

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**METODOLOGIA DE APOIO A SELEÇÃO DE SISTEMAS
CONSTRUTIVOS MAIS SUSTENTÁVEIS PARA
HABITAÇÕES RURAIS NO CONTEXTO BRASILEIRO**

CHRISTIAN SOUZA BARBOZA

ORIENTADOR: PROF. DR. DOUGLAS BARRETO

COORIENTADOR: PROF. DR. RICARDO MATEUS

São Carlos - SP
Setembro/2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**METODOLOGIA DE APOIO A SELEÇÃO DE SISTEMAS
CONSTRUTIVOS MAIS SUSTENTÁVEIS PARA
HABITAÇÕES RURAIS NO CONTEXTO BRASILEIRO**

CHRISTIAN SOUZA BARBOZA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Douglas Barreto

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Mateus

São Carlos - SP
Setembro/2019

Souza Barboza, Christian

METODOLOGIA DE APOIO A SELEÇÃO DE SISTEMAS
CONSTRUTIVOS MAIS SUSTENTÁVEIS PARA HABITAÇÕES RURAIS
NO CONTEXTO BRASILEIRO / Christian Souza Barboza. -- 2019.
328 f. : 30 cm.

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

Orientador: Douglas Barreto, Ricardo Mateus

Banca examinadora: Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira, Érico
Masiero, Marcus André Siqueira Campos, Paulo Cesar Lima Segantine
Bibliografia

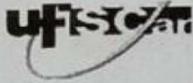
1. Sistema de suporte a decisão. 2. Sistemas construtivos mais
sustentáveis. 3. Habitação rural. I. Orientador. II. Universidade Federal de
São Carlos. III. Título.

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

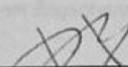
FOLHA DE APROVAÇÃO



Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

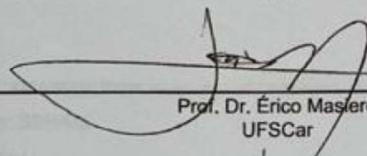
Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado do candidato Christian Souza Barboza, realizada em 27/09/2019:



Prof. Dr. Douglas Barreto
UFSCar

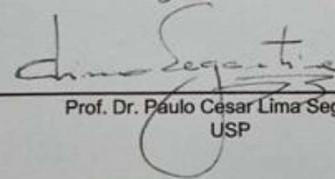
Prof. Dr. Marcus André Siqueira Campos
UFG



Prof. Dr. Érico Masiero
UFSCar

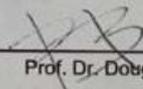


Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira
UFSCar



Prof. Dr. Paulo César Lima Segantine
USP

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Marcus André Siqueira Campos e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ão) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.



Prof. Dr. Douglas Barreto

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado às minhas famílias, a formada por meus pais, irmãos e avós, a construída com a minha companheira, a que ganhei nos anos morando em São Carlos e, a mais recente, no período de estada em Portugal. Em especial, dedico esta tese à memória dos meus avós, Milton e Benedita Barbosa, que infelizmente nos deixaram no último ano. Desde pequeno, eles sempre me estimularam a ter curiosidade e buscar novas soluções para problemas cotidianos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me iluminou e protegeu durante a realização desta pesquisa, dando-me forças para prosseguir e não desistir de lutar pelos meus objetivos.

A minha companheira, Tatiane, que esteve a meu lado em todos os momentos dando força e incentivo.

Aos meus pais e irmãos, Milton, Jandira, Vinícius e Milton Neto que sempre me motivaram e, com muito esforço, me deram a oportunidade de estudar e batalhar pelos meus sonhos.

Aos amigos Bruno e Bruna com quem dividi - além de moradia em São Carlos - momentos de muitos aprendizados, acolhida, alegrias e afeto.

Aos amigos de Portugal, Lana, Amanda, Fabiane, Kamel, Nicholas e Márcio pela partilha de vida, carinho e amor.

A todos os amigos do Programa De Pós-Graduação em Engenharia Civil Da Universidade Federal de São Carlos (PPGECiv/UFSCar) e do Centre of Territory Environment and Construction da Universidade do Minho, Portugal (CTAC/Uminho).

Aos colegas de trabalho da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), que colaboraram para que eu pudesse me dedicar exclusivamente à esta pesquisa.

Aos professores Douglas Barreto (UFSCAr, São Carlos - Brasil) e Ricardo Mateus (Universidade do Minho, Guimarães – Portugal), orientador e coorientador dessa pesquisa, sou imensamente grato pelas horas dedicadas para o desenvolvimento desse trabalho, pelo cuidado com os detalhes, pelo profissionalismo e amizade.

Às instituições Universidade Federal da Grande Dourados, Universidade Federal de São Carlos, Universidade do Minho, Agência de Desenvolvimento Agrário e Extensão Rural do Estado de Mato Grosso do Sul (Agraer/MS) e a Subprefeitura do distrito de Nova Itamarati, pelo apoio institucional prestado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento prestado por meio do edital do programa de doutorado sanduíche (PDSE 047/2017).

"As palavras só têm sentido se nos ajudam a ver o mundo melhor. Aprendemos palavras para melhorar os olhos."
Rubem Alves

RESUMO

A falta de moradia digna para as populações que vivem fora das cidades se apresenta como um dos principais fatores de vulnerabilidade social, sendo verificado, no Brasil, um déficit habitacional rural de 783 mil unidades. Com importância vital para a amenização dessa situação, a indústria da construção civil, com grande participação nos processos de transformação social, econômica e ambiental, passa a se ressignificar, incorporando conceitos de sustentabilidade a seus processos construtivos. Diversas metodologias para a avaliação do desempenho sustentável de edificações, a partir dos anos 2000, passaram a ser propostas. Porém, a grande maioria é voltada para a avaliação dos impactos do ambiente urbano sobre os ambientes localizados fora dos grandes centros. Com o objetivo de se avaliar a contribuição para o aumento da sustentabilidade de edificações em ambientes rurais pela comparação de desempenho de sistemas construtivos tradicionais e alternativos, o presente trabalho propõe, a partir da análise de outras metodologias avaliativas, contexto de aplicação e consulta a grupos de interesse, a criação de um método de auxílio à tomada de decisões para a seleção de sistemas construtivos mais sustentáveis, destinados às habitações rurais de interesse social. O método proposto é baseado em uma modelagem construída a partir do Processo de Análise Hierárquica - Analytic Hierarchy Process (AHP), adotando-se como critério de seleção o desempenho da solução construtiva ante a quatro dimensões propostas ("Ecológica e Ambiental", "Sócio, Histórico e Cultural", "Econômica e Financeira" e "Técnica e Desempenho"). Devido à grande complexidade e número de variáveis, foi construída uma ferramenta computacional, usando a linguagem de programação Python, para automatizar o processamento de dados, sendo que para a avaliação de seu comportamento foi realizado um estudo de caso no Assentamento Itamarati, localizado na zona rural do município de Ponta Porã-MS, Brasil. Nesse estudo foram comparadas quatro soluções construtivas para as vedações verticais (blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de solo-cimento compacto e taipa de pilão mecanizada). Os sistemas à base de solo tiveram os melhores desempenhos, de 29,00% e 26,30% para os blocos e a taipa, respectivamente, em comparação aos industrializados blocos cerâmicos (22,63%) e de concreto (22,07%). A partir dos resultados, a metodologia proposta se apresenta como solução viável para a implementação de práticas construtivas que contribuem para o aumento da sustentabilidade das edificações, particularizada à realidade do campo.

Palavras-chave: Sistema de suporte a decisão, Sistemas construtivos mais sustentáveis, habitação rural.

ABSTRACT

The lack of decent housing for people living in the countryside is one of the main factors of social vulnerability, with rural housing shortage reaching 783 thousand in Brazil. The construction industry is of great importance for the mitigation of this situation, with significant participation in the process of social, economic and environmental transformation. The industry now starts to reframe itself, incorporating concepts of sustainability in its construction processes. Since the early 2000s, several methodologies for the evaluation of sustainable performance of buildings have been proposed. However, the vast majority of these methodologies is focused on the assessment of the impacts of the urban environment of large centers on the surroundings. In order to evaluate the contribution to promote sustainability of buildings in rural environments by comparing the performance of traditional and alternative building systems, the present work proposes, using interest group surveys and the analysis of other evaluation methodologies and of application context, the creation of a decision aid method for choosing more sustainable building systems, which are aimed for rural housing of social interest. The proposed method is based on modeling built from Analytic Hierarchy Process (AHP), using the performance of the constructive system in four proposed aspects ("Ecological and Environmental", "Social, Historical and Cultural", "Economic and Financial" and "Technical and Performance") as selection criteria. Due to the complexity and number of variables, a computational tool was built, using the Python programming language, to automate the processing of data. A case study was carried out to assess the model, in Assentamento Itamarati, located in the rural area of Ponta Porã-MS, Brazil. In this study, four wall solutions were compared (ceramic blocks, concrete blocks, compact soil-cement blocks and mechanically pressed compressed soil blocks). The soil-based systems had the best performance, of 29.00% and 26.30% for soil-cement blocks and compressed soil blocks, respectively, compared to the industrialized ceramic (22.63%) and concrete (22.07%) blocks. It is noticeable, from the results, that the proposed methodology presents itself as a viable solution for the implementation of constructive practices that contribute to the promotion of sustainability of buildings, customized to the reality of the countryside.

Keywords: Decision support system, more sustainable building systems, rural housing.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1.1 – Distribuição dos grupos populacionais ante ao mapa de conflito no campo (%)..... | 25 |
| Figura 2.1 – A construção do conceito de sustentabilidade ao longo do tempo – fatos marcantes entre 1940 e 1990..... | 32 |
| Figura 2.2 - A construção do conceito de sustentabilidade ao longo do tempo – fatos marcantes entre 1940 aos dias atuais..... | 33 |
| Figura 2.3 – Objetivos para o desenvolvimento sustentável | 36 |
| Figura 2.4 – Categorização dos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) | 36 |
| Figura 2.5 – O desenvolvimento sustentável enxergado sob dimensões interdependentes..... | 38 |
| Figura 2.6 – Definições para as terminologias atreladas ao sistema construtivo | 46 |
| Figura 2.7 – Uso de técnicas construtivas a base de solo ao redor do mundo | 54 |
| Figura 2.8 – Classificação de técnicas construtivas com solo a partir das atividades necessárias para o seu desenvolvimento | 55 |
| Figura 2.9 - Habitações precárias identificadas nos espaços não urbanos do estado de Mato Grosso do Sul..... | 64 |
| Figura 3.1 - Considerações acerca do processo de ressignificação dos conceitos de desempenho construtivo. | 68 |
| Figura 3.2 - Principais discussões acerca da sustentabilidade construtiva com base na agenda 21 | 70 |
| Figura 3.3 – Adequação do setor da construção civil ante aos novos paradigmas trazidos pela agenda 21 | 71 |
| Figura 3.4 – Parâmetros a serem considerado para o alcance de horizontes mais sustentáveis para edificações | 73 |
| Figura 3.5 – Etapas para a realização de avaliação por meio da análise de ciclo de vida..... | 75 |
| Figura 3.6 – Fases a serem consideradas na avaliação de ciclo de vida de materiais construtivos | 77 |
| Figura 3.7 - Macrorregiões mundiais | 81 |
| Figura 4.1 - Sistematização de passos metodológicos AHP | 100 |
| Figura 4.2 - Vantagens e limitações do método AHP..... | 104 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.1 – Delimitação física e escopo de avaliação..... | 107 |
| Figura 5.2 – Delimitação física e escopo de avaliação..... | 111 |
| Figura 5.3 - Dimensões a serem consideradas para a avaliação do desempenho sustentável de sistemas construtivos | 115 |
| Figura 5.4 - Etapas para a construção e aprimoramento de indicadores | 121 |
| Figura 5.5 – Estruturação para seleção de indicadores | 134 |
| Figura 5.6 – Estruturação de formulários de validação de indicadores de sustentabilidade | 136 |
| Figura 5.7 Sistematização da modelagem hierárquica proposta pela MATSUS-HR | 138 |
| Figura 5.8 – Estruturação dos formulários para o estabelecimento de graus de importância para categorias e dimensões de sustentabilidade | 145 |
| Figura 5.9 – Exemplo de atribuição de pesos por dimensão de sustentabilidade ... | 146 |
| Figura 5.10 - Estrutura de identificação de informações no ambiente da MATSUS-HR | 154 |
| Figura 5.11 – Logomarca desenvolvida para a MATSUS-HR | 155 |
| Figura 6.1 Delimitação para as categorias consolidadas dentro das fases de ciclo de vida dos sistemas construtivos | 165 |
| Figura 6.2 – Estrutura lógica de funcionamento da ferramenta operacional da MATSUS-HR..... | 166 |
| Figura 6.3 – Estrutura de processamento para os indicadores não ponderados | 167 |
| Figura 6.4 Acesso ao cadastramento de dados primários na janela principal da ferramenta MATSUS-HR..... | 169 |
| Figura 6.5 Janela de cadastramento de materiais – parte 1 | 170 |
| Figura 6.6 - Janela de pesquisa de dados já cadastrados | 171 |
| Figura 6.7 - Janela de cadastramento de materiais – parte 2 | 172 |
| Figura 6.8 - Janela de cadastramento de equipamentos – parte 1 | 173 |
| Figura 6.9 - Janela de cadastramento de equipamentos – parte 2 | 174 |
| Figura 6.10 - Janela de cadastramento de mão de obra | 175 |
| Figura 6.11 - Janela de cadastramento de custos unitários | 176 |
| Figura 6.12 - Janela de composição de atividades | 178 |
| Figura 6.13 - Janela de visualização de indicadores ecológicos e ambientais parciais por atividade..... | 183 |
| Figura 6.14 - Janela de visualização de indicadores econômicos e financeiros parciais por atividade..... | 184 |

| | |
|---|-----|
| Figura 6.15 - Janela de cadastramento de informações Econômicas e financeiras para os sistemas construtivo – Categoria EII | 186 |
| Figura 6.16 - Janela de cadastramento de informações Sócio, histórica e culturais para os sistemas construtivo – Categoria SI, SII e SIV | 186 |
| Figura 6.17 - Janela de cadastramento de informações técnicas e de desempenho para os sistemas construtivo – Categorias TI a TV | 191 |
| Figura 6.18 – Janela de apresentação dos valores agregados por atividade | 199 |
| Figura 6.19 – Janela de cadastramento de informações iniciais do projeto | 200 |
| Figura 6.20 – Janela de seleção de sistemas construtivos a serem comparados em um projeto | 202 |
| Figura 6.21 – Janela de seleção de cadastramento de transportes e movimentações | 204 |
| Figura 6.22 – Janela de seleção de análise de transportes e movimentações por sistema construtivo..... | 205 |
| Figura 6.23 – Janela de apresentação dos indicadores totais não ponderados (agregados por sistema construtivo dentro do projeto analisado)..... | 206 |
| Figura 6.24 – Janela de cadastramento do vetor decisão | 213 |
| Figura 6.25 – Janela de exposição dos valores calculados por categorias..... | 214 |
| Figura 6.26 – Janela de exposição do índice de sustentabilidade por sistema construtivo | 215 |
| Figura 6.27 – Desempenhos finais por categorias expressos por meio de gráficos dentro da ferramenta MATSUS-HR..... | 216 |
| Figura 6.28 – Valores finais expressos por meio de gráficos dentro da ferramenta MATSUS-HR..... | 216 |
| Figura 7.1 – Posicionamento geográfico do Assentamento Itamarati | 219 |
| Figura 7.2 – Densidade demográfica do município de Ponta Porã e da região do Assentamento Itamarati | 220 |
| Figura 7.3 – Evolução espacial da região ao longo do tempo..... | 221 |
| Figura 7.4 – Croqui de caracterização da unidade habitacional básica de projeto.. | 222 |
| Figura 7.5 – Desempenho por dimensões de sustentabilidade para os sistemas construtivos analisados | 225 |
| Figura 7.6 – Desempenho por categoria para os sistemas construtivos analisados | 226 |
| Figura 7.7 – Visualização espacial do desempenho dos sistemas (Tamanho de copa) | 228 |
| Figura 7.8 – Análise de sensibilidade para a dimensão Ecológica e ambiental | 229 |

Figura 7.9 - Análise de sensibilidade para a dimensão Sócio, histórica e cultural ..229

Figura 7.10 – Análise de sensibilidade para a dimensão Econômica e financeira ..230

Figura 7.11 – Análise de sensibilidade para a dimensão Técnica e desempenho ..230

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 2.1 - Classificação de técnicas construtivas com base no a forma de estabilização do solo | 56 |
| Quadro 2.2 - Principais técnicas construtivas em bloco com dimensões reduzidas.. | 60 |
| Quadro 2.3 - Principais técnicas construtivas em monoblocos horizontais | 61 |
| Quadro 2.4 - Relação de normas brasileiras que parametrizam a utilização de componentes construtivos de solo-cimento..... | 62 |
| Quadro 3.1 - Principais metodologias para a análise da sustentabilidade construtiva ao redor do mundo | 82 |
| Quadro 3.2 - Protocolo de avaliação das metodologias de certificação da sustentabilidade construtiva | 84 |
| Quadro 3.3 - Resumo da metodologia LEED | 85 |
| Quadro 3.4 - Resumo da metodologia CASBEE | 86 |
| Quadro 3.5 - Resumo da metodologia AQUA | 87 |
| Quadro 3.6 - Resumo da metodologia BREEAM | 88 |
| Quadro 3.7 - Resumo da metodologia SBTOOL..... | 89 |
| Quadro 3.8 - Resumo da metodologia EDGE | 90 |
| Quadro 4.1 - Síntese de Métodos da Escola Europeia | 95 |
| Quadro 4.2 - Síntese de Métodos da Escola Americana..... | 96 |
| Quadro 4.3 - Comparação entre métodos da Escola Americana e Europeia..... | 98 |
| Quadro 4.4 - Graduação de níveis de importância avaliativa | 101 |
| Quadro 5.1 - Proposta de indicadores para a dimensão ambiental..... | 123 |
| Quadro 5.2 - Proposta de indicadores para a dimensão sócio, histórica e cultural . | 126 |
| Quadro 5.3 - Proposta de indicadores para a dimensão econômica e financeira ... | 127 |
| Quadro 5.4 - Conjunto de indicadores propostos para a dimensão técnica | 128 |
| Quadro 5.5 - Correlação da lista de potenciais indicadores com outras metodologias de análise da sustentabilidade de edificações | 130 |
| Quadro 5.6 - Valores atribuídos para os critérios avaliativos em uma exemplificação de modelagem AHP | 139 |
| Quadro 5.7 - Harmonização e normalização dos dados em uma exemplificação de modelagem AHP | 141 |

| | |
|---|-----|
| Quadro 5.8 - Pontuação atribuída aos graus de relevância de dimensões de sustentabilidade | 147 |
| Quadro 5.9 - Pontuação atribuída aos graus de relevância de dimensões de sustentabilidade | 147 |
| Quadro 5.10 - Construção do vetor decisão por dimensão | 148 |
| Quadro 5.11 - Construção do vetor decisão - dimensão Ecológica e ambiental | 148 |
| Quadro 5.12 - Construção do vetor decisão - dimensão Sócio, histórica e cultural | 149 |
| Quadro 5.13 - Construção do vetor decisão - dimensão Econômica e financeira | 149 |
| Quadro 5.14 - Construção do vetor decisão - dimensão Técnica e desempenho | 150 |
| Quadro 5.15 - Valores para os índices randômicos | 151 |
| Quadro 6.1 - Descrição de indicadores a serem avaliados pela MATSUS-HR | 160 |
| Quadro 6.2 - Detalhamento de informações Econômicas e financeiras e Sócio, histórica e culturais” para os sistemas construtivo – Categoria SIII | 179 |
| Quadro 6.3 - Detalhamento de parâmetros para indicadores locais | 187 |
| Quadro 6.4 - Detalhamento de indicadores técnicos e de desempenho | 192 |
| Quadro 6.5 - Graus de importância para o 3º nível – dimensão Ecológica e ambiental | 208 |
| Quadro 6.6 - Graus de importância para o 3º nível – dimensão Sócio, histórica e cultural | 209 |
| Quadro 6.7 - Graus de importância para o 3º nível – dimensão Econômica e financeira | 210 |
| Quadro 6.8 - Graus de importância para o 3º nível – dimensão Técnica e desempenho | 210 |
| Quadro 6.9 - Graus de importância para o 1º e 2º nível hierárquico | 212 |
| Quadro 7.1 - Classificação dos sistemas construtivos analisados | 227 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Brasil
- AHP** - Analytic Hierarchy Process (Processo de Análise Hierárquica)
- AGEHAB** - Agência de Habitação Popular do Estado de Mato Grosso do Sul
- AGRAER** - Agência de Desenvolvimento Agrário e Extensão Rural
- ANTAC** - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Brasil
- AP** - Acidification Potencial (Potencial de acidificação)
- AQUA** - Certificação Alta Qualidade Ambiental
- ASTM** - American Society for Testing and Materials, Estados Unidos
- BEE** - Building Environment Efficiency, Japão
- BEPAC** - Building Environmental Performance Assessment Criteria, Canadá
- BREEAM** - Building Research Establishment Environmental Assessment Method, Reino Unido
- CASBEE** - Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency, Japão
- CFC** - Clorofluorcarbono
- CLT** - Consolidação das Leis do Trabalho
- CO2** - Dióxido de Carbono
- CUT** - Central Única dos Trabalhadores
- DDT** - Dicloreto-Difenil-Tricloroetano
- EDGE** - Excellence in Design for Greater Efficiencies
- ELECTRE** - ELimination Et Choice Translating REality
- EP** - Eutrophication Potencial (Potencial de Eutrofização)
- EPD** - Environmental Product Declaration
- FGV** - Fundação Getúlio Vargas, Brasil
- GBC** - Green Building Challenge
- GWP** - Global Warming Potencial (Potencial de Aquecimento Global)
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasil
- IIED** - International Institute for Environment and Development
- iISBE** - International Initiative for Sustainable Built Environment, Canadá
- IISD** - International Institute for Sustainable Development

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

ISO - International Organization for Standardization

LCC - Life-Cycle Cost Analysis (Análise de custos ao longo do ciclo de vida)

LCI - Life-Cycle Inventory (Inventário do ciclo de vida)

LCIA - Life-Cycle Impact Assessment

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design, Estados Unidos

MACBETH - Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique

MADA - Multiattribute Decision Analysis (Análise de decisão multi-atributos)

MCA - Multicriteria Analysis (Análise multicritério)

MCDA - Multicriteria Decision Analysis (Análise de decisão multicritério)

MST - Movimento dos Trabalhadores Sem-Terra

NABERS - The National Australian Buildings Environmental Rating System, Australia

NOx - Óxidos de Nitrogênio

ODP - Ozone Depleting Potential (Potencial de dano à camada de ozônio troposférico)

ODS - Ozone Depleting Substance (Substância danosa à camada de ozônio troposférico)

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development

ONU - Organização das Nações Unidas

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROMETHEE - Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations

SOx - Óxidos de Enxofre

SBTOOL - Internatinal Sustainable Building Tool

SMARTER - Simple Multi-attribute Rating Technique Exploiting Ranks

SMARTS - Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings

SSD - Sistema de Suporte a Decisão

TODIM - Tomada de Decisão Interativa Multicritério

TOPSIS - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

UNCED - United Nations Conference on Environment and Development / Earth Summit (Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento)

UNCSD - United Nations Commission on Sustainable Development (Comissão das Nações Unidas para Desenvolvimento Sustentável)

UNSD - United Nations Division of Sustainable Development

UNEP - United Nations Environment Programme

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

UTADIS - Utilités Additives Discriminantes

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development, Suíça

WCED - World Commission on Environment and Development

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO..... | 21 |
| 1.1. Considerações iniciais | 22 |
| 1.2. As edificações e o contexto de vulnerabilidades sociais..... | 23 |
| 1.3. Objetivos | 28 |
| 1.3.1. Geral | 28 |
| 1.3.2. Específicos..... | 28 |
| 1.4. Descrição dos capítulos | 29 |
| CAPÍTULO 2 - A SUSTENTABILIDADE E AS EDIFICAÇÕES RURAIS E NÃO URBANAS | 30 |
| 2.1 Considerações Iniciais..... | 31 |
| 2.2 A construção conceitual a partir das discussões mundiais | 31 |
| 2.3 Dimensões de sustentabilidade..... | 37 |
| 2.4 A sustentabilidade e o ambiente construído em ambientes rurais | 40 |
| 2.5 A inserção de materiais e sistemas construtivos mais sustentáveis em ambientes rurais e não urbanos | 43 |
| 2.6 Sistema, processo, método e técnica construtiva | 45 |
| 2.7 Materiais construtivos alternativos e não-convencionais..... | 48 |
| 2.7.1 A apropriação de tecnologias construtivas mais sustentáveis..... | 50 |
| 2.8 Técnicas construtivas à base de solo..... | 52 |
| 2.9 Técnicas construtivas a base de solo-cimento | 58 |
| 2.9.1.1 Bloco com dimensões reduzidas..... | 60 |
| 2.9.1.2 Monoblocos horizontais..... | 61 |
| 2.9.1.3 Paredes monolíticas de solo-cimento..... | 61 |
| 2.9.1.4 Normatização | 62 |
| 2.9.2 Experiências da utilização do solo-cimento em edificações localizadas em ambientes não urbanos | 63 |
| CAPÍTULO 3 - MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE CONSTRUTIVA | 66 |
| 3.1 Considerações Iniciais..... | 67 |

| | |
|--|------------|
| 3.2 A sustentabilidade na construção civil..... | 69 |
| 3.3 Avaliação de desempenho ambiental a partir da análise do ciclo de vida dos materiais construtivos..... | 74 |
| 3.4 Levantamento e exposição de metodologias e ferramentas para se avaliar a sustentabilidade na construção civil..... | 79 |
| CAPÍTULO 4 - MÉTODOS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO..... | 92 |
| 4.1 Considerações iniciais..... | 93 |
| 4.2 Métodos de auxílio à tomada de decisão em ambientes com múltiplas variáveis..... | 93 |
| 4.3 Métodos baseados na escola de pensamento europeia..... | 94 |
| 4.4 Métodos baseados na Escola de Pensamento Americana..... | 96 |
| 4.5 Comparação entre as escolas de pensamento..... | 97 |
| 4.6 Método Analytic Hierarchy Process (AHP)..... | 99 |
| CAPÍTULO 5 - ESTRUTURAÇÃO METODOLÓGICA PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO SUSTENTÁVEL DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS..... | 105 |
| 5.1 Considerações Iniciais..... | 106 |
| 5.2 Objetivos do capítulo..... | 108 |
| 5.3 Abrangência avaliativa..... | 109 |
| 5.4 Seleção e validação de indicadores..... | 113 |
| 5.4.1 Estruturação das dimensões de sustentabilidade consideradas..... | 114 |
| 5.4.2 Indicadores, categorias e parâmetros..... | 116 |
| 5.4.2.1 Validação..... | 134 |
| 5.5 Hierarquização e modelagem numérica..... | 136 |
| 5.6 Estruturação do sistema de pesos..... | 143 |
| 5.6.1 Coleta de dados e grupos de interesse..... | 144 |
| 5.6.2 Tratamento de dados referentes aos graus de importância..... | 145 |
| 5.6.3 Consistência e modelagem AHP para os pesos..... | 148 |
| 5.7 Programação da ferramenta em ambiente Python..... | 152 |
| 5.7.1 Sistematização..... | 153 |
| CAPÍTULO 6 - BASE TEÓRICA E ESTRUTURA DE FUNCIONAMENTO DA FERRAMENTA OPERACIONAL MATSUS-HR..... | 157 |
| 6.1 Considerações Iniciais..... | 158 |

| | | |
|---|--|------------|
| 6.2 | Objetivos do capítulo | 158 |
| 6.3 | Lista de indicadores consolidada | 159 |
| 6.4 | Estrutura de funcionamento | 166 |
| 6.5 | Estrutura de processamento dos indicadores não ponderados..... | 167 |
| 6.5.1 | Cadastramento e armazenamento de dados primários..... | 168 |
| 6.5.2 | Composição de indicadores relativos parciais por atividade | 175 |
| 6.5.2.1 | Cadastro de custos unitários | 175 |
| 6.5.2.2 | Cadastramento de dados por atividade..... | 177 |
| 6.5.2.3 | Processamento de dados primários para a composição de valores relativos por atividade..... | 180 |
| 6.5.3 | Composição e processamento de indicadores relativos parciais por sistema construtivo | 184 |
| 6.5.3.1 | Os sistemas construtivos e as características locais..... | 185 |
| 6.5.3.2 | Cadastramento de dados relativo ao desempenho do sistema construtivo..... | 190 |
| 6.5.3.3 | Processo de agregação relativa de dados elaborados para os sistemas construtivos | 198 |
| 6.5.3.4 | Cadastro de quantidades de projeto..... | 199 |
| 6.5.3.5 | Análise de transportes e deslocamentos..... | 202 |
| 6.5.4 | Cálculo de indicadores totais não ponderados e valores de desempenho agregado | 205 |
| 6.6 | Graus de importância de indicadores nas suas respectivas categorias | 207 |
| 6.7 | Indicadores ponderados totais e ordenação de soluções construtivas mais sustentáveis | 214 |
| CAPÍTULO 7 - APLICAÇÃO METODOLÓGICA: ESTUDO DE CASO..... | | 217 |
| 7.1 | Introdução | 218 |
| 7.2 | O assentamento Itamarati | 218 |
| 7.3 | Avaliação por meio da MATSUS-HR..... | 221 |
| 7.3.1 | Resultados e discussões..... | 224 |
| 7.3.2 | Análise de sensibilidade | 228 |
| CAPÍTULO 8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | | 231 |
| 8.1 | Conclusões..... | 232 |
| 8.2 | Perspectivas futuras..... | 234 |

| | |
|-------------------------|------------|
| REFERÊNCIAS..... | 235 |
| APÊNDICE A..... | 249 |
| APÊNDICE B..... | 273 |
| APÊNDICE C..... | 294 |
| APÊNDICE D..... | 308 |
| APÊNDICE E..... | 311 |

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O capítulo inicial deste trabalho apresenta o tema da sustentabilidade de maneira mais holística, particularizando para habitações rurais e o setor da construção civil. Se objetiva nesta etapa trazer ao leitor como o trabalho se insere nesta temática. Ainda neste capítulo, constrói-se uma discussão acerca das contribuições da aplicação de materiais alternativos em edificações prediais situadas em regiões não urbanas. A relevância da pesquisa é demonstrada relacionando-se: à situação social e ambiental verificada em populações não urbanas, especificamente aquelas que vivem sob vulnerabilidade econômica, com a melhoria das condições de vida com a edificação de moradia adequada. Ao final, são apresentados os objetivos que delimitam o raio de extensão deste trabalho e como a pesquisa foi estruturada.

1.1. Considerações iniciais

A Organização das Nações Unidas (ONU), a partir do relatório de Brundtland (1987), define Desenvolvimento Sustentável como sendo: a atenção das necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas. Boff (2012), porém, questiona o caráter antropocêntrico da abordagem, já que essa desconsidera os demais seres da biosfera terrestre. A integração e responsabilização do ser humano com as questões energéticas, dos elementos químicos e informacionais se justifica não somente pela sua própria existência, mas sim para a preservação da vida terrestre de maneira irrestrita, ou, em outras palavras, deve-se manter e ampliar as condições para a preservação da comunidade de vida no planeta.

A relação entre as necessidades e a capacidade de extração de recursos naturais se tornou mais tênue nas últimas décadas, motivada pelo crescimento das cidades motivado por diversos fatores, tais como, o crescimento populacional acelerado, a migração de populações campesinas para os grandes centros e outros. A escassez e até o esgotamento de diversas fontes naturais de extração de matérias primas já interferem na capacidade produtiva e no valor agregado dos insumos básicos para a construção civil. Paralelamente a esse fato, as discussões mundiais acerca da necessidade de se minimizar os impactos das ações humanas sob o meio ambiente crescem em vulto e relevância. A interdisciplinaridade e as relações entre a conceituação e aplicação de ações mais sustentáveis tornaram-se imprescindíveis, expandindo-se as considerações para além da relação homem-meio ambiente (BELLEN, 2006; DESTATTE, 2010; WU et al., 2016). Pensar o desenvolvimento dos ambientes construídos de maneira sustentável passa a ser uma necessidade em termos sociais, econômicos e ambientais, sendo que a implementação de medidas que redirecionem os rumos da organização social e produtiva passa a ser cada vez mais próxima à realidade das pessoas.

Fora das cidades, no contexto brasileiro, a necessidade de moradia está entre os principais desafios a serem sanados pelos governantes e gestores. Segundo o IPEA (2018), proporcionalmente, o déficit rural é de mais de 15,0%, contra aproximados 10,0% nas regiões urbanas. Analisando-se esses números com relação à faixa de rendimentos mensais, verifica-se que na parcela da população com renda

de até três salários mínimos aliados aos ditos sem rendimentos, segundo o Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o déficit atinge 3,95 milhões de pessoas, representando 70,6% do total de necessidade de moradias. Em 2015, os números continuam altos, sendo verificado um déficit de 783 mil unidades habitacionais no campo (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2018). Porém, os esforços, mesmo ínfimos, estão centrados nas regiões urbanas e mais populosas (BONETE; FILHO, 2015).

1.2. As edificações e o contexto de vulnerabilidades sociais

Vulnerabilidade é um conceito bastante amplo e empregado em diversas áreas do conhecimento, na maioria das abordagens pretende-se caracterizar, pelo emprego da palavra, algo que apresenta fragilidades, é delicado, que está em estado de insegurança, instabilidade ou ainda apresenta fraquezas.

Com relação às questões de salubridade social, vinculam-se à vulnerabilidade como sendo um marco teórico-metodológico para o conceito de saúde coletiva, pois esta contempla as dimensões singulares, particulares e estruturais de uma determinada realidade, verificando-se questões determinantes em processos endêmicos para agrupamentos sociais diversos (AMENDOLA, ALVARENGA, *et al.*, 2011).

Conceitualmente a vulnerabilidade social pode ser entendida como a incapacidade de um determinado grupo em responder adequadamente a eventos inesperados de ordem social ou ambiental (OVIEDO; CZERESNIA, 2015; TURNER *et al.*, 2003). Entendimento similar ao adotado pela Defesa Civil na classificação de populações de risco social, sendo, neste caso, atrelados ao risco físico gerado por situações adversas no meio. Porém, a instabilidade da sistemática social pode, além de estar ligada às questões físicas, ser relacionada à organização socioeconômica, às instituições existentes, laços sociais, familiares, coesão e outros.

Para este trabalho, o conceito de vulnerabilidade social será pautado nas considerações de Oviedo e Czeresnia (2015), que a consideram uma dimensão que caracteriza o estado de fragilidade ao atendimento das necessidades básicas para um

determinado agrupamento populacional, ou seja, a falta de condições favoráveis para que a dignidade da pessoa humana seja garantida em sua plenitude. Não há um entendimento global acerca da conceituação da terminologia “dignidade humana”, ou mesmo pelos preceitos descritos pela declaração universal dos direitos humanos (ONU, 1948), sendo necessário que este seja incorporado descrito levando-se em consideração a historicidade, costumes e cultura local (SANTOS, 1997). A constituição Federal Brasileira define como dignidade humana, a promoção do:

[...] Direito à vida, à saúde, à alimentação, à educação, ao lazer, à profissionalização, à cultura, à dignidade, ao respeito, à liberdade e à convivência familiar e comunitária, além de colocá-los a salvo de toda forma de negligência, discriminação, exploração, violência, crueldade e opressão (BRASIL, 2010, Art. 227).

E ainda, estabelece como rol dos direitos sociais:

São direitos sociais a educação, a saúde, a alimentação, o trabalho, a moradia, o transporte, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados, na forma desta Constituição (BRASIL, 2015, Art. 6).

Portanto, a falta de acesso à moradia digna ou mesmo a ausência desta, colocam determinado agrupamento populacional à margem de seus direitos constitucionais, elevando o estado de insegurança social, já que a falta de um abrigo dificulta a posse de outros direitos que deveriam ser garantidos pelo Estado.

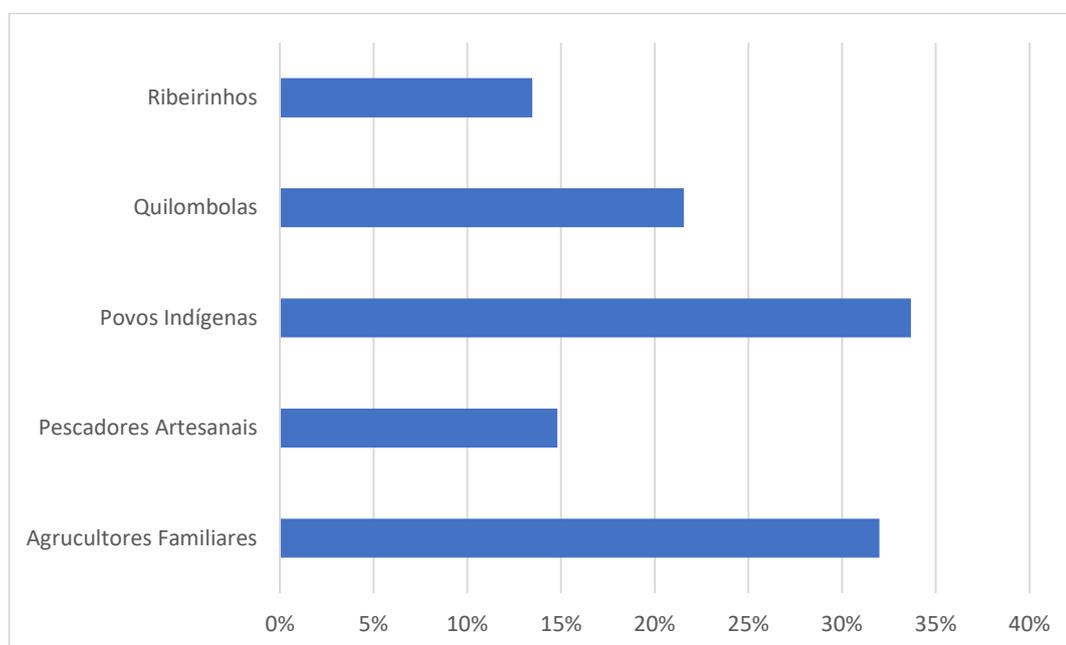
A análise da evolução da distribuição demográfica entre campo e cidade, mensurada no último século no Brasil, demonstra que em 1900 a proporção entre habitantes das áreas rurais e habitantes das áreas urbanas era de 10:1, já em 2001 esta relação passou a ser 1:4,3. As cidades, em um século, expandiram-se de maneira acelerada, enquanto os aglomerados rurais encolheram (PORTO, 2013).

No campo, para aquelas famílias com baixo poder aquisitivo que não migraram para as cidades, ou ainda aquelas que regressaram e não podem adquirir a posse de uma propriedade, as situações de vulnerabilidades são verificadas. Sendo as causas dessa situação fortemente influenciadas pela disputa por recursos naturais ligados à

inserção do Brasil no comércio internacional do agronegócio, mineração, produção de combustíveis de origem vegetal e outros (BONETE; FILHO, 2015).

Segundo dados do IBGE (2010), 84% da população brasileira vive em ambientes urbanos, mas em contradição a essa distribuição, a maioria dos casos de conflitos e inseguranças sociais atingem justamente as populações que vivem no campo, florestas e zonas costeiras (mais de 60%). Dentre as populações mais afetadas (figura 1.1), estão em primeiro lugar os povos indígenas (33,67%), em segundo as famílias ligadas à agricultura familiar (31,99%) e em terceiro as populações quilombolas (21,55%) (PACHECO, PORTO e ROCHA, 2013).

Figura 1.1 – Distribuição dos grupos populacionais ante ao mapa de conflito no campo (%)



Fonte: Adaptada (PACHECO, PORTO e ROCHA, 2013)

A vulnerabilidade da população que vive fora dos grandes centros não se restringe apenas às questões isoladas, como a falta de acesso aos recursos financeiros, esses povos apresentam inseguranças quanto a manutenção de seus costumes tradicionais, instabilidades na posse de suas terras, falta de representatividade política, falta de acesso à educação e saúde, sazonalidades quanto ao acesso à alimentação, à água potável (CORRÊA, SILVA e NEDER, 2015). Não há como se considerar, em um panorama de vulnerabilidade, um ou outro problema de maneira isolada, a problemática social é complexa e interdependente.

Necessita-se, para o seu entendimento, a aplicação de abordagens que considerem tais questões de maneira sistemática e holística.

A partir desta realidade social, a engenharia civil, bem como as ciências aplicadas ao estudo de edificações possuem grande importância na elevação das condições sociais por meio do provimento de moradias mais acessíveis técnica e economicamente, buscando, entre outros aspectos, investigar questões relacionadas à otimização de recursos, diminuição de custos (sejam eles oriundos de sua extração, transporte ou aplicação), descobertas de novas soluções construtivas e outros. Para tanto, faz-se viável inúmeras soluções amplamente estudadas e aplicadas em meio acadêmico, destacando-se os trabalhos que abordam questões relativas à sustentabilidade de processos, materiais e técnicas construtivas alternativas como fator de transformação social, ambiental e econômica.

Porém, entre descoberta de soluções construtivas mais eficientes e a sua aplicação prática há que se selecionar a solução construtiva mais adequada para os objetivos desejados. Definir a aplicabilidade de um determinado material ou sistema construtivo é, em suma, a partir de uma sequência lógica e/ou acadêmica, definida por um avaliador, estabelecer um sistema onde avalia-se benefícios e malefícios, prós e contras, sustentável e não sustentável.

O processo de tomada de decisão obedece a um fluxo subjetivo, seguindo padrões mentais de comportamento. O decisor, de forma consciente, a partir dos seus conhecimentos técnicos e experiências práticas, decide seguir determinado caminho. Porém, não necessariamente estará fazendo julgamentos de mérito apenas por seus atributos acadêmicos e científicos, como humano, este possui uma rede cognitiva inconsciente formada por suas experiências pregressas, fatores culturais, históricos, ambientais, econômicos e outros. Em outras palavras, o gestor é também fruto do meio em que coexiste (REN; XU; GOU, 2016). Nesse cenário, o distanciamento entre as decisões técnicas e os estímulos inconscientes, forjados pelo meio em que habita o avaliador, mostram-se ineficazes.

A avaliação pré-estabelecida, formada apenas por quesitos pertencentes ao decisor é, por prerrogativa, unidimensional. Há ainda uma limitação cognitiva imposta à decisão unilateral no sentido de se analisar o maior número de variáveis que descrevem a problemática avaliada, comprometendo a eficácia da decisão tomada. A construção de uma metodologia que busca entender a sustentabilidade sob um prisma

pluridimensional, direcionada para o aumento da qualidade de vida de populações que residem em regiões não urbanizadas, por meio da edificação de moradias, não deve se pautar apenas por uma fonte de dados.

No setor da construção civil verifica-se o desenvolvimento de diversos métodos (comerciais e academicamente conhecidos) que se colocam como instrumentos para se construir edificações e processos mais sustentáveis considerando a utilização de processos de tomada de decisão multiobjectivos, porém, tais caminhos estão orientados, de maneira massiva, à utilização de materiais mais eficientes e/ou menos impactantes ambientalmente, excluindo ou tratando de maneira rasa as outras dimensões que embasam o entendimento atual para a sustentabilidade (HASSAN et al., 2016; MATEUS, 2009).

Desta maneira, o presente trabalho se insere como proposta metodológica voltada à seleção de sistemas construtivos mais sustentáveis, desenvolvidos em ambientes industriais, acadêmicos e tecnologias construtivas incorporadas por populações tradicionais e não urbanas. Estruturas e materiais são classificados quanto aos seus desempenhos sociais, econômicos, técnicos e ambientais, vinculado à região aonde estes serão aplicados, estreitando o caminho entre potenciais decisores e as tecnologias construtivas simuladas. Vislumbra-se que o método possa contribuir com o melhoramento das condições sociais e econômicas de agrupamentos populacionais vulneráveis, impactando menos o meio ambiente e garantindo bons níveis de desempenho técnico e estrutural.

1.3. Objetivos

1.3.1. Geral

Propor e avaliar metodologia baseada em parâmetros de desempenho social, ambiental, econômico e técnico destinada a seleção de sistemas construtivos de edificações, sendo enfatizado a sua aplicação para residências destinadas a populações rurais sob vulnerabilidade social.

1.3.2. Específicos

- Entender como se estrutura a relação entre o conceito de sustentabilidade, construído ao longo dos anos, e as edificações residenciais inseridas no contexto de regiões fora dos centros adensados populacionalmente.
- Estudar como se estruturam os principais métodos destinados a mensurar o grau de sustentabilidade de edificações.
- Descrever os principais métodos de tomada de decisão utilizados na literatura, comparando os processos matemáticos utilizados para as suas modelagens.
- Com base nos conhecimentos adquiridos a partir dos objetivos anteriores, se pretende sistematizar procedimentos metodológicos relacionando os conceitos de sustentabilidade construtiva com a aplicação de materiais alternativos em edificações localizadas fora das cidades.
- Construir uma ferramenta computacional que otimize a aplicação do método proposto.

- Avaliar o funcionamento do método, assim como da ferramenta desenvolvida, por meio de um estudo de caso que simula diferentes soluções construtivas a serem aplicadas em uma região rural.

1.4. Descrição dos capítulos

Este trabalho foi organizado em oito capítulos, sendo essa divisão feita da seguinte forma:

- O primeiro capítulo introduz o assunto a ser trabalhado situando o leitor acerca da realidade social e acadêmica onde ele se insere;
- O segundo traz uma discussão acerca do conceito de sustentabilidade construtiva e a forma com que esta é tratada para as populações que vivem fora das cidades;
- No terceiro capítulo é feito um levantamento acerca das metodologias de avaliação da sustentabilidade das edificações;
- No quarto capítulo são abordadas formas de estruturar, de maneira lógica, determinada problemática. Nesse capítulo são revisadas as diferentes abordagens para os métodos de auxílio à tomada de decisão mais utilizados;
- No quinto capítulo está a descrição dos passos metodológicos adotados. De maneira crítica, expõe-se os motivos pelos quais foram adotadas determinadas técnicas para o alcance dos resultados;
- No sexto capítulo o processo de funcionamento da metodologia é apresentado de forma detalhada;
- No sétimo capítulo é descrito um estudo de caso realizado na região do antigo Assentamento Itamarati, Ponta Porã-MS, Brasil. Nessa aplicação é avaliado o comportamento metodológico da ferramenta proposta.
- O oitavo e último capítulo apresenta as considerações finais, lista as referências bibliográficas citadas e consultadas para a elaboração desta pesquisa.

