEIGELT, H. *Bodenstruktur erkennen und beurteilen. Anleitung zur Bodenuntersuchung mit dem Spaten*. 2a. ed. Freising-Muenchen: Landesanstalt fuer Bodenkultur und Pflanzenbau, 1997.

DIKAU, R. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 2, n. 80, p. 45–55, 1990.

DREXHAGE, John; MURPHY, Deborah. Sustainable development: from Brundtland to Rio 2012. Background paper prepared for consideration by the High Level Panel on

Global Sustainability at its first meeting 19 September 2010. n. September 2010, p. 26, 2010. Disponível em:

<[http://www.un.org/wcm/webdav/site/climatechange/shared/gsp/docs/GSP1-6_Background on Sustainable Devt.pdf](http://www.un.org/wcm/webdav/site/climatechange/shared/gsp/docs/GSP1-6_Background_on_Sustainable_Devt.pdf)>.

EMBRAPA. *ILPF. Integração Lavoura, Pecuária, Floresta*. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/web/rede-ilpf>>. Acesso em: 10 maio 2019.

EMBRAPA. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. . Rio de Janeiro: [s.n.], 1997.

Disponível em:

<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvho tqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf>.

EMBRAPA. *SÚMULA DA X REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLO*. . Rio de Janeiro: [s.n.], 1979. Disponível em:

<http://library.wur.nl/isric/fulltext/isricu_i00006739_001.pdf>.

EMERSON, W.W. A classification of soil aggregates based on their coherence in water. *Australian Journal of Soil Research*, v. 5, p. 47–57, 1967. Disponível em:

<<http://www.publish.csiro.au/sr/SR9670047>>.

EMMETT-BOOTH, J.P. *et al*. A review of visual soil evaluation techniques for soil structure. *Soil Use and Management*., n. 32, p. 623–634, 2016. Disponível em:

<<http://openaccess.sruc.ac.uk/bitstream/handle/11262/11129/11129.pdf?sequence=2>>.

EUROCONSULT. *Agricultural compendium for rural development in the tropics and subtropics*. Ed., 3rd r ed. Amsterdam; New York: Elsevier: [s.n.], 1989.

FAO. *Guidelines for soil description*. 4a. ed. Roma: FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2006.

FARR, Douglas. *Sustainable urbanism: urban design with nature*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.

FEAM. *Termo de Referência para apresentação de Relatório de Controle Ambiental – RCA referente a loteamento do solo urbano exclusiva ou predominantemente residencial*. . [S.l.]: FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Disponível em:

<[http://www.feam.br/images/stories/arquivos/tr/microsoft word - rca_parcelamento_residencial_vsfinal001.pdf](http://www.feam.br/images/stories/arquivos/tr/microsoft%20word-rca_parcelamento_residencial_vsfinal001.pdf)>. , 2019a

FEAM. *Termo de Referência para apresentação de Relatório de Controle Ambiental Simplificado – RCAS*. . [S.l.]: FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/arquivos/tr/microsoft word - rca_parcelamento_residencial001.pdf](http://www.feam.br/images/stories/arquivos/tr/microsoft%20word-rca_parcelamento_residencial001.pdf)>. , 2019b

FERNANDES FILHO, Elpídio Inácio; SÁ, Mariana Médice Firme. Influência das variáveis do terreno na radiação solar. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 5751–5753, 2007. Disponível em:

<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.56/doc/5751-5753.pdf>>.

FERREIRA, Camila; SOUZA, Henor Artur De; ASSIS, Eleonora Sad De. Estudo do clima brasileiro: reflexões e recomendações sobre a adequação climática de habitações.

2014, Maceió: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014. p. 10. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_264.pdf>.

FERREIRA, Williams P. M. *et al.* *As características térmicas das faces noruega e soalheira como fatores determinantes do clima para a cafeicultura de montanha*. . Brasília, DF: EMBRAPA Café. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/cafe/busca-de-publicacoes/-/publicacao/963026/as-caracteristicas-termicas-das-faces-noruega-e-soalheira-como-fatores-determinantes-do-clima-para-a-cafeicultura-de-montanha>>. , 2012

FIELD, D.J.; MCKENZIE, D.C.; KOPPI, A.J. Development of an improved soil stability test for SOILpack. *Australian Journal of Soil Research*, n. 35, p. 843–852, 1997.

FITZPATRICK, R.W.; MCKENZIE, N.; MASCHMEDT, D.J. Soil morphological indicators and their importance to soil fertility. In: PEVERILL, K.I.; SPARROW, L.A.; REUTER, D.J. (Org.). *Soil analysis: an interpretation manual*. Melbourne: CSIRO Publishing, 1999. p. 55–69.

FORMAN, T. T. Richard. Ecologia urbana e distribuição da natureza nas regiões urbanas. *Urbanismo ecológico*. São Paulo: Gustavo Gili, 2014. p. 312–323.

FORMAN, T. T. Richard. The ethics of isolation, the spread of disturbance, and landscape ecology. In: (ED.), M. GOIGEL TURNER (Org.). *Landscape heterogeneity and disturbance*. New York: [s.n.], 1987. .

FRANCISCO, José. Meio ambiente construído: pela desconstrução mínima e socialmente engajada. 2004, Indaiatuba, SP: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 2004. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT14/jose_francisco.pdf>.

FRANCO, Gustavo Barreto *et al.* CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA: ESTÁGIO ATUAL DO CONHECIMENTO. *CAMINHOS DE GEOGRAFIA - revista on line*, v. 11, n. 35, p. 158–172, 2010. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16134>>.

FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. *Desenho ambiental: uma introdução à arquitetura da paisagem com o paradigma ecológico*. 2a. ed. São Paulo: Anablume e Fapesp, 2008.

FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. *Planejamento ambiental para a cidade sustentável*. 2a. ed. São Paulo: Anablume e Fapesp, 2001.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. *Manual de conforto térmico*. 5a edição ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18350/materia/ManualConfortoTERMICO.pdf>>.