Capítulo 2

A SUSTENTABILIDADE E AS EDIFICAÇÕES RURAIS E NÃO URBANAS

A sustentabilidade surge com a preocupação do homem urbano para como os ambientes não urbanos, ou seja, a sua base conceitual está fortemente ligada à visão externa a sua realidade. A dimensão ambiental proposta na conceituação da sustentabilidade, por exemplo, parte do pressuposto de que as ações humanas estariam afetando, principalmente, os recursos naturais presentes fora das cidades e, ainda, a preservação ecológica se destina a preservação da fauna e flora de nosso ecossistema, excluindo-se os aglomerados populacionais que residem fora das cidades. Com o objetivo de se discutir e se formular uma base teórica que busque elucidar conceitualmente o significado do termo sustentabilidade das edificações rurais inseridas ambientes não urbanos, o presente capítulo traz uma revisão crítica acerca da literatura acadêmica relacionada sobre o tema.

2.1 Considerações Iniciais

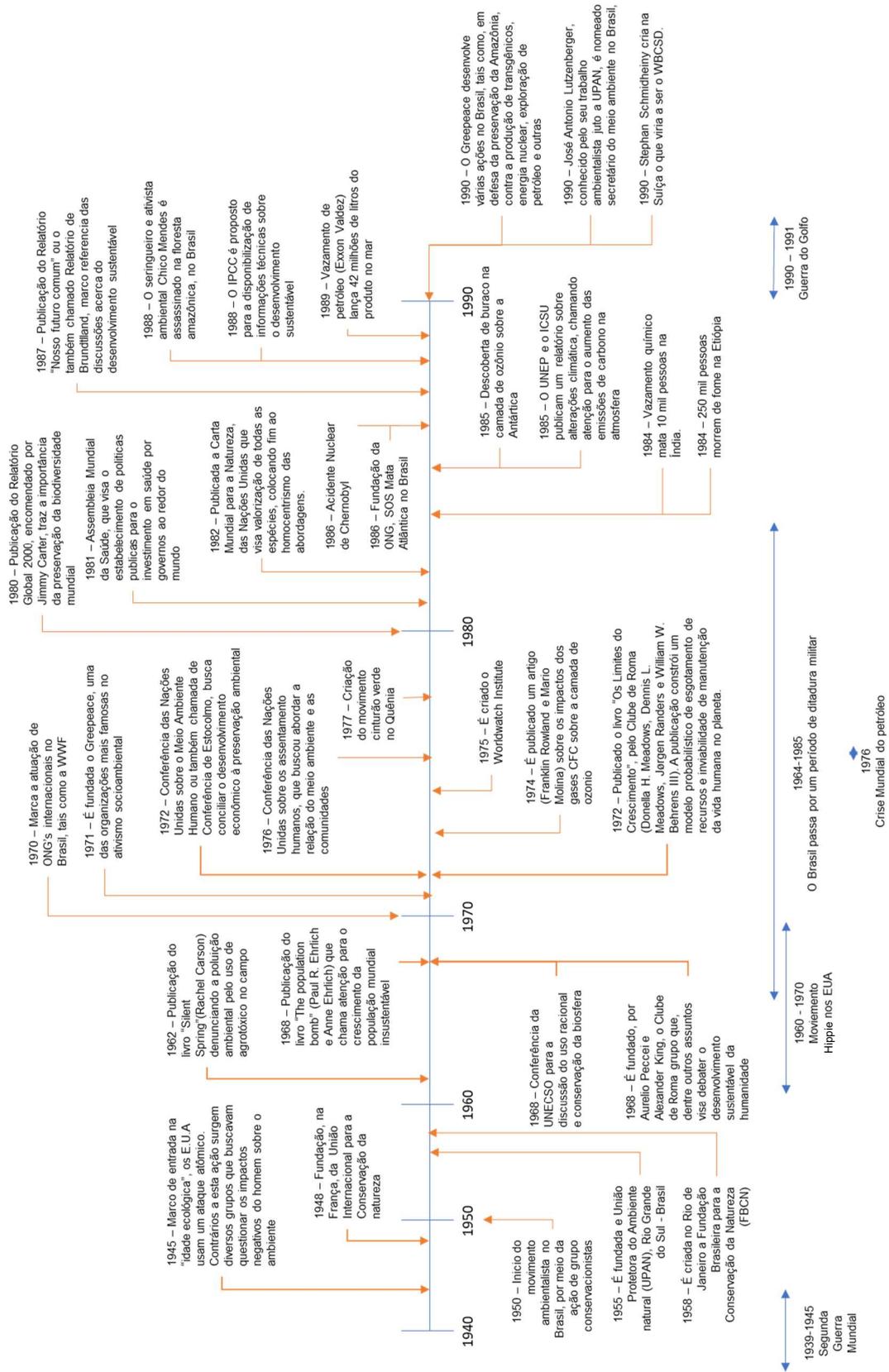
A sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável figuram entre as temáticas mais abordadas em trabalhos acadêmicos das últimas décadas (LI et al., 2017). Nas mais variadas áreas de pesquisa são propostas diversas abordagens, metodologias e particularizações multidisciplinares sob um guarda-chuva teórico que abarca a conceituação do tema.

Com o objetivo de se estruturar, por meio da revisão da literatura técnica e acadêmica, uma base teórica que se aplique a avaliação da sustentabilidade dos elementos construtivos em ambientes não urbanos, o presente capítulo revisa como se deu o processo de articulação dos princípios de construção sustentável particularizando-o para regiões rurais.

2.2 A construção conceitual a partir das discussões mundiais

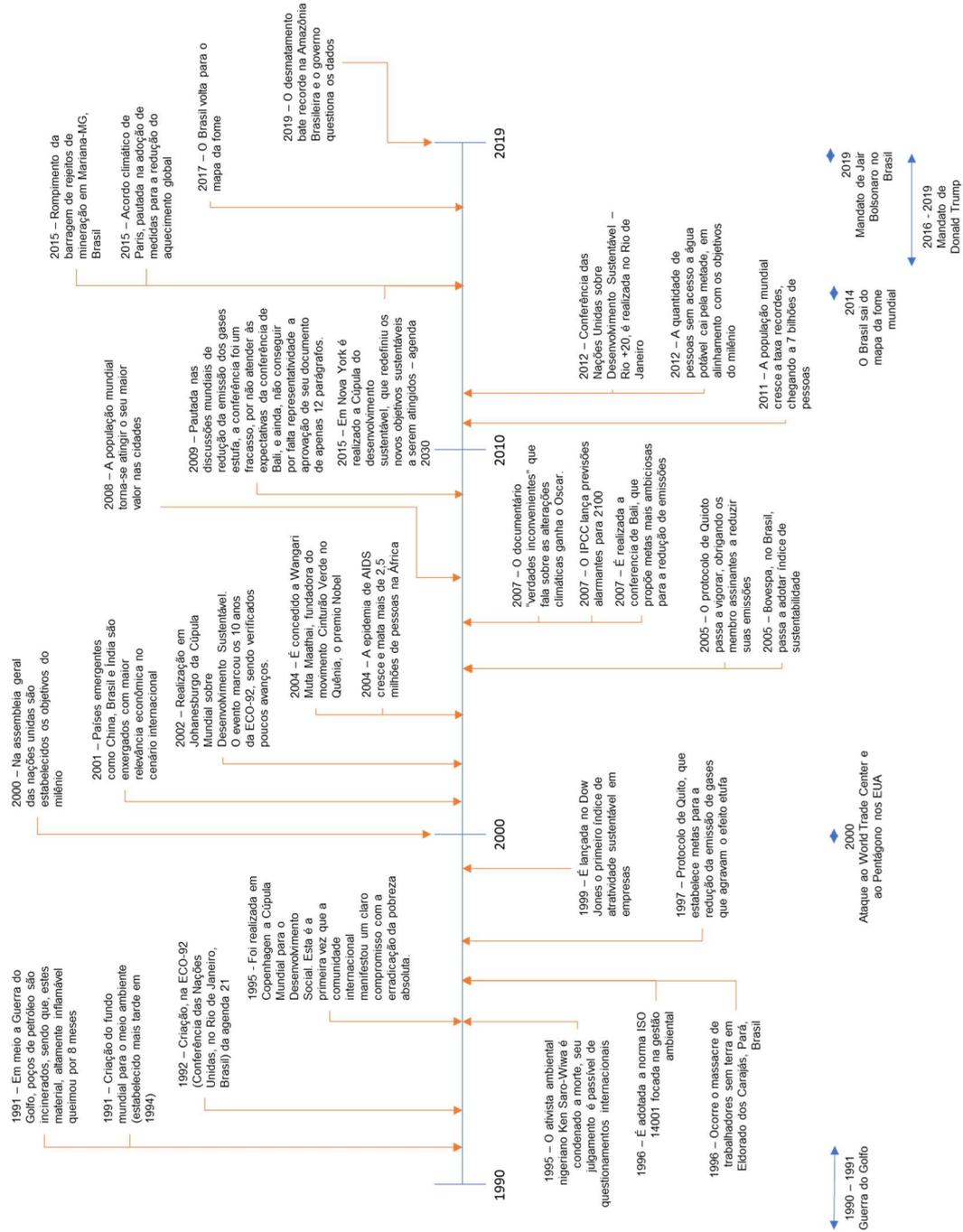
Ao longo da história a preocupação da humanidade com o meio ambiente se deu de maneira mais efetiva nos momentos em que impactos de suas ações passaram a ser percebidas. O primeiro evento que gerou comoção mundial e impulsionou o início das discussões e pressão popular sobre os rumos do planeta foi o ataque nuclear dos Estados Unidos da América (EUA) às cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki. Tal acontecimento marca o final da Segunda Guerra Mundial e o temor do início de uma guerra atômica, que colocaria em risco a sobrevivência humana na Terra. Após essa data foram criadas diversas organizações que buscam discutir, além de questões políticas e econômicas, as ações desenvolvimentistas e a preservação ambiental (figura 2.1).

Figura 2.1 – A construção do conceito de sustentabilidade ao longo do tempo – fatos marcantes entre 1940 e 1990



Fonte: Adaptado (GOMES, 2007; MATEUS, 2009; MIKHAILOVA, 2004; ONU, 2019)

Figura 2.2 - A construção do conceito de sustentabilidade ao longo do tempo – fatos marcantes entre 1940 aos dias atuais



Fonte: Adaptado (GOMES, 2007; MATEUS, 2009; MIKHAILOVA, 2004; ONU, 2019)

Na década de 70, as discussões mundiais e acadêmicas são pautadas na reflexão sobre o crescimento populacional e a capacidade de recursos que o planeta é capaz de ofertar. No campo político-econômico são criadas as abordagens a partir de duas principais ciências: A Economia Ambiental e a Economia dos Recursos Naturais, que, em tese, deveriam alinhar interesses sociais, políticos e ambientais em prol de uma sobrevivência planetária (figura 2.1). Porém, alguns fatores não foram levados em consideração e levaram à ruína tais correntes, pois, havia a tendência de se considerar apenas os valores monetários dos objetos em análise, sendo aplicadas as leis de mercado para se descrever a relação do homem com o meio ambiente e, ainda, não eram levados em consideração os estoques naturais, por exemplo (MIKHAILOVA, 2004). Neste período o Brasil atravessava um regime não democrático, sendo o ativismo político e ambiental combatido (FILIPPI, 2005).

Nos anos 80, as temáticas ambientais estavam em evidência e o mundo assistia a grandes desastres ambientais, tais como vazamentos de petróleo, acidentes nucleares e químicos e a expansão da fome no continente africano. Nessa década as discussões mundiais são intensificadas e as nações tomam ciência de que para a sobrevivência da espécie é necessário um esforço conjunto, porém, com reservas, já que o mundo se encontrava dividido pela Guerra Fria (TAYRA; RIBEIRO, 2008). No Brasil, o ativismo ambiental cresce, sendo destacadas as ações para a proteção das florestas e biomas regionais (figura 2.1).

A partir de 1990, são verificados, fruto da intensidade das discussões mundiais especialmente do final dos anos 80, esforços em todos os setores da sociedade de desenvolver métodos para se mensurar o grau de sustentabilidade de produtos e processos, assim como a garantia de direitos humanos. As discussões mundiais, na chamada década das conferências (ALVES, 2001), evoluem e os acordos para a mitigação dos impactos ambientais e melhoria da qualidade de vida dos mais pobres são propostos (figura 2.2).

A partir do desenvolvimento da Agenda 21 (CIB, 1999), fruto de um trabalho dos principais líderes mundiais, comunidade científica e a sociedade civil organizada, representada por meio das organizações não governamentais (ONG's), a noção de sustentabilidade é entendida sob o aspecto multidimensional, onde as questões sociais e ambientais não estão dissociadas das econômicas. É colocada, portanto, a

necessidade de se repensar os rumos dos mercados mundiais, até então fortemente influenciados pela lógica neoliberal expansionista, fortalecida pelo triunfo capitalista ocidental.

Porém, na primeira década dos anos 2000 os países mais desenvolvidos vivenciaram a tensão de ataques terroristas, sendo nos primeiros anos deste período a atenção e recursos destinados a esta temática. Nos mercados mundiais são criados dispositivos para a valoração de ações ambientalmente corretas e países em desenvolvimento passam a possuir maior relevância internacional nas discussões e acordos mundiais (MIKHAILOVA, 2004). No continente africano, milhões de pessoas morrem com surtos de doenças e pela pobreza extrema. Nessa década, entra em vigor o protocolo de Quito, que representa um conjunto de esforços para desacelerar o processo de aquecimento global.

A partir de 2010, o mundo já sofre as consequências das ações humanas sobre o planeta de maneira significativa. As pesquisas acadêmicas e relatórios técnicos apontam para um futuro próximo extremamente difícil. Ao final dessa década, dias atuais, é vivenciada a ascensão, no Brasil e ao redor do mundo, de grupos políticos desenvolvimentistas e contrários a pauta ambiental, acentuando os impactos ao meio ambiente. Aliado a este fato, o mundo vive nesta década uma das suas maiores crises humanitárias (ONU, 2019). Onde milhares de pessoas, são obrigadas a sair de seus países (para fugir de conflitos ou situações financeiras adversas) para se refugiar em outros ou em campos para refugiados.

Em 2015, 150 representantes mundiais, reunidos na sede da ONU em Nova Iorque, estabelecem - ante a situação exponencial de impactos negativos da humanidade sobre o meio ambiente - a agenda 2030. Essa agenda consolida a noção de desenvolvimento sustentável por meio da atenção às dimensões de sustentabilidade, estabelecendo 17 objetivos (figura 2.3), onde, a partir de três dimensões (social, econômico e ambiental) e cinco categorias (pessoas, prosperidade, paz, parcerias, planeta) são estabelecidas metas em diversos níveis para as nações.

Figura 2.3 – Objetivos para o desenvolvimento sustentável



Fonte: (ONU, 2016)

Os ODS se concentram em torno do estabelecimento de melhores índices para o bem estar humano, sendo esse objetivo, voltado às pessoas e resultante dos esforços em todos os níveis em diferentes dimensões (figura 2.4). A análise de indicadores que mensuram cada categoria, objetivada pela agenda 2030, permite evidenciar situações negligenciadas pelo poder estatal, fomentando a busca de ações para se melhorar as condições de vida daqueles aos quais os direitos universais de humanidade são negados (SENA et al., 2016).

Figura 2.4 – Categorização dos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS)



Fonte: Adaptado (ONU, 2019)

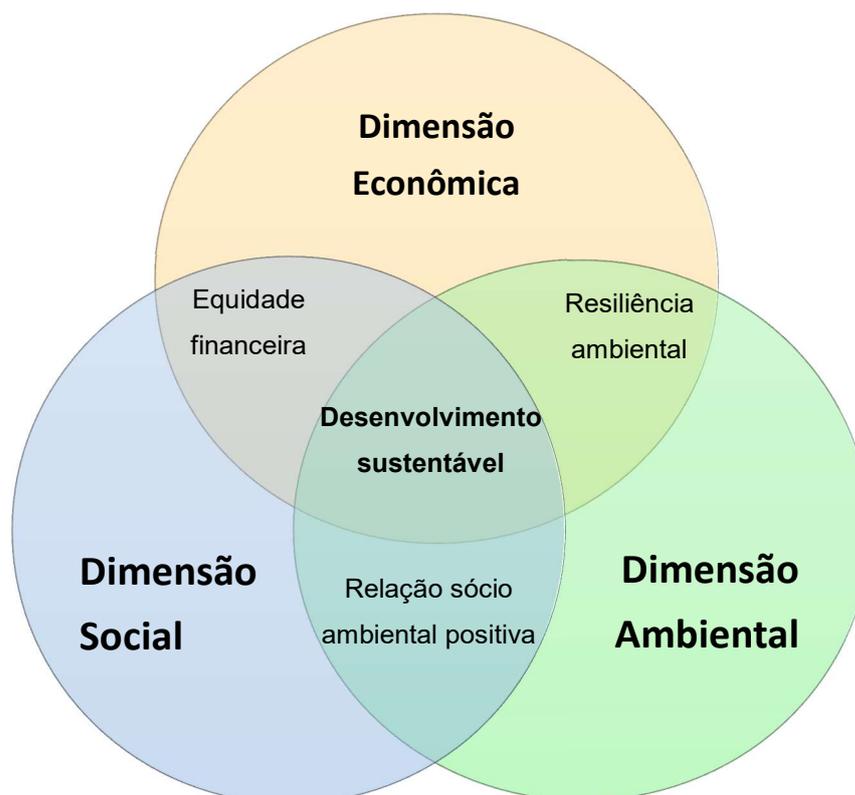
Não há um consenso sobre uma definição específica para a terminologia “desenvolvimento sustentável”, mundialmente, ao passar dos anos, a noção sobre o que é ou não sustentável foi sendo aprimorada, a sua abrangência expandida, não se restringindo à questões referentes a proteção ambiental, mas, sim na melhoria da

qualidade de vida dos seres humanos mitigando os impactos sobre os ecossistemas (MIKHAILOVA, 2004).

Nesta linha, a maior parte dos trabalhos acadêmicos, estabelecem, como ponto inicial para as discussões acerca do tema desenvolvimento sustentável a publicação do relatório “*Our common future*” pela WCED (1987) (GALLO et al., 2016; MICHAEL VAN BELLEN, 2004; MOLDAN; JANOUŠKOVÁ; HÁK, 2012; SERAMIM; LAGO, 2016), onde é definida uma possível conceituação, sendo, “o desenvolvimento sustentável aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades”. Porém tal consideração fora fortemente criticada, já que impõe aos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento limites para o seu crescimento, beneficiando aqueles que amplamente utilizaram os seus recursos para chegarem ao estado atual (GONÇALVES, 2005).

2.3 Dimensões de sustentabilidade

Nos dias atuais, a utilização do termo sustentabilidade é comum a diversas áreas do conhecimento científico, podendo ser enxergado através de diferentes perspectivas. No início dos anos 2000, com o amadurecimento do termo a partir das discussões das décadas anteriores, a sustentabilidade podia ser entendida como: a conjugação de fatores econômicos razoáveis que permitissem a subsistência das comunidades que não se sobrepujasse aos recursos naturais e não que explorasse a mão de obra humana, imputando a distribuição desigual de recursos entre diferentes classes sociais. Essa seria a chave para se entender a dinâmica proposta para um desenvolvimento menos nocivo. De acordo com a bibliografia ligada ao tema, a origem desta corrente de pensamento está alicerçada nas considerações feitas por Sachs (1974). O autor descreve que o para um desenvolvimento mais sustentável, as ações humanas devem ser pautadas a partir de três questões chaves, conforme demonstrado na figura 2.5:

Figura 2.5 – O desenvolvimento sustentável enxergado sob dimensões interdependentes

Fonte: Adaptado (SACHS, 1974)

Melo e Martins (2007) destacam que o conceito poderia ser descrito a partir de oito dimensões: social, cultural, ecológica, ambiental, territorial, econômica, política nacional e política internacional. Todos estes teriam objetivos finais similares ao descrito por Sachs (2005), porém, os diversos fatores comporiam uma malha pluridimensional mais detalhada, sendo:

- **Dimensão Social:** está fundamentada na distribuição igualitária de recursos, na garantia de direitos e preservação da dignidade humana por meio da manutenção do princípio da solidariedade dos laços sociais. Deve-se enxergar as populações como integrantes do mesmo conglomerado humana planetário, desprovendo-se da lógica do capital que prioriza o “ter” em detrimento do “ser”, pessoas não podem ser estudadas ou classificadas apenas por índices e números, suas complexidades antropológicas deverão compor a análise desta dimensão;

- **Dimensão cultural:** conjunto de fatores atrelados à preservação histórica das tradições e valores regionais. Para o alcance de melhores índices para essa dimensão de sustentabilidade, deve-se garantir às gerações amplo direito de acesso a instrumentos que façam memória às suas raízes, fomentando manifestações que exaltem ou perpetuem suas tradições;
- **Dimensão Política:** primeiramente em âmbito nacional-região e posteriormente em espaços de discussão internacionais, essa dimensão acrescenta que as ações pluridimensionais de sustentabilidade deverão ser discutidas e implementadas de forma democrática. Não se pode impor modelos propostos apenas por uma parcela social que possui, de fato, representatividade nos espaços político-institucionais;
- **Dimensão Econômica:** esta dimensão destaca a importância da implementação de modelos gerenciais que possam promover a equidade de recursos materiais aos assentamentos populacionais. Os setores governamentais e da iniciativa privada são atores fundamentais para a promoção dessa dimensão, possibilitando a alocação de recursos que possam promover a qualidade de vida de grupos economicamente vulneráveis;
- **Dimensão Ambiental e Ecológica:** compreende a noção de que o ser humano é parte de um ecossistema maior e, portanto, deve atuar como tal. Os processos naturais não devem ser alterados apenas a seu favor, a dinâmica milenar e delicada de nossa biosfera deve ser mantida, garantindo-se a preservação da nossa e de outras espécies. Tais questões verem ser trabalhadas na formação das novas gerações, inclusive em ambiente escolar.

Outras abordagens vêm sendo desenvolvidas, ampliando-se as dimensões de sustentabilidade, porém o princípio básico dessas considerações gira em torno do melhoramento das condições envoltórias que interferem na qualidade de vida da humanidade nesta e para as próximas gerações. Nesse sentido, para avaliar a particularização destes conceitos a contextos rurais é necessário estabelecer os fatores que mais afetam as populações que residem nestes locais.

2.4 A sustentabilidade e o ambiente construído em ambientes rurais

Atualmente, no Brasil, a classificação dada às regiões de uso e ocupação do solo são, áreas urbanas ou rural (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2018). Tal distinção se dá a partir do caráter geopolítico e econômico característico de cada localidade, onde para a primeira, a urbana, são verificadas intensas relações entre os setores secundário e terciário da economia. Caracterizando-se por apresentar densidade populacional elevada, áreas residenciais, presença de fluxos migratórios intensos e pendulares, arruamentos, áreas urbanizadas, centros de produção e comercialização de produtos. Já as regiões rurais são caracterizadas por abrigarem grande parte do setor primário (SANTOS, 2006). Tal sistema classificatório reflete o modelo desenvolvimentista que norteia a esfera política e administrativa brasileira, baseada em modelos macroeconômicos desenvolvimentistas originados à partir dos anos 50 (período pós-guerra). Esse modelo considera o ambiente industrializado (verificado nos ambientes urbanos) como sinônimo de desenvolvimento e, seguindo essa abordagem, para se desenvolver uma região há que se urbanizá-la, embasando-se em macro indicadores, muitas vezes ligados à economia (BONETE; FILHO, 2015).

Particularizando-se para o ambiente construído, essa abordagem, generalista não é capaz de descrever as tipologias construtivas específicas de cada realidade. E, quando se objetiva entender as relações humanas com o ambiente construído, resultantes da intervenção no mesmo por meio da construção de edifícios e infraestrutura que permite o assentamento humano na localidade, há a necessidade da subdivisão em conjuntos menores e mais capilarizados geograficamente retratando a realidade sócio, histórico e cultural inerente à territorialidade local.

Os espaços rurais são locais que abarcam, entre outros aspectos: os ambientes agrários compostos por edificações agroindustriais e toda a estrutura vinculada à produção agrícola dessas regiões, sendo estes, considerados subespaços vinculados ao conjunto delimitado pelos ambientes rurais. Porém, estas não têm caráter exclusivo, já que é possível verificar a existência de espaços do ambiente agrário em meio urbano. Além disso, complementam-se os espaços rurais, o seu conjunto arquitetônico característico formado por edificações residenciais e paisagens naturais vinculadas à essas propriedades, e também a infraestrutura de interligação

interna e com os demais ambientes, composto por uma rede de estradas, ferrovias, hidrovias e acessos (ARGOLLO FERRÃO, 2007).

Espaços ou áreas não-urbanas que, por sua vez, podem ser entendidos como o conjunto resultante da subtração do conjunto compreendido pelo espaço urbano, englobando os ambientes rurais, agrários e outros do pertencentes a todo ecossistema, tais como reservas indígenas, áreas de florestas, parques geológicos, reservas ambientais e outros.

Desta maneira, diversas metodologias para a avaliação de sistemas construtivos que priorizam a sustentabilidade das edificações foram desenvolvidas e popularizadas em meio técnico e acadêmico, porém, com enfoques diferentes, como as voltadas para a melhoria de questões ligadas ao ambiente urbano (MATEUS, 2009; MICHAEL VAN BELLEN, 2004; SILVA, 2003), também as relativas à mensuração dos impactos ambientais gerados pelo uso de materiais construtivos (MATEUS, 2004), ou ainda as com uma abordagem dos impactos que o ambiente urbano gera sob os áreas não-urbanas (VEIGA, 2010).

Verifica-se que os estudos voltados para a qualidade de vida influenciado pelas edificações em áreas não-urbanas ainda são pouco desenvolvidos na área da construção civil (MONTIS et al., 2017). Uma possível causa para a configuração desse cenário é que em ambientes urbanos, o adensamento populacional e as construções (edifícios, infraestrutura e etc.) intensificam e tornam mais evidentes os fatores que interferem na qualidade de vida das pessoas que vivem nestes espaços, sendo visíveis impactos sociais, econômicos ou ambientais de maneira mais evidente.

A sustentabilidade ainda é um desafio, estando muito vinculada às questões ecológicas e ambientais. As questões econômicas são na maioria das vezes relacionadas às condições de contorno para se manter o ambiente a um limiar resiliente e, na maior parte das abordagens, as questões sociais são negligenciadas ou, como no caso específico da avaliação da sustentabilidade do ambiente construído, focadas no conforto dos seus usuários (MATTONI et al., 2018). A edificação de moradias em espaços não urbanos apresentam outras características importantes, além da avaliação do desempenho físico e seus impactos. Devem ser consideradas, sob uma abordagem mais holística, questões voltadas à promoção da qualidade de vida, à interação e funções das edificações com o seu meio e outros. É relevante ainda a preocupação quanto a integridade física dos elementos construtivos ao longo do

tempo, já que nesses locais o ambiente construído assume vital importância para a garantia de proteção ante às condições adversas do meio.

Há grande dificuldade de se estabelecer métodos práticos para a avaliação, de forma holística, a sustentabilidade construtiva que considere aspectos a mesmo nível de profundidade e importância, das dimensões social, ambiental e econômica, especialmente para as regiões não urbanas. Porém, alguns trabalhos propõem que a análise da sustentabilidade em ambientes rurais, especificamente, deve ser pauta ante as seguintes considerações (KAGEYAMA, 2007; MELO, PARRÉ, 2007; CORRÊA, SILVA e NEDER, 2015):

- Os ambientes rurais não devem ser confundidos com os ambientes agrícolas, devem ser considerados os aspectos locais relativos à cultura e historicidade local;
- Os ambientes rurais apresentam diversos setores sociais e econômicos que dialogam com os demais ambientes;
- Devem ser considerados aspectos relativos aos fatores sociais, ambientais e econômicos de maneira integrada;
- Os ambientes rurais exercem ativa função de troca com os demais ambientes relacionadas às relações comerciais no provimento de recursos ou venda de seus produtos;
- A tecnologia, especialmente o uso de redes online, promove intensa interação entre o rural e o urbanos, não havendo, portanto, um limite palpável para o estabelecimento de uma fronteira social entre estes ambientes.

De maneira geral, a abordagem para as regiões rurais não é direcionada às edificações e as suas particularidades sendo aplicadas, em sua maioria, a avaliação de aspectos de ruralidades ou a produção agrícola (MONTIS et al., 2017).

A pluridimensionalidade do conceito de sustentabilidade aliado a complexidade da classificação do “não-urbano” ou, mais especificamente “o rural”, criam uma lacuna conceitual a ser trabalhada para se definir uma conceituação específica para a

sustentabilidade das construções em ambientes rurais. Porém, deve-se garantir que esse esteja embasado na possibilidade de que determinada organização social seja soberana ante à suas escolhas e construções sociais (SANTOS, 1997).

Na tentativa de se estabelecer uma conceituação utilizável, este trabalho considera que o desenvolvimento de edificações mais sustentáveis em ambientes rurais pode ser entendido como sendo: um direcionamento técnico e científico para se conceber edificações estruturas e as suas subpartes baseadas na mitigação dos seus impactos ambientais, promovendo o desenvolvimento econômico e social por meio da garantia de processos produtivos integrados à realidade local.

2.5 A inserção de materiais e sistemas construtivos mais sustentáveis em ambientes rurais e não urbanos

As edificações dos ambientes não urbanos apresentam diferenças substanciais entre si, sendo verificadas, para os principais grupos sociais, características específicas:

- **Complexos construtivos agropecuários:** caracterizados por apresentarem grandes grupos e multinacionais possuem grande poder aquisitivo e relacionam-se a política e a macroeconomia mundial;
- **Propriedades agrícolas pertencentes à agricultura familiar de baixo poder aquisitivo:** grupo formado por pequenos agricultores que produzem produtos que irão atender o mercado interno, esse grupo apresenta grande vulnerabilidades sociais, ambientais e econômicos devido à baixa tecnologia empregada em seus processos e, já como efeito das mudanças climáticas, estão sujeitos a grandes sazonalidades. As edificações desse grupo são simples, e geralmente, tentam replicar modelos e materiais encontrados nas cidades (BARBOZA; BARRETO, 2019);
- **Populações ribeirinhas:** grupo fortemente ligado ao regime hídrico da localidade onde as edificações são instaladas, a sazonalidade atribuída

e este grupo faz com que se utilizam materiais leves e presentes próximos;

- **Grupo formado por comunidades tradicionais:** esses povos utilizam arquitetura e materiais que compõe a sua tradição, dependem, portanto, dos elementos tradicionalmente existentes nas regiões que habitam (BARBOZA et al., 2016).

Cada grupo possui ainda recortes geográficos e culturais, sendo inerente à análise da sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos a verificação da relação dos materiais e técnicas construtivas com o ambiente onde estes estão inserido.

Materiais para a construção civil são elementos de natureza variada empregados na edificação de ambientes. Nesse grupo estão incluídos os materiais que serão implementados para estruturar um determinado sistema construtivo e aquele que são necessários para a sua aplicação (de uso temporário), tais como formas e escoramentos, no caso da produção de uma estrutura de concreto armada. Sendo que, para a sua utilização em canteiros de obras se faz necessário o conhecimento de suas propriedades químicas, físicas e mecânicas.

De maneira específica, materiais construtivos são aqueles que possibilitam a edificação de estruturas que vão dar abrigo a seres vivos ou ainda servirão de estocagem de outros materiais. Esses elementos estão ligados ao melhoramento da qualidade de vida dos seres humanos, ou seja, com a evolução da manipulação destes, os usuários de edificações oriundas da construção civil são beneficiados. De maneira simplificada, pode-se dividir esses materiais em 5 categorias distintas (CARAM, 2006):

- **Materiais metálicos:** elementos inorgânicos compostos por um ou mais componentes metálicos, ou ainda, levar a adição de elementos não-metálicos em sua composição.
- **Materiais poliméricos:** caracterizados por serem constituídos de cadeias moleculares orgânicas longas, o que atribui características peculiares a esse grupo, tais como a baixa condutibilidade térmica e de

eletricidades, baixo peso específico e temperaturas de decomposição baixa.

- **Materiais cerâmicos:** grupo composto por materiais com estruturas cristalinas, não-cristalinas ou a mistura de ambos. Possui como características relevantes a alta dureza e resistências mecânicas, alta resistência ao calor e, em sua maioria, são bastante frágeis.
- **Materiais compósitos:** formado basicamente por elementos inertes, envoltos por um ou mais elementos aglutinantes, esses elementos podem ser identificados pela não homogeneidade interna. Um dos representantes deste grupo é o concreto armado, amplamente utilizado na construção civil.
- **Madeiras:** de origem natural, estes materiais podem ser utilizados em sua forma inicial (toras), passar por procedimentos industriais (corte, secagem e tratamentos), e ainda podem ser formados por material triturado ou lascado (placas laminadas coladas, compensadas e outros).

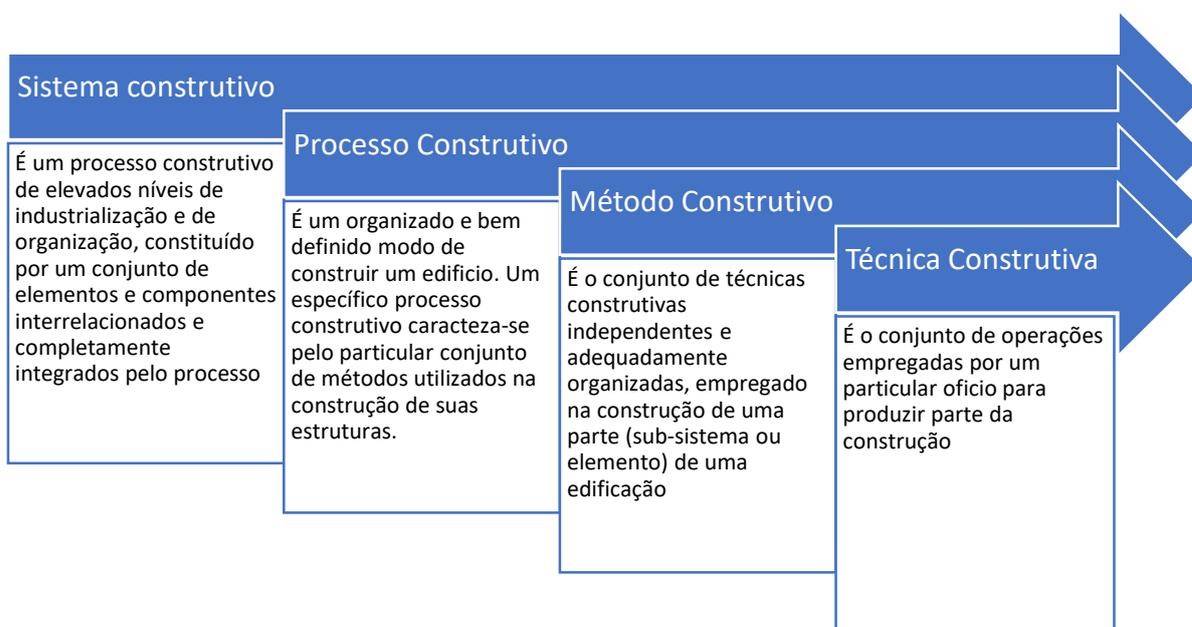
A noção e o agrupamento de elementos construtivos por meio de suas similaridades físicas e mecânicas ou a sua origem é importante para que se tenham assegurados os seus parâmetros de desempenho e aplicabilidade. Essas classificações possibilitaram o desenvolvimento da engenharia civil e de materiais como ciência e deram à humanidade a capacidade de se adaptar às condições mais adversas na Terra. Porém, essa definição pode ir além da análise das questões técnicas normativas, sendo também, para uma análise mais completa, a necessidade de se considerar de fatores relativos a historicidade, geográficos, socioculturais, econômico e políticos, para se determinar qual o melhor sistema construtivo a ser adotado em um determinado contexto (RIBEIRO, PINTO e STARLING, 2002).

2.6 Sistema, processo, método e técnica construtiva

O uso de terminologias corretamente se faz necessário para que os conceitos a serem desenvolvidos sejam completos em sentido e intensidade. Há em diferentes

abordagens acadêmicas, sob várias óticas do conhecimento, a utilização dos termos “sistema”, “processo”, “método” e “técnica”. Na construção civil e ciências correlatas, tais terminologias que são empregadas para se descrever diferentes níveis para a ação de se construir um produto, neste caso uma edificação. Alguns autores (JEFFERSON; CAMACHO, 2006; PASTRO, 2007), baseiam sua conceituação a partir do descrito por Sabbatini (1989), onde, baseado nos significados literais e sentidos entendidos por trabalhos internacionais, o autor hierarquizou os termos, dando-lhes sentidos interdependentes, onde, para o alcance do nível superior, são necessários a agregação de tarefas inferiores (figura 2.6).

Figura 2.6 – Definições para as terminologias atreladas ao sistema construtivo



Fonte: Adaptado (SABBATINI, 1989)

Porém, a NBR 15.575 (ABNT, 2013), traz a ideia de que os sistemas construtivos são o conjunto de materiais, componentes e elementos construtivos, ou seja, estes podem ser entendidos pelo conjunto de subpartes que desempenham uma função específica, tais como os sistemas estruturais, responsáveis por suportar os esforços aplicados à edificação, os sistemas de vedações, coberturas, hidros sanitários e outros. Por consequência, o entendimento dos demais termos passa por adequações.

Neste sentido, para o presente trabalho irá se adotar as seguintes definições:

- **Solução construtiva:** emprego de um sistema construtivo adequado em respostas às condições solicitadas ao mesmo, sendo, as referente ao meio onde este será implementado, arranjo estrutural, funcional, estético e outros;
- **Sistema construtivo:** analogamente ao entendimento de sistemas no campo da anatomia, onde um sistema é caracterizado pelo conjunto de órgãos ou tecidos que realizam uma função específica. Para a construção civil se entende como sistema construtivo o conjunto de elementos que desempenhem um papel específico dentro do conjunto de sistemas que compõe uma edificação;
- **Processo construtivo:** ordenamento de métodos necessários para se constituir um sistema construtivo, ou seja, um processo é o instrumento, não palpável, através do qual se obtém um sistema construtivo. Essa terminologia se relaciona com a noção de se estabelecer um caminho necessário, através da realização de um ou mais métodos, para o ordenamento do conjunto de elementos construtivos que compõe um sistema;
- **Método construtivo:** A definição deste termo é alicerçada no sentido filosófico da palavra método, onde este traduz a ideia de um conjunto sistemático de regras e procedimentos. Particularizando-se, um método construtivo é composto por um conjunto ordenado e não específico, como base em alguma tecnologia, de técnicas construtivas empregadas para a composição de um elemento construtivo;
- **Técnica construtiva:** relativa à especificação da atividade em si, convencionou-se que técnicas construtivas são um conjunto de atividades motoras necessárias para se produzir um elemento construtivo;
- **Procedimento construtivo:** assim como relatado por Sabbatini (1989), a diferenciação de sentido para “processo” e “método” não é fácil, já que ambos os termos na língua portuguesa são sinônimos e muitas vezes aplicados em um mesmo contexto, porém com sentidos opostos. Assim sendo, adicionalmente a definição desses termos, conceitua-se o termo

“procedimento”, que por vezes é confundido com o sentido do termo “processo”, como sendo a descrição do método em um contexto específico, porém, destinado a contextos específicos.

Exemplificando-se: ao se analisar as paredes de uma edificação, tem-se que estas compõem o sistema de vedação vertical da edificação, sendo, portanto, o sistema construtivo formado pelos elementos construtivos que compõem essa parede (que podem ser alvenarias, pilares e esquadrias). Verifica-se que a noção de sistema construtivo está intimamente ligada à sua função. Essa consideração valida a atribuição das nomenclaturas verificadas em diversas publicações acerca de sistemas construtivos tradicionais (que fazem menção às soluções construtivas amplamente utilizadas para edificações de uma determinada região, independentemente do grau de industrialização dos processos construtivos empregados). Ainda nessa situação, pode-se verificar que os processos construtivos empregados foram relativos aos métodos necessários para se construir os elementos que compõem esse sistema. Sendo as atividades necessárias para a implementação dos materiais e componentes relacionados às técnicas construtivas, particularizadas pelos procedimentos construtivos adotados em uma determinada obra, que deu origem a edificação analisada.

2.7 Materiais construtivos alternativos e não-convencionais

Materiais de construção civil podem possuir diferentes adjetivos e classificações. Quanto à popularidade de utilização em edificações, na literatura técnica e acadêmica pode-se constatar três nomenclaturas básicas: materiais convencionais ou tradicionais (MARX; PAULA, 2011; SUJATHA; DEVI, 2018), materiais alternativos (ARGOLLO FERRÃO, 2007; KESIKIDOU; STEFANIDOU, 2019) e os materiais não-convencionais (AZEVEDO, 2008; MATEUS, 2009).

Freire (2003), entende que materiais e sistemas construtivos alternativos são aqueles que não possuem normatização específica e que, necessariamente, precisam adotar procedimentos específicos desenvolvidos ou adaptados pelo pesquisador que

o desenvolveu. Em oposição a esta ideia Mateus (2006), Azevedo (2008), Barbosa (2015) classificam as técnicas construtivas e materiais não exploradas comercialmente como não-convencionais.

Neste sentido, para a definição de uma base teóricas se entende por técnicas e materiais alternativos, por força de significado do termo “alternativa”¹, que adjetiva a opção, conota a ideia de alternância, de opção viável a ser escolhida. Já os não-convencionais, formam um conjunto de soluções que se opõe às convencionalmente utilizadas, abaixo, são propostas definições para a utilização dos termos:

- **Materiais convencionais ou tradicionais para a construção civil:** são insumos empregados nos sistemas construtivos mais utilizados para a construção de edificação, tais como os vinculados ao concreto armado e a alvenaria de blocos cerâmicos. A palavra tradicional é empregada com o sentido de prática realizada por hábito ou costume adquirido, ou seja, é vinculada aos processos historicamente empregados na construção civil ao longo do tempo em determinada região. Portanto, podemos entender o termo como materiais utilizados na construção civil por hábito ou costumes históricos, vinculados à cultura construtiva de determinada região.
- **Materiais alternativos para a construção civil:** são todos aqueles materiais que se apresentam como opção aos tradicionalmente utilizados em canteiros de obras, sendo que a sua viabilidade técnica e construtiva deve ser necessariamente comprovada, ou ainda que representa uma opção fora das instituições, costumes, valores e ideias convencionais.
- **Materiais não convencionais:** termo utilizado para designar um determinado material construtivo não habitualmente empregado para tal fim. Nesse caso, esses elementos não necessariamente se apresentam como uma alternativa aos materiais tradicionais, mas sim, são

¹ Significado para o termo “Alternativa”: “sucessão de coisas excludentes entre si que se repetem de forma alternada; Opção entre duas ou mais possibilidades; O que pode ser usado no lugar de outro”. Fonte: Michaelis, 2019 - Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa -disponível em <<http://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=alternativa>>. Acesso em fevereiro de 2019.

classificados pela sua utilização inédita, restrita ou pouco difundidos em determinada região.

Como ilustração ao exposto, a classificação dos blocos de solo-cimento em edificações prediais, ou ainda a incorporação de resíduos de construção e demolição (RCD) em concretos não podem ser classificados como “não convencionais”, como verificado em alguns trabalhos, pois tais técnicas, no Brasil, possuem um grau considerável de aplicações, cabendo, portanto, considerá-los como “materiais alternativos”. Ao passo que, por exemplo, o material construtivo solo-cimento auto adensável não pode ser considerado como alternativo, já que não se pode optar por esse material em obras corretes devido ao seu desenvolvimento recente (BARBOZA, 2014).

2.7.1 A apropriação de tecnologias construtivas mais sustentáveis

A utilização de um material alternativo em uma determinada região não garante que este é mais sustentável que o tradicionalmente utilizado, há que se analisar, além de seus impactos (sociais, econômicos e ambientais), a aderência (ou apropriação) da técnica ao contexto local. A construção de edificações em ambientes não urbanos representa um campo fértil para a apropriação de técnicas e tecnologias alternativas e não convencionais, pois grande parte dos aglomerados populacionais procura adaptar os insumos locais em novas edificações (FREIRE, 2003).

Uma tecnologia, diferentemente da técnica que pode ser entendida como a atividade relacionada à prática (assim como o assentamento de tijolos cerâmicos), é caracterizada por resolver, por meio de uma estruturação científica, questões práticas muitas vezes relacionadas com a técnica (ABIKO, 2003).

A apropriação de uma tecnologia, embasada por meio da teoria das tecnologias apropriadas (GARCIA, 1987), especialmente em edificações, objeto da construção civil se relaciona com a incorporação de determinada solução construtiva ante aos objetivos de desenvolvimento esperados para uma determinada localidade e suas condições sociais, econômicas e ambientais. Cabe ressaltar que não necessariamente uma tecnologia apropriada é menos impactante ambiental,

econômica e socialmente, ou, em outras palavras, a adoção de uma determinada solução construtiva por grande parte das pessoas em uma localidade não garante que esta seja mais sustentável, porém, não faz sentido a proposição de tecnologias construtivas mais sustentáveis à populações que não irão se apropriar destas. Exemplificando, não seria a melhor solução, mesmo que mais sustentável ambientalmente, propor a implementação de telhados de sapê² (em seu formato tradicional) em ambientes fortemente urbanizados, já que para essas áreas outras soluções são fortemente implementadas, em conformidade com a população local e com os objetivos de desenvolvimento pretendidos. Outro aspecto importante se faz na não atenção das questões sociotécnicas da abordagem clássica prevista na teoria das tecnologias apropriadas, sendo pouco efetivas quanto às mudanças efetivas em uma determinada região, necessitando-se, desta maneira, complementações e extrapolações de sentido, tais como a teoria das tecnologias sociais (DAGNINO, 2014) e a própria conceituação proposta para a sustentabilidade, em sua abordagem integral, holística e pluralista.

Neste cenário, ao se propor a implementação de novas tecnologias construtivas no Brasil, percebe-se que, de modo geral, há um conservadorismo construtivo, onde engenheiros e usuários tendem a rejeitar novas soluções, sejam elas já incorporadas em outras regiões ou proposta tecnológica inovadora (ABIKO, 2003). Sendo, assim, de vital importância o fomento à participação de agentes, como universidades e o setor público com o intuito de se popularizar a cultura construtiva que se utilize materiais mais sustentáveis (BERGE, 2009).

Nos ambientes não urbanos, a utilização de materiais naturais e de fontes renováveis em elementos construtivos representa um campo de grande interesse socio, econômico e ambiental (base teórica para a conceituação de sustentabilidade), pois incorporam materiais locais e de fácil manipulação nas edificações e, em muitos casos, resgatam tradições historicamente utilizadas. Porém, ainda é um campo recente em meio científico, sendo essa aplicação não consolidada. É evidente a sua contribuição na redução dos impactos ambientais em um primeiro momento quando se substitui elementos industrializados e que precisam de grandes quantidades de energia para a sua fabricação (como a substituição de armadura de aço por fibras de

² Técnica tradicional de cobertura de edificações, onde, as fibras de sapê são utilizadas para proteção contra intempéries.

bambu), porém, a durabilidade e confiança estrutural são questões ainda delicadas para materiais compósitos e, portanto, precisam ser mais aprofundadas (TORGAL e JALALI, 2010).

Diversas formas construtivas alternativas foram propostas ao longo dos anos para as regiões afastadas dos grandes centros brasileiros, especialmente nas regiões rurais. Historicamente, a utilização de técnicas construtivas à base de solo nessas regiões se destaca. Esse comportamento se explica, em um primeiro momento, pela disponibilidade desse insumo em abundância e à facilidade construtiva das técnicas culturalmente disseminadas. Outra explicação possível se dá devido à herança das tradições construtivas portuguesas (SANTOS, 2015) e africanas (WEIMER, 2014) que utilizam o solo como matriz construtiva, sendo implementadas já nos primeiros anos coloniais, expandidas para o interior em diversos ciclos e os demais períodos sociais e econômicos vinculados à produção agrícola nacional.

2.8 Técnicas construtivas à base de solo

A utilização do solo como material construtivo não é recente, remonta ao início da construção de edificações com grandes dimensões. Provavelmente, tem o seu ponto de partida com a formação das primeiras que se estabeleceram em uma determinada região e se fixaram, por meio do desenvolvimento da agricultura, entre 12.000 a 7.000 anos A.C (BARBOSA, 2015).

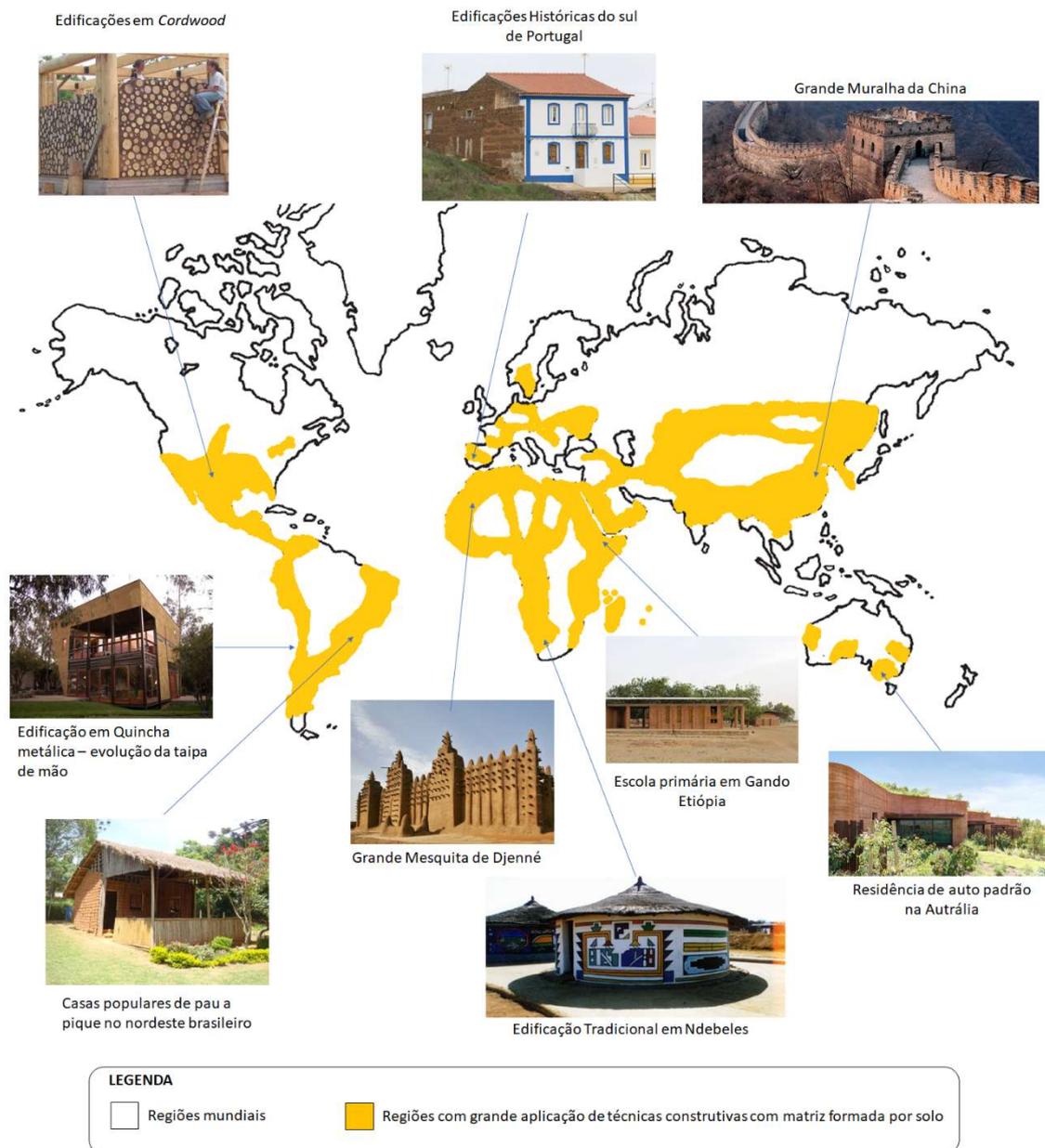
São vários os exemplos de edificações, algumas até consideradas patrimônios da humanidade, que resistiram à ação do tempo e se mantêm pouco deterioradas até os dias atuais e que foram construídas com técnicas construtivas a base de solo. É o caso da Grande Muralha da China (3.000 anos de idade), que apresenta trechos construídos em taipa; As edificações dos fenícios na bacia do Mediterrâneo; O Templo de Horyuji (1.300 anos de idade), no Japão; Construções em Taipa na região do Monte Himalaia (800 anos de idade); As ruínas da cidade de Chanchán no Peru (720 anos de idade); A cidade de Taos, no México (1000 anos de idade); A cidade de Shibam no Iêmen (1800 anos de idade) e outros (TORGAL e JALALI, 2010).

É verificada a utilização histórica do solo como material construtivo em todas as regiões mundiais, sendo que, aproximadamente, entre 30% (HOUBEN;

GUILLAUD, 1989) a 50% (TORGAL e JALALI, 2010) da população mundial ainda vive em residências construídas com essa técnica. Tal motivo é explicado por diversas questões, seja por aspectos técnicos e culturais, como no caso dos países do mundo árabe (ARDDA, 2011), seja como alternativa viável economicamente como verificado em alguns países da América espanhola (BARBOSA, 2015) e as edificações do sertão nordestino brasileiro (OLIVEIRA; FERREIRA, 2012). Ou, ainda, pelo isolamento geográfico, como verificado em ilhas da Oceania e em regiões afastadas na África subsaariana, onde as edificações em terra são uma solução construtiva do uso de materiais locais para o estabelecimento de proteção às intempéries do meio aos usuários (BUENO et al., 2015).

Cada organização social desenvolveu diferentes formas de produzir componentes e elementos construtivos a partir do aproveitamento de características físico-químicas do solo presente na região. Essas tipologias construtivas foram aprimoradas ao longo dos anos, sendo ainda popularizadas pela troca cultural promovida pelos movimentos expansionistas e migratórios verificados para diferentes nações ao redor do mundo ao longo da história da humanidade (figura 2.7).

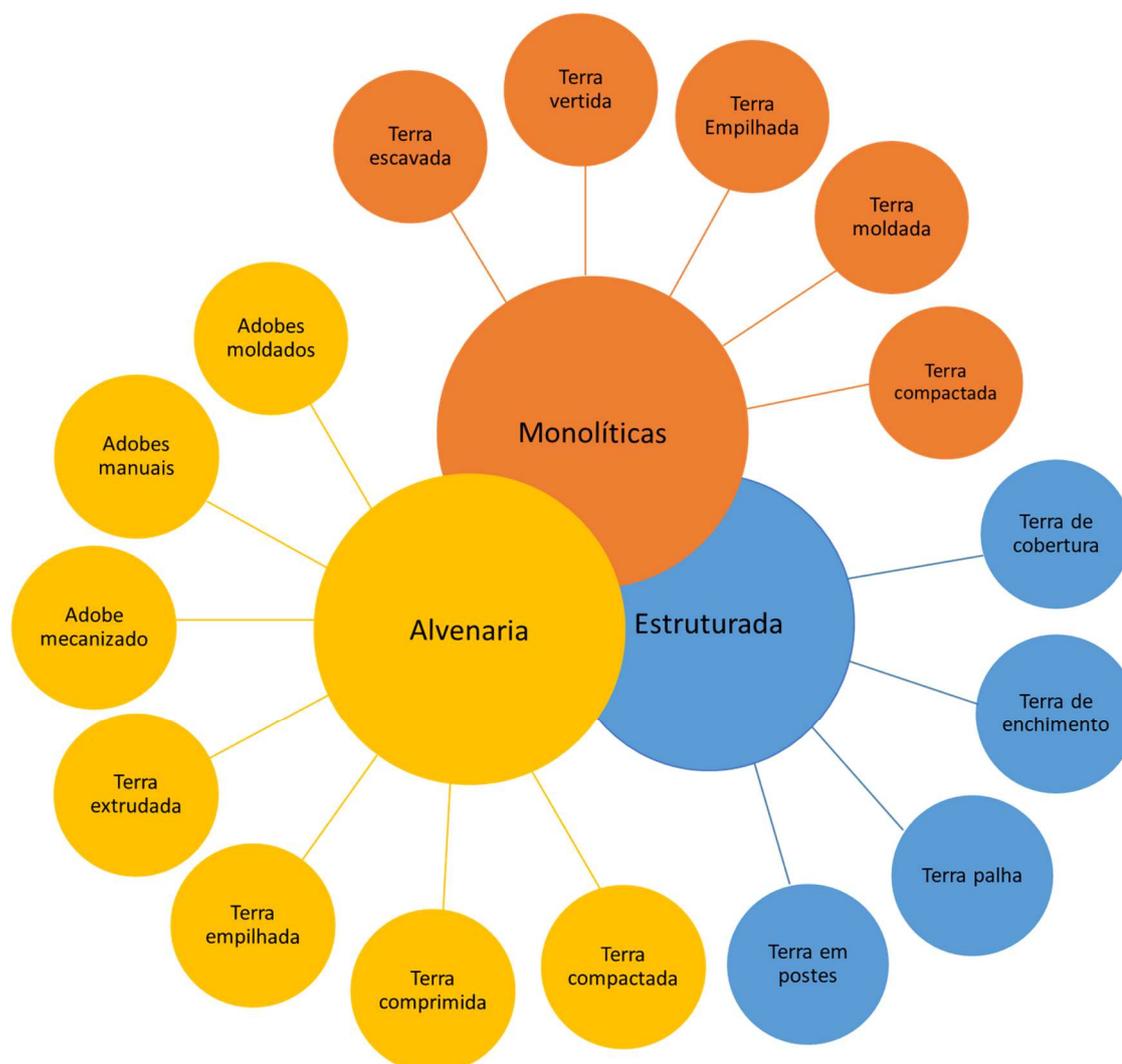
Figura 2.7 – Uso de técnicas construtivas a base de solo ao redor do mundo



Fonte: Adaptado (HOUBEN; GUILLAUD, 1989)

A classificação para os diferentes tipos de técnicas e tecnologias construtivas desenvolvidas com o solo pode ser feita através da descrição das atividades necessárias para se realização a construção do elemento construtivo, geralmente devido ao seu comportamento físico e mecânico, elementos de vedação vertical, assim como descrito pela figura 2.8 (HOUBEN; GUILLAUD, 1989).

Figura 2.8 – Classificação de técnicas construtivas com solo a partir das atividades necessárias para o seu desenvolvimento



Fonte: Adaptado (HOUBEN; GUILLAUD, 1989)

Outra classificação possível se dá pelo método de estabilização, empregado para aferir ao material estabilidade e resistências mecânicas necessárias para resistir aos esforços quando aplicado em um elemento construtivo. O processo de se estabilizar o solo pode ser definido como a indução de características, por meio de processos que visam a sua adequação técnica nas fases produtiva, aplicação e uso. Esses processos são baseados nas relações entre a quantidade de partículas sólidas, água e vazios presentes na mistura (SILVA, 2016). Sendo que, basicamente, há duas formas para se realizar esta ação (TORGAL e JALALI, 2010):

- **Estabilização mecânica:** este processo se dá pelo ajustamento da faixa granulométrica dos solos, onde, com a mistura deste material com outros elementos que possuem tamanhos de partículas variáveis, atinge-se uma faixa granulométrica ótima, estabilizando o material.
- **Estabilização química:** as partículas de solo são aglutinadas por meio da reação química de elementos ativos, dosados para essa finalidade, tais como: materiais cimentícios, calcinantes ou outro material com propriedades aglutinantes.

Atualmente são conhecidas diversas técnicas de estabilização do solo para fins construtivos, utilizando-se diferentes elementos ativos e passivos, onde, as misturas podem ser estabilizadas química e mecanicamente ao mesmo tempo (quadro 2.1).

Quadro 2.1 - Classificação de técnicas construtivas com base na forma de estabilização do solo

(Continua)

| Não industrializados | | Industrializadas | |
|--|---|--|---|
| Estabilização Mecânica | Estabilização Química | Estabilização Mecânica | Estabilização Química |
| Composição granulométrica por meio da dosagem de percentuais de areia, silte e argila | Extratos vegetais, esses materiais, geralmente hidrofugantes, atuam nas misturas aumentando a ligação das partículas, preenchendo vazios e repelindo a água superficial | Resíduos de Construção e Demolição: atuam na diversificação da gama granulométrica da mistura, aferindo maiores resistências mecânicas | Pozolanas: passivos oriundos de outras indústrias, esses materiais apresentam propriedades aglutinantes |
| Fibras vegetais que, ao ligar-se ao aglutinante da mistura, combate esforços de tração e retrações | Cinzas com altos teores de carbonato de cálcio, atuam principalmente no ganho de resistências mecânicas | Microfibras poliméricas: atuam no aumento da resistência a esforços internos | Cal Hidratada, aglutinante indicado para misturas com alto limite de liquidez |

Fonte: Adaptado (FREIRE, 2003)

Quadro 2.1 - Classificação de técnicas construtivas com base na forma de estabilização do solo

(Continua)

| Não industrializados | | Industrializadas | |
|---|---|---|--|
| Estabilização Mecânica | Estabilização Química | Estabilização Mecânica | Estabilização Química |
| Dosagem da quantidade de solo e água até a umidade ótima para a sua compactação | Produtos orgânicos de origem animal também são descritos nas literaturas como benéficos para o aumento da resistência mecânica (esterco de animais ruminantes, urina de equinos, sangue fresco, pêlos, penas, cupinzeiros e outros), porém, tais elementos possuem baixa aceitação social | Macro Fibras poliméricas: atuam no aumento da resistência a esforços internos e a esforços de tração aplicados externamente | Cimento Portland: material amplamente utilizado para o desenvolvimento de edificações com solo na atualidade, por aferir grandes resistências finais, esse material, um aglutinante, apresenta melhor desempenho final quando empregado a solos com baixos teores de argilas |
| | | Empacotamento por meio de materiais poliméricos, garantem a estabilidade estrutural de elementos finais | Gesso: apresenta propriedades aglutinantes e melhora a fluidez das partículas da mistura |
| | | | Betume: apresenta alto poder impregnante e, por não ser solúvel em meio aquoso, ajuda na redução da absorção de água do elemento final |

Fonte: Adaptado (FREIRE, 2003)

Quadro 2.1 - Classificação de técnicas construtivas com base na forma de estabilização do solo**(Conclusão)**

| Não industrializados | | Industrializadas | |
|------------------------|-----------------------|------------------------|--|
| Estabilização Mecânica | Estabilização Química | Estabilização Mecânica | Estabilização Química |
| | | | Aditivos químicos: atuam tanto na estabilização das misturas, assim como na redução da água de amassamento, melhorando as características finais do elemento produzido |

Fonte: Adaptado (FREIRE, 2003)

Dentre as diversas classificações possíveis para as técnicas construtivas que utilizam o solo como o seu principal constituinte, as que se apresentam mais promissoras quanto à incorporação da técnica ou tecnologia construtiva em edificações de interesse social no Brasil são as que utilizam para a sua estabilização aglomerantes cimentícios, dada a sua confiabilidade técnica com normatização específica e ampla gama de pesquisas acadêmicas que abordam esta temática (FREIRE, 2003).

2.9 Técnicas construtivas a base de solo-cimento

O solo-cimento pode ser classificado como uma tecnologia construtiva, pois a partir das técnicas construtivas com solo, que historicamente foram produzidas e disseminadas ao redor do mundo, implementou-se inovações tecnológicas, formulando-se uma metodologia produtiva com base na utilização de materiais locais com um aglomerante industrializado (cimento Portland).

O crédito pela invenção desta forma de se construir não é preciso, pois para os norte-americanos este se deve ser dado ao engenheiro T.H Amies que, em 1917,

patenteou o material com o nome de “soloamies”, porém, na Inglaterra, o engenheiro H. E. Brook-Brandley já utilizava a tecnologia pra a estabilização de subleitos de rodovias (SILVA, 2016). No Brasil, o desenvolvimento dos estudos e normatização sobre o tema acompanhou a vanguarda mundial, sendo os estudos da *American Association of State Highway Officials* (AASHO) e *Portland Cement Association* (PCA), que culminaram nas normatizações da *American Society for Testing Materials* (ASTM), estendidos à comunidade técnica nacional (SILVA, 2016).

A utilização desse material no Brasil se dá desde a década de trinta, porém, a sua fabricação de maneira ostensiva se deu apenas quarenta anos depois, onde edificações com o uso de solo-cimento como principal material construtivo foram construídas na década de setenta. Esse fato ocorreu quando o antigo Banco Nacional de Habitação (BNH) aprovou a técnica para construções de habitações populares (SAMPAIO; NUNES, 2018), se destacando os trabalhos de pesquisa e desenvolvimento do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Bahia (CEPED) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), que comprovaram a viabilidade técnica do uso deste material (LIMA, 2006).

O solo-cimento possui duas aplicações básicas: destinado a construção de edificações residenciais e a aplicação em pavimentações, constituindo base ou sub-bases dessas estruturas. A definição mais adotada para o material “solo-cimento”, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland e, mais recentemente, também presente na NBR 10833 (ABNT, 2012), é: a mistura homogênea e previamente dosada entre solo, que compõe a matriz construtiva da técnica e que deve possuir maior quantidade na mistura (materiais que têm como função principal preenchimento granulométrico) e cimento (aglomerante hidráulico), em quantidade menores, entre 5 a 10% da massa total de solo, aferindo ao elemento final as características físicas e mecânicas desejadas.

Para as edificações diversas técnicas e métodos construtivos são conhecidos, sendo a sua aplicação feita desde as formas mais simples, que se utilizam de ferramentas manuais, até o uso de tecnologias computadorizadas para a dosagem e a aplicação mecanizada (FREIRE, 2003).

As técnicas construtivas que usam o solo-cimento como o principal material que compõe sua matriz construtiva podem ser classificadas quanto à sua forma de

execução, sendo que basicamente existem quatro tipos possíveis: na forma de blocos ou tijolos, usados como pavimentos, estruturas maciças e o solo-cimento ensacado (MYRRHA, 2003). Ou também como monolítica (in situ), por unidade (alvenaria) e enchimento e revestimento (TORGAL e JALALI, 2010).

Nessa perspectiva, para o presente trabalho será adotada a convenção apresentada nas subseções seguinte.

2.9.1.1 Bloco com dimensões reduzidas

Os blocos de solo-cimento com dimensões reduzidas (BSDR) apresentam grande aplicabilidade à construção civil atual, sendo em diversas regiões apresentados como um material alternativo aos tradicionalmente utilizados na construção civil predial. Com processos de aplicação similares aos empregados à alvenaria de blocos cerâmicos, tais processos apresentam versatilidade, segurança construtiva e baixos impactos ambientais em seu ciclo de vida (quadro 2.2).

Quadro 2.2 - Principais técnicas construtivas em bloco com dimensões reduzidas

| Técnica construtiva | Descrição |
|---|---|
| Blocos, pavers ou tijolos de solo-cimento prensados (BTC) | Bastante difundidos no mercado, são confeccionados pela mistura de solo e cimento em proporções de 1:8 à 1:12, com baixos índices para o fator água/cimento. A mistura é conformada mecanicamente por prensas manuais, hidráulicas ou pneumáticas (SANTOS, 2015). Após a prensagem, estes são reservados para que os processos de hidratação do cimento se completem. Apresentam ainda boa confiabilidade construtiva por possuírem manuais normativos instituídos. |
| Adobe | A técnica pode ou não se utilizar de cimento como estabilizante, porém de dimensões reduzidas e utilizando-se de solos prioritariamente argilosos, os blocos são confeccionados manualmente pela conformação em formas e posterior secagem ao ar livre. Atualmente esta técnica, bastante antiga, possui a implementação de tecnologias mecanizadas, o que agiliza o processo produtivo. |

Fonte: Autor

2.9.1.2 Monoblocos horizontais

Os sistemas construtivos que se utilizam de vedações verticais formadas por monoblocos horizontais de solo-cimento (MHSC). Estas técnicas, de acordo com a literatura, foram bastante utilizadas para a produção de edificações residenciais. Os MHSC mais conhecidos e aplicados no Brasil são descritos no quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Principais técnicas construtivas em monoblocos horizontais

| Técnica construtiva | Descrição |
|----------------------------|--|
| Super-adobe | Técnica construtiva baseada no empilhamento de sacos de rafia ou poliméricos, preenchidos com solo-cimento, esses materiais são empilhados, compactando-se manualmente a cada camada. |
| Taipa de pilão | A metodologia de produção da Taipa de pilão consiste em lançar o solo-cimento em formas que darão origem às paredes de uma edificação. Em camadas de aproximados 30cm, o material é compactado mecânica ou manualmente. O processo mecanizado apresenta produtividade superior ao manual, porém ainda requer grande quantidade de operários e, por necessitar que haja a cura do material nas camadas subsequentes, apresenta baixo ritmo de produção. |

Fonte: Autor

2.9.1.3 Paredes monolíticas de solo-cimento

As paredes monolíticas são constituídas pela uniformidade de material em sua composição, ou seja, não há descontinuidades ou juntas. Esta técnica, assim como os MHSC, é criticada por diversos autores por, devidos às suas dimensões, gerarem grandes esforços internos, o que pode acarretar trincas e rachaduras na sua fase de uso. Essa forma de construir é aplicada a técnicas construtivas que utilizam geralmente o solo com a adição de fibra vegetais. Sendo que para o solo-cimento uma linha de pesquisa nova, com a utilização do solo-cimento com altos índices de fluidez tem sido desenvolvida. A sua origem é antiga e baseada nas técnicas construtivas a base da terra crua, como exemplo a Taipa de Mão. De forma similar às paredes monolíticas de concreto, a sua produtividade é alta. Basicamente em fôrmas

monolíticas lança-se misturas de solo-cimento auto adensáveis que, após os processos de hidratação do cimento, ganham resistência e dão origem às vedações verticais. Seu uso ainda é restrito às pesquisas acadêmicas (BARBOZA, 2014).

2.9.1.4 Normatização

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), regulamenta o uso de materiais construtivos à base de solo-cimento, recomendando o uso de estruturas que atendam requisitos mínimos de desempenho físico e estrutura por meio das normatizações (quadro 2.4).

Quadro 2.4 - Relação de normas brasileiras que parametrizam a utilização de componentes construtivos de solo-cimento

(Continua)

| Documento Técnico | Título | Objetivo |
|--------------------|---|---|
| NBR 8491 - 12/2012 | Tijolo de solo-cimento — Requisitos | Estabelecer critérios para o recebimento de tijolos de solo-cimento em obras de construção civil |
| NBR10833 - 12/2012 | Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento | Estabelece critérios técnicos para a produção de elementos de solo-cimento |
| NBR8492 - 12/2012 | Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio | Estabelece critérios para a avaliação do desempenho físico e mecânico de componentes de solo-cimento |
| NBR10834 - 12/2012 | Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos | Traz recomendações para os desempenhos mínimos para componentes de solo-cimento sem função estrutural |

Fonte: Autor

Quadro 2.4 - Relação de normas brasileiras que parametrizam a utilização de componentes construtivos de solo-cimento**(Conclusão)**

| Documento Técnico | Título | Objetivo |
|--------------------|--|--|
| NBR10836 - 01/2013 | Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio | Estabelece procedimentos laboratoriais para se estabelecer o desempenho de componentes de solo-cimento que não tem função estrutural |
| NBR12024 - 08/2012 | Solo-cimento — Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — Procedimento | Considerações específicas para a preparação de corpos de prova, para ensaios |

Fonte: Autor

Há a previsão da elaboração de uma norma específica para as estruturas de taipa de pilão, porém essa se encontra em fase de elaboração (PIMENTA, 2018).

2.9.2 Experiências da utilização do solo-cimento em edificações localizadas em ambientes não urbanos

Dada a grande diversidade de materiais naturais dentre o vasto território brasileiro, diversas soluções construtivas foram propostas para reduzir os custos produtivos e promover o aumento da qualidade de vida das pessoas marginalizadas em ambientes rurais. As habitações de interesse social (HIS) construídas com soluções construtivas à base de solo ganharam grande visibilidade quando, em diferentes regiões, ações governamentais fomentaram o uso deste material para edificar residências com interesse social, porém, ainda não há uma estrutura de financiamento e apoio técnico oferecido de forma sistematizada para trabalhadores rurais que optam por edificar suas residências com técnicas a base de solo (MAIA, 2011).

No estado de Mato Grosso do Sul são identificados exemplos da aplicação de técnicas construtivas à base de solo-cimento para a edificações de residências

destinadas a povos indígenas e agricultores familiares, como solução à precariedade das edificações existentes, onde esses povos recorrem a materiais improvisados para edificar barracos de lona ou com restos de materiais encontrados nos ambientes urbanos (SANCHEZ, 2009). Situação verificada por meio da figura 2.9.

Figura 2.9 - Habitações precárias identificadas nos espaços não urbanos do estado de Mato Grosso do Sul



Fonte: Autor

Situação semelhante ao verificado para a Reserva Indígena de Dourados, na (RID), região sul do Estado, onde os povos que residem próximo à região urbana usam materiais coletados do lixo para edificar suas residências (BARBOZA; BARRETO, 2019).

Em ambas as regiões os organismos públicos implementaram novas construções, usando o solo-cimento, através da técnica construtiva de tijolos prensado por meio de prensa mecânicas. Técnica e economicamente as soluções construtivas se mostraram eficazes, porém a rigidez arquitetônica imposta por técnicos responsáveis pela construção, assim como dos órgãos financiadores, fizeram com que os padrões de projeto não fossem adequados à cultura e historicidade desses povos tradicionais, fazendo com que as novas casas tivessem um índice baixo de aceitação por parte dos usuários (BARBOZA et al., 2016; MAIA, 2011).

Na região sudeste do Brasil, no assentamento Sapé, localizado na região norte do estado de São Paulo, um estudo piloto, apoiado pelo projeto “Habis” (sob responsabilidade da Universidade de São Paulo e a Universidade Federal de São Carlos) prestou auxílio técnico para a construção de casas com técnicas alternativas à base de solo, porém houve grande resistência por parte dos assentados, sendo que apenas 3 de 77 edificações foram concluídas (uma em adobe e as outras duas em BTC) usando materiais alternativos (MAIA, 2011).

A experiência de se construir edificações residenciais no interior da Paraíba, na comunidade de Cuba de Baixo (zona rural do município de Sapé), como o uso da tecnologia construtiva de BTC para famílias que moravam em casas de solo-cimento feitas com a técnica de taipa de mão se mostrou bem sucedida. Porém é necessária a preocupação com questões técnicas e, ainda, um investimento maciço do poder público em políticas que fomentem a disseminação de conhecimento e recursos com a finalidade de diminuir a vulnerabilidade para populações afastadas dos grandes centros urbanizados (OLIVEIRA; FERREIRA, 2012).

As experiências com o uso de técnicas construtivas a base de solo-cimento no Brasil demonstram que basicamente essas soluções são viáveis técnica e economicamente para regiões afastadas dos grandes centros urbanos, gerando melhores condições de habitabilidade para os ocupantes e, assim, contribuindo com a sustentabilidade das edificações presentes nestes locais. Porém aponta-se nos diversos trabalhos sobre o tema, a necessidade de uma abordagem integrada, que leve em consideração questões específicas dessas comunidades e, ainda, é necessário que os gestores (do setor público e privado), em especial aqueles que possuem relação direta com a implementação de novas edificações, possuam um arcabouço de conhecimentos interdisciplinares para uma melhor seleção de técnicas e sistemas construtivos a serem implementados.

Capítulo 3

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE CONSTRUTIVA

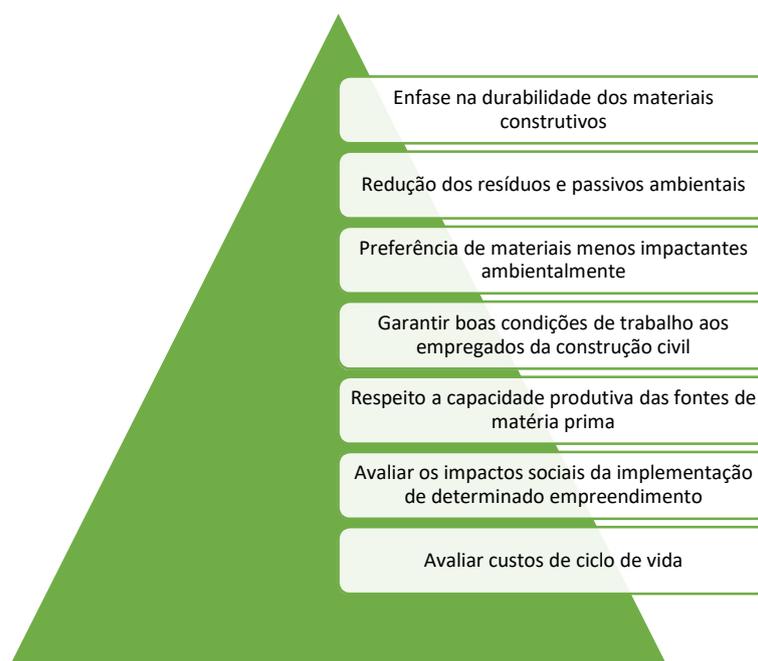
A partir dos anos 80, as discussões acerca dos impactos que a indústria da construção civil gera ao meio ambiente tiveram início. Ao longo dos anos, com o aprofundamento das discussões sobre o desenvolvimento sustentável e a construção conceitual para a sustentabilidade essa preocupação estendeu-se às questões econômicas e sociais, sendo essas considerações também abordadas no setor da construção civil. O presente capítulo objetiva apresentar as diferentes abordagens voltadas à avaliação da sustentabilidade em edificação por meio da análise e revisão das principais metodologias amplamente utilizadas para a avaliação da sustentabilidade das edificações.

3.1 Considerações Iniciais

A construção civil é sabidamente uma grande geradora de impactos ambientais. Tais impactos estão distribuídos ao longo de toda a cadeia produtiva de uma edificação, sendo verificados passivos ambientais: na extração de recursos naturais que tanto são utilizados com insumos primários ou são beneficiados; no beneficiamento ou produção de subprodutos pelos setores industriais ligados à construção civil (indústrias de produção de insumos a serem utilizados em edificações, como por exemplo, blocos, cimento, louças sanitárias, tubulações, esquadrias, telhas e outros); na fase de construção, onde grandes volumes de resíduos são gerados e ainda há um grande consumo de energia para a aplicação e transporte de insumos; no uso das edificações, que no caso das residências, de maneira geral, o consumo energético assim como as suas perdas são relevantes; e, por fim, a fase de desuso destas, onde de maneira desordenada grande parte dos recursos empregados na fase de implantação são descartados de maneira não planejada.

Aliar o crescimento do setor construtivo, especialmente a edificação de novas moradias para a atenção do crescimento da população mundial, com o respeito ao potencial de regeneração do ambiente de extração de insumos naturais, são desafios para a engenharia e as demais ciências ligadas à construção civil. Nesse sentido, os profissionais desse setor estão imersos em um processo de ressignificação dos conceitos de desempenho construtivo, onde questões como a durabilidade, impacto ambiental de extração, emissões de gases estufa e reciclabilidade de materiais construtivos são considerados. E, ainda, o uso de energias renováveis e a eficiência energética são fatores relevantes para o planejamento de uma nova edificação (figura 3.1).

Figura 3.1 - Considerações acerca do processo de ressignificação dos conceitos de desempenho construtivo.



Fonte: Autor

A ressignificância, método da neurolinguística que visa atribuir um novo significado às situações cotidianas por meio da mudança de visão das pessoas sobre determinado assunto, pode ser associada à mudança da forma com que a sociedade passa a enxergar as suas edificações. As residências, sob a ótica da sustentabilidade devem desempenhar outras funções, além das de garantir aos seus usuários proteção contra as adversidades climáticas do meio, sendo considerados estruturas ativas na dinâmica social, energética, histórica econômica e ambiental.

Atualmente, existem diversas propostas metodológicas para a avaliação da sustentabilidade construtiva, sejam estas de cunho acadêmico ou as já estabelecidas comercialmente. Com o intuito de se identificar a estrutura das principais metodologias adotadas na construção civil para se mensurar o desempenho sustentável das edificações, o presente capítulo apresenta o resultado da revisão da leitura sobre o tema.

3.2 A sustentabilidade na construção civil

Imersa em um contexto mundial de revisão do formato de desenvolvimento, o setor industrial, principal agente de transformação e, por consequência, o setor mais relevante quando se analisam os impactos das ações humanas no planeta, após a implementação das agendas mundiais de discussão, precisou se reinventar, buscando produtos e processos mais sustentáveis (OLSEN, LODWICK e DUNLAP, 2018).

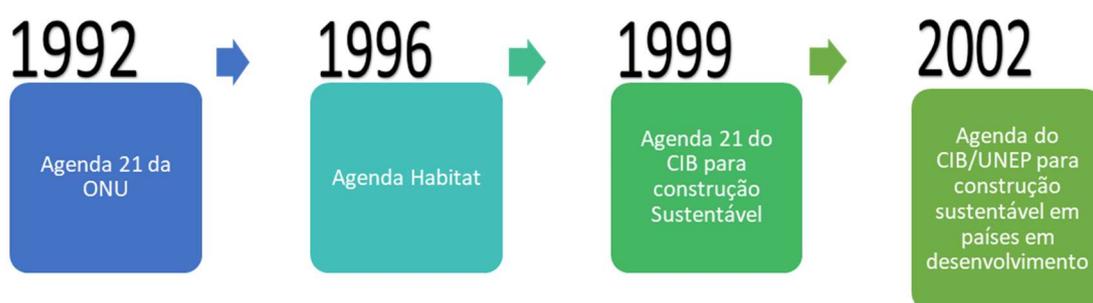
Nesse cenário, a indústria da construção civil está entre os setores econômicos que mais impactam o meio ambiente, pois está diretamente ligada a transformação de recursos naturais em produtos a serem utilizados pela sociedade (ORTIZ; CASTELLS; SONNEMANN, 2009). Aproximadamente 40% de todos os recursos extraídos da natureza são destinados a esse setor, possuindo influência direta em problemáticas amplamente discutidas mundialmente, tais como o aquecimento global e a poluição de fontes de água potável (EBERHARDT; BIRGISDÓTTIR; BIRKVED, 2019). Estima-se que a metade do consumo mundial de recursos como a energia e água, foram consumidos pelas edificações, contribuindo ainda com 23% da poluição atmosférica com a emissão de 50% dos gases que potencializam o efeito estufa, 40% da poluição de recursos hídricos e gerando 40% dos resíduos sólidos nas cidades (DIXON, 2010).

Analisar os impactos da construção civil ao meio ambiente é apenas uma parte da análise da contribuição deste setor para o alcance de horizontes mais sustentáveis. Em qualquer economia mundial, a construção civil é um dos segmentos econômicos que mais emprega trabalhadores e gera riquezas, representando 5,2%, 8,47% e 10,2% do produto interno bruto (PIB) do Brasil, Estados Unidos e União Europeia, respectivamente, no ano de 2009 (MELLO; AMORIM, 2009). Nos anos subsequentes, o setor continuou a sua tendência de crescimento e, em 2016, no Brasil, o setor representava 7,3% do PIB, empregando cerca de 11,6 milhões de pessoas e movimentando 773,3 bilhões de reais entre despesas diretas e impostos (ABCP, 2018). De acordo com o *Euroconstrut*, nos 19 países europeus que fazem parte de sua avaliação, a construção civil movimentou, em 2018, 1,6 bilhões de euros, essa quantia

representa 9,6% do PIB da União Europeia (EUROCONSTRUCT, 2018). Nos EUA, em 2017, a construção civil representou 6,36% do seu PIB (TRADINGECONOMICS, 2018).

Portanto, as decisões e direcionamentos previstos para a indústria da construção civil têm impacto direto nas três dimensões fundamentais de sustentabilidade, dessa forma, grupos específicos de discussão foram formados para se estabelecer estratégias para que o estabelecimento de processos produtivos mais sustentáveis em paralelo com as macros reuniões mundiais. Vale ressaltar que as primeiras reuniões mundiais para se discutir o desenvolvimento sustentável foram baseadas na agenda 21, que tinha o objetivo claro direcionar o mundo para um horizonte mais sustentável para o início do século 21 (figura 3.2).

Figura 3.2 - Principais discussões acerca da sustentabilidade construtiva com base na agenda 21



Fonte: Adaptado (GOMES, 2007)

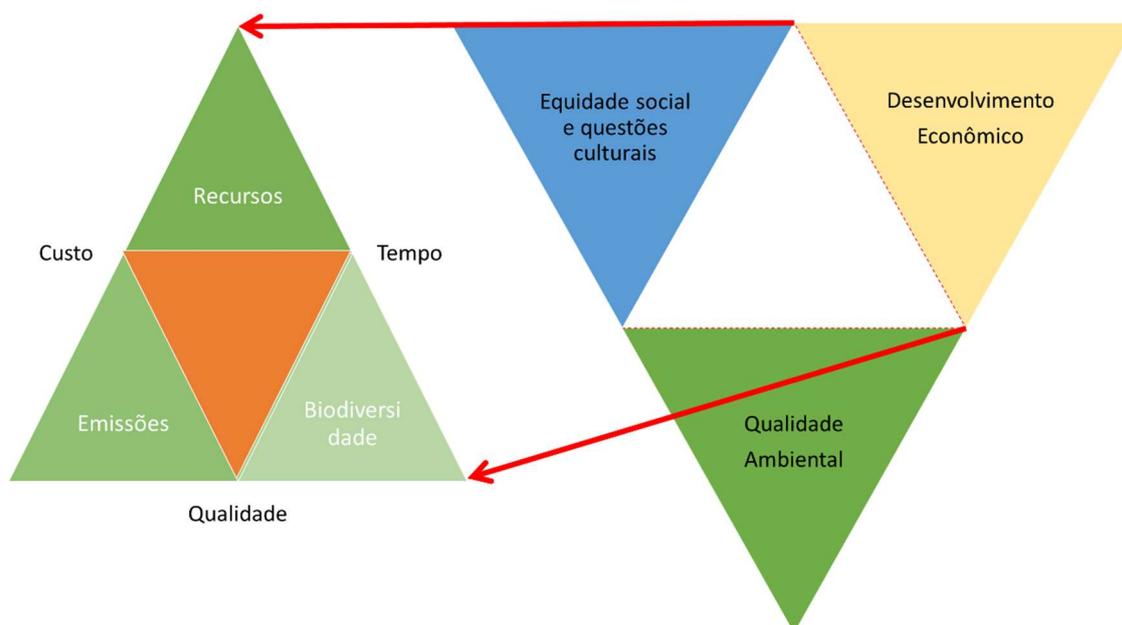
A agenda 21 para a construção sustentável, elaborada e discutida com a colaboração do Conselho Internacional de Pesquisa e Inovação em Construção Civil - *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (CIB³), tem como objetivo central estabelecer um elo entre a agenda Habitat e o relatório de Buntland, aproximando os objetivos e metas à realidade da construção civil, levando-se em considerações os fatores específicos de cada país ou região. Esta agenda, vital para o direcionamento das ações do setor, apresenta como objetivos específicos (CIB, 1999):

³ Abreviação do termo em francês *Conseil International du Bâtiment*.

- Criar uma sistematização global que leve em consideração todas as articulações nacionais, regionais e sub setoriais, estabelecendo uma terminologia que faça sentido prático;
- Balizar as atividades do CIB no âmbito da sustentabilidade na construção civil;
- Criar um marco regulatório que sirva de referência no setor.

Os conceitos discutidos para o estabelecimento de processos construtivos mais sustentáveis são influenciados de maneira significativa pela bagagem acumulada pelas discussões mundiais, onde em um contexto global as principais variáveis que condicionam o desempenho de uma obra de engenharia passam a ser influenciadas por novos paradigmas abordados pela agenda 21 (figura 3.3).

Figura 3.3 – Adequação do setor da construção civil ante aos novos paradigmas trazidos pela agenda 21



Fonte: Adaptado (ABNT, 2014)

A própria definição do termo construção sustentável está intimamente ligada a essas considerações, sendo feitas para cada país adequações específicas, considerando a realidade local (CIB, 1999). O Brasil adota como significado para o termo as definições adotados pelo CIB, que conceitua a

construção sustentável como “um processo holístico que aspira a restauração e manutenção da harmonia entre os ambientes natural e construído, e a criação de assentamentos que afirmem a dignidade humana e encorajem a equidade econômica” (MMA, 2018), sendo embasada por meio de seis diretrizes:

- Mudança de paradigmas dos conceitos de arquitetura das edificações, priorizando estruturas mais duráveis;
- Implementação de soluções que priorizem o uso racional da energia elétrica e o uso de energias provenientes de fontes renováveis; manejo ecologia dos recursos hídricos;
- Redução do uso de materiais que possuem um alto impacto ao meio ambiente; redução dos passivos gerados pelos resíduos sólidos gerados por materiais construtivos, dando prioridade a materiais com maiores modularidades e que possuem altos índices de reutilização;
- É recomendado a avaliação dos impactos dos materiais construtivos ao longo de sua cadeia produtiva por meio de métodos como a análise de ciclo de vida.

Tais diretrizes também são adotadas pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), organização criada em 2007 e constituída por profissionais do mercado da construção, pesquisadores, estudantes e representantes de organizações governamentais, possuindo participação ativa nas discussões mundiais e nacionais sobre o tema.

A partir de 2015, com o estabelecimento da agenda 2030, as edificações ficam enquadradas, além das considerações presentes na agenda 21 para as edificações, aos 17 objetivos desenvolvimento sustentável do milênio (ODS), inseridos no âmbito da agenda 2030, estando a construção civil atrelada de maneira direta e indireta a todas as categorias propostas (IPEA, 2018).

De maneira específica, a preocupação quanto ao comportamento de uma edificação ante as condições locais de oferta e desempenho não é recente, na história são inúmeros os exemplos dessa relação, tais como as condições ambientais ante ao local de implementação de edificações, documentadas pelo engenheiro e arquiteto romano Vitrúvio (séc. I a. C.) (MATEUS, 2009). O uso de

matérias locais e que permitem bons níveis de conforto térmico por povos originários no Brasil (BARBOZA et al., 2016), a reconstrução de edificações após a Segunda Guerra Mundial em países europeus com o uso de materiais provenientes da demolição de edificações destruídas (PEREIRA; VIEIRA, 2013). Atualmente diversos parâmetros devem ser levados em conta para implementar uma determinada edificação figura 3.4.

Figura 3.4 – Parâmetros a serem considerado para o alcance de horizontes mais sustentáveis para edificações



Fonte: Adaptado (MATEUS, 2009)

A partir da evolução das considerações atribuídas para a sustentabilidade na construção civil, atualmente, deve-se considerar outros aspetos para avaliar uma edificação, para além das considerações trazidas pela consideração das diferentes dimensões através do relatório de Buntland, centrado nos impactos gerados pela humanidade no meio ambiente, ou pelas considerações trazidas pela agenda 21, onde devem ser considerados fatores sociais e econômicos (VEIGA, 2010). O novo direcionamento para a construção civil sustentável entende o seu papel sobre os impactos sociais, históricos, culturais, políticos,

ecológicos, ambientais, econômicos e financeiros, considerando fatores relacionados à outras correntes científicas, atribuindo um caráter transdisciplinar para a engenharia e demais áreas ligadas ao setor da construção (MARCELO; VIZIOLI; ANGINELI, 2008).

Para entender como é abordada a sustentabilidade nas edificações no mercado da construção civil atual, são revisadas, nas seções subsequentes, diferentes metodologias para a mensuração do desempenho sustentável de materiais, sistemas construtivos e edificações, amplamente reconhecidas ao redor do mundo.

3.3 Avaliação de desempenho ambiental a partir da análise do ciclo de vida dos materiais construtivos

As metodologias de análise de ciclo de vida (ACV) – tradução para o termo originalmente descrito em inglês *Life-Cycle Assessment* (LCA) – tem como objetivo a avaliação dos impactos ambientais gerados por produtos e processos empregados na fabricação de um determinado elemento.