GANDOLFI, Sergius. Sucessão Ecológica. 2015, São Paulo: Instituto de Botânica, 2015. Disponível em: <http://botanica.sp.gov.br/files/2016/02/Aula_Sergius_Gandolfi_IBT-Sucessao_Ecologica_20151.pdf>.

GARDNER, Howard. *Inteligências Múltiplas, a teoria na prática*. Porto Alegre: Artmed, 1995.

GEN. *Global Ecovillage Network. Catalyzing Communities for a Regenerative World*. Disponível em: <<http://gen.ecovillage.org/>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

GERRITSEN, Vivienne Baillie. *The earth's perfume*. Disponível em: <http://web.expasy.org/spotlight/back_issues/035/>.

GIAROLA, Neyde Fabíola Balarezo *et al.* On the Visual Evaluation of Soil Structure: The Brazilian experience in Oxisols under no-tillage. *Soil & Tillage Research*, n. 127, p. 60–64, 2013. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0167198712000694/1-s2.0-S0167198712000694-main.pdf?_tid=c0cbf3fa-bdb0-11e7-9818-00000aab0f6c&acdnat=1509395430_ec09ff65ad1d9daa14f9a54d9b7add9c>.

GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, n. 18, p. 11–23, 1992. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/037877889290047K/1-s2.0-037877889290047K-main.pdf?_tid=c133e604-05f9-11e8-b96b-00000aacb35d&acdnat=1517343268_12408d609028c9630745b0692c635642>.

GLEISER, Marcelo. *A dança do universo: dos mitos de criação ao big-bang*. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

GOLEMAN, Daniel. *Inteligência Emocional*. Rio de Janeiro: Objetiva, 1996.

GÓMEZ-POMPA, A.; VÁZQUEZ-YANES, C. Estudios sobre la regeneración de selvas en regiones cálido-húmedas de México. In: GÓMEZ-POMPA, A.; I.AMO, S.R DE (Org.). *Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México*. [S.l.]: Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, 1985. p. 1–25.

GOOGLE EARTH PRO. *Imagem de satélite*. . Piranguinho, MG: [s.n.], 2018

GUIMARÃES, Rachel Muylaert Locks *et al.* Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management. *Soil & Tillage Research*, n. 127, p. 92–99, 2013. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0167198712000311/1-s2.0-S0167198712000311-main.pdf?_tid=5a6fcc0c-bdb1-11e7-9528-00000aab0f02&acdnat=1509395688_730fef660454a7aa87c40eaec2343f07>.

GUIMARÃES, Rachel Muylaert Locks; BALL, Bruce C.; TORMENA, Cássio Antônio. Improvements in the visual evaluation of soil structure. *Soil Use and Management*, n. 27, p. 395–403, 2011. Disponível em: <<http://onlinelibrary-wiley-com.ez31.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x/epdf>>.

HAWKEN, Paul; LOVINS, Amory; LOVINS, L. Hunter. *Capitalismo Natural - Criando a Próxima Revolução Industrial*. 4a. ed. São Paulo: Cultrix/Amana-Key, 2004.

HUGGETT, R.J. Soil landscape systems: A model of soil Genesis. *Geoderma*, v. 13, n. 1, p. 1–22, 1975. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/001670617590035X>>.

IBGE. *Indicadores Sociais Municipais - 2000*. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/indicadores_sociais_municipais/tabela1a.shtm>. Acesso em: 25 jan. 2019.

IBGE. *Manual técnico de Geomorfologia*. . Rio de Janeiro: [s.n.], 2009. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>>.

IBGE. *Manual técnico de pedologia*. . Rio de Janeiro: [s.n.], 2015. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>>.

- IBGE. *Sinopse do Censo Demográfico 2010*. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8&uf=00>>. Acesso em: 21 jan. 2019.
- INMET. *Conforto térmico humano*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/confortotermicoHumano>>. Acesso em: 31 jan. 2018.
- ISIE. *International Society for Industrial Ecology*. Disponível em: <<https://is4ie.org/>>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- JOLY, Carlos Alfredo. O Manejo de populações de espécies silvestres. *Biota Neotropica*, v. 4, n. 2, p. 1–2, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032004000200001&lng=en&nrm=iso>.
- KAY, B.D.; ANGERS, D.A. Soil structure. *Handbook of soil science*. Boca Raton, FL.: CRC Press., 2001. p. 229–276.
- KELLERT, S. R.; HEERWAGEN, J. H.; MADOR, M. *Biophilic Design. The Theory, Science, and Practice or Bringing Buildings to Life*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- LAMBERTS, Roberto. *CONFORTO E STRESS TÉRMICO*. Florianópolis: LabEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Apostila Conforto Térmico_2016.pdf>. , 2016
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. *Eficiência energética na arquitetura*. 3a edição ed. Brasília, DF: Eletrobras, 2014. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro - Eficiência Energética na Arquitetura.pdf>>.
- LEPSCH, I. F. *et al. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4a aproximação*. Campinas: SBCS, 1991.
- LOBATO, Claudia; OLIVEIRA, Simone. *A variação da radiação solar no território português e fatores condicionantes*. R@io-X-G ed. [S.l: s.n.], [S.d.]. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/niginaahrorova/a-variao-da-radiao-solar-no-territrio-portugus>>.
- LOLLO, José Augusto De. *Módulo 04. Técnicas de cartografia e representação do meio*. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. , 2015
- LOPES, Reinaldo José. *Com floresta, sem fauna*. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2014/09/16/com-floresta-sem-fauna/>>. Acesso em: 15 set. 2017.
- MARGULIS, Lynn; SAGAN, Dorion. *O que é vida?* Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed, 2002.
- MARGULIS, Lynn; SAGAN, Dorion. *Microcosmos: quatro bilhões de anos de evolução microbiana*. São Paulo: Pensamento-Cultrix, 2004.
- MASCHMEDT, David. *Describing and Interpreting Soil Profiles*. [S.l.]: Department of Water, Land and Biodiversity Conservation. , 2004
- MATTHES, Luiz Antonio Ferraz; MARTINS, Fernando Roberto. *Conceitos em Sucessão*

Ecológica. *Revista Brasileira de Floricultura e Plantas Ornamentais*, v. 2, n. 2, p. 19–32, 1996. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Fernando_Martins9/publication/277637165_Conceitos_em_sucesso_ecologica/links/557f040508aeb61eae2611fd/Conceitos-em-sucesso-ecologica.pdf>.