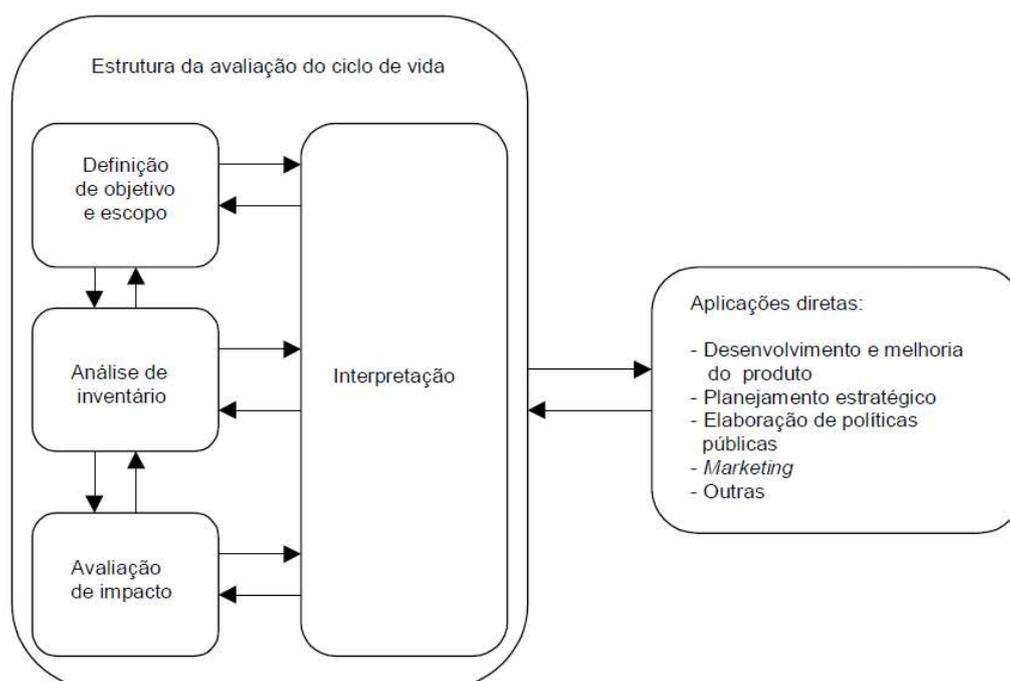
Na construção civil, esses métodos são particularmente empregados para avaliar o impacto que um edifício gera ao meio ambiente. Considerando que uma edificação pode ser avaliada ambientalmente pelo impacto gerado pelos elementos que a compõem, para a avaliação da intensidade dos impactos gerados pelos materiais construtivos que integram a sua estrutura são considerados todos os processos necessários para a produção, utilização e desuso destes.

A abordagem ACV, desenvolvida nos anos 90 pela *Society for Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) e normalizada pela *International Organization for Standardization* (ISO 14040), é voltada à, principalmente, materiais manufaturados, sendo vista em um primeiro momento como uma mera ferramenta de marketing verde, ou seja, estratégia mercadológica para a ampliação da venda de produtos por meio do apelo à mitigação de impactos, porém com poucas implicações práticas (MATEUS, 2009). Essa consideração era feita, pois, as ferramentas de ACV explicitam o desempenho de um determinado produto, certificando os procedimentos fabris

da organização empresarial que deseja aderir ao sistema de avaliação ambiental ACV. Mas, com o passar dos anos, verificou-se justamente o contrário, os dados oriundos dessas abordagens fornecem grande volume de informações que, de fato, apresentam um panorama completo sobre como um determinado material afeta a condição de vida humana no planeta.

No Brasil, a série de recomendações trazidas pela ISO referentes ACV foram adaptadas a partir da série de normas técnicas NBR ISO 14040:2009 (ABNT, 2009), NBR ISO 14044:2009 (ABNT, 2009) e suas complementações, padronizando, desta forma, as abordagens dessa natureza em território nacional. Basicamente, as normas indicam que a realização da análise de ciclo de vida de um material deve seguir as etapas descritas por meio da figura 3.5.

Figura 3.5 – Etapas para a realização de avaliação por meio da análise de ciclo de vida



Fonte: (ABNT, 2009)

Onde as fases são estruturadas como descrito a seguir:

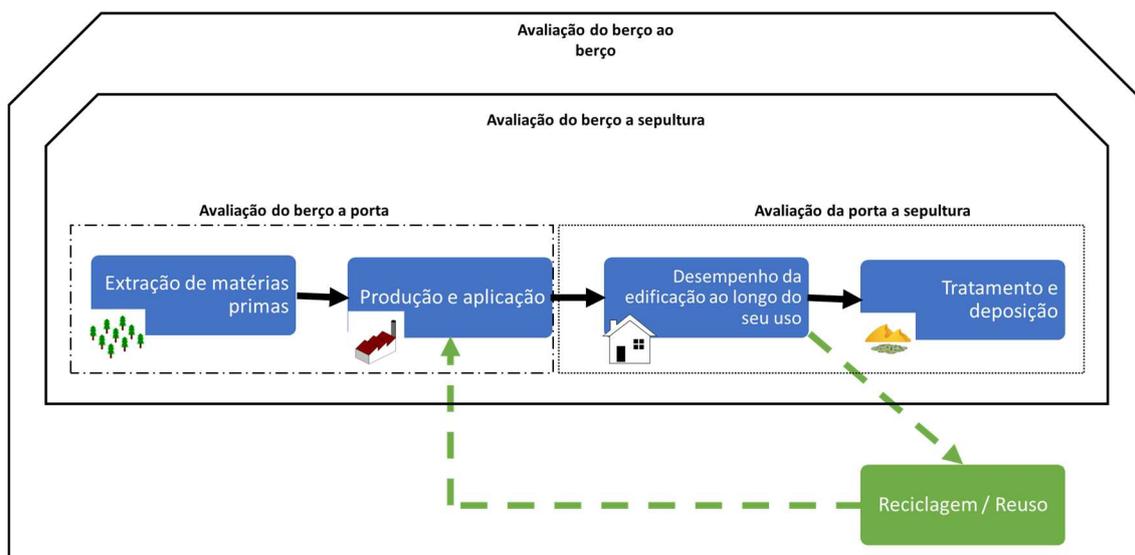
- **Definição de objetivo e escopo:** fase de definição de objetivo compreende a definição dos motivos que levaram a realização do estudo e o público a quem se destina as análises a serem realizadas; a descrição

do escopo compreende a estruturação preliminar da análise a ser feita, nessa fase são definidas as funções do sistema ou do produto analisado, a unidade de análise ou a unidade funcional, a abrangência avaliativa, assim como os demais conteúdos relativos a como irá se estruturar as etapas de análise e apresentação dos dados;

- **Análise de inventário:** a análise de inventário compreende a fase de coleta e validação de dados, onde, com base no escopo e objetivos preestabelecidos, tem-se a mensuração de todas as informações necessárias (entradas e saídas) para estabelecer os valores quantitativos para os impactos gerados pelo objeto de análise. Essa fase é de grande importância para a avaliação dos impactos totais, podendo ser descrita por meio dos processos de diagramas de fluxo, matrizes, quadros de entradas e saídas e modelagens híbridas que consideram dois ou mais métodos de estruturação em conjunto;
- **Avaliação de impacto:** esta fase compreende a análise da relevância dos dados obtidos, sendo estes classificados, caracterizados e ponderados;
- **Interpretação:** é feita ao longo do processo de maneira paralela às ações e fases do estudo, sendo de extrema importância por se tratar de ponderações subjetivas, a publicidade dos dados e análises. Tendo como finalidade o melhoramento do processo de análise, tornando a estrutura de avaliação do ciclo de vida um processo que pode ser mutável em sua totalidade.

A utilização da análise de ciclo de vida de um edifício é bastante complexa, pois a quantidade de elementos diferentes que o compõem é muito grande. A quantidade de informações é de igual envergadura e, ainda, a obtenção e análise destes dados torna-se difícil e trabalhosa (SILVA, 2003). Neste sentido, é possível fracionar a abordagem avaliativa para o ciclo de vida verificado para um material sendo adotadas quatro fases, fronteiras avaliativas para produtos e processos: a fase do berço ao portão, do portão a cova, do berço a cova e do berço ao berço conforme apresentado na figura 3.6.

Figura 3.6 – Fases a serem consideradas na avaliação de ciclo de vida de materiais construtivos



Fonte: Adaptado (MATEUS, 2009)

Diversas ferramentas de avaliação da sustentabilidade são baseadas na análise dos dados provenientes da avaliação do ciclo de vida dos materiais, as destinadas à construção civil, dentre estas, podem ser destacadas três tipologias de análise diferentes (ORTIZ; CASTELLS; SONNEMANN, 2009):

- **Avaliação do comportamento do edifício como um todo:** as metodologias enquadradas nesta classificação consideram o impacto dos materiais que constituem a edificação como um todo, destacando-se métodos como o BREEAM (Reino Unido), LEED (Estados Unidos da América), SEDA (Austrália);
- **Ferramentas de apoio à decisão em projeto:** os métodos agrupados neste grupo são baseados na construção de sistemas de apoio à tomada de decisão para as equipes de projeto, ou seja, fornecem informações prévias à construção da edificação, com o objetivo de torná-las menos impactantes. Destacam-se os métodos propostos pela LISA (Austrália), Ecoquantum (Nova Zelândia), Invest (Reino Unido), ATHENA (Canadá), BEE (Finlândia);
- **Ferramentas de comparação de sistemas e materiais construtivos:** as metodologias deste grupo são estruturadas em, basicamente, comparar o grau de desempenho de materiais previamente cadastrados

em um banco de dados específico, tais como, Gabi (Alemanha), SimaPro (Nova Zelândia), TEAM (França) LCAiT (Suécia).

Para a estruturação de todas as metodologias que se baseiam na ACV, é fundamental a obtenção de dados a partir de um banco de dados com valores confiáveis, auditáveis e reconhecidos. Para tanto, o desenvolvimento das declarações ambientais de produto (DAP) - oriundo do termo *Environmental Product Declaration* (EPD) - representa um grande avanço para a popularização dos dados a nível mundial.

As DAP's possuem formato padronizado e trazem informações específicas sobre os materiais analisados e a empresa fabricante, assim como a estruturação de seus processos e impactos:

1. Descrição da empresa fabricante do produto;
2. Descrição detalhada do produto, referência da análise;
3. Especificação da unidade funcional considerada e a sistematização das etapas consideradas na ACV;
4. Consideração sobre as fases do ciclo de vida que a análise aborda e seus relacionamentos, com a descrição detalhada de cada etapa;
5. Composição de sub materiais que compõem o material analisado;
6. E, por fim, a quantificação dos impactos ambientais gerados ao longo do ciclo de vida do material, respeitando-se a abrangência avaliativa considerada, sendo computadas informações sobre o uso/reuso de insumos (tais como energia, água e combustíveis), emissões de gases à atmosfera (GWP, ODP, AP, EP, POCP e ADP), produção de resíduos sólidos (resíduos perigosos, resíduos radioativos e resíduos não perigosos) e, adicionalmente, são informados outros indicadores relevantes para a consideração da ACV, tais como o percentual incorporado de materiais reciclados e/ou reutilizados e a produção de energia de fontes alternativas no local.

A maioria dos métodos de avaliação de edificações no Brasil não emprega a análise de ciclo de vida dos materiais como ferramenta de análise da sustentabilidade construtiva, pois sua abordagem, para o então momento,

mostrava-se muito complexa, insuficiente e pouco aplicável praticamente (SILVA, 2003). Tal situação se explica pela pouca difusão da ACV no setor da construção civil brasileira, sendo ainda pouquíssimos materiais construtivos com analisados, mesmo que parcialmente, com uma DAP cadastrada.

Porém, destacam-se as iniciativas do projeto de análise de ciclo de vida (ACV) do Instituto Brasileiro de Informações e Tecnologia⁴ - IBICIT (tendo como principal ação a formulação de um banco nacional de inventários de ciclo de vida – ICV - para produtos industrializados em geral), da Rede Empresarial Brasileira de Avaliação de Ciclo de Vida – CEBDIS (que reúne o setor empresarial para fomentar a implementação de ações em prol da ACV) e do “The Internacional EPD” (EPD Brasil).

3.4 Levantamento e exposição de metodologias e ferramentas para se avaliar a sustentabilidade na construção civil

O processo de se repensar o desenvolvimento mundial sob uma ótica mais sustentável, iniciado à partir das discussões mundiais acerca da relação da humanidade com o meio ambiente nas décadas de 70 e 80, deu origem aos métodos e ferramentas de avaliação da sustentabilidade construtiva que visam aplicar, na prática, os princípios sustentáveis (BELLEN, 2006; MATEUS, 2009; CASTRO, 2018). Ao redor do mundo, diferentes soluções e abordagens foram propostas, levando-se em consideração, na maior parte dos casos, a avaliação de ações mais impactantes regionalmente, não havendo consenso para de uma metodologia aplicável em escala mundial (MATEUS, 2009).

Para o presente levantamento, os países foram agrupados em sete regiões, seguindo-se os critérios de posicionamento geográfico, desenvolvimento econômico e proximidade econômico-cultural, adotadas pelo *World Bank* (figura 3.7). Essas regiões são descritas e as suas principais metodologias são listadas no quadro 3.1.

⁴ O instituto publicita os seus dados por meio do endereço eletrônico <http://acv.ibict.br/>.

Com o intuito de caracterizar as metodologias de interesse de maneira mais aprofundada, foram selecionados um grupo reduzido de métodos conforme os critérios:

- Abrangência: foram preferidas as metodologias com maior grau de disseminação internacional, nacional e regional, conseqüentemente;
- Disponibilidade de manual técnico detalhando a metodologia e seus indicadores: para levantamento, foram consideradas apenas as metodologias que disponibilizam a forma como se estruturam;
- Documentação disponível em inglês, português, espanhol ou francês: apenas foram avaliadas as metodologias que disponibilizam os seus manuais em linguagens mais conhecidas ocidentalmente;
- Número de edificações já certificadas: as metodologias consolidadas e, de grande usabilidade, foram priorizadas.

Quadro 3.1 - Principais metodologias para a análise da sustentabilidade construtiva ao redor do mundo

| | |
|-----------|--|
| Região 01 | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de Avaliação Abrangente para Eficiência do Ambiente Construído (<i>Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency - CASBEE</i>) • Sistema nacional de Classificação de Ambiente Australiano (<i>National Australian Built Environment Rating System – NABERS</i>) |
| Região 02 | <ul style="list-style-type: none"> • Método de Avaliação Ambiental de Estabelecimento de Pesquisas de Construção (<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method – CASBEE</i>) • Alta Qualidade Ambiental de Edifícios – (<i>Haute Qualité environnementale des batiments – HQE BATIMENTS</i>) • Liderar pelo Ambiente – LIDERA • Empresa de Construção Sustentável Alemã (<i>Deutsche Gesellschaft Für Achhaltiges Bauen – DGNB</i>) • Ferramenta de Construção Sustentável (<i>Sustainable Building Tool – SBTOOL</i>) • Excelência em Projetos para Maiores Eficiências (<i>Excellence in Design for Greater Efficiencies – EDGE</i>) |
| Região 03 | <p>Cenário brasileiro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selos Caixa azul, Procel Edifica e Qualiverde • Selo RGMAT (Certificado Ambiental de Produto) • Conjunto de Normas NBR ISO 14001 • Liderança em Energia e Design Ambiental, Brasil (Leadership in Energy and Environmental Design – LEED) • Alta Qualidade Ambiental – (AQUA/HQE Brasil) |
| Região 04 | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema Global de Avaliação de Sustentabilidade (Global Sustainability Assessment System – GSAS) |
| Região 05 | <ul style="list-style-type: none"> • Liderança em Energia e Design Ambiental (Leadership in Energy and Environmental Design – LEED) • Critérios de Avaliação de Desempenho Ambiental (Environmental Performance Assessment Criteria - BEPAC) |
| Região 06 | <ul style="list-style-type: none"> • Liderança em Energia e Design Ambiental, Índia (Leadership in Energy and Environmental Design – LEED Índia) / Indian Green Building Council • Classificação verde para avaliação integrada de Habitat (Green Rating for Integrated Habitat Assessment – GRIHA) |
| Região 07 | <ul style="list-style-type: none"> • Ferramenta de avaliação da sustentabilidade de edificações (Sustainable Building Assessment Tool – SBAT / South Africa) |

Fonte: Autor

Na relação comercial estabelecida quando se deseja construir uma nova edificação, o corpo técnico, responsável por selecionar e desenvolver soluções construtivas mais adequadas a uma edificação, em uma determinada localidade é subordinada às vontades e necessidades de quem o contrata. Nesse sentido, estratégias de sensibilização dos usuários para a adoção de sistemas construtivos mais sustentáveis é uma boa saída, porém, com resultados a longo prazo. Outra alternativa, é o estabelecimento de normas técnicas que exigem o desempenho mínimo de processos e materiais ante a sustentabilidade, nesse caso, são alcançados apenas desempenhos mínimos, sendo a adoção de incentivo à construção sustentável a melhor saída momentânea, com a adoção de selos e incentivos fiscais. Nesse sentido, são verificadas três tipologias para as metodologias analisadas, as que mensuram o desempenho ambiental das edificações, as que propõem uma classificação de desempenho e as que possuem como resultado final uma etiqueta de desempenho (LARSSON, 2014).

Atualmente, verifica-se para os métodos mais consolidados mundialmente uma abordagem mista, onde são consideradas as abordagens que estabelecem o desempenho ambiental do ambiente construído em sistemas classificatórios, tal como a adoção da análise do ciclo de vida de materiais construtivos na metodologia SBTOOL. A avaliação do desempenho sustentável de edificações, sejam elas de uso residencial, comercial ou industrial por meio de certificações de produto, é uma prática bastante difundida em todos as regiões mundiais, apresentado, cada método, particularidades avaliativas. Atualmente, com os processos de globalização, diversas metodologias são particularizadas para contextos nacionais, onde métodos criados geralmente nas regiões dos países mais desenvolvidos são replicados em outras regiões, é o caso das certificações LEED, CASBEE, AQUA, BREEAM e SBTOOL.

Para expor, de maneira mais objetiva, as diversas formatações propostas e, assim, ter um panorama mais aprofundado de estruturação metodológica das principais abordagens utilizadas, é importante desenvolver um método avaliativo (GOMES, 2003). Para a presente pesquisa, foi desenvolvido um protocolo de verificação, conforme descrito pelo quadro 3.2. Por meio dos quadros 3.3 a 3.8 são apresentadas as principais metodologias amplamente utilizadas nas macrorregiões mundiais.

Quadro 3.2 - Protocolo de avaliação das metodologias de certificação da sustentabilidade construtiva

| Quesito | Descrição |
|------------------------------------|--|
| Nome da certificação | Título atribuído a certificação |
| Órgão responsável pela sua criação | Órgão que criou ou é responsável pela certificação |
| País/ Ano | País de origem /Ano de criação do método |
| Abrangência geográfica | Amplitude de sua aplicação |
| Aplicação no contexto brasileiro | Grau de conhecimento ou utilização no contexto nacional |
| Abrangência avaliativa | Unidade básica de avaliação |
| Tipos de edificações certificadas | Quais os tipos de edificações que a metodologia é aplicada |
| Ênfase avaliativa | Qual é o objetivo da ferramenta |
| Método de avaliação | Como se dá o método de avaliação |
| Exposição dos dados | Como são expressos os desempenhos sustentáveis |

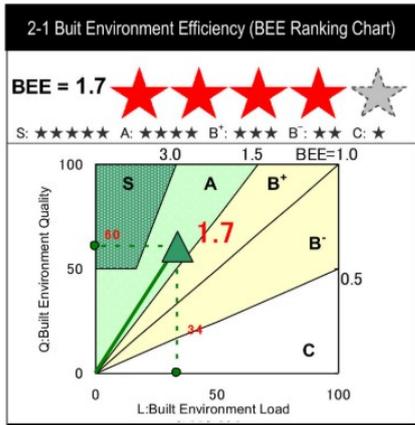
Fonte: Autor

Quadro 3.3 - Resumo da metodologia LEED

| | |
|---|--|
| Nome da certificação | <i>Leadership in Energy and Environmental Design – LEED</i> |
| Órgão responsável pela sua criação | United States Green Building Council (USGBC) |
| País/ Ano | Estados Unidos da América/ 1998 |
| Abrangência geográfica | Mundial |
| Aplicação no contexto brasileiro | O LEED, apresenta atualmente uma versão adaptada para o contexto brasileiro – LEEAD Brasil, sendo amplamente conhecida e utilizada em território nacional |
| Abrangência avaliativa | Apresenta certificações com abrangência atrelada às edificações e às localidades |
| Tipos de edificações certificadas | BD+C – Novas Construções ID+C – Design de interiores O+M Edifícios Existentes ND – Bairros |
| Ênfase avaliativa | Considera três dimensões de sustentabilidade: Social, Econômica e Ambiental |
| Método de avaliação | É realizada por meio da atenção de pré-requisitos estabelecidos para o desempenho da edificação em análise. Conforme for o comportamento ante os quesitos propostos a edificação ganha ou deixa de pontuar. Ao final são contabilizados os graus de atenção aos critérios propostos sendo atribuída a edificação os selos: certificada, prata, ouro ou platina |
| Exposição dos dados |  |

Fonte: Autor

Quadro 3.4 - Resumo da metodologia CASBEE

| Nome da certificação | <i>Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency - CASBEE</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|------------|-----------------|------------|---|-----------|--------------------------------------|-------|---|-----------|--|------|----------------|------|---------------|-----|----------------|-------------|---------------|----|---|------|---------------------|---|
| Órgão responsável pela sua criação | Comitê formado por pesquisadores, representantes industriais e gestores públicos locais - Sustainable Building Consortium (JSBC) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| País/ Ano | Japão/ 2002 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Abrangência geográfica | Mundial | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aplicação no contexto brasileiro | Amplamente conhecido pelo setor técnico e acadêmico, porém não conta com uma versão adaptada para o contexto brasileiro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Abrangência avaliativa | Apresenta certificações com abrangência atrelada às edificações, ambientes urbanos e as cidades | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipos de edificações certificadas | CASBEE – Construção de novos edifícios CASBEE – Edifícios existentes CASBEE – Renovação de edifícios CASBEE – nova edificação isolada CASBEE – Desenvolvimento urbano | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ênfase avaliativa | Ênfase nos impactos ambientais causado pela implementação de uma edificação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Método de avaliação | A filosofia avaliativa se dá pelo cálculo de médias ponderadas e verificação da atenção aos critérios estabelecidos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Exposição dos dados |  <p>The figure is a '2-1 Built Environment Efficiency (BEE Ranking Chart)'. It features a graph with 'Q: Built Environment Quality' on the vertical axis (0 to 100) and 'L: Built Environment Load' on the horizontal axis (0 to 100). The graph is divided into five regions: S (top-left, green), A (top-middle, light green), B+ (top-right, yellow), B- (middle-right, light yellow), and C (bottom-right, white). A point is plotted at approximately (25, 42.5), labeled '1.7'. A dashed line from the origin passes through this point. Above the graph, a star rating system is shown: 'BEE = 1.7' is represented by five red stars and one grey star. Below the graph, a table summarizes the ranks and their corresponding BEE values and quality indicators.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ranks</th> <th>Valuation</th> <th>BEE value, etc.</th> <th>Indication</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S</td> <td>Excellent</td> <td>BEE = 3.0 or more and Q = 50 or more</td> <td>★★★★★</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>Very Good</td> <td>BEE = 1.5-3.0 BEE = 3.0 or more and Q is less than 50</td> <td>★★★★</td> </tr> <tr> <td>B⁺</td> <td>Good</td> <td>BEE = 1.0-1.5</td> <td>★★★</td> </tr> <tr> <td>B⁻</td> <td>Fairly Poor</td> <td>BEE = 0.5-1.0</td> <td>★★</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Poor</td> <td>BEE = less than 0.5</td> <td>★</td> </tr> </tbody> </table> | Ranks | Valuation | BEE value, etc. | Indication | S | Excellent | BEE = 3.0 or more and Q = 50 or more | ★★★★★ | A | Very Good | BEE = 1.5-3.0 BEE = 3.0 or more and Q is less than 50 | ★★★★ | B ⁺ | Good | BEE = 1.0-1.5 | ★★★ | B ⁻ | Fairly Poor | BEE = 0.5-1.0 | ★★ | C | Poor | BEE = less than 0.5 | ★ |
| Ranks | Valuation | BEE value, etc. | Indication | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S | Excellent | BEE = 3.0 or more and Q = 50 or more | ★★★★★ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | Very Good | BEE = 1.5-3.0 BEE = 3.0 or more and Q is less than 50 | ★★★★ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B ⁺ | Good | BEE = 1.0-1.5 | ★★★ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B ⁻ | Fairly Poor | BEE = 0.5-1.0 | ★★ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | Poor | BEE = less than 0.5 | ★ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Autor

Quadro 3.5 - Resumo da metodologia AQUA

| | |
|---|--|
| Nome da certificação | Haute Qualité Environnementale des Bâtiments – HQE BÂTIMENTS |
| Órgão responsável pela sua criação | Associação HQE (ASSOHQE) |
| País/ Ano | França/ 2004 |
| Abrangência geográfica | Mundial |
| Aplicação no contexto brasileiro | A certificação conta com uma versão brasileira: AQUA Brasil, sob a tutela da fundação Vanzolini |
| Abrangência avaliativa | Edificações e projetos territoriais |
| Tipos de edificações certificadas | Edificações residenciais Edifícios não residenciais Edifícios não residenciais em operação |
| Ênfase avaliativa | Custos, impactos ambientais e melhoramento nos índices de qualidade de vida dos usuários |
| Método de avaliação | É baseada no alcance de patamares verificados a partir da análise do projeto avaliado |
| Exposição dos dados |  <p>HQE™ Certified by CERWAY CERTIFICATE Based on a technical instruction by Fundação Vanzolini – Technical Referencial AQUA issued 2013 or before N° BR 2014 000018 Delivered on 18.03.14</p> <p>HQE®</p> <ul style="list-style-type: none"> ENERGY ★ ENVIRONMENT ★★★ HEALTH ★ COMFORT ★ <p>PROJECT: PARQUE ECOLÓGICO IMIGRANTES DELIVERED TO: FUNDAÇÃO KUNITO MIYASAKA LOCATION: SÃO BERNARDO DO CAMPO, SÃO PAULO - BRASIL BUILDING TYPE: PARK CYCLE: CONSTRUCTION STAGE: PRE-PROJECT</p> <p>This certificate confirms that this building meets the requirements of a level of performance defined in the certification scheme 2014 in each of the following four themes: Energy, Environment, Health, Comfort.</p> <p>João Joaquim A. Ferreira Patrick NOSSENT</p> <p>HQE® Fundação Vanzolini cerway</p> |

Fonte: Autor

Quadro 3.6 - Resumo da metodologia BREEAM

| | |
|---|--|
| Nome da certificação | building research establishment environmental assessment method – BREEAM |
| Órgão responsável pela sua criação | Associação HQE (ASSOHQE) |
| País/ Ano | Reino Unido / 1990 |
| Abrangência geográfica | Mundial |
| Aplicação no contexto brasileiro | Não conta com uma versão brasileiro, tendo, porém, algumas edificações possuindo esta certificação |
| Abrangência avaliativa | Edificações e projetos territoriais |
| Tipos de edificações certificadas | BREEAM – Nova construção BREEAM – Nova construção (internacional) BREEAM – Edificações em uso BREEAM – Reforma de edifícios BREEAM - Comunidades |
| Ênfase avaliativa | Classificação dos edifícios quanto a sua qualidade e desempenho sustentável por meio de indicadores que avaliam os custos de funcionamento, saúde dos ocupantes e impactos ambientais |
| Método de avaliação | Assim como o LEED é baseada no atendimento de critérios preestabelecidos |
| Exposição dos dados |  <p>The image shows a BREEAM ES certification certificate. At the top, it says 'BREEAM ES'. Below that, it identifies the project as 'BREEAM ES Em Uso' for 'Edifício Output (Indapare) - Vila São Florentina, RJ'. The certificate displays a score of 85.00/100 and a 'Good' rating, indicated by three stars. It also includes the BREEAM logo and various certification details.</p> |

Fonte: Autor

Quadro 3.7 - Resumo da metodologia SBTOOL

| | |
|---|--|
| Nome da certificação | Sustainable building tool – SBTOOL |
| Órgão responsável pela sua criação | International Initiative for a sustainable built environment |
| País/ Ano | Internacional / 2007 |
| Abrangência geográfica | Mundial |
| Aplicação no contexto brasileiro | A estrutura da ferramenta é colocada como um “kit” para o desenvolvimento de estruturas de avaliações locais, porém, entre os profissionais associados não conta com brasileiros |
| Abrangência avaliativa | Edificações |
| Tipos de edificações certificadas | Desempenho da edificação a partir das categorias e dimensões propostas |
| Ênfase avaliativa | Grande abrangência de indicadores, adaptativos, para as dimensões social, econômica e ambiental |
| Método de avaliação | Baseia-se em uma estrutura de pesos e indicadores que, por meio de comparações pareadas, mede o desempenho sustentável para a edificação analisada |
| Exposição dos dados |  |

Fonte: Autor

Quadro 3.8 - Resumo da metodologia EDGE

| | |
|---|--|
| Nome da certificação | Excellence in Design for Greater Efficiencies – EGDE |
| Órgão responsável pela sua criação | International Finance Corporation (IFC), entidade ligada ao Banco Mundial |
| País/ Ano | Internacional |
| Abrangência geográfica | Mundial |
| Aplicação no contexto brasileiro | O método possui plataforma online de acesso gratuito e adaptativo, e por esse motivo, tem amplo uso em território nacional |
| Abrangência avaliativa | Edificações |
| Tipos de edificações certificadas | Desempenho da edificação a partir das categorias e dimensões propostas |
| Ênfase avaliativa | Grande abrangência de indicadores, adaptativos, para as dimensões social, econômica e ambiental |
| Método de avaliação | O desempenho de uma edificação é medido por meio da comparação de soluções construtivas adotadas |
| Exposição dos dados | <p>Exemplifying achievement in the following areas:</p> <ul style="list-style-type: none"> 21% Energy Savings 37% Water Savings 31% Less Embodied Energy in Materials <p>278.53 tCO₂/year Operational CO₂ Emissions</p> <p>71.13 tCO₂/year Operational CO₂ Savings</p> <p>DEVELOPED BY Sodimac Colombia</p> |

Fonte: Autor

As metodologias de avaliação da sustentabilidade construtiva adotadas para a certificação de edificações ao redor do mundo são baseadas, basicamente, em três dimensões de sustentabilidade, em alinhamento com o modelo *Tree Bottom Lime*, desenvolvido na década de 90: social, econômica e ambiental (ELKINGTON, 1997). Sendo que, de maneira geral, para que uma edificação apresente um bom desempenho sustentável, esta deve apresentar um baixo impacto ao ambiente, baixos custos de implementação e uso e, as questões sociais, são fortemente direcionadas à qualidade de vida proporcionada pela edificação aos seus ocupantes durante a fase de uso do edifício. Porém, os métodos mais conhecidos mundialmente, devido a sua origem, ligada às discussões mundiais sobre o desenvolvimento sustentável, que por sua vez são originadas por questões ambientais, estão direcionadas a estabelecer o grau de interferência do ambiente construído nas condições naturais do planeta que possibilitam a vida humana, sendo as outras duas dimensões abordadas de forma complementar (WU et al., 2016).

A ampla utilização de metodologias internacionais, principalmente as desenvolvidas nas macrorregiões 2 e 5 (figura 3.2), focadas na etiquetagem de edificações ante ao seu desempenho, a aplicação de conceitos de sustentabilidade em projetos de engenharia civil, tanto no Brasil assim como na América Latina, ainda é bastante focada na dimensão ambiental, sendo que, essa dimensão é considerada apenas de forma parcial, centrando-se nas categorias energia, materiais e água (CSILLAG, 2007). Em projetos em que se consideram outras dimensões, no Brasil, a dimensão econômica fica em segundo lugar na ênfase avaliativa e por último são consideradas questões sociais (GOMES, 2007). Tal situação é também explicada pela complexidade que uma visão holística sob os processos construtivos gera e, ainda, a falta de planejamento integrado, onde nas obras feitas implementadas em território nacional, o corpo de engenharia trabalha de forma fragmentada.

De maneira geral, os métodos apresentados são direcionados para a avaliação de edificações situadas no meio urbano, dando maior relevância às problemáticas que são mais sensíveis nos grandes centros, tais como acesso ao transporte e mobilidade, uso de materiais industrializados menos impactantes, emissões e outros. Sendo que para regiões e áreas com particularidades diferentes das consideradas para construção destes sistemas, tais como benchmarks, pesos, emissividade, impactos de ciclo de vida dos materiais e outras devem ser adaptados.

Capítulo 4

MÉTODOS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

Uma realidade complexa, que apresenta problemáticas influenciadas por um número elevado de variáveis, exige a aplicação de métodos que levem em consideração tais especificidades ao propor soluções. Com o objetivo de se discutir os principais métodos de apoio à tomada de decisão, o presente capítulo revisa, por meio da bibliografia ligada ao tema, os principais métodos utilizados e aponta para o desenvolvimento de novas abordagens que consideram, de maneira mais detalhada, a apreensão da realidade, aferindo soluções mais eficazes.

4.1 Considerações iniciais

As metodologias de análise da sustentabilidade das edificações são estruturadas para, em um ambiente formado por múltiplas variáveis a serem analisadas, ordenar de maneira lógica como se dá o comportamento das alternativas ou edificações em um contexto físico. Dessa forma, o princípio norteador das suas estruturas metodológicas é baseado em sistemas e modelagens matemáticas que auxiliam os usuários a descreverem ou classificarem o seu objeto. Há, nesse caso, a adoção de estratégias baseadas no entendimento do todo, considerando-se o caráter sistêmico inerente a esses processos (SILVA, 2016).

Traduzir uma problemática ou um objetivo que se deseja atingir, por meio de uma abordagem sistêmica em um conjunto de múltiplas relações discretas, é assumir as não linearidades que a realidade nos apresenta (CHIAVENATO, 1983). Ou seja, a realidade quase nunca se apresenta como uma simples relação de causa e efeito. Nesse sentido, com o intuito de se analisar problemas e situações de forma integral, onde são consideradas diversas variáveis, sejam elas qualitativas ou quantitativas, os métodos de auxílio à tomada de decisão baseados em análises multicritérios (MCDA⁵), ou os também referenciados como Sistemas de Suporte a Decisão (SSD) apresentam-se como uma alternativa que operacionaliza esta tarefa, por meio de uma abordagem transdisciplinar (SHAD; KHORRAMI; GHAEMI, 2017).

4.2 Métodos de auxílio à tomada de decisão em ambientes com múltiplas variáveis

Os SSD's são o conjunto de modelagens matemáticas que visa estabelecer um caminho lógico para a estruturação de melhores alternativas ou as que mais se aproximem de um horizonte ótimo para uma determinada situação, esses modelos levam em consideração a opinião dos grupos de interesse envolvidos, sejam eles especialistas, usuários ou tomadores de decisão (ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2000). De maneira geral, os SSD's são destinados a solucionar problemas que visam

⁵ Acrônimo para a descrição do termo em inglês *Multi-Criteria Decision Analysis* (REED; FRASER; DOUGILL, 2006)

selecionar alternativas, com o objetivo de escolher a que melhor se enquadra em um horizonte ótimo, mas também podem ser aplicados em situações onde se deseja apenas classificar as alternativas viáveis, sendo que não necessariamente irão se estabelecer quais dessas são “melhores” ou “piores” para o alcance do objetivo final.

Dentro das diferentes estruturas de funcionamento, a estruturação dos SSD's pode ser dividida em duas lógicas de pensamento: os estruturantes, representados pela escola americana e os construtivistas, pela escola europeia.

4.3 Métodos baseados na escola de pensamento europeia

A Escola Francesa ou Escola Europeia, por também englobar métodos desenvolvidos em outros países daquele continente, tais como Bélgica e outros pertencente à região ocidental se deu pela publicação dos estudos de Bernard Roy em 1960 (GONÇALVES; DIAS; MACHADO, 2015).

A principal característica da Escola Europeia é a classificação dos dados em duas etapas distintas, na primeira, faz-se a comparação de uma alternativa com todas as outras possíveis. Dessas comparações são definidas sobreclassificações, ou seja, se a primeira alternativa é tão boa quanto a segunda, pode-se a sobreclassificar quanto a segunda. Na fase seguinte, ordena-se as alternativas da melhor para a pior, seguindo padrões pré-definidos para essa classificação, objetiva-se eleger a alternativa que melhor responde à problemática avaliada. Esta Escola tem como principal característica a adoção de um método construtivista de seleção de alternativas, sendo que tal Escola é criticada por, devido a sua metodologia, extrair resultados abstratos ou incongruências operacionais, contando ainda com um complexo sistema de processamento (PARREIRAS, 2006). O quadro 4.1, resume os principais métodos dessa Escola.

Quadro 4.1 - Síntese de Métodos da Escola Europeia

| Método | Lógica de funcionamento | Organização |
|---|---|--|
| Electre I, II, III, IV, IS e Tri — <i>Elimination and (et) Choice Translating</i> | Métodos originados do Electre I possuem a mesma lógica de funcionamento, porém com aperfeiçoamentos para que pudesse atender a uma gama maior de aplicações. Basicamente, consistem em construir um panorama baseado em preferências e não discordâncias das alternativas apresentadas para o alcance da que melhor se adequa | Os dados de saída indicam apenas qual é a solução final favorita para o problema |
| Promethee I, II, III, IV, V e VI — <i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i> | Baseado no método Electre, o Promethee analisa as alternativas paritariamente, como o método AHP, porém se baseia em uma função preferência, construída pela junção de fatores gráficos e o pré-processamento de dados não hierarquizados | Ordenam as alternativas conforme a preferência do decisor |
| Topsis — <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i> | É baseada na classificação e sobreclassificação de alternativas, tomando-se como base a distância dessa do ideal positivo e negativo alcançado | Ordenam as alternativas conforme a preferência do decisor |

Fonte: Adaptado (BRANS; VINCKE, 1985; FIGUEIRA, 2013; GOVINDAN; JEPSEN, 2016; LIMA; CARPINETTI, 2015; MICHEL; LEITE, 2012; PARREIRAS, 2006)

4.4 Métodos baseados na Escola de Pensamento Americana

A Escola Americana, pioneira cronologicamente, é baseada na teoria da utilidade ou “abordagem do critério único de síntese” (SCHMIDT, 1995). Ou seja, propõe que o valor de um item para um indivíduo é atribuído não pelo seu valor monetário, mas sim pelo seu significado e utilidade. Sendo o valor monetário ditado e uniformizado para todos, o valor da utilidade é ditado pelos fatores individuais dos que os estimam. Esta Escola, diferentemente da Escola Europeia, é normativa, preza pela estruturação do modelo e considera que antes de estabelecer pesos e graus de importância para as alternativas, o decisor já possui os conceitos relativos ao tema bem construídos (PARREIRAS, 2006). O quadro 4.2 sintetiza os principais métodos multicritérios que seguem a lógica da escola americana, sendo indicado o tipo de problema que estas se propõe analisar.

Quadro 4.2 - Síntese de Métodos da Escola Americana

(Continua)

| Método | Lógica de funcionamento | Organização |
|--|---|---|
| AHP — <i>Analytic Hierarchy Process</i> | A partir da descrição por meio de pesos a opinião de especialistas da área ou grupo de interesse, são consideradas ordenando as alternativas possíveis de forma hierárquica em seus interacionamentos | Ordenam as alternativas conforme a preferência do decisor |
| Macbeth — <i>Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique</i> | Método baseado na criação de uma função cardinal, na quantificação de variáveis qualitativas avaliadas pelo decisor ou por um grupo de decisores | Ordenam as alternativas conforme a preferência do decisor |
| Programação por Metas | Ordena as alternativas possíveis com relação à distância que estas estão da meta previamente estabelecida | Ordenam as alternativas conforme a preferência do decisor |

Fonte: Adaptado (PARREIRAS, 2006; REN; XU; GOU, 2016; SCHMIDT, 1995; SCHRAMM; MORAIS, 2008; ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2000)

Quadro 4.2 - Síntese de Métodos da Escola Americana**(Conclusão)**

| Método | Lógica de funcionamento | Organização |
|--|--|--|
| Smarts — <i>Simple Multi-attribute Rating Technique using Swings</i> | Originada do método Smart (que previa a hierarquização de alternativas sem levar em conta as suas escalas). A metodologia Smarts incorpora na atribuição de pesos por meio de uma função de aproximação | Ordenam as alternativas conforme a preferência do decisor |
| Smarter — <i>Simple Multi-attribute Rating Technique Exploiting Ranks</i> | Esta metodologia é semelhante à Smarts, porém com um processo de atribuição diferente, sendo baseado na técnica chama <i>Rank Order Centroid ou técnica ROC</i> | Ordenam as alternativas conforme a preferência do decisor |
| Todim — <i>Tomada de Decisão Interativa Multicritério</i> | Método que incorpora questões deterministas e descritivas, peculiar à Escola Americana, com fatores não discretos como as incertezas inerentes aos tomadores de decisão, podendo ser classificado em um método intercambiável. Ou seja, ora pode ser considerado pertencente a Escola Americana ora a Francesa. Atualmente é aplicada juntamente com o triangulo Fuzzy para obter resultados mais precisos | Ordenam as alternativas conforme a preferência e incertezas do decisor |
| Utadis, Utadis I, II e III — <i>Utilités Additives Discriminantes</i> | As metodologias possuem o mesmo princípio de funcionamento, baseado na desagregação de preferências, sendo sua aplicação em problemas de classificação. | Classificam as alternativas em categorias predefinidas |

Fonte: Adaptado (PARREIRAS, 2006; REN; XU; GOU, 2016; SCHMIDT, 1995; SCHRAMM; MORAIS, 2008; ZOPOUNIDIS; DOUMPOS, 2000)

4.5 Comparação entre as escolas de pensamento

Para exemplificar as principais diferenças entre as escolas que embasam as metodologias apresentadas, pode-se identificar através do quadro 4.3, entre os métodos AHP, MACBETH, ELECTRE e PROMETHE.

Quadro 4.3 - Comparação entre métodos da Escola Americana e Europeia

| | | Americanas | | Europeias | |
|---------------------------|--|------------|---------|-----------|----------|
| | | AHP | MACBETH | ELECTRE | PROMETHE |
| Entrada de dados (Inputs) | Quantidade de julgamentos em problemas com muitos critérios e alternativas | Alta | Alta | Baixa | Alta |
| | Necessidade de processar dados | Não | Não | Sim | Sim |
| | Utilização de dados quantitativos e qualitativos | Sim | Sim | Sim | Sim |
| | Utilização de decisões em vários níveis hierárquicos | Sim | Sim | Não | Não |
| Saída de dados (Outputs) | Problemas com avaliação de desempenho | Sim | Sim | Não | Não |
| | Proporciona a eliminação de alternativas | Não | Não | Sim | Não |
| | Permite avaliação da coerência dos julgamentos | Sim | Sim | Não | Não |

Fonte: Adaptado (MICHEL; LEITE, 2012)

Neste cenário, a aplicação de MCDA para a solução de problemas com múltiplas variáveis tem se intensificado, sendo as áreas de engenharia, economia e as demais ciências aplicadas as principais utilizadoras. Destacando-se com os mais utilizados os métodos AHP e ELECTRE (MICHEL; LEITE, 2012), sendo que o AHP é o MCDA mais empregado em análises multicritérios no mundo (GOMES, 2007).

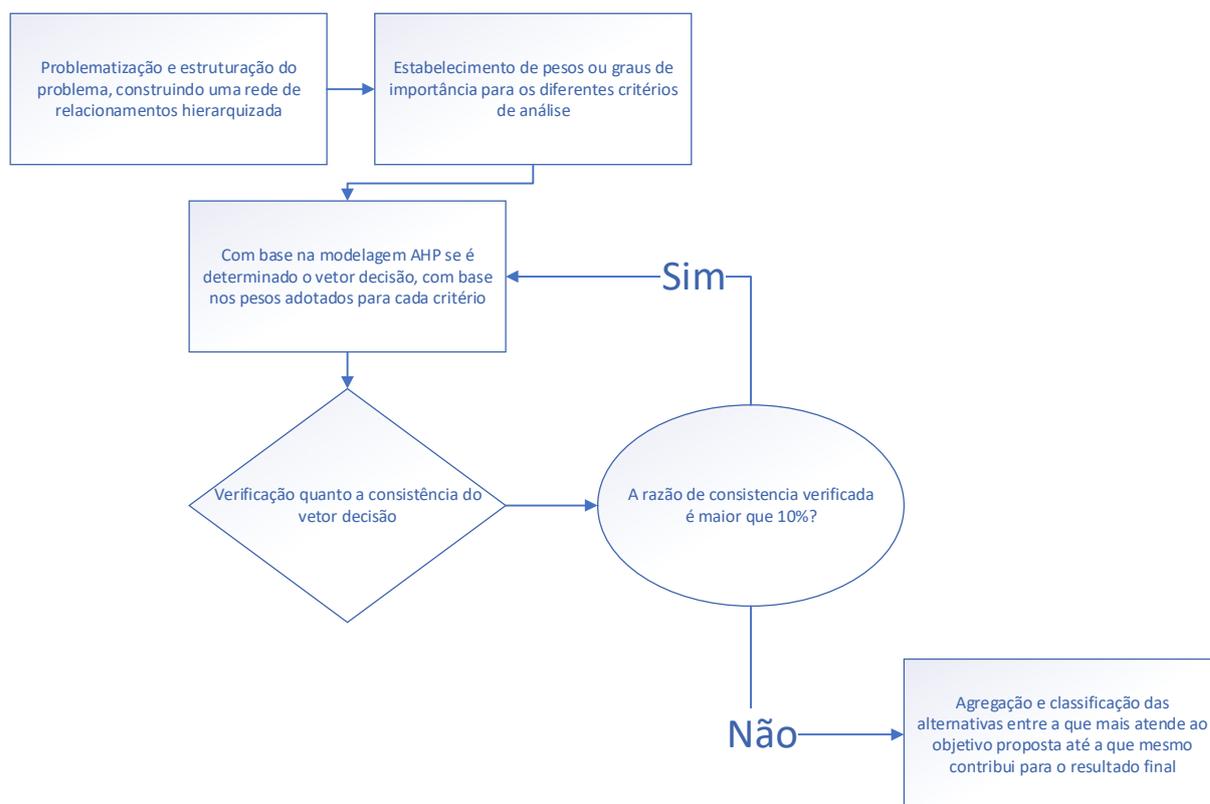
4.6 Método Analytic Hierarchy Process (AHP)

Desenvolvido por Thomas Saaty no final da década de 70, o AHP se caracteriza por sistematizar questões complexas e com soluções aparentemente de difícil elucidação em situações com um menor número de variáveis (passíveis de mensuração isolada) e que, portanto, podem ser mais facilmente solucionadas. A sua construção teórica é derivada do estudo de comparações pareadas, combinadas à alocação de pesos diretos, contribuições da área de psicologia, assim como a utilização de uma escala de 1 a 9 para mensurar o grau de importância de determinada alternativa; a estruturação matemática é resultado dos estudos de James Rumrill Miller⁶, em 1966 (ISHIZAKA; LABIB, 2011).

A modelagem de um determinado problema a partir do método possui, além da busca de alternativas que melhor se adequem aos objetivos propostos, um caráter didático, onde os gestores responsáveis por modelar a questão a ser analisada passam a tomar conhecimento das relações entre as alternativas propostas, seu desempenho em si e o grau de importância para o alcance do objetivo final (JORDÃO; PEREIRA, 2006). Basicamente, o decisor ao estruturar um determinado problema por meio do AHP busca responder as seguintes questões fundamentalmente: “Quais são os critérios de maior importância? Qual a proporção dessa importância?” (MICHEL; LEITE, 2012).

Para tanto, é necessário seguir, de maneira genérica, os seguintes os passos metodológicos descritos por meio da figura 4.1, sendo também adotado em outras metodologias tais como ELECTRE, MacBeth, SMART, PROMETHEE, UTA e outras (ISHIZAKA; LABIB, 2011).

⁶ MILLER III, James Rumrill. The assessment of worth: a systematic procedure and its experimental validation. 1966. Tese de Doutorado. Massachusetts Institute of Technology.

Figura 4.1 - Sistematização de passos metodológicos AHP

Fonte: Adaptado (SAATY, 2005)

O processo de hierarquização consiste em, a partir da experiência do decisor ou um grupo de decisores, estabelecer a partir do objetivo principal a ser atingido quais são os critérios e subcritérios a serem alcançados, podendo haver inúmeros níveis para essa camada e, por fim, estabelecer quais são as alternativas a serem avaliadas.

A fase de avaliação de preferências é baseada na consulta a especialistas da área vinculada à estrutura necessária para se alcançar o objetivo/meta, sendo que para que os resultados sejam consistentes e possam atingir graus de assertividade relevante, os atores que irão emitir suas opiniões, nesta fase, devem ser sensibilizados ante às questões abordadas. Nessa etapa, são estabelecidos por meio da comparação pareada, a relevância de cada critério em relação ao outro, baseado em uma escala de graus de importância (quadro 4.4).

Quadro 4.4 - Graduação de níveis de importância avaliativa

| Grau de importância | Escala principal de caracterização | Escala secundária de caracterização | Descrição |
|--|---|--|--|
| 1 | Igual relevância | | As duas alternativas contribuem de maneira igual para o alcance do objetivo final |
| 2 | | Levemente relevante | |
| 3 | Moderadamente relevante | | A alternativa contribui moderadamente mais que a outra alternativa |
| 4 | | Mais do que moderadamente relevante | |
| 5 | Relevante | | A alternativa contribui de maneira relevante mais que a outra alternativa |
| 6 | | Mais do que relevante | |
| 7 | Muito relevante | | A alternativa contribui de maneira muito mais relevante que a outra alternativa |
| 8 | | Mais do que muito relevante | |
| 9 | Extremamente relevante | | A alternativa contribui de maneira extremamente mais relevante que a outra alternativa |
| <p>Notas:</p> <p>* As medições de escala de proporção são utilizadas quando se deseja usar esses números em aplicações físicas como alternativa (descritíveis numericamente, por exemplo), geralmente se estima as proporções de tais magnitudes usando julgamento.</p> <p>** Se a atividade i possui um dos números acima, quando comparada com a atividade j, a atividade j possuirá o valor inverso quando comparada a i.</p> | | | |

Fonte: Adaptado (SAATY, 2008, 2013)

Resultante da fase anterior, a formulação de um vetor de pesos, prioridade ou Eigen para a matriz de preferências, ou também chamada de matriz de graus de importância, pode ser construído pelos métodos simplificados (SCHMIDT, 1995):

- O primeiro a obtenção do vetor de pesos é resultante dos processos de agregação meio da obtenção das médias geométricas das linhas da matriz obtida na fase anterior e a sua respectiva normalização;
- O segundo o vetor é obtido pela obtenção das médias normalizadas de cada coluna da matriz de importância;
- O terceiro é estruturado pela soma dos elementos de cada coluna, sendo formado os recíprocos de cada soma. A normalização é feita por meio da soma de cada soma por seus respectivos recíprocos;
- O quarto método, o mais simples e com resultados mais aproximados, é feito pela soma de cada linha, normalizando-os pelo seu total.

Porém, tal consideração não é validada para todos as condições de modelagem matemática, pois dependendo do tipo agregação ou o tipo de configuração estruturada quanto ao grau de importância de cada indivíduo para obtenção da importância relativa total do sistema, a aplicação do método das médias aritméticas e os que resultam deste ferem o princípio Pareto da teoria da escolha social (COSTA; BELDERRAIN, 2009).

O processo de agregação da percepção do grupo de interesse, para a construção do vetor decisão e seleção de indicadores, pode ser feito de três formas, porém as duas primeiras são mais comumente abordadas e aplicadas (FORMAN; PENIWATI, 1998):

- **Agregação individual de julgamentos (AIJ):** aplicável quando se tem um grupo coeso, que trabalha sinergicamente para o alcance do mesmo objetivo, sendo que em alguns casos os indivíduos abdicam de suas próprias preferências para a obtenção do objetivo comum. Sendo, nesse caso, a agregação feita a partir dos julgamentos individuais para um

conjunto de comparações aos pares, por meio de uma "hierarquia agregada", neste caso a opinião de cada indivíduo é considerada separadamente, sendo verificado o grau de consistência para cada opinião. Essa abordagem busca o consenso do grupo para a definição da modelagem a ser adotada;

- **Agregação individual de prioridades (AIP):** esta abordagem considera que os indivíduos possuem características específicas e prioridades pessoais difíceis de não serem priorizadas. As opiniões individuais são consideradas e agregadas como prioridades resultantes totais;
- **Agregação por critério de preferência:** onde cada nó é analisado quanto a preferência de cada indivíduo.

Neste sentido, para ambos os casos, ou seja, como um grupo de opiniões com grande consistência ou ainda com um comportamento disperso, apenas a aplicação do método que considera as médias geométricas é válido, já que o recíproco da média geométrica de um conjunto de julgamentos é a média geométrica dos recíprocos, conforme descrito pela equação 4.1 (COSTA; BELDERRAIN, 2009; FORMAN; PENIWATI, 1998; GODOI, 2014; SAATY, 2003):

$$\text{Se } a \geq b, \text{ então, } \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_i} \geq \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n b_i}$$

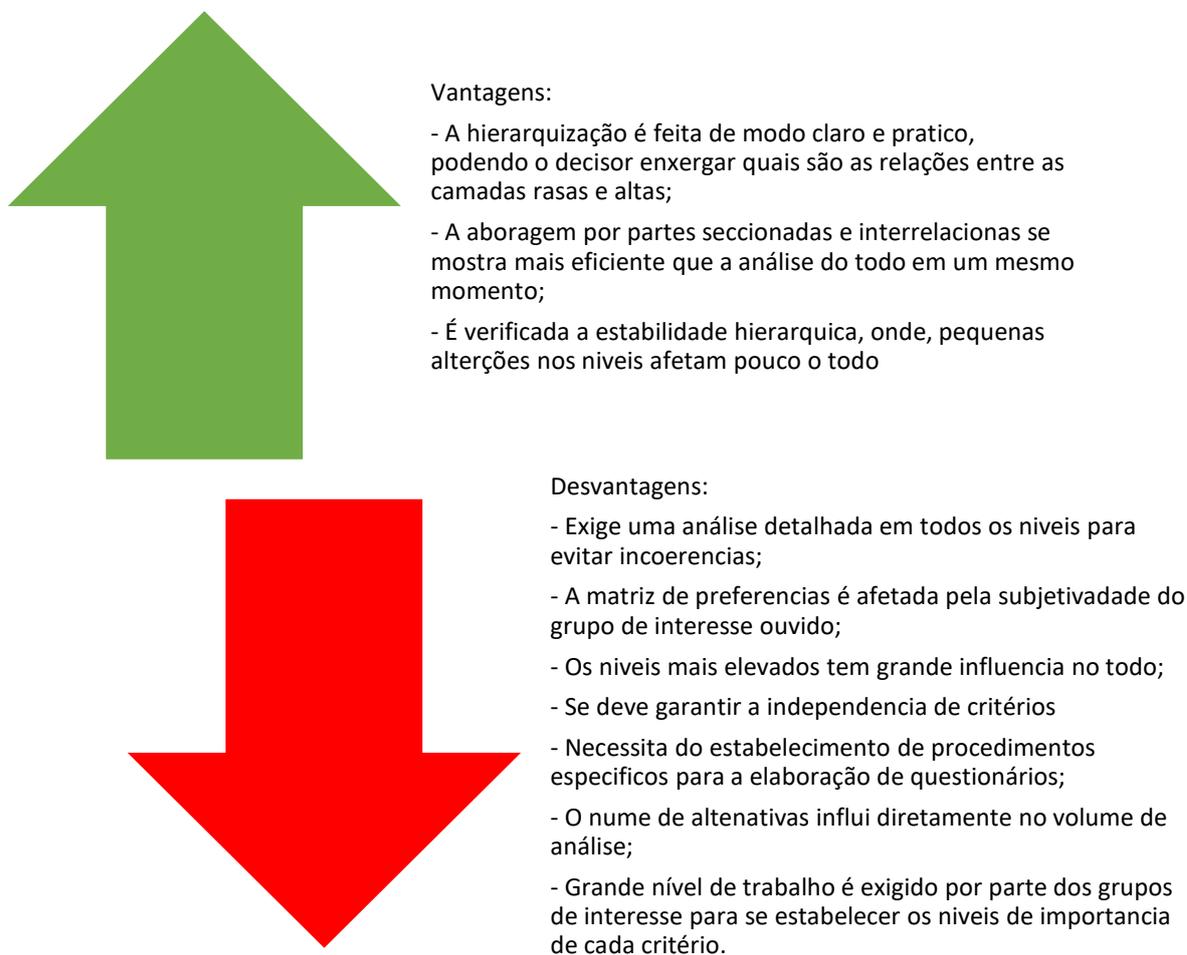
Onde, $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$

Equação 4.1

A consistência dos graus de importância é verificada pela análise dos princípios da identidade, reciprocidade e consistência, sendo que um conjunto de atributos vinculados aos graus de importância são considerados válidos se a razão de consistência (RC) for inferior a 10% (SAATY, 2005). A RC, por sua vez, é calculada a partir do índice de coerência (baseado em valores randômicos, característico da modelagem matemática do método). Se este valor for superior ao percentual

estabelecido, deve-se rever as respostas coletadas do grupo de interesse (PARREIRAS, 2006; SILVA, 2003).

Figura 4.2 - Vantagens e limitações do método AHP



Fonte: Adaptado (SCHMIDT, 1995)

A valoração é o processo final do processo, nesta fase, são traduzidos em uma mesma base comum parâmetros quantitativos e qualitativos, sendo verificados o seu desempenho aliado à importância estabelecida para os critérios avaliados (GODOI, 2014). Nesta fase, tem-se as alternativas ordenadas numericamente, dando ao tomador de decisão um panorama das soluções mais e menos aplicáveis para o alcance do objetivo principal.

A adoção da modelagem AHP apresenta vantagens e desvantagens, sendo que para cada situação estas devem ser ponderadas, tais avaliação podem validar ou invalidar a adoção desta metodologia (figura 4.2).

Capítulo 5

ESTRUTURAÇÃO METODOLÓGICA PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO SUSTENTÁVEL DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Com o objetivo de descrever metodologicamente como se estrutura a avaliação do desempenho sustentável de sistemas construtivos, o presente capítulo discorre sobre a sistematização proposta para a construção de um índice de sustentabilidade, detalhando-se as delimitações relativas a abrangência da análise, os indicadores e parâmetros adotados, os modelos e métodos matemáticos empregados e como estes embasam o funcionamento da metodologia proposta. Ao final, tem-se a estrutura de funcionamento de uma ferramenta que avalia o desempenho sustentável (Para as dimensões “Ecológica e ambiental”, “Sócio, histórico e cultural”, “Econômica e financeira” e “Técnica e desempenho”) em diferentes fases do ciclo de vida do sistema construtivo. A descrição detalhada relativa ao funcionamento da ferramenta avaliativa é feita no capítulo 6.

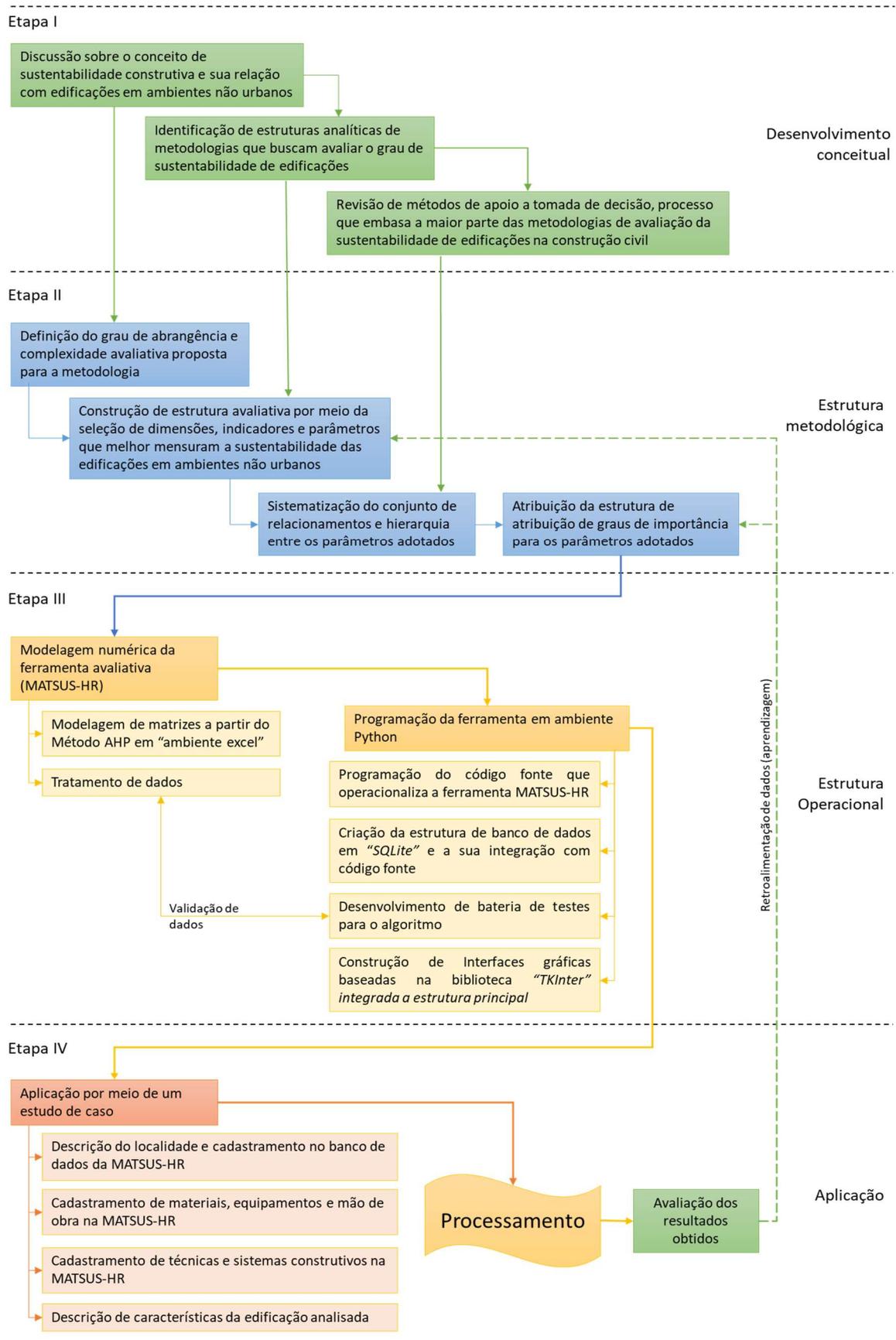
5.1 Considerações Iniciais

De maneira geral, como visto nos capítulos 2 e 3, não há a possibilidade de se mensurar questões acerca da sustentabilidade sob um único prisma, ou seja, não há como dizer que determinado produto ou processo é mais sustentável apenas pelo seu desempenho eco ambiental ou por sua relação custo-benefício. A sustentabilidade deve ser enxergada de maneira holística, procurando compor índices formulados a partir de indicadores relacionados às diversas dimensões, tais como econômicas, sociais e ambientais.

A estrutura geral do trabalho pode ser entendida por meio de quatro etapas (figura 5.1), onde, a partir da construção conceitual feita na primeira etapa (apresentada majoritariamente nos capítulos anteriores) as demais etapas foram desenvolvidas.

O presente capítulo traz a estruturação utilizada para a construção da metodologia de apoio a seleção de sistemas construtivos mais sustentáveis aplicada a habitação rural (MATSUS-HR), etapa II. A apresentação da estrutura operacional da ferramenta, compreendida pela etapa III é apresentada de maneira detalhada no capítulo 7 e a sua aplicação (etapa IV) é discutida no capítulo 8. Para este estudo, a sua aplicação foi direcionada à análise de sistemas construtivos de vedação vertical tradicionais em comparação à alternativos (formados por matrizes de solo para a construção de paredes em regiões não-urbanas).

Figura 5.1 – Delimitação física e escopo de avaliação



5.2 Objetivos do capítulo

O presente capítulo objetiva estruturar metodologicamente os passos necessários para se construir um método que avalie e compare o desempenho sustentável de diferentes opções de sistemas construtivos que compõem uma edificação, para tanto, foram formulados objetivos específicos, como segue:

- **Delimitação da abrangência física da avaliação:** estabelecimento do grau de especificação para a fronteira de avaliação da metodologia proposta, ou seja, o objeto alvo a ser avaliado é descrito e enquadrado no contexto das avaliações de sustentabilidade relacionadas à construção civil e o ambiente em que esta está inserida;
- **Descrição do método para a seleção de indicadores:** descrever o processo de seleção e validação de uma lista de indicadores, para as diferentes dimensões de sustentabilidade consideradas;
- **Hierarquização e modelagem numérica:** sistematização das relações entre as diferentes dimensões propostas e discutidas no capítulo 4, por meio de categorias, indicadores e parâmetros, hierarquizando-os seguindo os passos metodológicos propostos pela modelagem *Analytic Hierarchy Process* (AHP);
- **Sistema de pesos:** descrever o processo de estabelecimento de pesos ou grau de importância para as dimensões, categorias e indicadores dentro do ambiente da MATSUS-HR e, ainda, visa detalhar o processo de mensuração dos indicadores de sustentabilidade para cada categoria de análise.
- **Programação:** desenvolvimento de ferramenta por meio de programação computacional em linguagem Python.

5.3 Abrangência avaliativa

Um determinado objeto em análise pode ter diferentes escalas a serem consideradas, sejam elas relacionadas com as suas características físicas, espaciais, cronológicas, quanto a sua função ou importância relativa. Analogamente, como ocorre em uma avaliação econômica direcionada a explicar a casualidade, empirismo ou uma lógica indutiva de um objeto ou um evento complexo, pode-se “congelar” a situação, que nesse caso seria o evento em análise em um determinado tempo e espaço (um retrato situacional fixo). Com isso, tem-se um número finito de variáveis influenciando o comportamento a realidade em estudo, sendo possível a realização da identificação de seus relacionamentos internos e externos – em estado de “*Coeteris paibus*”⁷ (CHIAVENATO, 1983).

De maneira similar, em uma avaliação da sustentabilidade de edificações, os subsistemas (que compõem essa edificação) podem ser analisados individualmente, não levando-se em consideração, em um primeiro momento, as suas interrelações com os demais subsistemas. Assim, também, uma edificação pode ser analisada individualmente sem que sejam considerados nessa avaliação as suas relações com o macroambiente mundial. Para tanto, a conceituação acerca da sustentabilidade construtiva deve ser adaptável a cada escala adotada (BELLEN, 2006).

Apoiar uma análise sob o prisma de diferentes graus de abordagens, implica em aprofundamentos ou generalidades. Uma avaliação acerca do desempenho sustentável de uma edificação apresenta diferentes escalas de análises e ainda apresenta diferentes fronteiras físicas de avaliação, conforme lista-se (MATEUS, 2009):

- O comportamento dos materiais de construção civil, isoladamente;
- Desempenho dos materiais em um sistema construtivo;
- O comportamento de uma edificação, com os seus diversos sistemas funcionando individualmente e as suas interrelações;

⁷ Expressão em latim, que traduzida para o português pode ser entendida com as demais variáveis são constantes.

- O desempenho de um conjunto de edifícios vizinhos ou de um empreendimento com diversos edifícios;
- A análise de pequenos aglomerados populacionais ou loteamentos;
- A abordagem enquanto país e seus diversos aspectos regionais;
- Uma visão mais holística, considerando-se a dinâmica mundial e suas generalidades.

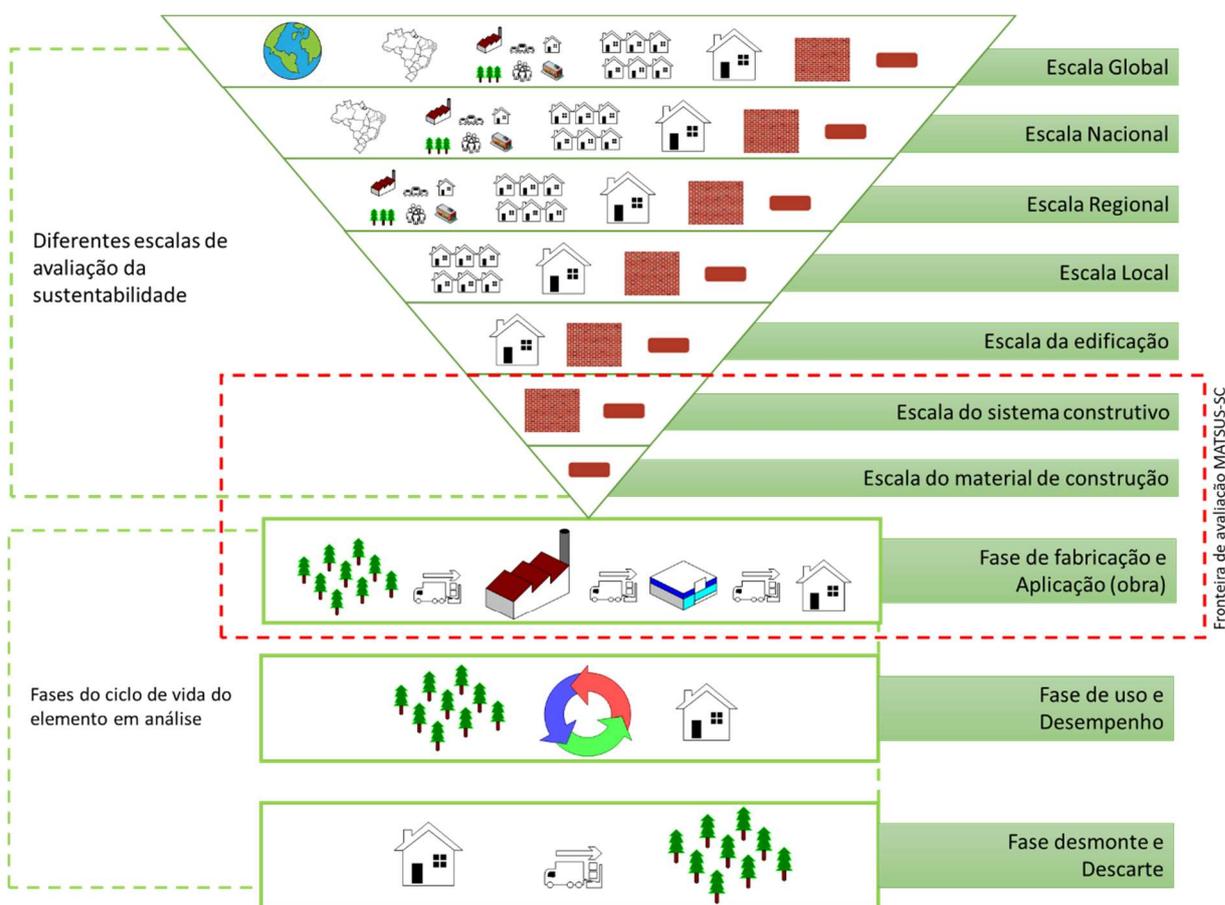
A fase produtiva enxergada sob a perspectiva de uma abordagem acerca da avaliação do ciclo de vida dos materiais, como visto no capítulo 3, necessariamente possui uma fase de extração de matérias primas, transporte para o seu beneficiamento, processo fabris para a produção de outros subprodutos ou mesmo o simples beneficiamento destas matérias primas para a utilização direta na indústria da construção civil. Essa fase inclui ainda o transporte e comercialização para os consumidores que, nesse caso, podem ser o consumidor final ou a indústria da construção civil que irá aplicá-los em sistemas construtivos que, em conjunto, constituirão uma nova edificação. A segunda fase diz respeito ao uso da edificação por seus usuários, nessa fase o ambiente edificado se relaciona, dinamicamente, com o ambiente em que está inserido consumindo recursos e gerando resíduos (uso e manutenções). Ao final da análise do desempenho de uma edificação, avalia-se o seu desuso, ou seja, os impactos gerados pela desmobilização e, ainda, como os recursos empregados serão reabsorvidos, seja pelo o seu reprocessamento ou pelo ambiente. Verifica-se durante a análise de ciclo de vida de uma edificação diferentes escalas de abordagem de desempenho e impacto, sendo os seus efeitos enxergados sob diferentes graus de complexidade.

A figura 5.2 demonstra de maneira gráfica as diferentes abordagens acerca do desempenho de diferentes estágios de análise aliado a diferentes etapas do ciclo de vida de um determinado elemento construtivo, assim como a fronteira de avaliação a qual a MATSUS-HR embasa a sua avaliação de desempenho sustentável para um determinado sistema construtivo.

Neste sentido, a utilização da análise do ciclo de vida, não é restrita a avaliação dos diversos impactos gerados por um determinado material durante o seu período de vida, sendo essa empregada também às escalas mais abrangentes. As escalas, representadas por diferentes níveis de complexidade, verificadas em uma valoração

ascendente verticalmente, demonstrado na figura 5.2, representam as diversas abordagens que podem ser empregadas. Aumentar a abrangência do objeto avaliado não é somente somar os efeitos dos elementos menores que o compõem, exemplificando-se: ao se fazer uma análise quanto aos impactos que uma habitação gera ao longo do seu ciclo de vida, não basta somar os impactos dos materiais construtivos que a compõem, é, nesse caso, imprescindível analisar a interrelação destes entre si e com o ambiente em que estão inseridos.

Figura 5.2 – Delimitação física e escopo de avaliação



Fonte: Autor

De maneira simplificada, propõe-se, no âmbito desta pesquisa, sete categorias de abrangência analítica, direcionadas à mensuração da sustentabilidade das edificações:

- **Escala do material de construção civil:** abordagem em que se analisa os impactos que o material construtivo gera ao longo do seu ciclo de vida isoladamente;
- **Escala do sistema construtivo:** são considerados todos os impactos dos materiais que compõem o sistema construtivo, ainda se analisa os impactos relativos à produção, uso e desuso do sistema construtivo;
- **Escala da edificação:** neste nível, são analisados todos os sistemas construtivos (de forma isolada) que compõem os diversos elementos de uma edificação, sejam eles elementos de pertencentes às estruturas de fundação, vedação vertical, cobertura, sistema hidrossanitário e outros. Verificam-se, também, o relacionamento destes sistemas e o seu funcionamento em conjunto, a concepção e implantação da edificação, assim como o seu desempenho durante a fase de uso;
- **Escala local:** ao conjunto de considerações anteriores, são adicionadas verificações quanto ao comportamento das edificações em um contexto maior, neste sentido, a forma com que está se relaciona com a sua vizinhança também passa a ser considerado, assim como o impacto gerado por um conjunto de edificações em determinada localidade;
- **Escala regional:** nesta escala são analisados os impactos de diversos agrupamentos populacionais, as suas relações com outras formas de ocupação do solo são levadas em conta, tais como as indústrias, comércios, transportes, bioma regional e outros;
- **Escala nacional:** a abordagem torna-se extremamente complexa, sendo considerados os relacionamentos de diversas regiões e seus relacionamentos específicos. Diversas ferramentas que visam mensurar desempenho das edificações ante a sustentabilidade construtiva, como visto no capítulo 4, constroem os seus *Benchmarks* com características e dados nacionais, porém, em países com dimensões continentais, como é caso do Brasil, essa abordagem implica em generalizações;
- **Escala Global:** visão holística e próxima à abordagem ideal ou, em outras palavras, mais próxima a conceituação de sustentabilidade presente na literatura, porém, com a tecnologia e disponibilidade de dados desenvolvidas até os dias atuais, torna-se impossível ter, em um

mesmo modelo de avaliação da sustentabilidade das edificações, uma ferramenta que processe todos os relacionamentos necessários para as análises das etapas anteriores e, ainda, analise como esses se comportam em uma dinâmica mundial com um grau mínimo de profundidade para que se possibilite mensurar desempenhos reais das edificações. Pois, para tanto, seria necessário sistematizar as relações produtivas, de desempenho e desuso de todos os materiais, sistemas construtivos, edificações, localidades, regiões de todos países do mundo, gerando-se matrizes com significativa quantidade de dados. As propostas mundiais verificadas são generalizações, pautadas em previsões e dados estimados e, portanto, estão longe de retratar a realidade de cada edificação em seu microambiente.

O desempenho sustentável de um sistema construtivo, para a MATSUS-HR, é o resultante do somatório dos desempenhos de todos os materiais construtivos que o compõem, adicionado à interação necessária para a formação desse sistema em análise. Assim sendo, a ferramenta está voltada para análise dos impactos gerados (ambientais, sociais, econômicos e técnicos) na fase de fabricação e aplicação na escala do sistema construtivo apenas.

5.4 Seleção e validação de indicadores

Considerada a abrangência de avaliação (o quê e qual o nível de profundidade que a metodologia irá ser estruturada) a próxima etapa dedicou-se a formular, ante à avaliação das principais metodologias relacionadas à avaliação da sustentabilidade de edificações (discussão feita no capítulo 3), uma lista de indicadores divididos em categorias e dimensões de sustentabilidade.

5.4.1 Estruturação das dimensões de sustentabilidade consideradas

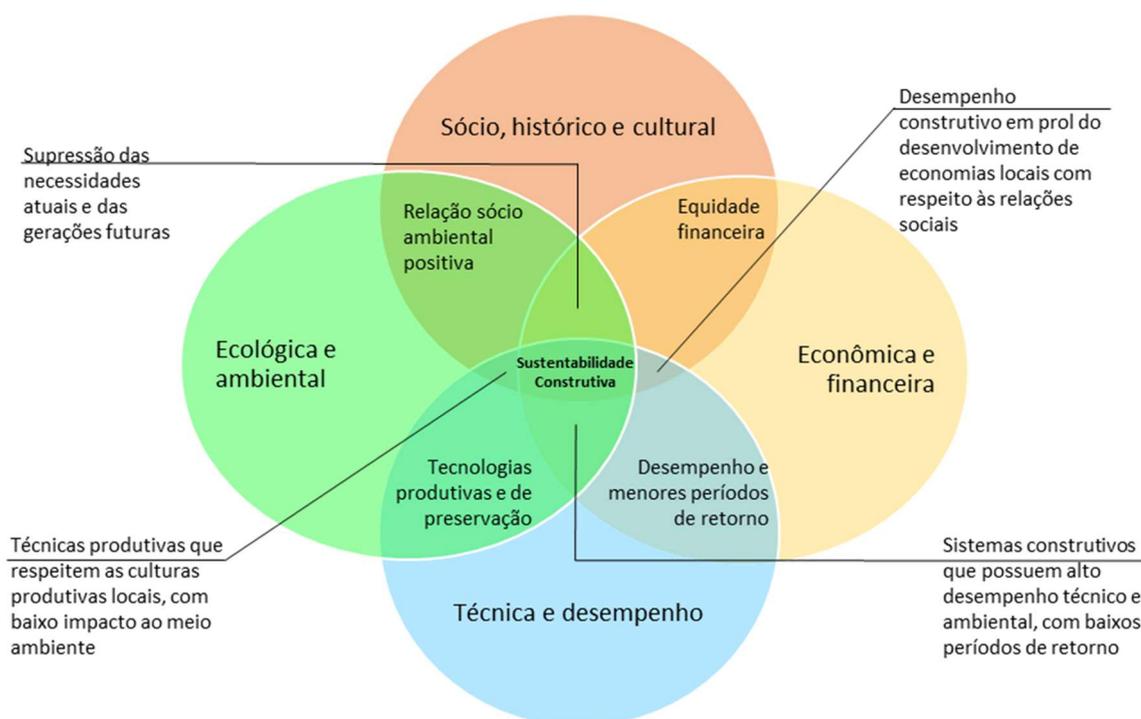
Para a composição da avaliação do desempenho sustentável de sistemas construtivos, a MATSUS-HR é estruturada a partir de 4 dimensões ou macro grupos e suas respectivas interrelações que abarcam diferentes perspectivas para se avaliar a sustentabilidade, como segue:

- **Ecológico e ambiental:** a seleção e categorização de indicadores pertencentes a esta dimensão se deu por meio da avaliação de métodos que consideravam a análise das subpartes de sistemas construtivos (materiais de construção e equipamentos) ao longo das fases de seu ciclo de vida;
- **Dimensão sócio, histórico e cultural:** a este grupo foram associados os indicadores referentes a questões relacionadas às condições de trabalho ao longo da cadeia produtiva do sistema construtivo, a vinculação com os fatores culturais da região aonde se deseja implantá-lo e o incentivo à popularização dos conceitos de sustentabilidade, vinculada às edificações provido;
- **Econômico e financeiro:** para a avaliação das questões econômicas e financeiras foram selecionados indicadores que mensuravam os custos para a implementação do sistema construtivo e, ainda, os seus impactos na economia local;
- **Técnica e desempenho:** a partir da revisão da literatura para a consideração do desempenho sustentável de materiais construtivos, especialmente em ambientes rurais (capítulo 2), verificou-se a necessidade de agrupar indicadores de caráter técnico, relativos ao comportamento físico, mecânico e de desempenho em uma dimensão específica. A estes ainda foram agregados, nessa categoria, indicadores relativos aos processos necessários para a aplicação dos materiais em um produto final verificando a sua confiabilidade técnica, facilidade de manutenções e aptidão para o reuso e/ou reciclagem.

O alcance de um horizonte mais sustentável passa pelo melhoramento de cada dimensão de maneira conjunta, no caso da avaliação proposta pela MATSUS-HR, o direcionamento para a avaliação de edificações em regiões específicas (ambientes rurais), muitas vezes afastadas dos grandes centros urbanizados, conduziu a escolha de indicadores que traduzem problemáticas verificadas nestes locais. Outros métodos também seguiram esse direcionamento (DEPONTI, 2001; GALLO et al., 2016; MONTIS et al., 2017).

A categorização destes indicadores em dimensões não os desvincula das demais, ou seja, um indicador técnico tem influência direta nos fatores de desempenho, sociais, histórico-culturais, ecológicos, ambientais, econômicos e financeiros sendo os pontos de intersecção destes conjuntos compostos por indicadores que tanto mensuram um conjunto como o outro (figura 5.3).

Figura 5.3 - Dimensões a serem consideradas para a avaliação do desempenho sustentável de sistemas construtivos



Fonte: Autor

5.4.2 Indicadores, categorias e parâmetros

O esforço de se mensurar o quão sustentável é um produto ou processo vem da necessidade de se ter ideia do quanto ainda se pode explorar os recursos do planeta, essa noção foi particularmente explorada na década de 90, a partir da agenda 21, e perdura até os dias atuais. Mas, antes de se quantificar o nível de sustentabilidade, quando aplicada a um determinado elemento, é preciso se estabelecer um critério que irá balizar as ações subsequentes.

A definição de uma terminologia adequada se faz importante para a definição de índices ou indicadores de sustentabilidade. Por vezes empregados de formas errôneas, tais termos, que aparentemente denotam referir-se a questões similares, descrevem, em níveis diferentes, a apreensão de determinada realidade em níveis hierárquicos diferentes. Indicadores devem ser utilizados como pré-tratamento aos dados, servindo para se descrever partes de determinado processo ou situação. Por sua vez, os índices são valores obtidos, na maioria das vezes, pela composição de indicadores ou ainda obtidos a partir de outros índices (SICHE et al., 2007).

A sustentabilidade pode ser considerada, de acordo com diversos autores, um conceito amplo, intangível e pouco aplicável à realidade. Muitas são as abordagens e áreas do conhecimento que se utilizam do termo para questionar as suas respectivas realidades, porém, inevitavelmente, a construção ideológica passa por duas ciências em específico: às ligadas à mitigação de impactos ecológicos e as que questionam os modelos econômicos vigentes (VEIGA, 2010).

A análise da realidade é o primeiro passo para que se possa identificar o ponto de partida para se alcançar metas e objetivos “utópico” para uma sociedade sustentável, a premissa de se manter a entalpia do processo exploratório, em suas diversas faces, passa por se apreender a realidade. Sob esta convenção, torna-se indispensável pensar em metodologias e ferramentas para se diagnosticar determinado processo ou realidade social sob a ótica sustentável.

Especificamente indicadores atrelados à sustentabilidade constituem importante ferramenta para a gestão integrada de agrupamentos populacionais, servindo de subsídio de tomada de decisão para os setores públicos e privados. Para

tanto, faz-se necessário sistematizar dados e indicadores para que, de posse de uma sequência lógica, estabeleçam-se metodologias adequadas e fomentar ações que convirjam para um horizonte mais sustentável (BELLEN, 2004).

Fatores sociais e ambientais são extremamente complexos por apresentarem grande quantidade de variáveis não isoláveis que apresentam, ainda, alto grau de interdependências. Este sistema não é captável de maneira completa por simples parâmetros e relações numéricas. Para se atingir descrições mais realísticas, é preciso compor indicativos numéricos (juntamente com o seu tratamento matemático) com interpretações antropológicas, culturais, históricas e institucionais, mensuradas por meio de aspectos qualitativos. Outra questão complexa é a compatibilização temporal de processos naturais com os não-naturais, onde os resultados econômicos e sociais tendem a ser mensurados em escala menor aos impactados ambientalmente. Porém, ante ao exposto, não se deve considerar os indicadores de sustentabilidade como elementos ineficazes, por mais distante da descrição prática que possam parecer, tais fatores mostram-se mais relevantes que a inexistência de parâmetro algum. Deve-se ter a exata noção que todo e qualquer tipo de parâmetro expresso em valores descritivos apresentam limites e incongruências, pois não conseguem expressar a grande complexidade de um determinado sistema social (GALLO et al., 2016; GUIMARÃES; FEICHAS, 2010).

A construção ou seleção de uma metodologia adequada é uma das etapas mais relevantes para se construir um índice de sustentabilidade. A sua determinação e leitura irão influir diretamente nos resultados a serem interpretados. O método deverá ser claro e transparente, deixando explicitado de forma simples e direta quais os princípios que embasam o processo proposto. De maneira geral, não há a possibilidade se de mensurar questões acerca da sustentabilidade sob um único prisma, ou seja, não há como dizer que determinado objeto de estudo é mais sustentável apenas pelo seu desempenho eco ambiental. A sustentabilidade deve ser enxergada de maneira holística, procurando compor índices formulados a partir de indicadores relacionados às diversas dimensões, tais como econômicas, sociais e ambientais. (MONTEIRO; FREIRE, 2012; SICHE et al., 2007).

De maneira resumida, um índice para mensuração da sustentabilidade para uma determinada situação deverá:

- Descrever a lógica sistemática atuante no objeto em análise explicando os seus mecanismos de atuação;
- Coletar dados quali-quantitativos que descrevem as fenomenologias mais relevantes para o sistema em análise.

Com os itens supracitados, pretende-se conhecer como o homem está modificando o ambiente que habita, garantir que os fatores que afetam a sobrevivência de toda a biosfera terrestre sejam explicitados, possibilitando a tomada de ações mitigadoras de impactos. Tais atitudes servem de instrumentos norteadores de movimentos políticos e político-institucionais. (BELLEN, 2005).

A multidisciplinaridade como proposta de avaliação para a sustentabilidade deverá ser premissa básica para o desenvolvimento de pesquisas nesta área. Fatores econômicos, sociais, ambientais e demais dimensões consideradas deverão necessariamente compor um índice de sustentabilidade (GUIMARÃES e FEICHAS, 2009).

Para a mensuração do desempenho sustentável é necessário, portanto, a avaliação, por força conceitual, de no mínimo três indicadores de grandezas diferentes, sendo: a resiliência ambiental medida em parâmetros não monetários, tais como a emissão de gases que agravam o efeito estufa, os impactos sobre os recursos hídricos e a biodiversidade; o desempenho econômico não pode ser mensurado sob unicamente a lógica neoliberal expansionista, sendo consideradas, também, questões relativas à saúde e ao bem estar (VEIGA, 2010).

É relevante que, para a composição de um sistema de índices e indicadores, seja considerado o grau de complexidade a ser adotado para o alcance efetivo dos objetivos de sustentabilidade preestabelecidos. A seleção de indicadores deverá ser baseada em sua simplicidade e capacidade de sintetizar informações de maneira clara, sendo destacados alguns princípios abordados em trabalhos sobre o tema, como segue (ESCOBAR, 2006):

- Relevância social;
- Descrição da problemática, podendo ser melhorados colaborativamente;

- Comparabilidade;
- Passíveis de agregação e desagregação;
- Integrados com outros sistemas de índices ou indicadores;
- Devem ser cientificamente aferíveis;
- Sensibilidade;
- Escala;
- Exequibilidade financeira;
- Pré-existência de dados aferíveis.

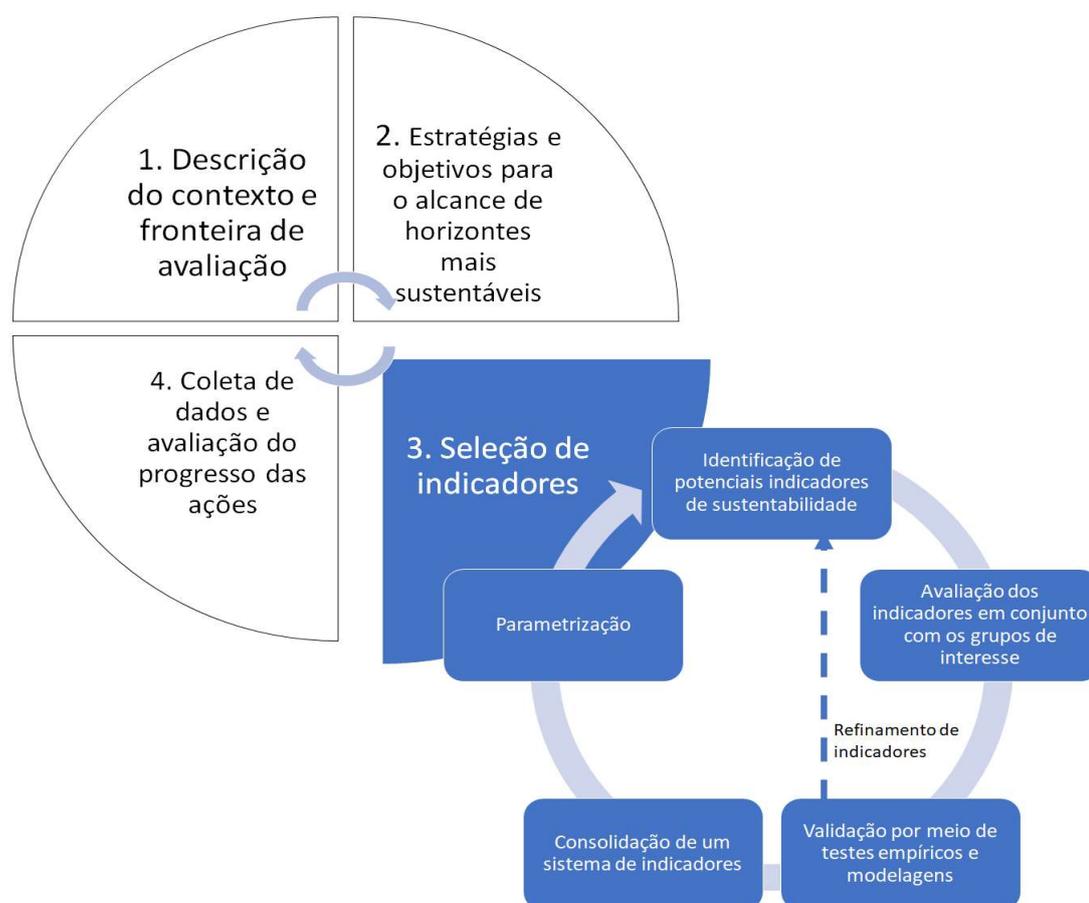
Matematicamente, indicadores podem ser compostos por relações numéricas, oriundos da coleta de dados qualitativos, quantitativos ou a combinação destes dois tipos de variáveis. Estes devem ser passíveis de quantificação numérica, o que possibilita a sistematização analítica de entradas, processamentos e saídas, tornando-se, assim, uma base factível de análises das diversas realidades estudadas (LIBRELOTTO, 2005). No entanto, a busca por um sistema híbrido que leve em consideração tanto dados mensuráveis numericamente quanto dados qualitativos apresenta-se como uma solução de grande relevância, pois agrega o empirismo necessário para que o sistema possa ser passível de comparabilidade e validações com a sensibilidade necessária para se “ler” as necessidades locais e assim, motivar ações factíveis rumo a horizontes mais sustentáveis.

Os modelos de avaliação da sustentabilidade construtiva são divididos sob duas filosofias de funcionamento: os que são construídos de maneira preferencialmente técnica, baseados, em sua maioria, em dados quantitativos e centrados nos impactos ambientais gerados por uma determinada edificação. Esses modelos buscam, por usar modelos de grande abrangência, soluções generalistas e, ainda, podem fazer previsões a partir de modelos matemáticos para diferentes realidades – *Top Down*; já os modelos *Down Top* prezam por utilizar dados locais, em sua maioria de natureza qualitativa e que buscam a construção de critérios de forma participativa (com vinculação à comunidade onde a edificação será implantada), porém, os resultados obtidos possuem pouca comparabilidade (REED; FRASER;

DOUGILL, 2006). Há para as metodologias propostas em ambiente acadêmico a busca por conciliar a estrutura e rigor técnico dos modelos *Top Down* com a participação dos usuários (LOPEZ-RIDAURA, S., MASERA, O., ASTIER, 2002; MATEUS, 2009; SILVA, 2003).

A maioria dos indicadores desenvolvidos para se mensurar a sustentabilidade de produtos e processos são estruturados sob uma perspectiva de pirâmide de base invertida, onde a base de dados e a estruturação são desenvolvidas levando-se em conta dados nacionais. Este problema de escala prejudica a sensibilidade perceptiva desses indicadores, gerando a não consideração de características específicas a nível local (REED; FRASER; DOUGILL, 2006). A adoção de métodos empíricos e deterministas é bastante comum em metodologias do tipo *TopDown*, pois baseiam-se em dados quantificáveis e com relativa precisão, onde, a partir dos dados disponíveis, geralmente em escala nacional, tais como sensores censitários, mapeamentos georreferenciais e outros, são formulados modelos que buscam traduzir em um segundo momento a realidade local a ser avaliada. Em contrapartida, a adoção de dados específicos da área analisada e com a participação efetiva dos grupos de interesse, presente nos modelos de formulação de indicadores de sustentabilidade do tipo *DownTop* traduzem, de maneira detalhada, a realidade local. Porém podem apresentar um grau de subjetividade relevante, o que prejudica a comparação e monitoramento de resultados obtidos, fundamentais para verificar se as medidas implementadas possuem efetividade (GENOVESE et al., 2017).