MATURANA, Humberto R.; VARELA, Francisco J. *A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana*. São Paulo: Palas Athena, 2001.

MCDONALD, R.C. *et al.* *Australian soil and land survey field handbook*. 2nd ed. ed. Melbourne: Inkata Press, 1990.

MCGARRY, Des. *A methodology of a Visual Soil – Field Assessments Tool – To support, enhance and contribute to the LADA program*. . Roma: [s.n.], 2004. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/lada/vsfast_methodology.pdf>.

MCHARG, Ian L. *Design with nature*. New York: Natural History Press, 1969.

MCKENZIE, D.C. *et al.* *Soil management for irrigated cotton*. New South Wales, Australia: NSW Agriculture Agfact P5.3.6, 1992.

MCKENZIE, David C. Visual soil examination techniques as part of a soil appraisal framework for farm evaluation in Australia. *Soil & Tillage Research*, n. 127, p. 26–33, 2013. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0167198712001080/1-s2.0-S0167198712001080-main.pdf?_tid=21104270-b40b-11e7-9ac6-00000aacb361&acdnat=1508334735_070925862819c29dd56170cd89b3e5f5>.

MEDIO. *Ecologia Industrial*. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/medioquestoesambientais/ecologia-industrial>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

MELLONI, Rogério *et al.* Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 32, p. 2461–2470, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n6/v32n6a23.pdf>>.

MELLONI, Rogério. *Densidade e diversidade de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares em solos de mineração de bauxita*. 2001. 173 f. UFLA. Universidade Federal de Lavras, 2001.

METEOBLUE. *Áreas de alta/baixa pressão*. Disponível em: <<https://content.meteoblue.com/pt/meteoscool/clima-em-grande-escala-lsw/alta-baixa-pressao>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

MILLER JR, G.Tyller. *Ciência Ambiental*. 11a. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

MINAS GERAIS. *Decreto Estadual 44.646 de 31 de outubro de 2007*. . [S.l.]: Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.cidades.mg.gov.br/images/documentos/MUNICIPIOS/planejamentoeinfraestruturaurbana/anuenciaprevia/dec_44646_nr_dec_44768.pdf>. , 2007

MINAS GERAIS. *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008*. . BRASIL: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. , 2008

MINAS GERAIS. *LEI 10.793, DE 02/07/1992 DE 02/07/1992 (TEXTO ATUALIZADO)*. .

- [S.l.]: Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?num=10793&ano=1992&tipo=LEI>>. , 1992
- MINAS GERAIS. *Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013*. . Brasil: SIAM. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=30375>>. , 2013
- MINAS GERAIS (ESTADO). *Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999*. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>>. , 1999
- MITCHELL, James K.; SOGA, Kenichi. *Fundamentals of Soil Behavior*. 3a. ed. New Jersey: JOHN WILEY & SONS, INC., 2005.
- MODENESI-GAUTTIERI, May Christine; HIRUMA, Silvio Takashi. A expansão urbana no planalto de Campos do Jordão. Diagnóstico geomorfológico para fins de planejamento. *Revista do Instituto Geológico*, v. 25, n. 1/2, p. 1–28, 2004.
- MONTEIRO (ORG.), José Eduardo B. A. *Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola*. Brasília, DF: INMET, 2009. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/home/publicacoes/agrometeorologia_dos_cultivos.pdf>.
- MOODY, Philip W.; CONG, Phan Thi. *Soil Constraints and Management Package (SCAMP): guidelines for sustainable management of tropical upland soils*. . Camberra: [s.n.], 2008. Disponível em: <http://aciar.gov.au/files/node/8946/MN130_full_text.pdf>.
- MOREIRA, Farima M.S.; SIQUEIRA, José Oswaldo. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. 2a. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006.
- MORIN, Edgar. *A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento*. 8a. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.
- MORIN, Edgar. *Introdução ao pensamento complexo*. Sulina ed. Porto Alegre: [s.n.], 2015.
- MORIN, Edgar. *Os sete saberes necessários à educação do futuro*. 5a. ed. São Paulo: Cortez, 2002.
- MUELLER, Lothar *et al.* Field Methods for the Evaluation of the Soil Structure and Soil Quality under Arable and Grass Lands. 2006, Marrakech, Morocco.: [s.n.], 2006. Disponível em: <<http://publ.ext.zalf.de/publications/31074def-a67f-424f-b062-0b31fd1e096a.pdf>>.
- MUELLER, Lothar *et al.* *The Muencheberg Soil Quality Rating (SQR). FIELD MANUAL FOR DETECTING AND ASSESSING PROPERTIES AND LIMITATIONS OF SOILS FOR CROPPING AND GRAZING*. . Muencheberg, Germany: [s.n.], 2007. Disponível em: <<http://studylib.net/doc/18583325/the-muencheberg-soil-quality-rating--sqr->>.
- MUELLER, Lothar *et al.* Visual assessment of soil structure: Evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany. Part I: Comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. *Soil & Tillage Research*, n. 103, p. 178–187, 2009. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/requests/r33333250>>.
- MUGERAUER, Robert; LIAO, Kuei-Hsien. *Ecological Design for Dynamic Systems*:

Landscape Architecture's Conjunction with Complexity Theory. *Journal of Biourbanism*, v. 2, n. 2012, p. 29–49, 2012.