Figura 5.4 - Etapas para a construção e aprimoramento de indicadores



Fonte: Adaptado (CASTRO, 2018; MATEUS, 2009; REED; FRASER; DOUGILL, 2006)

Para este trabalho, a seleção de uma lista de indicadores, que irão compor o sistema de percepção e análise da realidade por meio das dimensões “social, histórica e cultural”, “Ecológica e ambiental”, “Econômica e financeira” e “Técnica e desempenho” de um determinado sistema construtivo, que, por sua vez está inserido em contexto local, foi feita em quatro etapas como descrito na figura 5.4, sendo a etapa 3 referente a seleção de indicadores, o objeto da construção da presente seção. A seleção de indicadores foi estruturada a partir de cinco etapas, a fase de “identificação de potenciais indicadores de sustentabilidade”, deu origem a primeira lista de indicadores descritos a partir dos quadros 5.1 a 5.4.

Para cada dimensão foram propostas categorias de análise e a cada categoria, um conjunto de indicadores compostos por parâmetros que mensuram e descrevem o fenômeno analisado, sendo a lista inicialmente proposta e levada à consultada de um grupo de especialistas.

Nesta fase, inicialmente, foram selecionados para cada dimensão:

- Dimensão Ecológica e ambiental: 13 potenciais indicadores com 30 parâmetros, divididos em 5 categorias;
- Dimensão Sócio, histórica e cultural: 7 potenciais indicadores com 7 parâmetros, divididos em 4 categorias;
- Dimensão Econômica e financeira: 4 potenciais indicadores com 4 parâmetros, divididos em 2 categorias;
- Dimensão Técnica e desempenho: 16 indicadores com 16 parâmetros, divididos em 05 categorias.

Quadro 5.1 - Proposta de indicadores para a dimensão ambiental

(Continua)

| Dimensão Ecológica e Ambiental | | |
|---|--|--|
| A I | Categoria: Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | Parâmetros |
| Indicadores | Emissões de gases que potencializam o aquecimento global (<i>Global Warming Potencial – GWP</i>) | Quantidade relativa de dióxido de carbono (CO ₂) emitida na produção do elemento, expressa em quilogramas por volume (kg / m ³) |
| | Emissões de gases que degradam a camada de ozônio (<i>Ozone Depletion Potencial – ODP</i>) | Quantidade relativa de cloro flúor carboneto (CFC) emitida na produção do elemento, expressa em quilogramas por volume (kg / m ³) |
| | Emissões de gases que aumentam o potencial de acidificação pluvial (<i>Acidification Potencial – AP</i>) | Quantidade relativa de dióxido de enxofre (SO ₂) emitida na produção do elemento, expressa em quilogramas por volume (kg / m ³) |
| | Emissões de gases que aumentam o potencial de oxidação fotoquímica (<i>Photochemical Oxidation Potencial - POCP</i>) | Quantidade relativa de etileno (C ₂ H ₄) emitida na produção do elemento, expressa em quilogramas por volume (kg / m ³) |
| | Emissões de gases que aumentam o grau de eutrofização de mananciais (<i>Eutrophication Potencial – EP</i>) | Quantidade relativa de fosfatos (PO ₄) emitida na produção do elemento, expressa em quilogramas por volume (kg / m ³) |
| A II | Categoria: Geração de resíduos sólidos | |
| Indicadores | Resíduos Perigosos | Resíduos inflamáveis geradas: quantidade relativa resíduos inflamáveis gerados na produção do elemento, expressa em quilogramas por volume (kg / m ³). |
| | | Grau de inflamabilidade expresso em uma escala de intensidade com cinco níveis |
| | | Resíduos corrosivos: quantidade relativa resíduos corrosivos gerados na produção do elemento, expressa em quilogramas por volume (kg / m ³) |
| | | Grau de corrosibilidade expresso em uma escala de intensidade com cinco níveis |
| | | Radioatividade: quantidade relativa resíduos radioativos gerados na produção do elemento, expressa em quilogramas por volume (kg / m ³) |
| | | Grau de radioatividade expresso em uma escala de intensidade com cinco níveis |
| | | Toxidade: quantidade relativa resíduos tóxicos gerados na produção do elemento, expressa em quilogramas por volume (kg / m ³) |
| | | Grau de toxidade expresso em uma escala de intensidade com cinco níveis |
| | | Patogenicidade: quantidade relativa resíduos inflamáveis gerados na produção do elemento, expressa em quilogramas por volume (kg / m ³) |
| Grau de patogenicidade expresso em uma escala de intensidade com cinco níveis | | |

Fonte: Autor

Quadro 5.1 - Proposta de indicadores para a dimensão ambiental

(Conclusão)

| Dimensão Ecológica e Ambiental | | |
|---------------------------------------|--|---|
| A II | Categoria: Geração de resíduos sólidos | Parâmetros |
| Indicadores | Resíduos não perigosos | Quantidade relativa resíduos inertes da construção civil gerados na produção do elemento, expressa em quilogramas por volume (kg / m^3) |
| | | Quantidade relativa resíduos não inertizados da construção civil gerados na produção do elemento, expressa em quilogramas por volume (kg / m^3) |
| A III | Categoria: Consumo de energia | |
| Indicadores | Energia primária não renovável | Quantidade relativa de energia primária não renovável empregada para produção de um metro cúbico do elemento analisado, expresso em (KWh/m^3) |
| | Energia produzida a partir de fontes renováveis | Quantidade relativa de energia primária renovável empregada para produção de um metro cúbico do elemento analisado, expresso em (KWh/m^3) |
| A IV | Categoria: Consumo de água | |
| Indicadores | Consumo de água da rede de abastecimento | Quantidade relativa do consumo de água proveniente da rede de abastecimento empregada para produção de um metro cúbico do elemento analisado, expresso em (m^3/m^3) |
| | Utilização de água não potável ou tratada localmente ou proveniente de águas pluviais | Quantidade relativa do consumo de água reutilizada para produção de um metro cúbico do elemento analisado, expresso em (m^3/m^3) |
| A V | Categoria: Incorporação de materiais reciclados ou reutilizados | |
| Indicadores | Volume de materiais reciclados ou reutilizados incorporados ao produto final | Quantidade relativa de materiais reciclados ou reutilizados diretamente no elemento analisado, expresso em porcentagem do volume final |
| | Volume de materiais reciclados ou reutilizados utilizados indiretamente nas fases do ciclo de vida do elemento | Quantidade relativa de materiais reciclados ou reutilizados indiretamente no elemento analisado, expresso em porcentagem do volume final |

Fonte: Autor

A dimensão ambiental foi dividida em cinco categorias que buscam mensurar as relações que o sistema construtivo, em suas diversas fases de ciclo de vida, tem com o ambiente. Sendo verificadas as interações com a atmosfera, o solo, o sistema energético, o sistema hídrico e a incorporação de materiais oriundos de processos de reciclagem ou de reuso.

Para analisar a dimensão referente às questões sociais, históricas e culturais, foram propostas quatro categorias que descrevem as relações do sistema construtivo ante a conscientização acerca dos conceitos de sustentabilidade, promoção e respeito pelas manifestações da cultura local, respeito às condições de segurança e salubridade nas diversas fases do processo produtivo do sistema construtivo analisado e o grau de contribuição para a redução da vulnerabilidade social dos usuários (quadro 5.2). Se analisa sob vários aspectos como as soluções construtivas podem impactar a dinâmica social das comunidades rurais que as adotam.

Os custos relacionados durante a cadeia produtiva e durante o uso do material são medidos por meio de duas categorias propostas. A primeira é composta por indicadores que mensuram os custos diretos e previstos durante o uso do sistema construtivo em análise. A segunda mensura o ganho econômico da aplicação de uma técnica construtiva alternativa em ambientes rurais. Sendo que para estes indicadores foi considerado que o investimento em mão de obra e materiais produzidos localmente contribui para o desenvolvimento da economia local e, conseqüentemente, este fenômeno contribui para um aumento do rendimento financeiro dos habitantes do entorno de onde está se implantando esta edificação (quadro 5.3).

A quarta dimensão de sustentabilidade proposta pela MATSUS-HR é relativa às questões técnicas e de desempenho. Nesta, listam-se indicadores que descrevem o comportamento físico e mecânico dos materiais utilizados, assim como a sua predisposição ao reuso e/ou reciclagem. A confiabilidade técnica é categorizada também como um elemento de análise para a aplicação de uma técnica construtiva alternativa, pois se pretende garantir ao usuário segurança estética e estrutural. As categorias referentes à “facilidade de transporte e estocagem” e à “facilidade de manutenção ou ampliações” diz respeito ao grau de maleabilidade da técnica construtiva a ser implementada (quadro 5.4).

Quadro 5.2 - Proposta de indicadores para a dimensão sócio, histórica e cultural

| Dimensão Sócio, histórica e cultural | | |
|---|---|--|
| S I | Categoria: disseminação de conhecimento técnico | Parâmetros |
| Indicadores | Disseminação acerca dos conceitos de sustentabilidade | Grau de conscientização acerca da sustentabilidade promovido na cadeia produtiva do elemento em análise, expresso por meio de uma escala qualitativa |
| S II | Categoria: respeito e afirmação a cultura local | |
| Indicadores | Fomento à cultura local | Grau de fomento a cultura local promovido na cadeia produtiva do elemento em análise, expresso por meio de uma escala qualitativa |
| | Respeito aos processos produtivos relacionados a tradição local | Respeito às tradições locais ao longo da cadeia produtiva do elemento em análise, expresso por meio de uma escala qualitativa |
| S III | Categoria: salubridade e seguridade social | |
| Indicadores | Salubridade das atividades produtivas | Grau de salubridade dos trabalhadores ao longo da cadeia produtiva do elemento em análise, expresso por meio de uma escala qualitativa |
| | Seguridade social | Grau de seguridade social dos trabalhadores ao longo da cadeia produtiva do elemento em análise, expresso por meio de uma escala qualitativa |
| S IV | Categoria: vulnerabilidade social | |
| Indicadores | Possibilidade de autoconstrução | Complexidade da produção do elemento em análise, expresso por meio de uma escala qualitativa |
| | Contribuição para o aumento do conforto / saúde dos usuários | Contribuição para o aumento da qualidade de vida dos usuários, expresso por meio de uma escala qualitativa |

Fonte: Autor

Quadro 5.3 - Proposta de indicadores para a dimensão econômica e financeira

| Dimensão Econômica e financeira | | |
|--|--|---|
| E I | Categoria: custos financeiros | Parâmetros |
| Indicadores | Custos diretos das diversas fases produtivas do material | Custos financeiros ao longo das diversas fases produtivas do elemento analisado, expresso em reais por metro cúbico (R\$/m ³) |
| | Custos previstos durante a fase de uso do elemento | Custo financeiros previstos durante a fase de uso do elemento |
| E II | Categoria: incentivo à economia local | |
| Indicadores | Consumo de matéria prima local | Aquisição de matéria prima próximo ao local de sua aplicação, expresso de forma qualitativa |
| | Contratação de mão de obra local | Contratação de mão de obra local, expresso de forma qualitativa |

Fonte: Autor

Quadro 5.4 - Conjunto de indicadores propostos para a dimensão técnica

(Continua)

| Dimensão Técnica e desempenho | | |
|--------------------------------------|--|---|
| T I | Categoria: aptidão a reciclagem ou ao reuso | Parâmetros |
| Indicadores | Reciclabilidade do elemento | Porcentagem que pode ser reciclado ou reaproveitado do material |
| | Pré-disposição para o reuso | Design eco responsável, mensurado de forma qualitativa |
| T II | Categoria: desempenho físico-mecânico | |
| Indicadores | Estanqueidade | Grau de estanqueidade a água, valor obtido por ensaio de caracterização laboratorial |
| | Transmitância térmica | Grau de transmitância térmica, valor obtido por ensaio de caracterização laboratorial (W/m ² .°C) |
| | Isolamento acústico | Grau transmissão de ondas sonoras, valor obtido por ensaio de caracterização laboratorial |
| | Resistencia mecânica | Valor obtido em ensaio de caracterização mecânica para os esforços de: compressão, tração e abrasão, expressos em MPa |
| | Comportamento em incêndio | Comportamento do material sob calor intenso |
| | Durabilidade | Comportamento do material submetido a ensaios acelerados de durabilidade e em atmosfera agressiva |
| T III | Categoria: confiabilidade técnica | |
| Indicadores | Acompanhamento por profissional habilitado | Presença de acompanhamento de profissionais habilitados, expresso por meio de uma escala qualitativa |
| T IV | Categoria: facilidade de estocagem e transporte | |
| Indicadores | Percibilidade | Grau de percibilidade, expresso por meio de uma escala qualitativa |
| | Estocabilidade | Facilidade de estocagem do material, expresso por meio de uma escala qualitativa |

Fonte: Autor

Quadro 5.4 - Conjunto de indicadores propostos para a dimensão técnica

(Conclusão)

| Dimensão Técnica e desempenho | | |
|--------------------------------------|---|---|
| T IV | Categoria: facilidade de estocagem e transporte | Parâmetros |
| Indicadores | Facilidade de transporte | Facilidade de transporte dos materiais que compõem o elemento, expresso por meio de uma escala qualitativa |
| T V | Categoria: facilidade de manutenções/ ampliações | |
| Indicadores | Grau de manutenibilidade | Facilidade de manutenção, expresso por meio de uma escala qualitativa |
| | Reparabilidade | Facilidade se realizar reparos no sistema construtivo, expresso por meio de uma escala qualitativa |
| | Padronização | Padronização dos elementos produzidos, expresso por meio de uma escala qualitativa |
| | Adaptabilidade e flexibilidade | Adaptação e flexibilidade dos espaços edificados com o sistema construtivo, expresso por meio de uma escala qualitativa |

Fonte: Autor

A comparabilidade e confiabilidade dos indicadores propostos para compor a ferramenta se dá pela utilização, em sua grande maioria, de indicadores amplamente utilizados por outras metodologias já amplamente conhecidas e aplicadas ao redor do mundo. Comparativamente, tem-se, a partir do quadro 5.5, a correlação da presente lista de potenciais indicadores com as outras metodologias estudadas, onde as principais metodologias utilizadas mundialmente, como discutido no capítulo 3 e métodos oriundos destas, tais como a AQUA (versão utilizada no Brasil, baseada no método HQE) e MARS-H (método desenvolvido academicamente em Portugal, baseado em indicadores do CEN (Centro Europeu de Normalização) - por meio da harmonização de indicadores desenvolvidos em grupos de estudos que deram origem às normatizações relacionadas a avaliação da sustentabilidade de edificações e da iiSBE (Iniciativa internacional para a sustentabilidade do ambiente construído), órgão desenvolvedor da ferramenta SBTOOL (MATEUS, 2009).

Quadro 5.5 - Correlação da lista de potenciais indicadores com outras metodologias de análise da sustentabilidade de edificações

(Continua)

| Dimensão Ambiental | | BREEAM (New Construction Technical Standards) | LEED FOR HOMES | CASBEE | SB - TOOL - PT | EDGE | AQUA | MARS-H |
|--------------------|---|---|----------------|--------|----------------|------|------|--------|
| A I | Categoria: alterações climáticas e qualidade do ar exterior | | | | | | | |
| Indicadores | Emissões de gases que potencializam o aquecimento global (Global warming potencial – GWP) | * | * | * | * | * | * | * |
| | Emissões de gases que degradam a camada de ozônio (Ozone depletion potencial – ODP) | * | * | * | * | * | * | * |
| | Emissões de gases que aumentam o potencial de acidificação pluvial (Acidification Potencial – AP) | * | | * | * | * | * | * |
| | Emissões de gases que aumentam o potencial de oxidação fotoquímica (photochemical oxidation potencial – POCP) | * | | * | * | * | * | * |
| | Emissões de gases que aumentam o grau de eutrofização de mananciais (Eutrophication potencial – EP) | * | | * | * | * | * | * |
| A II | Categoria: geração de resíduos sólidos | | | | | | | |
| Indicadores | Resíduos perigosos | * | | * | * | | | * |
| | Resíduos não perigosos | * | | * | * | | * | * |
| A III | Categoria: consumo de energia | | | | | | | |
| Indicadores | Energia primária não renovável | * | | * | * | * | * | * |
| | Energia produzida localmente a partir de fontes renováveis | | | * | * | * | * | * |
| A IV | Categoria: consumo de água | | | | | | | |
| Indicadores | Consumo de água da rede de abastecimento | * | | * | * | * | * | * |
| | Reutilização de água não potável ou tratada localmente ou proveniente do reuso de águas pluviais | | | * | * | * | * | * |

Fonte: Autor

Quadro 5.5 - Correlação da lista de potenciais indicadores com outras metodologias de análise da sustentabilidade de edificações

(Continua)

| Dimensão Ambiental | | BREEAM (New Construction Technical Standards) | LEED FOR HOMES | CASBEE | SB - TOOL - PT | EDGE | AQUA | MARS-H |
|--------------------|--|---|----------------|--------|----------------|------|------|--------|
| A V | Categoria: incorporação de materiais reciclados ou reutilizados | | | | | | | |
| Indicadores | Volume de materiais reciclados ou reutilizados incorporados ao produto final | * | | * | * | | * | * |
| | Volume de materiais reciclados ou reutilizados utilizados indiretamente nas fases do ciclo de vida do elemento | * | | * | * | | * | * |
| Dimensão Social | | BREEAM (New Construction Technical Standards) | LEED FOR HOMES | CASBEE | SB - TOOL - PT | EDGE | AQUA | MARS-H |
| S I | Categoria: disseminação de conhecimento técnico | | | | | | | |
| Indicadores | Disseminação acerca dos conceitos de sustentabilidade | | | | | | | |
| S II | Categoria: respeito e afirmação a cultura local | | | | | | | |
| Indicadores | Fomento à cultura local | | | | | | | |
| | Respeito aos processos produtivos relacionados a tradição local | | | | | | | |
| S III | Categoria: Salubridade e seguridade social | | | | | | | |
| Indicadores | Salubridade das atividades produtivas | | | | * | | * | * |
| | Seguridade social | | | | | | | |
| S IV | Categoria: vulnerabilidade social | | | | | | | |
| Indicadores | Possibilidade de autoconstrução | | | | | | | |
| | Contribuição para o aumento do conforto/saúde dos usuários | | | | | | * | |

Fonte: Autor

Quadro 5.5 - Correlação da lista de potenciais indicadores com outras metodologias de análise da sustentabilidade de edificações

(Continua)

| Dimensão Econômica | | BREEAM (New Construction Technical Standards) | LEED FOR HOMES | CASBEE | SB - TOOL - PT | EDGE | AQUA | MARS-H |
|--------------------|--|---|----------------|--------|----------------|------|------|--------|
| E I | Categoria: custos financeiros | | | | | | | |
| Indicadores | Custos diretos das diversas fases produtivas do material | * | | | * | | | * |
| | Custos previstos durante a fase de uso do elemento | * | | | * | | | * |
| E II | Categoria: incentivo a economia local | | | | | | | |
| Indicadores | Consumo de matéria prima local (Raio = 50km) | | * | | * | | | |
| | Contratação de mão de obra local | | | | | | | |
| Dimensão Técnica | | BREEAM (New Construction Technical Standards) | LEED FOR HOMES | CASBEE | SB - TOOL - PT | EDGE | AQUA | MARS-H |
| T I | Categoria: aptidão a reciclagem ou ao reuso | | | | | | | |
| Indicadores | Reciclabilidade do elemento | * | * | * | | | * | * |
| | Pré-disposição para o reuso | * | | * | | | | * |
| T II | Categoria: desempenho físico | | | | | | | |
| Indicadores | Estanqueidade | | | | | | * | |
| | Transmitância térmica | * | * | * | * | * | * | * |

Fonte: Autor

Quadro 5.5 - Correlação da lista de potenciais indicadores com outras metodologias de análise da sustentabilidade de edificações

| | | (Conclusão) | | | | | | |
|-------------------------|---|---|----------------|--------|----------------|------|------|--------|
| Dimensão Técnica | | BREEAM (New Construction Technical Standards) | LEED FOR HOMES | CASBEE | SB - TOOL - PT | EDGE | AQUA | MARS-H |
| Indicadores | Isolamento acústico | * | * | * | * | * | * | * |
| T III | Categoria: desempenho mecânico | | | | | | | |
| Indicadores | Resistencia Mecânica à esforços | | | | * | | | * |
| | Comportamento sob incêndio | | | | | | | * |
| | Durabilidade | * | * | * | * | | | * |
| T IV | Categoria: confiabilidade técnica | | | | | | | |
| Indicadores | Acompanhamento por profissional habilitado | | | | | | | |
| T V | Categoria: facilidade de estocagem e transporte | | | | | | | |
| Indicadores | Perecibilidade | | | | | | | |
| | Estocabilidade | | | | | | | * |
| | Facilidade de transporte | | | | | | * | |
| T VI | Categoria: facilidade de manutenções/ ampliações | | | | | | | |
| Indicadores | Grau de manutenibilidade | | | * | * | | * | |
| | Reparabilidade | | | * | * | | * | |
| | Padronização | | | | * | | * | |
| | Adaptabilidade e flexibilidade | * | | * | * | | * | |

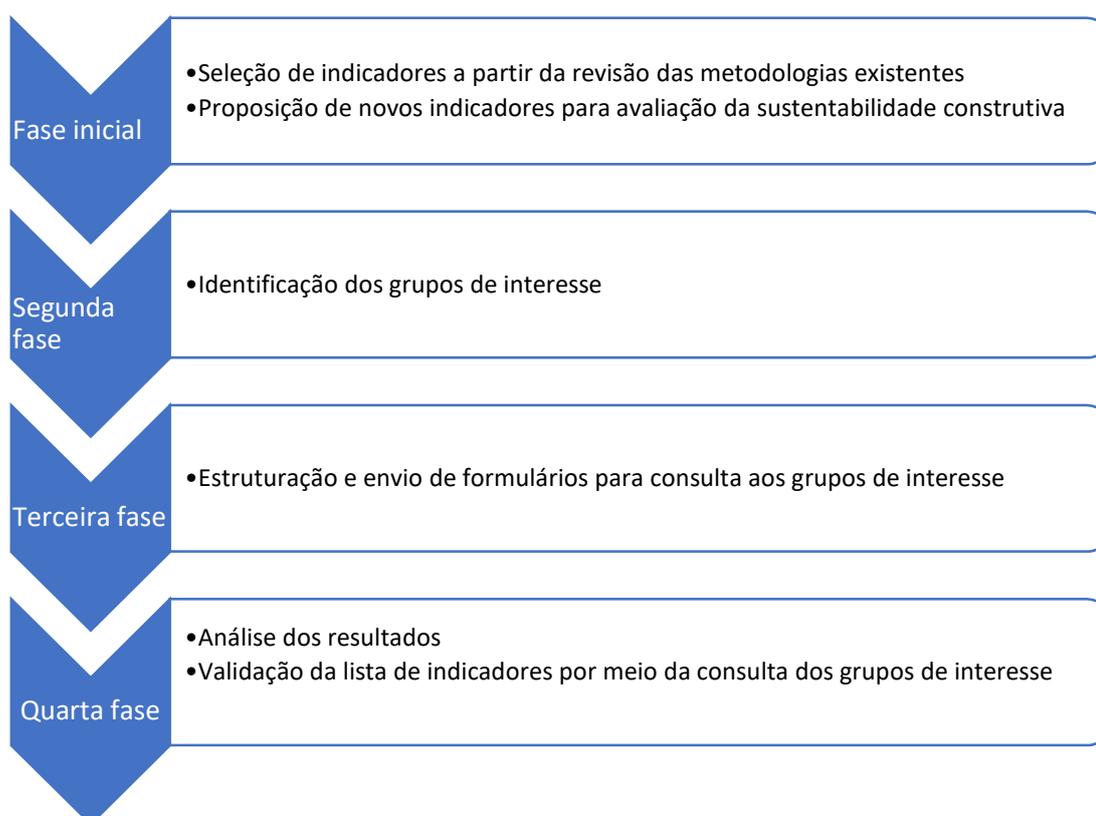
Fonte: Autor

5.4.2.1 Validação

A estruturação metodológica multidimensional, abrangendo dados quantitativos e qualitativos, pode ser estruturada seguindo a sequência caracterizada pela montagem de uma lista inicial de indicadores, a análise e descrição de acordo com as suas respectivas categorias específicas e a sua validação por meio da análise de grupos de especialistas e usuários (ALI; AL NSAIRAT, 2009; CASTRO, 2018).

Para consolidar a lista de indicadores proposta e, ainda, para que estes pudessem de fato traduzir a realidade das comunidades existentes fora dos ambientes urbanizados, a MATSUS-HR estruturou-se a partir do fluxo de trabalho apresentado na figura 5.5.

Figura 5.5 – Estruturação para seleção de indicadores



Fonte: Autor

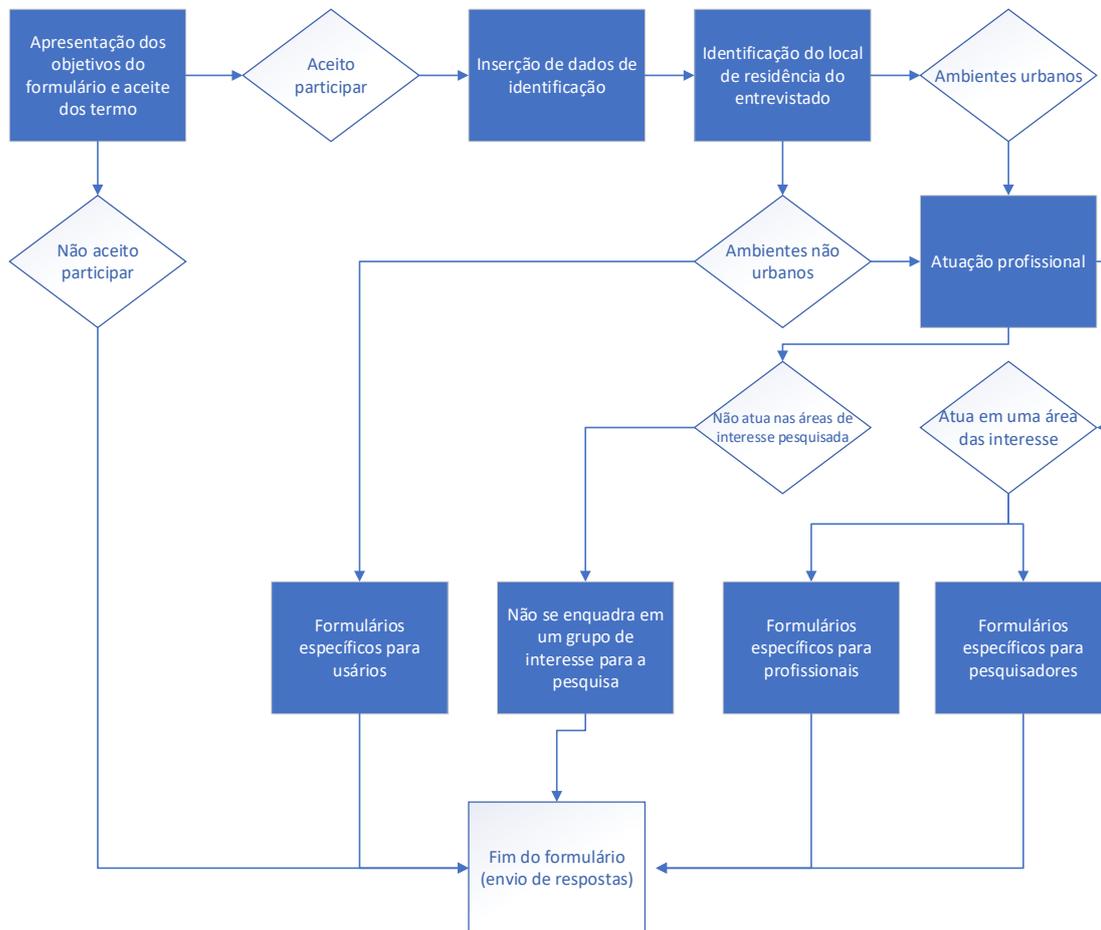
Após a seleção de indicadores que possuem relevância e adequabilidade local (fase inicial), foram identificados os potenciais tomadores de decisão que, além dos

usuários, estão diretamente ligados a seleção das soluções construtivas. Os grupos com maior relevância, relacionados com os materiais e sistemas construtivos para edificações de interesse social em ambientes rurais, foram relacionados entre si e, a partir do volume e importância de seus inter-relacionamentos, foram identificados cinco principais grupos de interesse, sendo:

- **Usuários:** grupo composto por residentes em ambientes rurais, sendo estes pertencentes a diversos seguimentos, tais como pequenos agricultores, residentes em áreas objeto de projetos de reforma agrária, populações tradicionais e outros;
- **Profissionais do setor da construção civil:** engenheiros, arquitetos, fornecedores de matéria prima e outros profissionais ligados diretamente à implementação de edificações residenciais em ambientes rurais;
- **Pesquisadores:** profissionais ligados à pesquisa e desenvolvimento, que realizam trabalhos relacionados com a sustentabilidade de edificações e com o desenvolvimento sustentável de comunidades rurais;
- **Gestores públicos:** pessoal técnico que está diretamente relacionado com as ações desenvolvidas pelo setor público responsável pela implementação e gestão de agrupamentos populacionais no campo, tais como a FUNAI, INCRA, IMATER e outros.

A terceira fase compreende a formulação e estruturação analítica dos formulários de consulta para construção da lista de indicadores que irão compor a ferramenta de avaliação do desempenho sustentável de sistemas construtivos da MATSUS-HR (figura 5.6). Esta etapa tem fundamental importância pois é, a partir dela, que se irá apreender as opiniões e necessidades dos grupos relacionados diretamente a temática abordada. O planejamento em conjunto com todos os grupos de interesse contribui de maneira efetiva para o aumento da sensibilidade do sistema de indicadores em um método que busca analisar o desempenho sustentável de uma determinada edificação em um contexto local (CASTRO, 2018).

Figura 5.6 – Estruturação de formulários de validação de indicadores de sustentabilidade



Fonte: Autor

5.5 Hierarquização e modelagem numérica

Estruturar uma metodologia direcionada à sustentabilidade construtiva é, também, sistematizar, por meio de uma sequência lógica, uma determinada realidade onde a edificação está ou será implantada. Os diversos indicadores e parâmetros de interesse selecionados devem ser sensíveis o bastante para detectar fenômenos que ocorrem de maneira dinâmica.

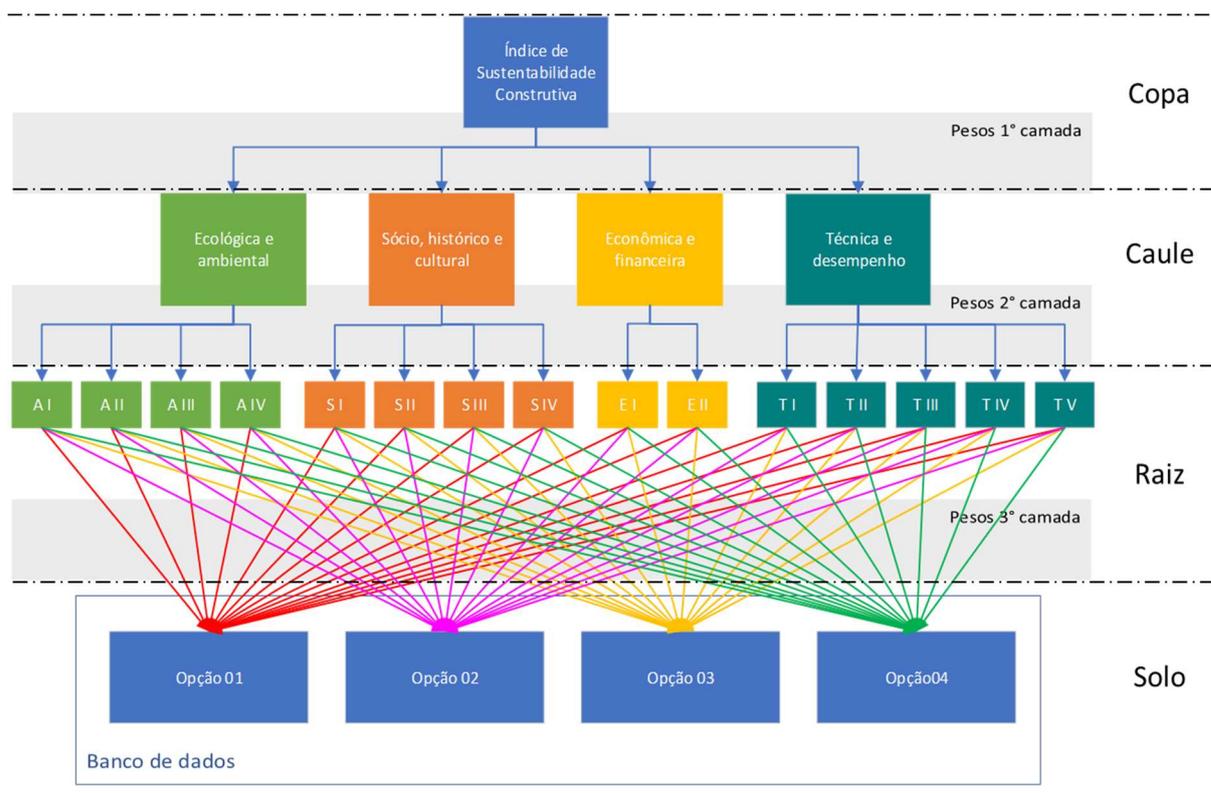
Para compor o índice global de desempenho sustentável de sistemas construtivos, à partir da ótica da metodologia proposta que leva em consideração diversas variáveis (quantitativas e qualitativas), faz-se necessária a construção de um

sistema que inter-relacione os diversos níveis de complexidade e agregação por meio de hierarquias e ramificações, assim sendo, a sistematização da MATSUS-HR se deu a partir da realização da modelagem do problema em um formato multicritérios, seguindo-se os passos de uma análise pelo método AHP (figura 5.7), onde:

- * O objetivo é se ter um índice de sustentabilidade para cada um dos sistemas construtivos comparados e, assim, mensurar-se os seus respectivos desempenhos, sendo considerado melhor o sistema construtivo com maiores de índice de sustentabilidade (ou maiores copas);
- * Os critérios são formados pelas dimensões, categorias e indicadores de sustentabilidade construídos a partir da lista de indicadores consolidada;
- * O conjunto de alternativas é formado por sistemas construtivos a serem comparados, estes serão agrupados em um banco de dados (a estrutura e a formação desse banco serão abordadas no capítulo 6).

A estrutura de processamento de dados segue um fluxo ascendente, como em uma árvore, onde a água e nutrientes são absorvidos do solo através das suas raízes, estes vão sendo trabalhados até chegar às folhas que os processam, assim se dá o processo de análise da MATSUS-HR. A informação é obtida pelo meio através dos parâmetros que compõe os indicadores, neste primeiro nível, os sistemas construtivos são avaliados segundo o seu comportamento a partir dos critérios preestabelecido pela lista de indicadores consolidada. A descrição da forma de cálculo e obtenção de cada indicador é apresentada no capítulo 6, apresentação da MATSUS-HR.

Figura 5.7 Sistematização da modelagem hierárquica proposta pela MATSUS-HR



Fonte: Autor

Na primeira fase, chamada de fase raiz, são quantificados, por meio dos parâmetros, os indicadores que compõem a metodologia. Nesta fase há um grande volume de dados, tanto qualitativos quanto quantitativos. Há ainda uma desconformidade entre valores, pois apresentam grandezas e natureza avaliativas diversas, não sendo passíveis de comparações. Dada esta problemática, se há a necessidade de parametrizados a uma base comum de avaliação ou a uma escala que permita que estes sejam passíveis de comparações ou operações descritivas matematicamente.

A modelagem AHP prevê que para os critérios atribuídos para avaliar cada opção comparada, os valores devem possuir proporcionalidade (SAATY, 1980) e, para tanto, é obtida à partir dos processos de harmonização e normalização parcial dos dados. Estes processos consistem, em outras palavras, em se estabelecer o grau de participação da alternativa ante a um determinado critério para se alcançar o objetivo preestabelecido. Para ilustrar essa fase foi formulado um exemplo, como segue:

Objetivo: deseja-se fazer a compra de tijolos com o melhor custo/benefício;

Situação: há dois tipos de variedades no mercado os da marca A e da marca B;

Critério: para se fazer uma escolha, foram estabelecidos dois critérios - preço e qualidade, os dados são apresentados no quadro 5.6.

Quadro 5.6 - Valores atribuídos para os critérios avaliativos em uma exemplificação de modelagem AHP

| | Preço (R\$/unid) | *Qualidade (nível) |
|---------|------------------|--------------------|
| Marca A | 4,17 | 2 |
| Marca B | 6,10 | 3 |

* Para este exemplo o nível de qualidade do produto foi estabelecido simulando-se uma escala de 0-3 onde, 0 corresponde ao pior nível de qualidade e 3 ao maior nível.

Fonte: Autor

Para o critério preço (quantitativo) pode-se verificar a relação direta entre as opções e, se o único critério fosse esse, o decisor escolheria a “marca A”, já que o seu preço/unidade é menor. Já o critério qualidade é composto por avaliações (qualitativas) acerca das condições do produto e, neste caso, quanto maior for a sua nota, melhor. Dessa maneira, se o único critério escolhido for qualidade, o decisor escolheria a “Marca B”.

Verifica-se, com a explicitação deste pequeno exemplo, duas questões a serem consideradas, a diferença de escala para os critérios adotados e a diferença de tendência para a seleção do produto, situações estas que são habitualmente encontradas na fase raiz de uma modelagem AHP. Assim sendo, o presente trabalho considerou a fase de normalização, composta por duas fases:

- Harmonização dos dados: estabelece-se um modelo matemático para ajustar a tendência a partir dos objetivos preestabelecidos, ou seja, é descrito de forma numérica ajustada às questões de “o quanto menor, melhor” ou “o quanto maior, melhor”. Para este trabalho, foi convencionado que para todos os indicadores que possuem tendência descendente, ou seja, para aqueles que

buscam atingir menores valores “quanto menor, melhor” será aplicado o processo de harmonização, que consiste em tornar a participação do item em um contexto global de maneira inversa, como descrito pela equação 6.1.

$$Vhi = \frac{\sum_0^i Ci}{Ci}$$

Equação 5.1

Onde: Vhi representa o valor harmonizado e Ci representa o valor atribuído para o objeto i para o critério analisado.

- Normalização parcial: cálculo da participação de cada opção no conjunto de critérios a serem atendidos para a seleção do produto (equação 6.2).

$$Vni = \frac{Ci}{\sum_0^i Ci}$$

Equação 5.2

Onde: Vni representa o valor normalizado parcial e Ci representa o valor atribuído para o objeto i para o critério analisado.

Para o presente exemplo, não serão detalhados os processos de definição de peso e a consistência da matriz (assunto discutido no capítulo 6), neste caso, arbitrariamente definimos que o critério preço tem 40% de relevância na escolha e a qualidade 60%.

Com a construção dos valores normalizados, tem-se ambos os critérios em mesma escala (adimensional) sendo que, por este motivo, a partir deste ponto, os valores obtidos podem ser comparados numericamente (quadro 5.7).

Quadro 5.7 - Harmonização e normalização dos dados em uma exemplificação de modelagem AHP

| PESOS | 0,40 | Harmonização | Normalização (parcial) | 0,60 | Normalização (parcial) | Vetor decisão |
|---------|----------------|--------------|------------------------|--------------------|------------------------|---------------|
| | Preço (R\$/Kg) | | | *Qualidade (nível) | | |
| Marca A | 4,1000 | 2,4878 | 0,5980 | 2,0000 | 0,4000 | 0,49902 |
| Marca B | 6,1000 | 1,6721 | 0,4020 | 3,0000 | 0,6000 | 0,50098 |
| Total | 10,2000 | 4,1599 | | 5,0000 | | 1,0000 |

Fonte: Autor

Ainda, para a conclusão do exemplo, foi calculado o vetor decisão que demonstra a participação de cada produto no alcance do objetivo global previsto para esta modelagem. De maneira simplificada, agrega-se à contribuição aferida para cada opção, em cada critério, considerando-se o peso daquele critério no alcance do objetivo total da análise (equação 5.3) e chegando aos valores relativos finais para a seleção do produto, que neste caso será a opção “Marca B”, pois, por uma pequena margem de diferença (aproximados 0,20%) ela tem maior participação no conjunto que compõe o objetivo final.

$$V_j = \sum_0^i V_{ni} * P_i$$

Equação 5.3

Onde: V_j representa o valor da contribuição da opção para o alcance do objetivo global j e V_{ni} representa o valor normalizado parcial do objeto i e P_i representa o peso atribuído a cada critério de análise para o alcance do objetivo global j .

De maneira análoga ao exemplo, a MATSUS-HR considera, na sua fase raiz, ambos os processos harmonização e normalização parcial. Alguns autores fundem essas duas etapas em apenas uma (ALI; AL NSAIRAT, 2009; BESTEIRO; MIUCCIATO, 2009; CHANDRATILAKE; DIAS, 2013), denominada de normalização, porém foi considerada de grande importância para a demonstração didática da fase raiz a divisão deste processo em etapas menores.

A segunda parte da etapa da fase raiz é caracterizada pela agregação (ou soma) dos valores normalizados e, como no exemplo dado, são considerados os pesos de cada critérios, que no caso da MATSUS-HR, possui grande nível de capilaridade. Nesse nível são agregados apenas os valores obtidos para os indicadores em suas respectivas categorias, ou seja, o vetor decisão neste caso é formado apenas pelos micro objetivos descritos para cada uma das 15 categorias consideradas, sendo a equação 5.3, adaptada para o contexto de categorias, conforme demonstrado na equação 5.4.

$$VCj = \sum_0^i VIni * Pli$$

Equação 5.4

Onde: VCj representa o valor da contribuição da opção para o alcance do objetivo da categoria j e VIni representa o valor normalizado parcial do indicador i e Pli representa o peso atribuído a cada critério de análise para o alcance do objetivo do indicador i.

Na segunda fase, denominada de fase caule, os valores obtidos para cada categoria (oriundo da fase raiz) são agregados. Nessa fase são considerados os pesos relativos ou grau de importância de cada categoria na dimensão de sustentabilidade (Ecológica e ambiental, Sócio, histórica e cultural”, “Econômica e financeira” e Técnico e desempenho) a qual esta foi categorizada (equação 5.5).

$$VDh = \sum_0^j VCj * Pcj$$

Equação 5.5

Onde: VDh representa o valor da contribuição da opção para o alcance do objetivo da dimensão h e VCj representa o valor da contribuição da opção para o alcance do objetivo da categoria j e Pcj representa o peso atribuído a cada critério de análise para o alcance do objetivo da categoria j.

Nesta fase, verifica-se o desempenho por dimensões do sistema construtivo analisado.

De maneira análoga à fase caule, a fase copa é caracterizada pela a agregação dos valores obtidos da fase anterior, porém nesse caso são considerados os pesos

atribuídos para cada dimensão de sustentabilidade, chegando-se ao índice de sustentabilidade de cada um dos sistemas construtivos analisados (equação 5.6).

$$V_{global} = \sum_0^h VDh * Pdh$$

Equação 5.6

Onde: V_{global} representa o valor da contribuição da opção para o alcance do objetivo da global e VDh representa o valor da contribuição da opção para o alcance do objetivo da dimensão h e Pdh representa o peso atribuído a cada critério de análise para o alcance do objetivo da dimensão h .

Salienta-se que a MATSUS-HR, diferente de outras metodologias, tanto comercialmente utilizadas como as propostas em meio acadêmicos, não possui o caráter de classificação ou o estabelecimento de um ranque de sustentabilidade para sistemas construtivos, não há a previsão de se emitir um certificado de desempenho sustentável para os itens comparados, pois entende-se que para cada região o comportamento dos indicadores possui grande variabilidade não cabendo a consideração estática de uma avaliação. Deste modo, não se utilizam *Benchmarks* para efeitos de aferição de distâncias de desempenho. São comparadas apenas as soluções construtivas inseridas no âmbito do banco de dados da análise feita (a apresentação da formulação de banco de dados da MATSUS-HR é feita no capítulo 6).

5.6 Estruturação do sistema de pesos

A partir da modelagem, baseada na estrutura proposta pelo método de apoio a tomada de decisão *AHP*, a MATSUS-HR, propõe, por meio de um sistema que considera dados quantitativos, qualitativos e quali-quantitativos, a construção de uma base metodológica que analisa o desempenho sustentável de soluções construtivas em duas etapas. Sendo a primeira composta pela análise e mensuração de indicadores sob as quatro dimensões de análise e a segunda, que, a partir dos dados da fase anterior, combina um sistema de pesos ou graus de importância para cada

critério avaliado. Tendo-se ao final uma lista classificatória entre os sistemas analisados.

A MATSUS-HR possui três patamares de estabelecimento de pesos, onde o primeiro refere-se à importância de cada dimensão (Ecológica e ambiental, Sócio, histórica e cultural, Econômica e financeira e Técnica e desempenho). No primeiro, mais generalista, são consideradas quais as dimensões possuem maior relevância para o contexto aonde será implementado o sistema construtivo. O segundo está associado aos graus de importância de cada categoria pertencente a uma das quatro dimensões. Tanto o primeiro como o segundo patamar são variáveis, ou seja, conforme a localidade estudada esses valores são alterados dependendo da avaliação do grupo de interesse ouvido. O terceiro nível, fixo, é relativo quanto ao grau de participação de cada indicador em sua respectiva categoria, sendo estes estabelecidos por meio da revisão da literatura e da experiência adquirida acerca da importância relativa de cada item para o desempenho do todo.

A formação do primeiro e segundo nível se dá por meio da coleta da opinião dos grupos de interesse e processamento desses dados, conforme a sistematização proposta, estas etapas resultaram na construção do vetor decisão a ser utilizado, como será descrito nas próximas subseções.