NASA. *Soil Characterization Protocol*. . [S.l.]: GLOBE. The Global Learning and Observations to Benefit the Environment Program. Disponível em: <<https://www.globe.gov/documents/352961/e5d46e27-2ac0-4a34-8fbf-7a871c66a4be>>. , 2014

NICHOLLS, Clara Ines *et al.* A Rapid, Farmer-Friendly Agroecological Method to Estimate Soil Quality and Crop Health in Vineyard Systems. *BIODYNAMICS*, n. 250, p. 33–40, 2004. Disponível em: <<http://agroecology.pbworks.com/f/biodyn-indicators.pdf>>.

NICOLESCU, Basarab. *O manifesto da transdisciplinaridade*. São Paulo: Triom, 1999.

NIERO, Luiz Augusto Cardoso *et al.* AVALIAÇÕES VISUAIS COMO ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO E SUA VALIDAÇÃO POR ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO COM USOS E MANEJOS DISTINTOS. *R. Bras. Ci. Solo*, n. 34, p. 1271–1282, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n4/25.pdf>>.

NIMER, Edmon. *Climatologia do Brasil*. 2a edição ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais., 1989. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81099.pdf>>.

NOBRE, A.D. *et al.* Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology*, v. 404, p. 13–24, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411002599>>.

NOBRE, Antonio Donato. *O futuro climático da Amazônia. Relatório de avaliação científica*. . [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<http://www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2014/11/Futuro-Climatico-da-Amazonia.pdf>>.

NSW AGRICULTURE. *SOILpak - vegetable growers*. Disponível em: <<http://archive.dpi.nsw.gov.au/content/land-and-natural-resources/soil-management/vegetable>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

ODUM, Eugene P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.

OLGYAY, Victor; OLGAY, Aladar. *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. 4a edição ed. New Jersey: Princeton University Press, 1973.

OLIVEIRA, Daiane Evangelista De; FERREIRA, Cássia de Castro Martins. ESTIMATIVA DA DISTRIBUIÇÃO DO BALANÇO DE RADIAÇÃO GLOBAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBUNA, MG/RJ, E SUAS CORRELAÇÕES COM ATRIBUTOS DO MEIO FÍSICO. 2013, Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora., 2013. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/labcaa/files/2008/08/Mapeamento-da-radiação-global-da-Bacia-Hidrográfica-do-Rio-Paraíbuna-corrigido1.pdf>>.

OLIVEIRA, João Bertoldo De. *Pedologia Aplicada*. 4a. ed. Piracicaba: FEALQ, 2011.

OLIVEIRA, Luís Marcelo De. *Acidentes geológicos urbanos*. 1a edição ed. Curitiba: MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná, 2010. v. 17. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/Acidentes_Geologicos_Urbanos_2010.pdf>.

ONU. *World Summit on Sustainable Development. Rio + 10*. . Rio de Janeiro: [s.n.], 2002.

Disponível em: <World Summit on Sustainable Development>.

ORR, David W. *The Nature of design: ecology, culture and human intention*. New York: Oxford University Press, 2002.

ORTIGÃO, J. A. R. *Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos*. 3a edição ed. [S.l.]: Terratek, 2007.

PECK, Steven; PECK & ASSOCIATES; DAUNCEY, Guy. *12 Features of Sustainable Community Development*. Disponível em: <[http://yumadelmar.com/12 Features of Sustainable Community Development.htm](http://yumadelmar.com/12%20Features%20of%20Sustainable%20Community%20Development.htm)>. Acesso em: 21 jan. 2019.

PEERLKAMP, P.K. Visual estimation of soil structure. In: BOODT, M. DE *et al.* (Org.). . *West European Methods for Soil Structure Determination*. Ghent, Belgium: State Faculty Agric. Sci., 1967. p. 216–223.

PENNOCK, D.J.; VELDKAMP, A. Advances in landscape-scale soil research. *Geoderma*, v. 133, n. 1–2, p. 1–5, 2006.

PEREIRA, Lauro Charlet; NETO, Francisco Lombardi. *Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras: proposta metodológica*. . Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_43.pdf>. , 2004

PEREIRA, Marcos Gervasio; ANJOS, Lúcia Helena Cunha Dos; VALLADARES, Gustavo Souza. Organossolos: ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. In: TORRADO, P.V. *et al.* (Org.). . *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: [s.n.], 2005. p. 233–276. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/109993/1/1810.pdf>>.

PESSOA, Fernando. *O Guardador de Rebanhos*. In *Poemas de Alberto Caetano*. 10a edição ed. Lisboa: Ática, 1946. Disponível em: <<http://arquivopessoa.net/textos/1486>>.

PINTO, Carlos de Souza. *Curso básico de mecânica dos solos*. 3a edição ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PNUMA, PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento –. *Objetivos de Desenvolvimento do Milênio – ODM*. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/ODM.aspx>>.

POESEN, J; LAVEE, Hanoch. Rock fragments in top soils: significance and processes. *Catena*, v. 23, p. 1–28, 1994. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/222036425_Rock_fragments_in_top_soils_Significance_and_processes>.

PONÇANO, W. L.; PRANDINI, F. L. Boçorocas no Estado de São Paulo: uma revisão. 1987, São Paulo: ABGE/DAEE, 1987. p. 149–177.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. *LEI Nº 12.608, DE 10 DE ABRIL DE 2012. Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC*. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm>. , 2012

PRIMAVESI, Ana. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. São Paulo: Nobel, 2002.

PROJETEEE. *Dados Climáticos*. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/dados->

climaticos/>. Acesso em: 5 fev. 2018.

RALISCH, Ricardo *et al.* *Diagnóstico rápido da estrutura do solo - DRES*. Londrina, PR: [s.n.], 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/soja/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071114/diagnostico-rapido-da-estrutura-do-solo---dres>>.

REGISTER, Richard. *Ecocities: rebuilding cities in balance with nature*. Canada: New Society Publishers, 2006.

RENNÓ, Camilo Daleles *et al.* HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, v. 12, n. 9, p. 3469–3481, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442570800120X>>.

RORIZ, Maurício. *ZBBR 1.1 - ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DO BRASIL*. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/zbbr>>. , 2004

RUGGIERO, Patricia Guidão Cruz *et al.* Relação entre solo, vegetação e topografia em área de cerrado (Parque Estadual de Vassununga, SP): como se expressa em mapeamentos? *Acta Botânica Brasileira*, v. 20, n. 2, p. 383–394, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abb/v20n2/a13v20n2>>.

RYAN, Catherine O. *et al.* Biophilic design patterns: Emerging nature-based parameters for health and well-being in the built environment. *Archnet-IJAR*, v. 8, n. 2, p. 62–76, 2014.

RYN, Sim Van Der; COWAN, Stuart. *Ecological Design. 10th Aniversary Edition*. London: Island Press, 2007.

SÁ, Marcos Aurélio Carolino De; JUNIOR, João de Deus Gomes dos Santos. *Compactação do solo – consequências para o Crescimento Vegetal*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. Disponível em: <http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2005/doc/doc_136.pdf>. , 2005

SABESP. *NTS 181. Dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro – Primeira ligação*. n° NTS 181. São Paulo: [s.n.], 2012.

SANGUINETTO, Evandro. ARQUITETURA DA COMPLEXIDADE: DESIGN A SERVIÇO DA VIDA EM UM ESTUDO DE CASO NO SUL DE MINAS GERAIS. *Revista LabVerde*, v. 02, p. 81–106, 2011a. Disponível em: <<http://www.fau.usp.br/deprojeto/revistalabverde/edicoes/ed02.pdf>>.

SANGUINETTO, Evandro. Bases conceituais para projetos sustentáveis e biofílicos. *Revista LabVerde*, v. 03, p. 200–208, 2011b. Disponível em: <<http://www.fau.usp.br/deprojeto/revistalabverde/edicoes/ed03.pdf>>.

SANGUINETTO, Evandro. Design agroecológico de pequena propriedade rural na região da Serra da Mantiqueira, sul de Minas Gerais. Agroecological design of a small rural property in the Serra da Mantiqueira, south of the state. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 7, n. 1, p. 63–81, 2012. Disponível em: <<http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/rbagroecologia/article/view/10057>>.

SANGUINETTO, Evandro. *Design Ecológico: projetando e construindo tecnologias vivas para o tratamento de efluentes domésticos com reúso das águas*. 2010. 228 f.

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, 2010. Disponível em:
<http://www.gaiaterranova.com.br/arquivos_internos/textos/DESIGN_ECOLOGICO__PROJETANDO_E_CONSTRUINDO_COM_A_NATUREZA__versao_13__pos_banca_COR__FINAL.pdf>.

SANGUINETTO, Evandro. *Ecotecnologia de tratamento biológico de efluentes domésticos visando o reuso das águas*. 2009. 93 f. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, 2009. Disponível em:
<<http://pt.slideshare.net/EvandroSanguinetto/monografia-de-especializacao-ecotecnologia-de-tratamento-biolgico-de-efluentes-reuso-das-guas-final>>.

SANGUINETTO, Evandro; PAULA, Eduardo Coutinho De. TECNOLOGIAS VIVAS APLICADAS AO SANEAMENTO RURAL. *XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - 2013/ ISSN 2318-0358*, p. 1–9, 2013. Disponível em:
<https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/1fdb9a73d9ae1c3032ec1b8948cc6c79_9c5551fc44f8ca110fe63e3c63ea0483.pdf>.

SANTOS, Humberto Gonçalves Dos *et al.* *Sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS)*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006.

SANTOS, Humberto Gonçalves Dos; FIDALGO, Elaine Cristina Cardoso; ÁGLIO, Mário Luiz Diamante. *Extensão e Distribuição dos Solos*. Disponível em:
<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fesi63xh02wx5eo0y53mhyx67oxh3.html>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

SANTOS, Raphael David Dos *et al.* *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. . Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. , 2015

SANTOS, R. D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 3a. ed. Campinas: [s.n.], 1996.

SCHOENEBERGER, P.J. *et al.* *Field Book for Describing and Sampling Soils. Version 3.0*. Lincoln, NE: National Soil Survey Center Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center., 2012. Disponível em:
<https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052523.pdf>.

SENADO FEDERAL. *Estatuto da Cidade*. 3a edição ed. Brasília: Subsecretaria de Edições Técnicas, 2008. Disponível em:
<<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70317/000070317.pdf?sequence=6>>.

SHEPHERD, Graham *et al.* *VISUAL SOIL ASSESSMENT - Field Guide*. . Rome: FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2008. Disponível em:
<<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0007e/i0007e.pdf>>.

SHEPHERD, Graham. *Visual Soil Assessment. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country*. . Palmerston North: [s.n.], 2000. Disponível em:
<http://www.landcareresearch.co.nz/__data/assets/pdf_file/0011/28676/VSA_Volume1_smaller.pdf>.

SHEPHERD, T. Graham. *Visual Soil Assessment. vol. 1. Field Guide for Cropping and Pastoral Grazing on Flat to Rolling Country*. 2a. ed. Palmerston North, New Zealand: Horizons Regional Council, 2009.