5.6.1 Coleta de dados e grupos de interesse

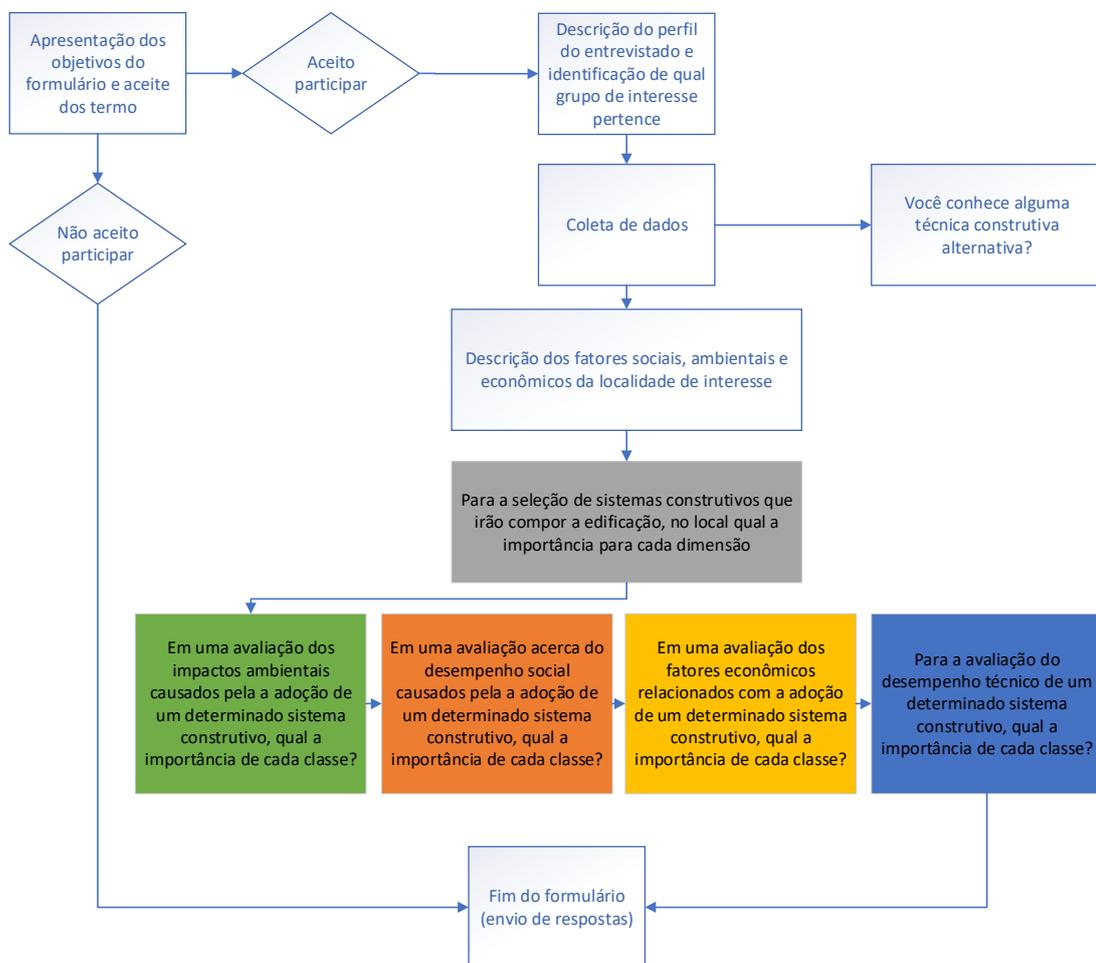
Como descrito na seção 5.5.3 deste capítulo, os grupos de interesse relacionados com a implementação de edificações em ambientes rurais são formados por gestores públicos ligados às questões agrárias, pesquisadores, profissionais do setor da construção civil e usuários (comunidade local). De maneira análoga ao feito naquela seção, para a coleta de informações sobre os graus de importância a serem adotados para avaliar o desempenho sustentável de um sistema construtivo em ambientes rurais, propõe-se uma estruturação conforme o apresentado pela figura 5.8, sendo que, para esta versão, foram considerados apenas o grupo de especialistas formado por pesquisadores, gestores e profissionais ligados à construção civil.

Onde, a partir da resposta de cada entrevistado, obtém-se um conjunto de informações qualitativas que caracterizam, a partir de graus de importância, os itens

mais relevantes para a região analisada, assim como regiões com características similares. O formato proposto para o questionário para a análise de pesos, por meio da consulta aos grupos de interesse, encontra-se no apêndice deste trabalho.

Após a coleta das opiniões dos grupos de interesse, é necessário o tratamento dessas informações, tarefa fundamental para que se possa compor a modelagem AHP proposta.

Figura 5.8 – Estruturação dos formulários para o estabelecimento de graus de importância para categorias e dimensões de sustentabilidade



Fonte: Autor

5.6.2 Tratamento de dados referentes aos graus de importância

Para a consulta aos grupos de interesse, optou-se por não adotar a técnica de comparação pareada, prevista para o estabelecimento de graus de importância

segundo o método *AHP*. Tal decisão foi considerada para simplificar as análises por parte dos entrevistados, sendo, deste modo, os questionamentos feitos de maneira mais direta, onde, por exemplo, no caso da avaliação da importância de cada dimensão foi feita um único questionamento e o entrevistado avaliou qual era a relevância de cada item em uma escala de cinco graduações, conforme demonstra a figura 5.8. Se fosse adotada a abordagem clássica, o entrevistado teria que comparar a relevância de cada dimensão, duas a duas. Outros autores também utilizaram essa alternativa para simplificar a coleta de dados, encontrando resultados satisfatórios (GODOI, 2014; PEREIRA, 2010).

Figura 5.9 – Exemplo de atribuição de pesos por dimensão de sustentabilidade

| | Muito Pouco relevante | Pouco relevante | Indiferente | Relevante | Muito Relevante |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Preservação do ambiente | <input type="radio"/> |
| Melhoramento nas condições sociais e preservação da cultura e história local | <input type="radio"/> |
| Custo e incentivo à economia local | <input type="radio"/> |
| Qualidade técnica do sistema construtivo | <input type="radio"/> |

Fonte: Autor

A adaptação empregada para a aplicação dos questionários gera a necessidade de se estruturar um modelo matemático que transforme as opiniões relacionadas aos graus de importância à escala fundamental de graus de importância proposta por Saaty (1980). Para o presente trabalho, essa consideração foi feita a partir da equação 5.7, onde para cada grau de importância se foi atribuído uma pontuação (quadro 5.8).

$$G_{(n-i)} = se \quad \begin{matrix} n \geq i & (n - i) + 1 \\ n < i & 1/[(i - n) + 1] \end{matrix}$$

Equação 5.7

Onde:

$G_{(n-i)}$ refere-se a comparação entre o grau de importância atribuído opção n, segundo o critério avaliado, em relação a opção i; n e i são valores numéricos correspondentes aos julgamentos atribuídos, conforme o quadro 6.1;

Quadro 5.8 - Pontuação atribuída aos graus de relevância de dimensões de sustentabilidade

| | |
|-----------------------|---|
| Muito pouco relevante | 1 |
| Pouco relevante | 2 |
| Indiferente | 3 |
| Relevante | 4 |
| Muito relevante | 5 |

Fonte: Autor

As opções, comparadas paritariamente umas com as outras, podem possuir relevâncias inferiores, indiferente (quando possuírem o mesmo grau de importância) ou superiores, conforme demonstrado no quadro de ponderações ajustada (quadro 5.9). Ou seja, a dimensão Ecológica e ambiental pode ser considerada muito pouco relevante quando comparada à dimensão Técnica e desempenho por exemplo ($G_{(n-i)} = 1/4$) ou, ainda, ser considerada ligeiramente mais relevante quando comparada com a dimensão Econômica e financeira ($G_{(n-i)} = 2$).

Quadro 5.9 - Pontuação atribuída aos graus de relevância de dimensões de sustentabilidade

| | INFERIOR | | | | IGUAL | SUPERIOR | | | |
|-------------|------------------------------|-----------------------|-----------------|------------------------------|-------------|-----------------------------|----------------|----------------------|-----------------------------|
| | Extremamente pouco relevante | Muito pouco relevante | Pouco relevante | Ligeiramente pouco relevante | Indiferente | Ligeiramente mais relevante | Mais relevante | Muito mais relevante | Extremamente Mais relevante |
| $G_{(n-i)}$ | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Fonte: Autor

5.6.3 Consistência e modelagem AHP para os pesos

Com o intuito de equalizar as opiniões dos grupos de interesse na atribuição de graus de importância para as categorias e dimensões consideradas, há a necessidade de se verificar a consistência do grupo de respostas adquiridas (CHANDRATILAKE; DIAS, 2013).

Para a construção do vetor decisão, composto pelos respectivos pesos das categorias e dimensões de sustentabilidade consideradas, a verificação da consistência das respostas se deu, dentro da modelagem AHP proposta pela MATSUS-HR, segundo os passos demonstrados pelos quadros 5.10 a 5.14.

Quadro 5.10 - Construção do vetor decisão por dimensão

| Dimensões | | | | | | |
|-----------|------------|--------|-----------|----------|------------|------------------------|
| Critérios | Ambiental | Social | Econômico | Técnico | Auto Vetor | Auto Vetor Normalizado |
| Ambiental | 1 | ... | ... | $G(n-i)$ | AV(1) | AV(1)/S(av) |
| Social | ... | 1 | ... | ... | AV(2) | AV(2)/S(av) |
| Econômico | ... | ... | 1 | ... | AV(3) | AV(3)/S(av) |
| Técnico | $1/G(n-i)$ | ... | ... | 1 | AV(4) | AV(4)/S(av) |
| Soma | S(1) | S(2) | S(3) | S(4) | S(av) | |

MACROPEOS

Fonte: Autor

Quadro 5.11 - Construção do vetor decisão - dimensão Ecológica e ambiental

| Categorias para a dimensão Ecológica e Ambiental | | | | | | |
|---|---|---|-------------------------------------|---------------------------------|------------|------------------------|
| Critérios | Categoria A I: Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | Categoria A II: Geração de resíduos sólidos | Categoria A III: Consumo de energia | Categoria A IV: Consumo de água | Auto Vetor | Auto Vetor Normalizado |
| Categoria A I: Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | 1 | ... | ... | $G(n-i)$ | AV(1) | AV(1)/S(av) |
| Categoria A II: Geração de resíduos sólidos | ... | 1 | ... | ... | AV(2) | AV(2)/S(av) |
| Categoria A III: Consumo de energia | ... | ... | 1 | ... | AV(3) | AV(3)/S(av) |
| Categoria A IV: Consumo de água | $1/G(n-i)$ | ... | ... | 1 | AV(4) | AV(4)/S(av) |
| Soma | S(1) | S(2) | S(3) | S(4) | S(av) | |

MICROPEOS

Fonte: Autor

Quadro 5.12 - Construção do vetor decisão - dimensão Sócio, histórica e cultural

| Categorias para a dimensão Sócio, Histórico e Cultural | | | | | | |
|--|---|--|--|--|------------|------------------------|
| Critérios | Categoria S I: Disseminação de conhecimento técnico | Categoria S II: Respeito e afirmação a cultura local | Categoria SIII: Salubridade e segurança social | Categoria S IV: Vulnerabilidade social | Auto Vetor | Auto Vetor Normalizado |
| Categoria S I: Disseminação de conhecimento técnico | 1 | ... | ... | $G(n-i)$ | AV(1) | AV(1)/S(av) |
| Categoria S II: Respeito e afirmação a cultura local | ... | 1 | ... | ... | AV(2) | AV(2)/S(av) |
| Categoria SIII: Salubridade e segurança social | ... | ... | 1 | ... | AV(3) | AV(3)/S(av) |
| Categoria S IV: Vulnerabilidade social | $1/ G(n-i)$ | ... | ... | 1 | AV(4) | AV(4)/S(av) |
| Soma | $S(1)$ | $S(2)$ | $S(3)$ | $S(4)$ | $S(av)$ | |

Fonte: Autor

Quadro 5.13 - Construção do vetor decisão - dimensão Econômica e financeira

| Categorias para a dimensão Econômica e Financeira | | | | |
|---|-----------------------------------|--|------------|------------------------|
| Critérios | Categoria E I: Custos Financeiros | Categoria E II: Incentivo a economia local | Auto Vetor | Auto Vetor Normalizado |
| Categoria E I: Custos Financeiros | 1 | $G(n-i)$ | AV(1) | AV(1)/S(av) |
| Categoria E II: Incentivo a economia local | $1/ G(n-i)$ | 1 | AV(2) | AV(2)/S(av) |
| Soma | $S(1)$ | $S(2)$ | $S(av)$ | |

Fonte: Autor

Quadro 5.14 - Construção do vetor decisão - dimensão Técnica e desempenho

| Categorias para a dimensão Técnica e Desempenho | | | | | | | |
|--|---|--|---------------------------------------|--|---|------------|------------------------|
| Critérios | Categoria T I: Aptidão a reciclagem ou ao reuso | Categoria T II: Desempenho físico-mecânico | Categoria III: Confiabilidade técnica | Categoria T IV: Facilidade de estocagem e transporte | Categoria T V: Facilidade de manutenções/ampliações | Auto Vetor | Auto Vetor Normalizado |
| Categoria T I: Aptidão a reciclagem ou ao reuso | 1 | ... | ... | ... | $G(n-i)$ | AV(1) | AV(1)/S(av) |
| Categoria T II: Desempenho físico-mecânico | ... | 1 | ... | ... | ... | AV(2) | AV(2)/S(av) |
| Categoria III: Confiabilidade técnica | ... | ... | 1 | ... | ... | AV(3) | AV(3)/S(av) |
| Categoria T IV: Facilidade de estocagem e transporte | ... | ... | ... | 1 | ... | AV(4) | AV(4)/S(av) |
| Categoria T V: Facilidade de manutenções/ampliações | $1/G(n-i)$ | ... | ... | ... | 1 | AV(5) | AV(5)/S(av) |
| Soma | $S(1)$ | $S(2)$ | $S(3)$ | $S(4)$ | $S(5)$ | $S(av)$ | |

MICROPESOS

Fonte: Autor

Onde o auto vetor é obtido pela média geométrica das comparações pareadas por opção e a normalização feita a partir da obtenção dos percentuais de participação no desempenho total do auto vetor para cada opção analisada.

O valor de “ λ_{max} ” é obtido pelos valores da soma dos produtos de cada opção com o valor de seu auto vetor, demonstrado pela fórmula 5.8.

$$\lambda_{max} = \sum_0^{n,i} (S_i * AV_i)$$

Equação 5.8

Onde:

λ_{max} representa o número principal de Eigen;

S_i é o valor correspondente a soma vertical da matriz correspondente a opção i;

AV_i refere-se ao auto vetor para a opção analisada, calculado a partir de sua média geométrica.

O índice de coerência, ou também chamado de índice de consistência é obtido por meio da equação 5.9, descrita por Saaty (2013)

$$IC = \frac{\lambda_{max} - OM}{OM - 1}$$

Equação 5.9

Onde:

IC representa o valor atribuído ao índice de coerência da matriz;
 OM corresponde à ordem da matriz formada pelas opções inseridas;
 A razão de coerência equação 6.10 é dada pela razão entre o coeficiente de coerência, expresso pela equação 5.9, pelo índice randômico atrelado a matriz analisada, obtido através do quadro 5.15. Sendo que, o valor limite máximo para a razão de coerência estabelecido em 10% (GODOI, 2014).

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

Equação 5.10

Onde:

RC representa o valor para a razão de coerência;
 IR corresponde índice randômico expresso por meio do quadro 5.15.

Quadro 5.15 - Valores para os índices randômicos

| | | | | | | | | | | |
|----|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| OM | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| IR | 0 | 0 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

Fonte: (SAATY, 2008)

5.7 Programação da ferramenta em ambiente Python

A linguagem Python, criada por Guido van Rossum em 1990, tem ampla aplicabilidade em processos de automatização de rotinas de cálculo e geração de interfaces com usuários, possui uma sintaxe simples e direta, possibilitando criar algoritmos eficientes e com grande capacidade de integrados com outras ferramentas e outras linguagens (BORGES, 2014). Outra característica é o seu fácil acesso, já que este software possui código aberto, podendo inclusive, ser incorporado a programas com códigos fechados (YADAV et al., 2019).

Após a modelagem da estrutura de funcionamento por meio de planilhas, se deu início a fase de automatização dos processos de aquisição, armazenamento, processamento de dados e expressão dos valores obtidos por meio de elementos gráficos, sendo que, desta maneira, o desenvolvimento das análises propostas pela MATSUS-HR, especialmente quanto ao cálculo de indicadores não ponderados, pode ser feito de duas formas: por meio de tabelas criadas no software Microsoft Excel, como demonstrado nas seções anteriores ou por meio da utilização de um software desenvolvido em linguagem Python (versão 3⁸).

Para a realização deste trabalho a estruturação feita por meio de tabelas serviu, em um primeiro momento, como base para a elaboração do algoritmo da MATSUS-HR em “ambiente Python” e, posteriormente, esta foi utilizada para validar os dados alcançados pelo programa desenvolvido.

O código fonte da MATSUS-HR não é disponibilizado no corpo deste trabalho, pois, este será submetido ao processo de proteção de propriedade intelectual, sendo aberto à comunidade acadêmica após a finalização deste processo, assim como, este dará origem a uma plataforma online de acesso aberto.

⁸ Versão disponível gratuitamente no endereço eletrônico: <https://www.python.org/downloads/>. Acesso em: out. 2016.

5.7.1 Sistematização

Para a produção dos algoritmos que compõe a MATSUS-HR foi utilizada o software Atom⁹ como ambiente de desenvolvimento integrado (IDE¹⁰). Basicamente a ferramenta foi produzida por meio de 04 núcleos distintos: estruturação de processos de cálculo por meio de algoritmos interligados, desenvolvimento de bancos de dados hierarquizados por meio da integração com o pacote SQLite¹¹, bateria de testes e a criação de interfaces gráficas de interação com usuário.

A etapa de processamento de dados é responsável por, a partir dos novos dados inseridos pelo usuário, ao selecionada a partir dos bancos de dados da ferramenta, efetuar os cálculos previstos para a modelagem preestabelecida e expressa-los como saída e posterior interpretação (REN; XU; GOU, 2016). Desta forma, neste núcleo, o volume de informações é bastante elevado, tendo os algoritmos algumas dezenas de milhares de linhas de código. Para minimizar e se rastrear mais facilmente os possíveis problemas encontrados nas baterias de testes realizadas, cada etapa e funções foram programadas em códigos separadamente, sendo interligados a função principal quando necessário.

O fluxo de informações ao longo do processo cresce em complexidade e diminui em quantidade, pois o resultado de cada etapa refere-se ao processamento das informações obtidas pelas fases anteriores. Seguindo a analogia feita na seção 5.5, entre o método e uma árvore, verifica-se que as etapas de cadastramento e armazenamento de dados são correspondentes à formação de “solo”, ou seja, as respectivas etapas formam o ambiente que alimentará as demais etapas do processo, assim sendo, todas as análises irão ser embasadas pela fase “solo”. Em outras palavras, em um mesmo ambiente formado para o “solo” pode haver várias árvores estruturadas, onde cada árvore representa a análise de um sistema construtivo diferente.

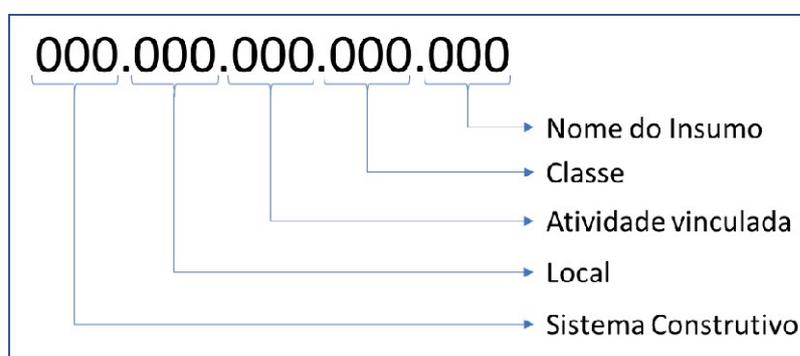
⁹ Disponível gratuitamente em: <https://atom.io/packages/ide-python>.

¹⁰ Acrônimo da sigla em inglês *Integrated Development Environment*.

¹¹ Ferramenta de código livre disponível em <https://www.sqlite.org/index.html>.

Para o armazenamento das informações cadastradas, ou para a etapa de armazenamento de dados, o processo modelado anteriormente por meio de planilhas e identificados por codificação própria teve que ser remodelado. Em “ambiente Excel”, para o rastreamento e uniformidade de dados, para cada insumo, custo unitário, composição de atividade ou sistema construtivo foi atribuído um número de identificação (ID). A identificação geral no ambiente da MATSUS-HR se dá por meio da estrutura demonstrada pela figura 5.11, onde, para cada baía, ou instância hierárquica é possível fazer o cadastramento de até 100 informações diferentes.

Figura 5.10 - Estrutura de identificação de informações no ambiente da MATSUS-HR



Fonte: Autor

Em Python, esta logica foi mantida, porém, utilizou-se a hierarquização prevista para dados em SQLite, onde cada objeto possui diferentes graus de sobreposição com os demais, possibilitando sua vinculação, consulta, restrições e futuras alterações. Sendo que a principal vantagem prevista para o armazenamento de dados por meio da codificação SQLite é o número de informações que poderá ser armazenado se torna muito superior ao possibilitado pela versão em Excel (limitada a 100 opções).

Com o objetivo de se criar uma identificação visual do método e, assim, uma fácil identificação do produto por seus usuários, desenvolveu-se uma logomarca para a ferramenta, símbolo que acompanha todos as janelas de diálogo dentro da MATSUS-HR (figura 5.12).

Figura 5.11 – Logomarca desenvolvida para a MATSUS-HR



Fonte: Autor

Para as etapas de “cadastramento”, “Composição” e “saída”, a ferramenta possibilita, por meio de sua interface gráfica, a inserção e manipulação de dados de maneira simples e rápida. Para tanto, por meio da biblioteca TKInter¹², integrada à linguagem Python, foram criadas janelas de diálogo integrativas, conforme apresentado no capítulo 6 e, para a exposição de dados finais, foi utilizado a biblioteca MATPLOTT¹³, integrada às interfaces programadas. Decidiu-se por utilizar essas opções, pois, apresentam acesso gratuito e código construído de maneira colaborativa.

Para se avaliar o comportamento da ferramenta e, assim, melhorar o seu sistema de pesos, indicadores e funcionamento, uma aplicação prática considerando a relação dos sistemas construtivos ante as diferentes dimensões de sustentabilidade contextualizados para uma determinada região foi proposta. Para tanto, verificou-se a efetividade da proposta metodológica em comunidades rurais sob vulnerabilidade social na região do antigo Assentamento Itamarati, Ponta Porã-MS, Brasil,

¹² Disponível em: <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>.

¹³ Disponível em: <https://matplotlib.org/3.2.1/index.html>.

comparando soluções construtivas mais adequadas social, ambiental, econômica e tecnicamente para a região estudada, sendo o resultado dessa investigação apresentado no capítulo 8.

Capítulo 6

BASE TEÓRICA E ESTRUTURA DE FUNCIONAMENTO DA FERRAMENTA OPERACIONAL MATSUS-HR

Neste capítulo será apresentado de maneira detalhada como se dá o funcionamento operacional da MATSUS-HR, sendo verificados os processos de composição de banco de dados, inserção de novos materiais, equipamentos, mão de obra, assim como a sua composição em atividades e sistemas construtivos. Ao final, são descritos os processos de cálculo para a obtenção das categorias de sustentabilidade propostas para a avaliação do desempenho sustentável dos sistemas construtivos em análise, tais dados, juntamente com a quantificação de indicadores e o sistema de pesos, como apresentado no capítulo 6, a estrutura de processamento (fases raiz e caule) para a obtenção do índice de sustentabilidade dos sistemas construtivos.

6.1 Considerações Iniciais

A MATSUS-HR é uma proposta metodológica que utiliza a modelagem *AHP* para hierarquização dos relacionamentos entre critérios e alternativas de soluções construtivas, tendo, no âmbito deste trabalho, o seu uso direcionado para aplicação em edificação localizadas fora dos grandes centros com o objetivo de se alcançar horizontes mais sustentáveis (módulo “Habitações rurais”). A particularização e o aprofundamento de conceitos, por meio da construção de parâmetros que traduzem uma realidade específica, aliado a seleção de matérias e sistemas construtivos, faz do método uma sequência de procedimentos que permite a análise de panoramas complexos, indo além de uma hierarquização por critério. Entender como se dão esses passos é fundamental para que os usuários (tomadores de decisão) possam enxergar, com propriedade, os valores apresentados.

6.2 Objetivos do capítulo

O presente capítulo objetiva apresentar a descrição detalhada dos elementos que compõem a MATSUS-HR, descrevendo-se a forma de mensuração e processamento dos dados primários, seguindo os objetivos específicos abaixo:

- **Lista de indicadores consolidada:** Apresentar a lista de indicadores consolidada que estruturam a metodologia avaliativa da MATSUS-HR;
- **Estrutura de funcionamento:** Apresentar o fluxo de funcionamento geral da MATSUS-HR, apresentando-se os passos e etapas necessárias para a realização da análise no âmbito da metodologia;
- **Cadastramento e armazenamento de dados:** apresentar o formato de entrada de dados que irão embasar as análises subsequentes e, ainda, apresentar de forma detalhada a arquitetura de banco de dados (solo) utilizada e os seus inter-relacionamentos;

- **Composições:** apresentar como é feita a agregação dos dados cadastrados por meio de composições unitárias de atividades;
- **Agregação de indicadores (fase raiz):** detalhar como são agregados os indicadores utilizados pelo método, seus parâmetros e processamentos para a quantificação das categorias;
- **Graus de importância:** apresentar os graus de importância para cada nível considerado na avaliação de sustentabilidade proposta pela metodologia, em sua versão 1.0.

6.3 Lista de indicadores consolidada

Para a formulação da primeira lista de indicadores que compuseram a primeira versão da metodologia proposta, em seu módulo direcionado à habitações rurais (MATSUS-HR 1.0), foram consideradas apenas as opiniões de pesquisadores e profissionais ligados ao desenvolvimento de projetos vinculados à construção sustentável e à habitação no campo, seguindo-se a estruturação descrita no capítulo 6. Os demais grupos de interesse foram consultados na etapa de estabelecimento de pesos para dimensões e categorias. Entende-se que a construção e o aprimoramento dos indicadores que compõem o método devem ser feitos periodicamente e de maneira colaborativa, sendo prevista a consulta de todos os grupos de interesse. Porém, para esta dinâmica é necessário o esclarecimento dos grupos envolvidos acerca dos conceitos de sustentabilidade e a sua relação de causa e efeito entre as dimensões, escalas e temporalidade (SILVA, 2003). Ou seja, é necessária a realização de ações que visem agregar conhecimento técnico para que os grupos possam contribuir positivamente para o aprimoramento da estrutura de indicadores da MATSUS-HR em suas próximas versões, pois a sua aferição periódica retroalimentará o sistema, sendo propostos “*Loops*” que espacialmente assemelham-se a uma espiral ascendente, sendo o seu ápice próximo à situação ideal, atribuindo-se ao método caráter dinâmico.

A lista de indicadores consolidada é resultado da fase de entrevistas realizadas com especialistas da área quanto a aplicabilidade dos indicadores levantados a partir

da consulta às metodologias de avaliação da sustentabilidade analisadas (quadro 6.1).

Quadro 6.1 - Descrição de indicadores a serem avaliados pela MATSUS-HR

(Continua)

| Dimensão | ID | Categoria | Indicador | Direção desejada |
|-----------------------|-----|--|--|------------------|
| Ecológica e ambiental | AI | Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | Emissões de gases que potencializam o aquecimento global (<i>Global Warming Potencial – GWP</i>) | ↓ |
| | | | Emissões de gases que degradam a camada de ozônio (<i>Ozone Depletion Potencial – ODP</i>) | ↓ |
| | | | Emissões de gases que aumentam o potencial de acidificação (<i>Acidification Potencial – AP</i>) | ↓ |
| | | | Emissões de gases que aumentam o potencial de oxidação fotoquímica (<i>Photochemical Oxidation Potencial - POCP</i>) | ↓ |
| | | | Emissões de gases que aumentam o grau de eutrofização de mananciais (<i>Eutrophication Potencial – EP</i>) | ↓ |
| | AII | Geração de resíduos sólidos | Quantidade de resíduos perigosos gerados (RP) | ↓ |
| | | | Quantidade de resíduos radioativos gerados (RR) | ↓ |
| | | | Quantidade de resíduos não perigosos gerados (RNP) | ↓ |

Fonte: Autor

Quadro 6.1 - Descrição de indicadores a serem avaliados pela MATSUS-HR

(Continua)

| Dimensão | ID | Categoria | Indicador | Direção desejada |
|--------------------------------------|------|---|--|------------------|
| Ecológica e ambiental | AIII | Consumo de energia | Quantidade relativa de energia não renovável empregada na produção do sistema construtivo (ENR) | ↓ |
| | | | Quantidade relativa de energia renovável empregada na produção do sistema construtivo (ER) | ↑ |
| | AIV | Consumo de água | Quantidade água consumida, proveniente da rede de abastecimento, para produção do sistema construtivo (AA) | ↓ |
| | | | Quantidade relativa de água consumida, proveniente de fontes alternativas, para produção do sistema construtivo (AR) | ↑ |
| Dimensão Sócio, histórico e cultural | SI | Disseminação de conhecimento técnico acerca da sustentabilidade | Grau de popularização dos conceitos de sustentabilidade ao longo da cadeia produtiva do sistema construtivo (GPCS) | ↑ |
| | | | Grau de Fomento/apoio a instituições que promovem a sustentabilidade da construção civil (GFS) | ↑ |
| | SII | Respeito e afirmação histórica e cultural local | Grau de utilização de materiais culturalmente usados pela comunidade local (GUMC) | ↑ |
| | SIII | Salubridade e seguridade social | Grau de salubridade nas condições de trabalho ao longo da cadeia produtiva do sistema construtivo (GS) | ↑ |
| | | | Grau de utilização de mão de obra formal, com a garantia seguridades sociais (GSS) | ↑ |
| | SIV | Incorporação da técnica construtiva pela população local | Grau de participação do sistema construtivo na edificação (GCS) | ↑ |
| | | | Grau de complexidade produtiva do sistema construtivo (GCP) | ↓ |
| | | | Possibilidade de produção do sistema construtivo por meio de mutirões (GAP) | ↑ |

Fonte: Autor

Quadro 6.1 - Descrição de indicadores a serem avaliados pela MATSUS-HR

(Continua)

| Dimensão | ID | Categoria | Indicador | Direção desejada |
|--|-------------|---|--|------------------|
| Dimensão Econômica e financeira | EI | Custos Financeiros | Custos para a produção e aplicação do sistema construtivo (CAP) | ↓ |
| | EII | Incentivo à economia local | Aquisição de matéria-prima próxima ao local de sua aplicação (MPL) | ↑ |
| | | | Contratação de mão de obra local (MOL) | ↑ |
| Dimensão Técnica e desempenho | TI | Reciclagem ou reuso | Parcela que pode ser reciclada do sistema construtivo após o seu desuso (PRC) | ↑ |
| | | | Parcela que pode ser reaproveitada do sistema construtivo após o seu desuso (PRA) | ↑ |
| | TII | Desempenho físico-mecânico | Grau de estanqueidade do sistema construtivo (GE) | ↑ |
| | | | Grau de transmitância térmica do sistema construtivo (GTT) | ↓ |
| | | | Grau de transmissão de ondas sonoras do sistema construtivo (GTS) | ↓ |
| | | | Comportamento mecânico do sistema construtivo aos esforços de: compressão, tração e abrasão (CM) | ↑ |
| | | | Durabilidade prevista para o sistema construtivo (DR) | ↑ |
| | TIII | Confiabilidade técnica | Acompanhamento de profissionais habilitados durante as fases de produção e aplicação do sistema construtivo (AP) | ↑ |
| | TIV | Facilidade de estocagem e transporte | Grau de perecibilidade dos elementos que compõem o sistema construtivo (PER) | ↓ |
| | | | Facilidade de estocagem dos elementos que compõem o sistema construtivo (EST) | ↑ |
| | | | Facilidade de transporte dos elementos que compõem o sistema construtivo (TRA) | ↑ |

Fonte: Autor

Quadro 6.1 - Descrição de indicadores a serem avaliados pela MATSUS-HR

| | | | | (Conclusão) |
|-------------------------------|----|---------------------------------------|--|------------------|
| Dimensão | ID | Categoria | Indicador | Direção desejada |
| Dimensão Técnica e desempenho | TV | Facilidade de manutenções/ ampliações | Facilidade da realização de manutenções periódicas no sistema construtivo (FM) | ↑ |
| | | | Facilidade de realizar reparos no sistema construtivo (FR) | ↑ |
| | | | Padronização na replicação do sistema construtivo (FRP) | ↑ |
| | | | Versatilidade da aplicação e uso do sistema construtivo (VER) | ↑ |

Fonte: Autor

Foram ouvidos 12 especialistas em 2 fases, a primeira com a aplicação de questionário e a segunda para discussão dos resultados encontrados (os resultados da aplicação inicial podem ser verificados nos apêndices deste trabalho).

Para a dimensão ecológica e ambiental as categorias AI, AII, AIII e AIV foram mantidas, sendo, por sugestão dos pesquisadores, a categoria AV agregada à categoria TII reciclagem e reuso da dimensão técnica. Essa alteração simplifica a inserção de dados e, como já discutido, por apresentar regiões de intersecção de conjuntos (dimensões de sustentabilidade), os indicadores apresentam caráter transdimensional, podendo ser enxergados ora como uma dimensão, ora como outra, não afetando o sistema de aferição de desempenho dos sistemas construtivos proposto.

Outra alteração prevista para a dimensão ambiental, refere-se à dimensão de geração de resíduos sólidos (AII), seguindo o mesmo princípio de simplicidade e comparabilidade dos resultados aferidos, esta consolidou-se seguindo a estrutura presente nas Declarações Ambientais de Produto (DAPs) - *Environmental Product Declarations (EPD's)* - sendo composta pelos indicadores: geração de resíduos perigosos, geração de resíduos radioativos e geração de resíduos não perigosos.

Na dimensão Sócio, histórica e cultural, a categoria SI foi complementada pela inserção de mais um indicador (fomento/apoio a instituições que promovem a sustentabilidade da construção civil) que visa incentivar o consumo de materiais e

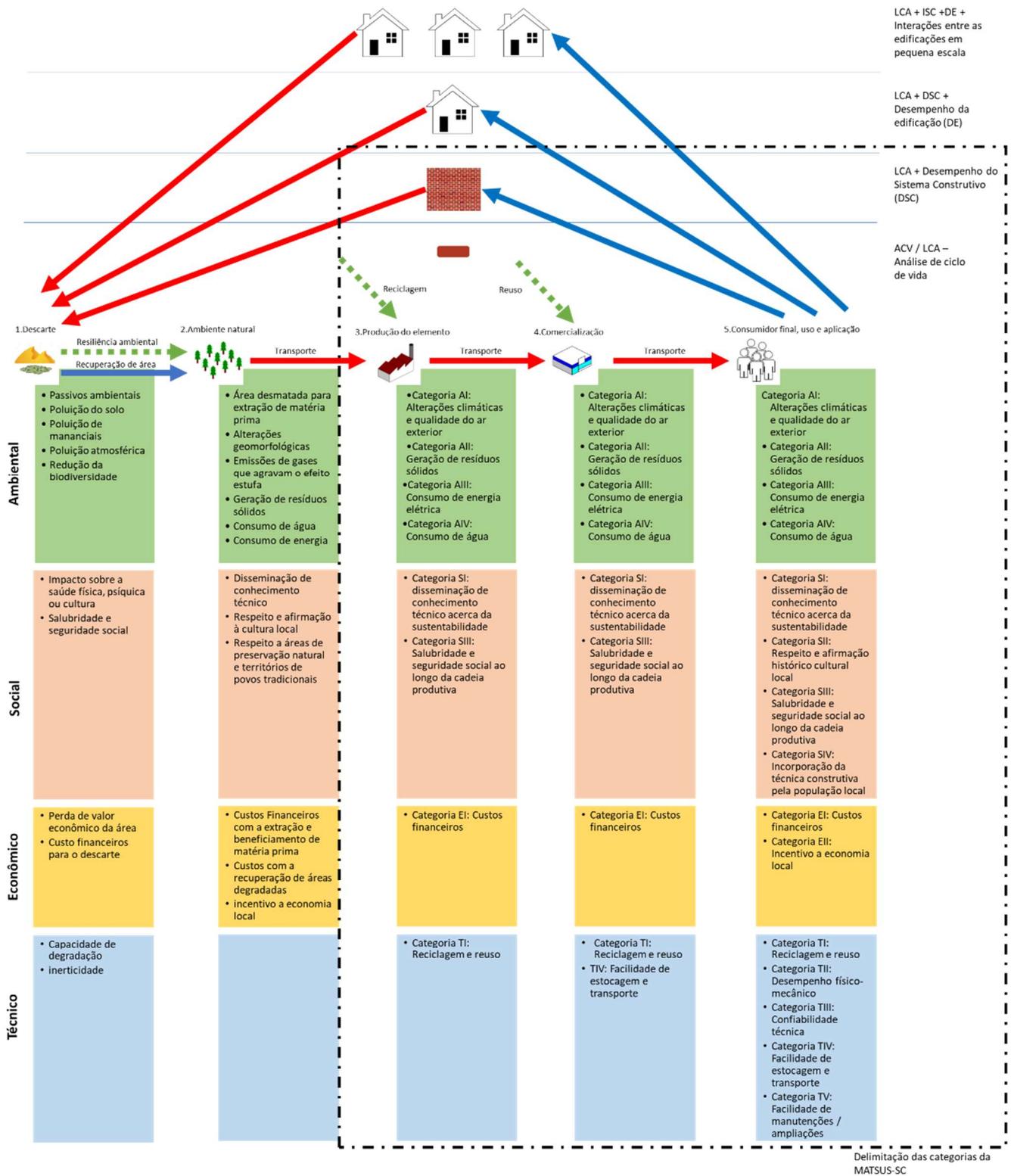
técnicas que promovem ações para o aumento da sustentabilidade ao longo da sua cadeia produtiva. A categoria SII foi reformulada, passando a ter um caráter mais voltado a avaliação de materiais aplicados no sistema construtivo, a categoria SIII foi mantida com os seus indicadores iniciais e na categoria SIV foi excluído o indicador “contribuição para o aumento do conforto/ saúde dos usuários” por apresentar um grau de subjetividade elevado e, para a análise de sistemas construtivos, este não seria capaz de traduzir a contribuição do objeto analisado. Em contrapartida, a essa categoria foram adicionados dois outros indicadores que traduzem melhor o direcionamento proposto para e ela.

A consolidação dos indicadores para a dimensão econômica e financeira passou pela exclusão do indicador “custos previstos durante a fase de uso do elemento”, já que a MATSUS-HR possui raio de abrangência focado nas fase de fabricação e aplicação do sistema construtivo e, ainda, as previsões para os custos das outras fases possuem grande variabilidades probabilísticas (BUENO et al., 2015).

A última alteração feita foi a exclusão do comportamento dos sistemas construtivos em situações de incêndio, pois, apesar de o tema ser de relevância, haja visto a grande suscetibilidade da ocorrência de incêndios em meios rurais, a falta de dados e ensaios com materiais e sistemas construtivos, torna a aferição deste indicador bastante difícil, tornando-o pouco aferível e, conseqüentemente, irrelevante para a comparação de soluções construtivas. Porém, com a evolução das pesquisas e geração de banco de dados acerca deste tema, é relevante a reinclusão do item no conjunto de indicadores considerados pela MATSUS-HR.

A partir da lista consolidada de indicadores, estes foram enquadrados em fases de abrangência do ciclo de vida dos elementos que constituem o sistema construtivo analisado dentro do enquadramento previsto para a metodologia e apresentado na figura 6.1.

Figura 6.1 Delimitação para as categorias consolidadas dentro das fases de ciclo de vida dos sistemas construtivos

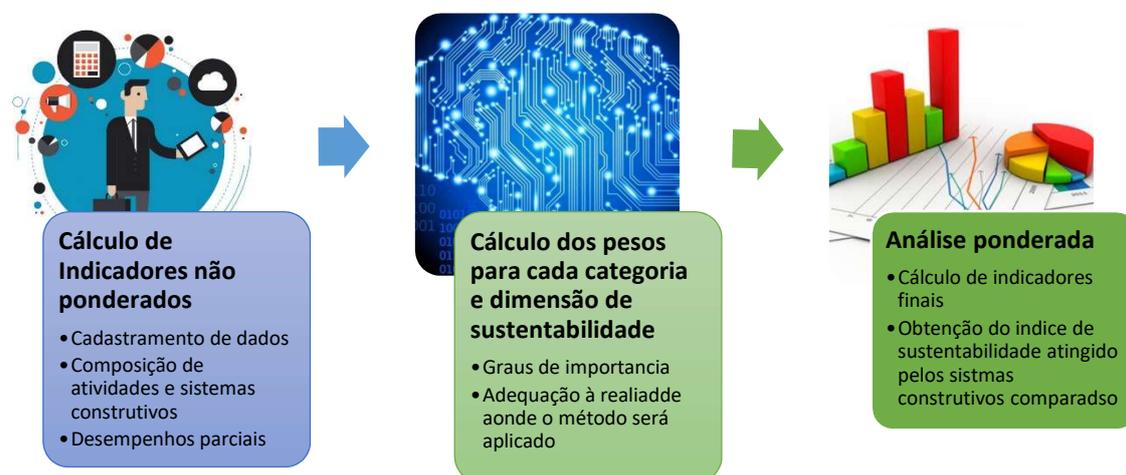


Fonte: Autor

6.4 Estrutura de funcionamento

A estrutura de funcionamento da MATSUS-HR foi desenvolvida para que o decisor possa realizar a análise de sistemas construtivos de maneira rápida, fácil e intuitiva, sendo dividida em três partes fundamentais: **Cálculo de Indicadores não ponderados** que, com base na discretização das atividades (compostas por materiais, equipamentos e mão de obra) compõe a produção e implementação de um sistema construtivo; **Cálculo dos pesos para cada categoria e dimensão de sustentabilidade**, sendo este procedimento realizado com base na realidade aonde será aplicado a solução construtiva avaliada; **Análise ponderada**, feita à partir da combinação dos indicadores calculados na parte um e os pesos da parte dois. Desta etapa resultará o índice de sustentabilidade global do sistema construtivo (“tamanho de copa”), quanto maior é a sua “copa” melhor é o seu desempenho sustentável, estruturada no capítulo 5 (figura 6.1).

Figura 6.2 – Estrutura lógica de funcionamento da ferramenta operacional da MATSUS-HR

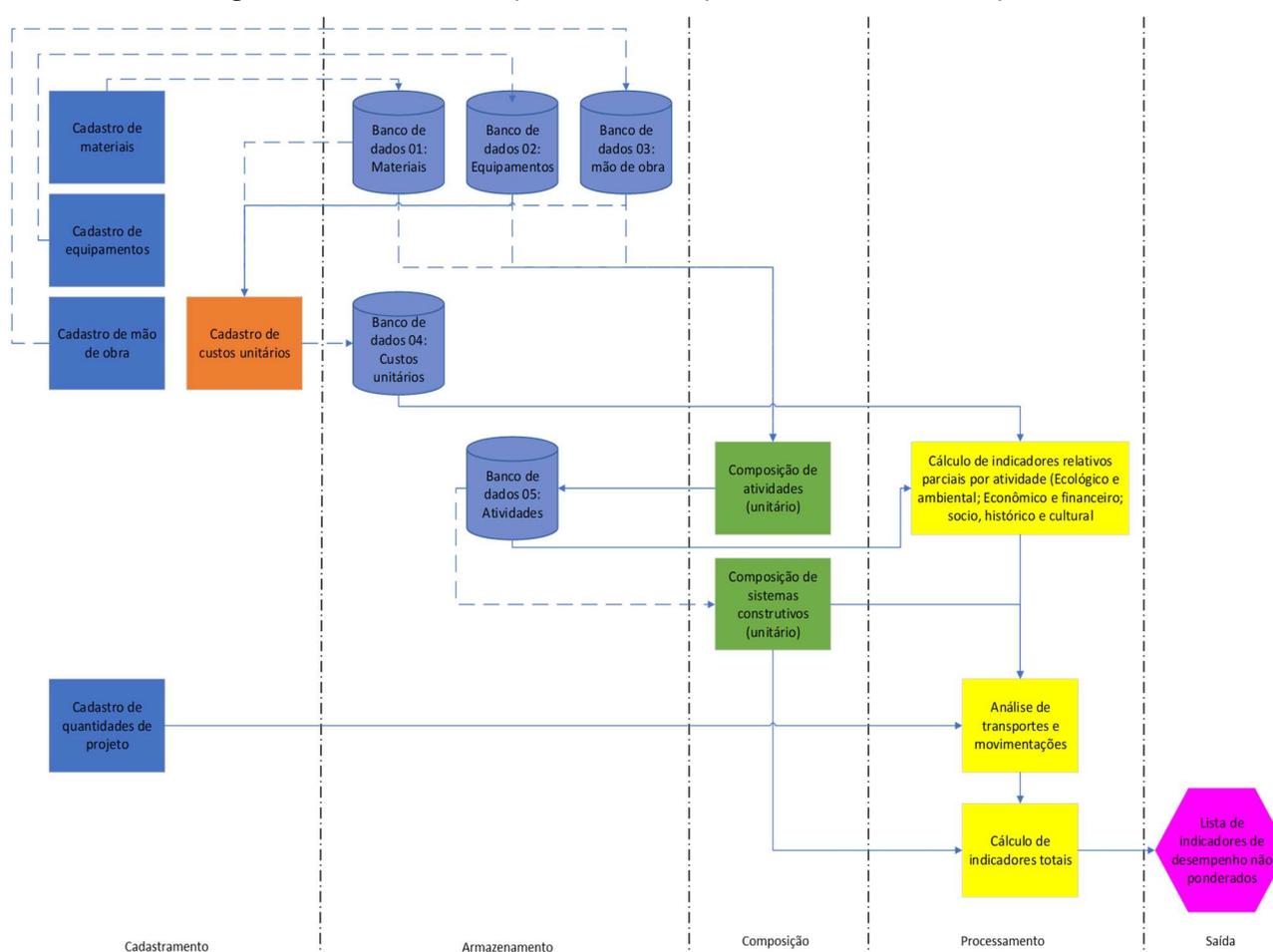


Fonte: Autor

6.5 Estrutura de processamento dos indicadores não ponderados

A estrutura para o cálculo dos indicadores, na fase que precede a consideração dos pesos atribuídos ou graus de importância que os ajustam à realidade onde serão empregados, é dividida em cinco partes: cadastramento, armazenamento, composição, processamento e saída (figura 6.3).