- SHEPHERD, T. Graham *et al.* *Visual soil assessment*. Rome: FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2008.
- SILVA, Cassio Roberto Da; DANTAS, Marcelo Eduardo. *Mapas geoambientais*. . [S.l.]: CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17873/1/mapas_geoambientais_sbcgg.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2019. , 2010
- SILVA, G. J. A. Da; ROMERO, M. A. B. O urbanismo sustentável no Brasil. A revisão de conceitos urbanos para o século XXI (parte 02). *Arquitextos*, p. 1–15, 2011. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.128/3724>>.
- SILVA, Luiz Tadeu Da. *VULNERABILIDADE AO ESCORREGAMENTO DE TERRAS ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO BENGALAS, 2011*. 2014. 286 f. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3FQMFL>>.
- SILVA ECOSYSTEM CONSULTANTS. *Landscape ecology literature review*. Disponível em: <<http://www.silvafor.org/assets/silva/PDF/Literature/LandscapeEcologyOver.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- SOBREIRA, Frederico Garcia; SOUZA, Leonardo Andrade De. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA)*, v. 02, 2012. Disponível em: <http://abge.org.br/uploads/revistas/r_pdf/RevistaABGE-art3.pdf>.
- SOIL SCIENCE DIVISION STAFF. *Soil Survey Manual. Handbook 18*. Washington, D.C: USDA. United States Department of Agriculture., 2017. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054262>.
- SOMMER, M.; GERKE, H.H.; DEUMLICH, D. Modelling soil landscape genesis — A “time split” approach for hummocky agricultural landscapes. *Geoderma*, v. 145, p. 480–493, 2008.
- SOUZA, Kelly Rejane De. *AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO POR MEIO DE INDICADORES VISUAIS, EM AMBIENTES DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO JOSÉ PEREIRA, ITAJUBÁ (MG)*. 2015. 97 f. Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/148>>.
- SOUZA, Kelly Rejane De *et al.* Proposta da metodologia RAQS para avaliação visual da qualidade do solo1. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 09, n. 06, p. 1815–1824, 2016. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/1848/1066>>.
- SOUZA, Leonardo Andrade De; SOBREIRA, Frederico Garcia. *Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais*. . Brasília, DF: [s.n.], 2014. Disponível em: <http://www.abge.org.br/uploads/imgfck/file/GUIA_APTIDAO_A_URBANIZACAO_SOUZA_E_SOBREIRA_2014.pdf>.
- THIEN, S.J. A flow diagram for teaching texture by feel analysis. *Journal of Agronomic Education*., n. 8, p. 54–55, 1979. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_05431>

1>. Acesso em: 3 nov. 2017.

THOMPSON, James A.; PENA-YEWTUKHIW, Eugenia M.; GROVE, John H. Soil–landscape modeling across a physiographic region: Topographic patterns and model transportability. *Geoderma*, v. 133, n. 1–2, p. 57–70, 2006.

TRANSITION NETWORK. *A movement of communities coming together to reimagine and rebuild our world*. Disponível em: <<http://www.transitionnetwork.org/>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

TREVISAN, Marcelo *et al.* Ecologia industrial, simbiose industrial e ecoparque industrial: conhecer para aplicar. *Sistemas & Gestão. Revista Eletrônica.*, v. 11, n. 2, 2016. Disponível em: <<http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/993/430>>.

UFSC. *Projeteee – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes*. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

UN-HABITAT. *Best Practices*. Disponível em: <<https://unhabitat.org/urban-knowledge/best-practices/>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM. *Report of the United Nations Conference on the Human Environment*. . Estocolmo: [s.n.], 1972. Disponível em: <<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=97>>.

UNRIC. *Relatório da ONU mostra população mundial cada vez mais urbanizada, mais de metade vive em zonas urbanizadas ao que se podem juntar 2,5 mil milhões em 2050*. Disponível em: <<http://www.unric.org/pt/actualidade/31537-relatorio-da-onu-mostra-populacao-mundial-cada-vez-mais-urbanizada-mais-de-metade-vive-em-zonas-urbanizadas-ao-que-se-podem-juntar-25-mil-milhoes-em-2050>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

USDA. *Guide to texture by feel*. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054311>. Acesso em: 3 nov. 2017a.

USDA. *National Soil Survey Handbook. Part 618 – Soil Properties and Qualities. Amend. 23.* , nº (430-VI-NSSH, Amend. 23, February 2013) 618-B.13. [S.l: s.n.], 2017b.

Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054241>.

USP. *FATORES LIMITANTES: INTERFERÊNCIA DO AMBIENTE SOBRE A SOBREVIVÊNCIA DOS ORGANISMOS*. Disponível em: <http://www.ib.usp.br/ecologia/fatores_limitantes_print.htm>.

USP. *Sucessão ecológica*. Disponível em: <http://www.ib.usp.br/ecologia/sucessao_ecologica_print.htm>.

VÄDERSTAD. *Your Guide to Visual Soil Assessment*. . Grantham, Lincolnshire: [s.n.], 2016. Disponível em: <http://www.vaderstad.com/ImageVaultFiles/id_7555/cf_5/VSA_Guide_Red_Thread_Vis_7.PDF>.

VÄDERSTAD; INITIATIVE-SMI, SOIL MANAGEMENT. *Visual Soil Assessment*. . Grantham,

- Lincolnshire: [s.n.], 2005. Disponível em:
<[http://www.potato.org.uk/sites/default/files/publication_upload/Visual Soil Assessment.pdf](http://www.potato.org.uk/sites/default/files/publication_upload/Visual%20Soil%20Assessment.pdf)>.
- VALERIANO, Márcio de Morisson. *TOPODATA: GUIA PARA UTILIZAÇÃO DE DADOS GEOMORFOLÓGICOS LOCAIS*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <<http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>>. , 2008
- VAN LENGEN, Johan. *Manual do Arquiteto Descalço*. Rio de Janeiro: TIBÁLivros, 2004.
- VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. *Meteorologia e Climatologia*. Versão dig ed. Recife: [s.n.], 2006. Disponível em:
<http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/aulas/lce5702/Meteorologia_e_Climatologia_VD2_Mar_2006.pdf>.
- VARGAS, Milton. *Mecânica do Solo*. [S.l.]: McGraw-Hill do Brasil, 1977.
- VERRUIJT, Arnold. *Soil Mechanics*. [S.l.]: Delft University of Technology, 2012. Disponível em: <<http://geo.verruijt.net/software/SoilMechBook2012.pdf>>.
- VRIES, Sjerp De *et al*. Natural environments - healthy environments? An exploratory analysis of the relationship between greenspace and health. *Environment and Planning A: Economy and Space*, v. 35, n. 10, p. 1717–1731, 2003. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1068/a35111>>.
- WERNER, D.; THAEMERT, W. Zur Diagnose des physikalischen Bodenzustandes auf Produktionsflaechen. *Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd.*, n. 33, p. 729–739, 1989.
- WHITLOW, Roy. *Basic Soil Mechanics*. 3a edição ed. [S.l.]: Longman Group Limited, 1995.
- WILSON, E. O. *Biophilia*. Cambridge: : Harvard University Press, 1984.
- YEANG, Ken. *Proyectar con la naturaleza. Bases ecológicas para El proyecto arquitectónico*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2007.
- ZAINE, José Eduardo. *Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)*. 2000. 149 f. Universidade Estadual Paulista, 2000. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/102900>>.

ANEXO A - Zonas bioclimáticas, clima, cidades e percentuais de desconforto por frio, conforto térmico e desconforto por calor.

Zona	Clima	Cidades	Frio (%)	Conforto (%)	Calor (%)
1	Frio no inverno, ameno no verão com chuvas bem distribuídas, embora concentradas no verão. Chuvas distribuídas e umidade relativa (UR) entre 70% e 90% ao longo do ano.	Curitiba-PR	77	15	8
		Caxias do Sul-RS	72	22	7
		Campos do Jordão-SP	85	11	4
		Poços de Caldas-MG	85	11	4
		Maringá-PR	29	41	30
		Canela-RS	79	12	9
		São Joaquim-SC	92	6	2
		Guarapuava-PR	70	23	7
		Castro-PR	74	20	6
		Lages-SC	92	6	2
		Média	78,0	16,0	6,3
2	Clima ameno. Na região Sul, verões quentes e invernos frios. Em Minas Gerais, clima de altitude com maior amplitude térmica e chuvas concentradas no verão. UR entre 70% e 90%, sendo menor um pouco no interior durante o verão.	Laguna-SC	51	20	29
		Uruguaiana-RS	52	26	21
		Pelotas-RS	74	15	12
		Ponta Grossa-PR	56	27	17
		Piracicaba-SP	44	37	20
		Santa Maria-RS	56	24	20
		Itapeva-SP	61	27	12
		Teresópolis-RJ	73	17	11
		Passa Quatro-MG	67	25	8
		Machado-MG	57	32	11
		Média	59,1	25,0	16,1
		3		Florianópolis-SC	43
Camboriú-SC	50			20	30

Zona	Clima	Cidades	Frio (%)	Conforto (%)	Calor (%)
	Clima ameno tendendo a úmido. Inverno seco e frio, verão quente e úmido com chuvas concentradas. Litoral com UR entre 80% e 100%. Interior com UR entre 60% e 80%.	Frederico Westphalen-RS	55	32	12
		Porto Alegre-RS	55	21	25
		Torres-RS	59	14	27
		São Paulo-SP	62	22	15
		Campinas-SP	38	35	27
		Taubaté-SP	43	34	23
		Belo Horizonte-BH	25	50	25
		Sorocaba-SP	45	31	24
		Foz do Iguaçu-PR	40	20	40
		Juiz de Fora-MG	68	21	11
		Paranaguá-PR	78	14	8
		Petrópolis-RJ	97	1	1
		Média	54,1	23,7	22,0
4	Invernos secos, UR entre 50% e 70% e verões úmidos e chuvosos, com UR entre 70% e 80%. Noites frias no inverno e tardes quentes durante todo o ano.	Brasília-DF	46	37	18
		Franca-SP	44	44	13
		São Carlos-SP	49	38	13
		Mococa-SP	39	41	20
		Jaú-SP	46	35	19
		Sete Lagoas-MG	30	49	21
		Pirapora-MG	18	44	38
		Oliveira-MG	47	36	17
		Luziânia-GO	33	46	21
		Ipameri-GO	23	44	33
		Média	37,5	41,4	21,3
5	Quente e úmido a maior parte do ano com noites frias no inverno e chuvas concentradas no verão. UR de 80% a 90% no litoral, 60% a 80% no interior.	Niterói-RJ	25	39	37
		São Francisco do Sul-SC	49	17	34
		Santos-SP	38	18	44

Zona	Clima	Cidades	Frio (%)	Conforto (%)	Calor (%)
		Morro do Chapéu-BA	58	33	9
		Vitória da Conquista-BA	11	39	50
		Cataguases-MG	22	38	40
		Pedra Azul-MG	39	39	22
		Garanhuns-PE	47	31	22
		Aquidauana-MS	21	26	53
		Ivinhema-MS	21	44	35
		Média	33,1	32,4	34,6
6	Quente e seco, com tardes quentes, noites amenas e chuvas no verão. UR de 40% a 60% no inverno e 60% a 80% no verão	Goiânia-GO	23	43	34
		Pirenópolis-GO	10	53	37
		Rio Verde-GO	25	43	32
		Campo Grande-MS	21	45	33
		Presidente Prudente-SP	20	54	26
		Paraná-TO	11	25	64
		Catanduva-SP	32	38	30
		Coxim-MS	17	25	58
		Monteiro-PB	12	52	36
		Montes Claros-MG	22	54	24
		Januária-MG	24	35	41
		Bom Jesus da Lapa-BA	6	62	32
		Irecê-BA	16	59	24
		Média	18,4	45,2	36,2
7	Quente e seco, chuvas escassas. UR de 30% a 60% no inverno e 60% a 80% no verão.	Cuiabá-MT	8	28	64
		Teresina-PI	1	25	75
		Crateús-CE	1	45	54
		Goiás-GO	8	35	57
		Carolina-MA	1	21	78

Zona	Clima	Cidades	Frio (%)	Conforto (%)	Calor (%)
		Barreiras-BA	13	45	42
		Paulo Afonso-BA	3	55	42
		Monte Azul-MG	5	47	49
		Cabrobó-PE	1	55	44
		Porto Nacional-TO	1	43	57
		Mossoró-RN	0	71	28
		Média	3,8	42,7	53,6
8	Quente e úmido com chuvas durante o ano todo. Amazônia, UR de 80% a 100% o ano todo. Litoral de 70% a 90%.	Belém-PA	0	3	97
		Corumbá-MS	14	37	49
		Fernando de Noronha-PE	0	34	66
		Fortaleza-CE	0	2	98
		João Pessoa-PB	0	52	48
		Maceió-AL	5	30	65
		Manaus-AM	0	1	99
		Natal-RN	1	27	73
		Recife-PE	0	37	63
		Rio Branco-AC	4	14	82
		Rio de Janeiro-RJ	15	22	63
		Santarém-PA	0	10	90
		Salvador-BA	3	49	48
		São Luís-MA	0	4	96
		Vitória-ES	19	19	61
		Média	4,1	22,7	73,2

Fonte: modificado de Ferreira; Souza; Assis (2014), Lamberts; Dutra; Pereira (2014)¹ e ABNT (2003).

ANEXO B - Zonas Bioclimáticas, clima correspondente, cidades, obrigações, proibições e condicionamento térmico passivo.

Zona	Clima ¹	Cidades	Obrigatório	Proibido	Aberturas e sombreamento	Vedações externas	Condicionamento térmico passivo
1	Frio no inverno, ameno no verão com chuvas bem distribuídas, embora concentradas no verão.	Curitiba, Caxias do Sul, Lages, São Joaquim, Campos do Jordão.	A – Zona de aquecimento artificial (calefação) de modo a amenizar desconforto pelo frio.	I + J – Zona de ventilação, prevendo aberturas que permitam a circulação do ar de modo a ventilar a edificação utilizando os ventos e brisas predominantes na região. O entorno da edificação (construções, vegetação, relevo) podem ser planejados de modo a otimizar os resultados desejados.	Médias. Permitir sol no inverno.	Paredes leves. Coberturas leves e isoladas.	Inverno: B - Aquecimento solar da edificação. C - Vedações internas pesadas (inércia térmica).
2	Clima ameno. Na região Sul, verões quentes e invernos frios. Em Minas Gerais, clima de altitude com maior amplitude térmica e chuvas concentradas no verão.	Laguna, Uruguaiana, Pelotas, Ponta Grossa, Piracicaba.	A – Zona de aquecimento artificial (calefação) de modo a amenizar desconforto pelo frio.		Médias. Permitir sol no inverno.	Paredes leves. Coberturas leves e isoladas.	Verão: J - Ventilação cruzada. Inverno: B - Aquecimento solar da edificação. C - Vedações internas pesadas (inércia térmica).

Zona	Clima ¹	Cidades	Obrigatório	Proibido	Aberturas e sombreamento	Vedações externas	Condicionamento térmico passivo
3	Clima ameno tendendo a úmido. Inverno seco e frio, verão quente e úmido com chuvas concentradas.	Florianópolis, Camboriu, Chapecó, Porto Alegre, Rio Grande, Torres, São Paulo, Campinas, Belo Horizonte, Sorocaba, Foz do Iguaçu, Jacarezinho, Paranaguá, Petrópolis.	B – Zona de aquecimento solar da edificação obtida pela adequada orientação e <i>design</i> da construção de modo a obter aquecimento passivo por radiação solar no inverno.	D – Zona de Conforto Térmico com baixa umidade. H - Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento.	Médias. Permitir sol no inverno.	Paredes leves e refletoras. Coberturas leves e isoladas.	Verão: J - Ventilação cruzada. Inverno: B - Aquecimento solar da edificação. C - Vedações internas pesadas (inércia térmica).
4	Invernos secos e verões úmidos e chuvosos. Noites frias no inverno e tardes quentes durante todo o ano.	Brasília, Ribeirão Preto, Franca, Limeira, São Carlos.	B – Zona de aquecimento solar da edificação obtida pela adequada orientação e <i>design</i> da construção de modo a obter aquecimento passivo por radiação solar no inverno.		Médias. Sombrear aberturas	Paredes pesadas. Coberturas leves e isoladas.	Verão: H - Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento. J - Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa). Inverno: B - Aquecimento solar da edificação.

Zona	Clima ¹	Cidades	Obrigatório	Proibido	Aberturas e sombreamento	Vedações externas	Condicionamento térmico passivo
							C - Vedações internas pesadas (inércia térmica).
5	Quente e úmido a maior parte do ano com noites frias no inverno e chuvas concentradas no verão.	Niterói, São Francisco do Sul, Santos.	C – Zona de massa térmica (paredes internas pesadas) para manter o aquecimento.	D – Zona de Conforto Térmico com baixa umidade. H - Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento.	Médias. Sombrear aberturas	Paredes leves e refletoras. Coberturas leves e isoladas.	Verão: J - Ventilação cruzada. Inverno: C - Vedações internas pesadas (inércia térmica).
6	Quente e seco, com tardes quentes, noites amenas e chuvas no verão.	Goiânia, Campo Grande, Presidente Prudente.	C – Zona de massa térmica (paredes internas pesadas) para manter o aquecimento.		Médias. Sombrear aberturas	Paredes pesadas. Coberturas leves e isoladas.	Verão: H - Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento. J - Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa). Inverno: C - Vedações internas pesadas (inércia térmica).

Zona	Clima ¹	Cidades	Obrigatório	Proibido	Aberturas e sombreamento	Vedações externas	Condicionamento térmico passivo
7	Quente e seco, chuvas escassas.	Cuiabá, Teresina.	H - Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento.		Pequenas. Sombrear aberturas	Paredes pesadas. Coberturas pesadas.	Verão: H - Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento. J - Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa).
8	Quente e úmido com chuvas durante o ano todo.	Belém, Corumbá, Fortaleza, João Pessoa, Maceió, Manaus, Natal, Recife, Rio Branco, Rio de Janeiro, Santarém, Salvador, São Luís, Vitória.		D – Zona de Conforto Térmico com baixa umidade.	Grandes. Sombrear aberturas	Paredes leves e refletoras. Coberturas leves e refletoras.	J – Ventilação cruzada permanente e/ou utilização de equipamento de refrigeração.

Fonte: modificado de Ferreira; Souza; Assis (2014), Lamberts; Dutra; Pereira (2014)¹ e ABNT (2003).