Figura 6.3 – Estrutura de processamento para os indicadores não ponderados



Fonte: Autor

A fase de cadastramento de dados é uma das principais fases para a realização das análises pela MATSUS-HR, pois se houver erros ou discrepâncias nessa etapa, os valores finais perdem sentido e base comparativa. É importante que as informações inseridas sejam passíveis de verificação e rastreamento (ISO, 2007; SILVA, 2003).

A estrutura de cadastramento de informações apresenta três grandes áreas, sendo a primeira caracterizada pela inserção de dados primários, formada pelas características dos insumos necessário para a construção de um sistema construtivo (materiais, mão de obra e equipamentos) – **dados primários**; a segunda, relacionada às características das atividades e sistemas construtivos, resultante da composição dos dados primários (**dados elaborados**) e a terceira, que reúne as informações acerca do projeto e o seu local de implantação (nesta etapa são analisados também os impactos gerados pelos transportes e movimentações de equipamentos e materiais) – **dados locais**.

Quanto maior é a base de dados cadastradas, maior será a possibilidade de se compor diferentes atividades e, por consequência, maiores serão as opções para se constituir a descrição de sistemas construtivos (tradicionais, alternativo ou não-convencionais).

6.5.1 Cadastramento e armazenamento de dados primários

A estrutura de aquisição de dados primários foi estruturada a partir das etapas de formação de banco de dados a seguir:

- **Cadastro de materiais:** nesta etapa são inseridas as informações referentes ao impacto ambiental do material, segundo a dimensão Ecológica e ambiental, como discutido na seção sobre o enquadramento e abrangência de avaliação da ferramenta, para os materiais, partes discretizadas de um sistema construtivo, os seus impactos são avaliados entre as fases “da produção à porta” (impactos inseridos nesta fase), transporte e aplicação;
- **Cadastro de mão de obra:** todas as funções necessárias para se realizar as atividades produtivas ao longo da produção de um sistema construtivo são cadastradas no banco de dados da metodologia, atividades realizadas por voluntários também devem ser inseridas para que na fase de composição de atividades estas sejam explicitadas;

- **Cadastro de equipamentos:** as informações referentes ao desempenho dos equipamentos são cadastradas para que nas fases de composição de atividades e análise de transportes estes possam ser agregados aos impactos gerais do sistema construtivo;

Para realizar a etapa de cadastramento, o usuário deve, na tela principal selecionar a opção referente ao tipo de operação que deseja realizar. O conjunto de opções referentes à inserção de dados primários encontra-se no canto superior esquerdo da tela principal (figura 6.4). A partir das figuras 6.5 a 6.10 são apresentados os formulários de entrada ou cadastramento de insumos nos bancos de dados da MATSUS-HR.

Figura 6.4 Acesso ao cadastramento de dados primários na janela principal da ferramenta MATSUS-HR



Fonte: Autor

Ao clicar o botão “Cadastro de materiais” o usuário é direcionado a seção de entrada de dados referentes aos materiais construtivos. A primeira janela para cadastramento de um novo material é composta por elementos de identificação do objeto, tais como, nome, tipo e fornecedor, sendo facultado ao usuário a inserção de informações relativas à fonte de dados utilizada para a mensuração dos impactos gerados pelo material ao longo do seu ciclo de vida (figura 6.5).

Figura 6.5 Janela de cadastramento de materiais – parte 1

Fonte: Autor

O cadastramento dos materiais deve, preferencialmente, possuir relação com o utilizados na etapa de composição de atividades, portanto, recomenda-se, para uma mesma base de dados cadastrar os insumos pertencentes a uma mesma fonte de dados, tais como os presentes na Tabela de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO¹⁴) e Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI¹⁵). Para a aquisição dos dados referentes às categorias de impacto ambiental, recomenda-se dar preferência às declarações ambientais de produto (EPD) por meio da consulta às bases nacionais e/ou internacionais, nesta ordem de relevância. Em casos aonde não há EPD cadastrada para o produto, deve-se dar preferência a trabalhos acadêmicos que realizaram estudos acerca da análise de ciclo de vida para insumo cadastrado nas fases objeto de análise da MATSUS-HR.

¹⁴ Publicação de ampla utilização na construção civil para a composição de serviços e orçamentos. Distribuída pela editora PINI.

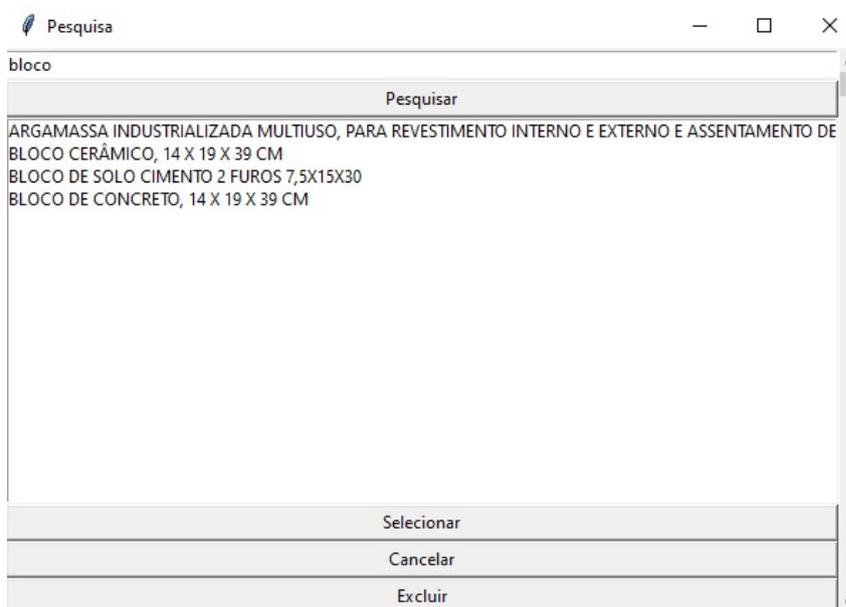
¹⁵ Base de dados atualizada anualmente pela Caixa Econômica federal para todas as regiões do Brasil, disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>.

Nesta etapa é fundamental dar especial atenção às unidades básicas de análise para cada insumo cadastrado, pois estes devem relacionar-se com a composição de atividades feita na próxima etapa.

Na parte inferior desta janela há três botões que dão a opção de se voltar a janela inicial (“voltar”), pesquisar por materiais construtivos já incluídos nos bancos de dados da plataforma (“pesquisar”) ou a opção de prosseguir com o cadastramento (“Seguinte”). Acima dos botões há ainda um quadro de aviso que informa ao usuário incoerências no preenchimento, ausência de dados ou o sucesso da operação solicitada, no caso de “erros” um texto com a cor vermelha é explicitado nesta região, paralisando o prosseguimento do fluxo do processo.

A opção “pesquisar”, está presente em todas as etapas relacionadas com o cadastramento dentro da plataforma, possibilitando ao usuário a utilização de um dado já cadastrado nas bases de dados da ferramenta, podendo ainda, alterar as informações já cadastradas, ou ainda, excluí-las (figura 6.6).

Figura 6.6 - Janela de pesquisa de dados já cadastrados



Fonte: Autor

Ao prosseguir com o cadastramento o usuário é encaminhado a janela de cadastro das informações referentes aos impactos ambientais gerados ao longo do ciclo de vida do material (figura 6.7). A estrutura proposta segue o formato proposto

pela Associação Brasileira de normas técnicas por meio da norma “Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura” (ABNT, 2014).

Figura 6.7 - Janela de cadastramento de materiais – parte 2

The screenshot shows a web-based form titled 'Cadastro de materiais' with a sub-section 'Ambiental'. The form contains several input fields with numerical values in scientific notation. At the bottom, there are three buttons: 'Voltar', 'Cadastrar', and 'Novo'. A red warning message is displayed above the buttons.

| Category | Field Label | Value | Unit |
|--------------------|--|-----------------|--------------|
| Emissões | Emissão de gases que agravam efeito estufa | 7.89e-01 | kg CO2- eq |
| | Emissão de gases que degradam a camada de ozônio | 0.00e+00 | kg CFC11- eq |
| | Emissão de gases relacionados à formação de chuva ácida | 1.70e-03 | kg SO2- eq |
| | Emissão de gases tóxicos/ patogênicos | 2.00e-04 | kg PO4 3- eq |
| | Emissões de gases que contribuem para o processo de eutrofização | 1.00e-04 | kg C2H4- eq |
| Resíduos sólidos | Quantidade de Resíduos Perigosos | 2.39e-07 | kg |
| | Quantidade de Resíduos radioativos | 0.00e+00 | kg |
| | Quantidade gerada de resíduos não perigosos | 1.68e-04 | kg |
| Consumo de energia | Quantidade total de energia primária não renovável empregada | 1.91e+00 | MJ |
| | Quantidade total de energia primária renovável empregada | 6.11e-01 | MJ |
| Consumo de água | Quantidade de água proveniente da rede de abastecimento | 5.50e-03 | m³ |
| | Quantidade de água reutilizada, a partir de fonte alternativa | "teste de erro" | m³ |

*Aviso: Os campos acima só aceitam números!

Voltar
Cadastrar
Novo

Fonte: Autor

Nos campos de cadastramento são permitidos apenas valores numéricos e, para facilitar a inserção de dados, foi adotado a máscara “científica” que utiliza os valores escritos em valores inteiros multiplicados por potencias na base dez, formato também utilizado nas EPD’s.

O cadastramento das informações referentes aos equipamentos segue a mesma lógica de inserção de dados utilizada para os materiais, porém, nesta fase há a opção de informar se o presente equipamento é empregado para o transporte de materiais, esta opção foi inserida, pois, os impactos destes serão armazenados em banco de dados específico, com metodologia própria para o cálculo dos indicadores finais (figuras 6.8 e 6.9).

Figura 6.8 - Janela de cadastramento de equipamentos – parte 1

Cadastro de equipamentos

Nome do equipamento

Fonte de energia

Peso kg

Porte

Consumo de água m³/h

Consumo Medio Diesel L/h

Consumo médio de energia KWh

Marque a caixa de seleção se o equipamento a ser cadastrado for um meio de transporte

***Aviso: o preenchimento do campo 'nome do equipamento' é obrigatório!**

Pesquisar

Voltar

Seguinte

Fonte: Autor

Figura 6.9 - Janela de cadastramento de equipamentos – parte 2

Cadastro de Equipamentos Ambiental

Emissões

Emissão de gases que agravam efeito estufa kg CO2- eq

Emissão de gases que degradam a camada de ozônio kg CFC11-eq

Emissão de gases relacionados à formação de chuva ácida kg SO2-eq

Emissão de gases tóxicos/ patogênicos kg PO4 3- eq

Emissões de gases que contribuem para o processo de eutrofização kg C2H4- eq

Resíduos sólidos

Quantidade de Resíduos Perigosos kg

Quantidade de Resíduos radioativos kg

Quantidade gerada de resíduos não perigosos kg

Consumo de energia

Quantidade total de energia primária não renovável empregada MJ

Quantidade total de energia primária renovável empregada MJ

Consumo de água

Quantidade de água proveniente da rede de abastecimento m³

Quantidade de água reutilizada, a partir de fonte alternativa m³

***Aviso: Os campos acima só aceitam números!**

Fonte: Autor

O último item que pode ser inserido nesta seção é referente à mão de obra, ao acionar esta opção o usuário é direcionado à janela de inserção de dados referentes ao profissional responsável por realizar determinada atividade (figura 6.10). Nesta seção são cadastrados o nome da função exercida e o grau de escolaridade vinculado aos profissionais serem cadastrados, esta informação dará origem ao grau de especialização técnicas dos profissionais necessários para se implantar um determinado sistema construtivo.

Figura 6.10 - Janela de cadastramento de mão de obra

Cadastro mão de obra

Cadastro de mão de obra

Função

Nível de formação mínima

*Aviso: É necessário preencher o campo função!

Pesquisar

Voltar

Cadastrar

Fonte: Autor

6.5.2 Composição de indicadores relativos parciais por atividade

Para a constituição de um banco de dados referentes às categorias de impacto, a MATSUS-HR é baseada na agregação destas em subpartes de menor hierarquia, ou seja, a avaliação o desempenho sustentável de uma sistema construtivo é composta pela agregação das demais subpartes que compõem estes sistemas, ou ainda, às suas atividades, que por sua vez são compostas por insumos tais como materiais, mão de obra e equipamentos.

6.5.2.1 Cadastro de custos unitários

A partir da etapa de cadastramento de dados primários, a primeira etapa de inserção de dados complementares sobre informações já cadastradas e, portanto, presentes nos bancos de dados da MATSUS-HR é a precificação destes insumos por meio do cadastramento de custos unitários. São cadastradas informações, categorizadas por localidade, referentes aos valores unitários praticados para cada insumo. Sendo aconselhável que, para o cadastramento de custos unitários, a utilização de bases de dados amplamente conhecidas e utilizadas para que possam ser feitas comparação entre diferentes localidades, para tanto, no Brasil, se dá

preferência ao uso da tabela SINAPI, já que esta apresenta grande relevância no setor construtivo. Para os produtos que não constam na base de dados recomendada, o valor médio unitário pode ser composto pela média aritmética de três cotações feitas para a região estudada (figura 6.11);

Figura 6.11 - Janela de cadastramento de custos unitários

Cadastro mão de obra

Cadastro de custo unitário

Local: MS

Classe: Material

Material: Cimento - CP II E 40

Valor unitário (RS/Unidade): 0.5

Unidade: KG

Data cotação: "teste de erro"

***Aviso: Data da cotação inválida!**

Pesquisar

Cadastrar

Novo

Voltar

Fonte: Autor

Todas as caixas de seleção, apresentam item já cadastrados nas janelas anteriores, sendo criado um vínculo entre as alternativas, ou seja, quando se seleciona a classe “material” a caixa de seleção traz todas as opções de materiais já cadastrados, se a classe for “equipamentos” todos os equipamentos cadastrados e não selecionados com meios de transporte são visualizados e servirão de opção ao usuário, o mesmo ocorre para a classe “mão de obra”. É necessário ainda inserir informações quanto ao estado e a data da cotação.

Nesta janela se é possível, ainda, pesquisar itens já cadastrados, com já visto por meio da figura 6.6 e, para dinamizar o processo, na mesma janela é possível inserir vários dados sem a necessidade de se voltar ao menu inicial, apenas acessando o botão “novo”.

6.5.2.2 Cadastramento de dados por atividade

O cadastramento de uma ou mais atividades é feito por meio da inserção de características relativas à cada subprocesso intrínseco à realização de cada atividade, sendo consideradas nesta fase as quantidades de insumos previstas para cada unidade de análise. Deste modo, uma atividade é obtida a partir desmembramento de um sistema construtivo em partes menores, sendo que, para diferentes sistemas construtivos pode haver atividades semelhantes a serem realizadas, tais como a produção de argamassa de assentamento, quando está se analisando a produção de paredes por meio dos sistemas construtivos de blocos cerâmicos e de concreto.

Para a quantificação destes valores relativos, recomenda-se a aquisição de dados seja feita a partir de outros bancos de dados que versam sobre os rendimentos/quantidades de cada insumo e mão de obra utilizados. Essa consideração é relevante para que os dados possuam comparabilidade, rastreabilidade e confiabilidade técnica.

Exemplificando-se, para realização da atividade de produção de argamassa mista de cimento e cal, com mistura mecanizada, são necessários os materiais: aglomerante (cimento), adição (cal hidratada), agregado miúdo (areia lavada) e água (do abastecimento público; mão de obra: pedreiros e serventes e a utilização de equipamento: betoneira. A estrutura de composição de atividades segue a estrutura apresentada na figura 6.12.

Figura 6.12 - Janela de composição de atividades

Cadastro de Atividade

Nome da Atividade

Encargos Sociais incidentes

Grau de Salubridade

Grau de Segurança

Mão de Obra

| Código | Mão de Obra | Unidade | Quantidade |
|--------|------------------|---------|------------|
| 6 | Engenheiro Civil | HH | 8 |

Material

| Código | Material | Unidade | Quantidade |
|--------|----------|---------|------------|
|--------|----------|---------|------------|

Equipamento

| Código | Equipamento | Unidade | Quantidade |
|--------|-------------|---------|------------|
|--------|-------------|---------|------------|

*Aviso: O preenchimento do campo 'atividade' é obrigatório

Fonte: Autor

Inicialmente o usuário deverá inserir o nome da atividade que deseja cadastrar, sendo facultado a seleção de atividades já cadastradas nos bancos de dados da ferramenta por meio do botão “pesquisar”.

Em seguida o usuários poderá inserir o percentual relativo que incide sobre a atividade a ser cadastrada (este valor pode ser adotado por meio da consulta a tabela SINAPI, para a região aonde se deseja estudar, esta opção não deverá ser usada se, no cadastramento de insumos o usuário optou por considerar valores com oneração).

Outro parâmetro importante para se avaliar o grau de impacto construção das subpartes de uma edificação é a análise das condições de serviço propostas em cada atividade. A MATSUS-HR propõe que, para cada atividade cadastrada, seja feita uma avaliação das condições de trabalho por localidade. Entende-se que uma mesma atividade pode ser considerada insalubre ou utilizar mão de obra não formalizada em diferentes regiões. Portanto, as características atribuídas às atividades, vinculadas a um sistema construtivo, possuem vinculação com a análise de determinado projeto em uma determinada localidade, sendo que para cada localidade analisada deverão ser feitas considerações específicas, conforme a graduação qualitativa descrita por meio do quadro 6.2. Sendo os itens salubridade e seguridade vinculados a uma determinada atividade são necessários para se mensurar o impacto social gerado pela execução desta ao longo do processo construtivo de um sistema.

Quadro 6.2 - Detalhamento de informações Econômicas e financeiras e Sócio, histórica e culturais” para os sistemas construtivo – Categoria SIII

| Grau de salubridade | | |
|----------------------------------|--|---|
| Objetivo | Avaliar o grau de salubridade das atividades necessárias para a implementação do sistema construtivo | |
| Método de avaliação | Avaliação dos processos necessários para a produção da técnica construtiva por meio das orientações estabelecidas pela NR-15 | |
| Pontuação atribuída | 1 | Atividade com grau alto de insalubridade, conforme a NR-15 |
| | 2 | Atividade com grau médio de insalubridade, conforme a NR-15 |
| | 3 | Atividade com grau baixo de insalubridade, conforme a NR-15 |
| | 5 | Atividade Salubre |
| Grau de seguridade social | | |
| Objetivo | Garantir que as atividades realizadas sejam feitas com mão de obra assegurada | |
| Método de avaliação | Avaliação dos processos necessários para a produção da técnica construtiva | |
| Pontuação atribuída | 1 | Utilização de mão de obra não formal |
| | 5 | Utilização de mão de obra formal |

Fonte: Autor

As quantidades relativas, editadas para cada classe, por meio dos botões “novo”, “editar” e “excluir”, referem-se ao valor unitário básico para a quantificação da referida atividade, ainda seguindo a exemplificação dada para a atividade de produção de uma

“argamassa mista de cimento e cal com mistura mecanização”, a unidade básica para a quantificação de rendimento para a atividade é “quantidade em m³ de argamassa/unidade de sistema construtivo”. Ou seja, para se construir uma unidade relativa de sistema construtivo são necessários “x” m³ da atividade, assim sendo, para a composição da atividade (1m³ - unidade básica de quantificação para a atividade exemplo) é feita a quantificação dos insumos necessários para se produzir 1m³ de atividade e que nesse caso, tem-se 1m³ de argamassa.

O quadro de aviso informa ao usuário quais são os itens obrigatórios para se realizar o cadastro pretendido e, quanto esta for feita de maneira correta, de acordo com o protocolo de entrada previstos para a ferramenta, é informado, por meio da frase “atividade cadastrada com sucesso”, o final do processo.

6.5.2.3 Processamento de dados primários para a composição de valores relativos por atividade

O processamento de dados primários para a composição de indicadores relativos às atividades está voltado para as dimensões “ecológico e ambiental” e “financeiro e econômica”. Porém, como será descrito na seção referente a análise de projetos, a realização de determinada atividade em um determinado contexto possui graus diferentes de impactos sociais.

Para o cálculo dos indicadores da dimensão ambiental, a MATSUS-HR considera que para a fase “do berço ao canteiro de obras” os impactos mais relevantes, relativos à atividade, são os gerados pela “produção de materiais” e as “movimentações e transporte” (a quantificação dos impactos gerados pelo transporte de materiais e máquinas serão discutidos mais a frente). Desta maneira, para se mensurar os impactos característicos de cada atividade, os valores específicos de impacto por material e equipamentos são relacionados à quantidade utilizada na atividade, sendo estes agregados, conforme demonstra a equação 6.1.

$$I1(i) = Q(mi) * I(m)$$

Equação 6.1

Onde:

$I1(i)$ representa o valor do indicador relativo à atividade i , para a fase “do berço ao canteiro de obras” (os valores assumidos por $I(i)$ podem ser: GWP, ODP, AP, EP, POCP, RP, RR, RNP, ENR, ER, AA e AR);

$Q.(mi)$ representa a quantidade de material m cadastrado na composição unitária da atividade i ;

$I(m)$ representa o valor cadastrado para o indicador analisado, referente ao material m , cadastrado na fase primária de dados (os valores atribuídos a esta variável são os mesmo de $I(i)$ porem em um grau de hierarquia menor, relativos aos materiais).

Para a agregação dos impactos relativos totais dos materiais para a atividade analisada são somados todos os valores relativos por materiais, consideradas as suas respectivas quantidades (equação 6.2).

$$I(mat)i = \sum_0^m I1(m)$$

Equação 6.2

Onde:

$I(mat)i$ representa o valor total agregado para os impactos dos materiais m , necessários para a realização da atividade i , em valores relativos;

$I1(m)$ é o resultado da equação 6.1 para os diversos indicadores avaliados.

Na fase de aplicação, a metodologia considera que os principais impactos ambientais são gerados pelo uso de equipamentos para a realização das atividades e, portanto, para se quantificar os impactos relativos por atividade, nesta fase, de maneira análoga ao considerado para a quantificação dos impactos gerados pela produção dos materiais e o seu respectivo valor final, a agregação dos valores para a composição dos indicadores relativos por atividade é feita conforme a equação 6.3 e 6.4 .

$$I2(i) = Q(ei) * I(e)$$

Equação 6.3

Onde:

$I(i)$ representa o valor do indicador relativo à atividade i para a fase “aplicação no canteiro de obras” (os valores assumidos por $I(i)$ podem ser: GWP, ODP, AP, EP, POCP, RP, RR, RNP, ENR, ER, AA e AR); $Q.(ei)$ representa a quantidade de uso do equipamento e , cadastrado na composição unitária da atividade i ;

$I(e)$ representa o valor cadastrado para o indicador analisado, referente ao equipamento e , cadastrado na fase primária de dados (os valores atribuídos a esta variável são os mesmo de $I(i)$ porem em um grau de hierarquia menor, relativos aos equipamentos).

$$I(eq)i = \sum_0^e I2(e)$$

Equação 6.4

Onde:

$I(eq)i$ representa o valor total agregado para os impactos dos equipamentos e , necessários para a realização da atividade i , em valores relativos;

$I2(e)$ é o resultado da equação 6.3 para os diversos indicadores avaliados.

O valor final agregado para a atividade, para os indicadores da dimensão ecológica e ambiental, é atribuído a partir da agregação dos impactos gerados pelos materiais empregados para a realização da atividade (em quantidade unitária) com os impactos gerados pelo o uso de equipamentos para se realizar a ação proposta, conforme a equação 6.5.

$$I(final)i = I(mat)i + I(eq)i$$

Equação 6.5

Onde:

$I(final)i$ representa os valores alcançados para cada indicador I para uma determinada atividade i ;

$I(mat)i$ e $I(eq)i$ são os valores obtidos através das equações 6.3 e 6.4 respectivamente.

O processamento detalhado dos dados relativos aos cálculos relacionados com os impactos ambientais, agrupados na dimensão “Ecológica e ambiental” e “Econômica e financeira” são descritos por meio de tabelas no apêndice A (Estrutura usada para a formulação da versão da MATSUS-HR em Excel). As quantidades cadastradas para cada insumo inseridos na fase de composição de atividades, são agregadas a partir do cadastro de insumos feitos na fase de cadastramento de insumos – dados primários. Para efeito de controle e visualização das fases de agregação, é possível fazer a visualização dos resultados obtidos para esta etapa por meio do botão “indicadores ambientais” dentro caixa “indicadores relativos parciais”, no menu inicial (figura 6.13).

Figura 6.13 - Janela de visualização de indicadores ecológicos e ambientais parciais por atividade

Calculos relativos para a dimensão Ambiental

MATSUS

Indicadores Ambientais

Avenaria de blocos cerâmicos 14x19x39cm

Materials

| Código | Nome | Unidade | Quantidade | GWP (unitário) | Sub. Total GWP | ODP (unitário) | Sub. Total |
|--------|-------------------------------------|---------|------------|----------------|----------------|----------------|------------|
| 4 | ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTIUSO, | KG | 21.0 | 1.42e-01 | 2.98e+00 | 9.66e-09 | |
| 5 | BLOCO CERÂMICO, 14 X 19 X 39 CM | UND | 13.0 | 1.72e+00 | 2.24e+01 | 1.83e-07 | |

Equipamentos

| Código | Nome | Unidade | Quantidade | GWP (unitário) | Sub. Total GWP | ODP (unitário) | Sub. Total |
|--------|--|---------|------------|----------------|----------------|----------------|------------|
| (+) | TOTALS por m ² fase (Aplicação) | | | GWP | 0.00e+00 | ODP | |

Totais

| Código | Nome | Unidade | Quantidade | GWP (unitário) | Sub. Total GWP | ODP (unitário) | Sub. Total |
|--------|--|---------|------------|----------------|----------------|----------------|------------|
| (+) | TOTALS por m ² de sistema Construtivo | | | GWP | 2.53e+01 | ODP | |

Pesquisar

Voltar

Fonte: Autor

Nesta janela (figura 6.13) não é possível fazer alterações nos valores, apenas é destinada a pesquisar as atividades cadastradas e os valores parciais obtidos para esta dimensão.

Para a dimensão Econômica e financeira, os valores referentes aos custos de aquisição de materiais construtivos e a utilização de equipamentos na fase de aplicação são quantificados, dando origem ao valor unitário para a execução da atividade composta, conforme demonstrado por meio figura 6.14. Sendo que os insumos relacionados, assim como as suas respectivas quantidades e unidades são oriundos da composição das atividades e, os valores unitários de seus custos são importados do banco de dados primários, onde eles foram cadastrados.

Para a composição de custos com mão de obra, são considerados os valores adicionais com encargos sociais, sendo que, para cada localidade a carga tributável é variável. Recomenda-se a utilização dos percentuais previstos pela tabela SINAPI, veiculada mensalmente para todos os estados da federação.

Figura 6.14 - Janela de visualização de indicadores econômicos e financeiros parciais por atividade

Calculos relativos para a dimensão econômica

 **Indicadores Economicos** Alvenaria de blocos cerâmicos 14x19x39cm

Estado para a composição de preços **MS**

Materiais

| Código | Nome | Unidade | Quantidade | Custo Unitário | Custo Relativo |
|--------|-------------------------------------|---------|------------|----------------|----------------|
| 4 | ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTIUSO, | KG | 21.0 | R\$ 0.41 | R\$ 8.61 |
| 5 | BLOCO CERÂMICO, 14 X 19 X 39 CM | UND | 13.0 | R\$ 1.89 | R\$ 24.57 |

Equipamentos

| Código | Nome | Unidade | Quantidade | Custo Unitário | Custo Relativo |
|--------|-------|---------|------------|----------------|----------------|
| (+) | TOTAL | | | | R\$ 0.0 |

Mão de Obra

| Código | Nome | Unidade | Quantidade | Custo Unitário | Custo Relativo |
|--------|----------|---------|------------|----------------|----------------|
| 14 | Pedreiro | HH | 0.7 | R\$ 20.63 | R\$ 14.44 |
| 16 | Servente | HH | 0.7 | R\$ 14.03 | R\$ 9.82 |

Totais

| Código | Nome | Unidade | Quantidade | Custo Unitário | Custo Relativo |
|--------|--|---------|------------|----------------|----------------|
| (+) | Total com Encargos Sociais | | 119.98% | | R\$ 29.11 |
| (+) | TOTAIS por m ² fase (Aplicação) | | | | R\$ 29.11 |
| (+) | TOTAIS por m ² da Atividade | | | | R\$ 62.29 |

Pesquisar

Voltar

Fonte: Autor

6.5.3 Composição e processamento de indicadores relativos parciais por sistema construtivo

A composição do banco de dados para os sistemas construtivos, que será utilizado nas próximas fases para fins de comparação entre desempenhos sustentáveis, é baseada na composição do sistema por meio das atividades cadastradas. O processo de composição de um sistema construtivo, a partir das considerações da MATSUS-HR, é dividido em duas partes, o cadastro informações, em diferentes dimensões, por meio da atribuição valores qualitativos conforme discutido

nas seções 6.5.3.1 e 6.5.3.2 (intrínsecas ao sistema construtivo inseridos em uma determinada localidade) e o cálculo de dados secundários, à partir das atividades a ele atribuídas. Esta fase dá início à fase “caule”, onde os dados primários da fase “solo” são processados e particularizados para cada “árvore”, que representa a composição de desempenho de cada sistema construtivo analisado.

6.5.3.1 Os sistemas construtivos e as características locais

A descrição do relacionamento entre o desempenho das soluções construtivas com as condições locais é de vital importância para a proposta de análise da MATSUS-HR, pois com base nessas informações é que serão estabelecidos os indicadores que vinculam desempenho técnico, econômico e ambiental com o desenvolvimento local e vinculação sociocultural das comunidades.

O cadastramento destas informações é feito por meio da atribuição de valores para cada parâmetro por meio das janelas reproduzidas nas figuras 6.15 e 6.16. Primeiramente o usuário deve pesquisar um sistema construtivo já inserido nas bases da ferramenta, por meio dos passos anteriores. Ao selecionar a alternativa desejada este deve, para cada parâmetro, indicar o valor a ser considerado para aquela solução construtiva analisada.

Os parâmetros locais são atribuídos de forma quali-quantitativa e, a exemplo dos indicadores da dimensão técnica e desempenho, serão atribuídos patamares de desempenho, conforme demonstrado pelo quadro 6.3.

Figura 6.15 - Janela de cadastramento de informações Econômicas e financeiras para os sistemas construtivo – Categoria EII

| Indicadores econômicos | Valor |
|--|-------|
| Economico | |
| Insentivo a economia local | |
| Aquisição de matéria-prima próxima ao local de sua aplicação | 0.0 |
| Contratação de mão de obra local | 0.0 |

*Aviso: O campo 'sistema construtivo' é obrigatório

Pesquisar
Seguinte
Voltar

Fonte: Autor

Figura 6.16 - Janela de cadastramento de informações Sócio, histórica e culturais para os sistemas construtivo – Categoria SI, SII e SIV

| Indicadores Sociais | Valor |
|---|-------|
| Social - avaliação para a aplicação do sistema construtivo | |
| Disseminação de conhecimento técnico acerca da sustentabilidade | |
| Grau de popularização dos conceitos de sustentabilidade ao longo da cadeia produtiva do sistema construtivo | 1.0 |
| Grau de Fomento/apoio a instituições que promovem a sustentabilidade da construção civil | 4.0 |
| Respeito e afirmação histórico e cultural local | |
| Grau de utilização de materiais culturalmente usados pela comunidade local | 3.0 |
| Incorporação da técnica construtiva pela população local | |
| Grau de contribuição do sistema construtivo na edificação | 4.0 |
| Grau de complexidade produtiva do sistema construtivo | 4.0 |
| Possibilidade de produção do sistema construtivo por meio de mutirões | 1.0 |

Seguinte
Voltar

Fonte: Autor

Quadro 6.3 - Detalhamento de parâmetros para indicadores locais

(Continua)

| Aquisição de matéria-prima próxima ao local de sua aplicação | | |
|---|--|--|
| Objetivo | Verificação do percentual de utilização de matéria-prima local | |
| Método de avaliação | Avaliação dos recursos financeiros investidos localmente pela aquisição de materiais locais | |
| Pontuação atribuída | 1 | Aquisição abaixo de 25% de matérias primas locais (comercialização num raio de até 50Km) |
| | 2 | Aquisição de no mínimo 25% de matérias primas locais (comercialização num raio de até 50Km) |
| | 3 | Aquisição de no mínimo 50% de matérias primas locais (comercialização num raio de até 50Km) |
| | 4 | Aquisição de no mínimo 75% de matérias primas locais (comercialização num raio de até 50Km) |
| | 5 | Aquisição de 100% de matérias primas locais |
| Contratação de mão de obra local | | |
| Objetivo | Priorizar a implantação de sistemas construtivos que utilizam mão de obra local | |
| Método de avaliação | Avaliação dos recursos financeiros investidos localmente pela contratação de mão de obra local | |
| Pontuação atribuída | 1 | Contratação abaixo de 25% de trabalhadores residentes localmente, com relação ao do orçamento total destinado a contratação de mão de obra |
| | 2 | Contratação acima de 25% de trabalhadores residentes localmente, com relação ao do orçamento total destinado a contratação de mão de obra |
| | 3 | Contratação acima de 50% de trabalhadores residentes localmente, com relação ao do orçamento total destinado a contratação de mão de obra |
| | 4 | Contratação acima de 75% de trabalhadores residentes localmente, com relação ao do orçamento total destinado a contratação de mão de obra |
| | 5 | Contratação de 100% de trabalhadores residentes localmente, com relação ao do orçamento total destinado a contratação de mão de obra |

Fonte: Autor

Quadro 6.3 - Detalhamento de parâmetros para indicadores locais

(Continua)

| Grau de popularização dos conceitos de sustentabilidade | | |
|---|--|--|
| Objetivo | Avaliar os sistemas construtivos que ao longo do seu processo de produção utilizam materiais que promovem ações sustentáveis | |
| Método de avaliação | Avaliação da cadeia produtiva do sistema construtivo | |
| Pontuação atribuída | 1 | Não adoção de práticas para a popularização dos conhecimentos acerca da sustentabilidade |
| | 3 | Veiculação de material técnico e instrutivo acerca da sustentabilidade construtiva |
| | 5 | Promoção de oficinas e palestras para a popularização de conhecimentos acerca da sustentabilidade construtiva por meio da aplicação do sistema construtivo |
| Grau de Fomento/apoio a instituições que promovem a sustentabilidade | | |
| Objetivo | Avaliar os sistemas construtivos que ao longo do seu processo de produção utilizam materiais que promovem ações sustentáveis | |
| Método de avaliação | Avaliação da cadeia produtiva do sistema construtivo | |
| Pontuação atribuída | 1 | Uso de materiais com desempenhos inferiores aos percentuais abaixo |
| | 2 | Uso de mais de 25% de materiais que possuem certificação sustentável ou são produzidos por empresas que apresentem processos certificados |
| | 3 | Uso de mais de 50% de materiais que possuem certificação sustentável ou são produzidos por empresas que apresentem processos certificados |
| Grau de Fomento/apoio a instituições que promovem a sustentabilidade | | |
| Pontuação atribuída | 4 | Uso de mais de 75% de materiais que possuem certificação sustentável ou são produzidos por empresas que apresentem processos certificados |
| | 5 | Uso de 100% de materiais que possuem certificação sustentável ou são produzidos por empresas que apresentem processos certificados |

Fonte: Autor

Quadro 6.3 - Detalhamento de parâmetros para indicadores locais**(Continua)**

| Grau de utilização de materiais culturalmente usados pela comunidade local | |
|---|--|
| Objetivo | Selecionar técnicas construtivas próximas às habitualmente utilizadas localmente |
| Método de avaliação | Avaliação das edificações previamente implantadas |
| Pontuação atribuída | 1 Técnica construtiva nova e com baixa aceitabilidade local |
| | 2 Técnica construtiva já utilizada localmente e com baixa aceitabilidade local |
| | 3 Técnica construtiva nova e com alta aceitabilidade local |
| | 4 Técnica construtiva tradicional e com alta aceitabilidade local |
| Grau de contribuição do sistema construtivo na edificação | |
| Objetivo | Mensurar a relevância do sistema construtivo para a edificação |
| Método de avaliação | Avaliação do projeto da edificação |
| Pontuação atribuída | 1 O sistema construtivo representa menos de 10% do volume da função total da estrutura analisada |
| | 2 O sistema construtivo representa menos de 25% do volume da função total da estrutura analisada |
| | 3 O sistema construtivo representa menos de 50% do volume da função total da estrutura analisada |
| | 4 O sistema construtivo representa menos de 75% do volume da função total da estrutura analisada |
| | 5 O sistema construtivo representa 100% do volume da função total da estrutura analisada |
| Grau de complexidade produtiva do sistema construtivo | |
| Objetivo | Selecionar técnicas com baixo nível de complexidade construtiva |
| Método de avaliação | Avaliação dos processos necessários para a produção da técnica construtiva |
| Pontuação atribuída | 1 Técnica construtiva envolvendo atividades com baixa complexidade |
| | 2 Técnica construtiva com 25% das atividades altamente especializadas |
| | 3 Técnica construtiva com 50% das atividades altamente especializadas |
| | 4 Técnica construtiva com 75% das atividades altamente especializadas |
| | 5 Técnica construtiva com 100% das atividades altamente especializadas |

Fonte: Autor

Quadro 6.3 - Detalhamento de parâmetros para indicadores locais

(Conclusão)

| Possibilidade de produção do sistema construtivo por meio de mutirões | | |
|--|--|--|
| Objetivo | Selecionar técnicas passíveis de autoconstrução | |
| Método de avaliação | Avaliação dos processos necessários para a produção da técnica construtiva | |
| Pontuação atribuída | 1 | Soluções construtiva que não podem ser edificadas por meio de mutirões |
| | 5 | Sistemas construtivos passíveis de autoconstrução |

Fonte: Autor

6.5.3.2 Cadastramento de dados relativo ao desempenho do sistema construtivo

O desempenho de um sistema construtivo é o resultado, além do comportamento de cada material construtivo que o compõe, das interações de suas subpartes. Para mensurar o desempenho técnico dos sistemas analisados, a MATSUS-HR prevê a atribuição de notas de desempenho para cada indicador considerado. Desta maneira, os dados atribuídos a uma solução construtiva nesta fase são relativos ao sistema, independentemente da localidade aonde este será implementado (figura 6.17).

Figura 6.17 - Janela de cadastramento de informações técnicas e de desempenho para os sistemas construtivo – Categorias TI a TV

Cadastro de Sistema Construtivo

MATSUS - ARQUITETURA URBANA

Cadastro de Sistema Construtivo

Parede de blocos ceramicos

| Indicadores Técnicos | Valor |
|---|-------|
| Aptidão a reciclagem ou ao reuso | |
| Parcela que pode ser reciclada do sistema construtivo após o seu desuso | 2.0 |
| Parcela que pode ser reaproveitada do sistema construtivo após o seu desuso | 2.0 |
| Desempenho Físico-mecânico | |
| Grau de estanqueidade do sistema construtivo | 2.0 |
| Grau de transmitância térmica do sistema construtivo | 2.0 |
| Grau de transmissão de ondas sonoras do sistema construtivo | 2.0 |
| Comportamento mecânico do sistema construtivo aos esforços de: compressão, tração e abrasão | 3.0 |
| Durabilidade prevista para o sistema construtivo | 3.0 |
| Confiabilidade técnica | |
| Acompanhamento de profissionais habilitados durante as fases de produção e aplicação do sistema construtivo | 4.0 |
| Facilidade de estocagem e transporte | |
| Grau de perecibilidade dos elementos que compõem o sistema construtivo | 1.0 |
| Facilidade de estocagem dos elementos que compõem o sistema construtivo | 3.0 |
| Facilidade de transporte dos elementos que compõem o sistema construtivo | 4.0 |
| Facilidade de manutenções/ ampliações | |
| Facilidade da realização de manutenções periódicas no sistema construtivo | 3.0 |
| Facilidade de realizar reparos no sistema construtivo | 3.0 |
| Padronização na replicação do sistema construtivo | 5.0 |

Parcela que pode ser reciclada do sistema construtivo após o seu desuso

Fonte: Autor

Os indicadores relativos a dimensão Técnica e desempenho são, em sua maioria, de caráter qualitativos e para a sua avaliação são propostos, assim como em outras metodologias (BELLEN, 2006) um sistema de atribuição de pontos a cada desempenho avaliado, conforme descrito a partir do quadro 6.4.

Quadro 6.4 - Detalhamento de indicadores técnicos e de desempenho

(Continua)

| Potencial de reciclagem | | |
|--------------------------------|---|--|
| Objetivo | Avaliar o potencial de reciclabilidade atribuído ao sistema construtivo. Soluções que utilizam materiais com maiores predisposições para processos de reprocessamento, ou os que incorporam materiais reciclados em sua matriz construtiva possuem maiores pontuações | |
| Método de avaliação | A mensuração é feita a partir da análise dos materiais que compõe o sistema construtivo, assim como o projeto de estruturação construtiva prevista para o sistema Desta forma o indicador é resultado da agregação da porcentagem de materiais reciclados | |
| Pontuação atribuída | 1 | Incorporação de 0% de materiais reciclados e que não pode ser reciclado após o seu uso |
| | 2 | Incorporação de até 25% de materiais reciclados ou a possibilidade se reciclar até 50% do sistema construtivo após o seu uso |
| | 3 | Incorporação de até 50% de materiais reciclados e a possibilidade se reciclar até 50% do sistema construtivo após o seu uso |
| | 4 | Incorporação de até 75% de materiais reciclados e a possibilidade se reciclar até 50% do sistema construtivo após o seu uso |
| | 5 | Incorporação de 100% de materiais reciclados e a possibilidade se reciclar 100% do sistema construtivo após o seu uso |
| Potencial de reuso | | |
| Objetivo | Avaliar a potencialidade de realização do sistema construtivo ou suas subpartes em outras edificações e, ainda, a incorporação de materiais provenientes de reuso | |
| Método de quantificação | Quantificação feita a partir da análise do percentual de subpartes reutilizadas e o percentual de reutilização do sistema construtivo após o seu desuso | |
| Potencial de reuso | | |
| Pontuação atribuída | 1 | Incorporação de 0% de materiais de reuso |
| | 2 | Incorporação de até 25% de materiais de reuso ou a possibilidade se reutilizar até 50% do sistema construtivo após o seu uso |
| | 3 | Incorporação de até 50% de materiais de reuso e a possibilidade se reutilizar até 50% do sistema construtivo após o seu uso |
| | 4 | Incorporação de até 75% de materiais de reuso e a possibilidade se reutilizar até 50% do sistema construtivo após o seu uso |
| | 5 | Incorporação de 100% de materiais de reuso e a possibilidade se reutilizar 100% do sistema construtivo após o seu uso |

Fonte: Autor

Quadro 6.4 - Detalhamento de indicadores técnicos e de desempenho

(Continua)

| Grau de estanqueidade | | |
|--------------------------------------|---|---|
| Objetivo | Avaliar o desempenho ante a permeabilidade do sistema construtivo avaliado, vale ressaltar que para a avaliação de permeabilidade considera-se o sistema construtivo implantado com o seu elemento construtivo principal e as etapas de acabamento, quando for o caso | |
| Método de avaliação | Avaliação do grau de permeabilidade segundo os critérios da NBR 15575 (2013) | |
| Pontuação atribuída | Sistemas de cobertura | |
| | 1 | Materiais sem avaliação ou em desconformidade com a NBR 15575(2013) |
| | 2 | Desempenho mínimo (grau M) conforme a NBR 15575(2013) |
| | 3 | Desempenho Intermediário (grau I) conforme a NBR 15575(2013) |
| | 4 | Desempenho máximo (grau S) conforme a NBR 15575(2013) |
| | 5 | Desempenho superior à maior avaliação prevista pela norma de desempenho |
| | Sistemas de vedação vertical e pisos | |
| | 1 | Materiais sem avaliação ou em desconformidade com a NBR 15575(2013) |
| | 3 | Atende à condição mínima descrita pela NBR 15575(2013) |
| | 5 | Desempenho superior à maior avaliação prevista pela norma de desempenho |
| Grau de transmitância térmica | | |
| Objetivo | Verificar o grau de transmitância térmica do sistema construtivo | |
| Método de avaliação | Quantificação, conforme o procedimento descrito pela NBR 15220 (2005), expresso em $W/(m^2.K)$, sendo observada a zona bioclimática par a região aonde o sistema construtivo será implantado | |

Fonte: Autor

Quadro 6.4 - Detalhamento de indicadores técnicos e de desempenho

(Continua)

| Grau de transmitância térmica | |
|---|---|
| Pontuação atribuída | Sistemas de cobertura |
| | 1 Materiais sem avaliação ou em desconformidade com a NBR 15575(2013) |
| | 2 Desempenho mínimo (grau M) conforme a NBR 15575(2013) |
| | 3 Desempenho Intermediário (grau I) conforme a NBR 15575(2013) |
| | 4 Desempenho máximo (grau S) conforme a NBR 15575(2013) |
| | 5 Desempenho superior à maior avaliação prevista pela norma de desempenho; |
| | Sistemas de vedação vertical e pisos |
| | 1 Materiais sem avaliação ou em desconformidade com a NBR 15575(2013) |
| | 3 Atende à condição mínima descrita pela NBR 15575(2013) |
| | 5 Desempenho superior à maior avaliação prevista pela norma de desempenho |
| Grau de transmissão de ondas sonoras | |
| Objetivo | Aferir o desempenho dos sistemas construtivos com relação ao isolamento acústico |
| Método de avaliação | Recomenda-se a mensuração do desempenho acústico a partir do procedimento simplificado prescrito pela NBR 15575 (2013) ou, quando possível, a aferição por meio de ensaio laboratorial específico |
| Pontuação atribuída | 1 Materiais sem avaliação ou em desconformidade com a NBR 15575(2013) |
| | 2 Desempenho mínimo (grau M) conforme a NBR 15575(2013) |
| | 3 Desempenho Intermediário (grau I) conforme a NBR 15575(2013) |
| | 4 Desempenho máximo (grau S) conforme a NBR 15575(2013) |
| | 5 Desempenho superior à maior avaliação prevista pela norma de desempenho |
| Comportamento mecânico | |
| Objetivo | Verificar o comportamento mecânico de sistemas construtivos |
| Método de avaliação | Verificação dos requisitos prescritos pela NBR 15575 (2013) |
| Pontuação atribuída | 1 Materiais sem avaliação ou em desconformidade com a NBR 15575(2013) |
| | 3 Atende à condição mínima descrita pela NBR 15575(2013) |
| | 5 Desempenho superior à maior avaliação prevista pela norma de desempenho |

Fonte: Autor

Quadro 6.4 - Detalhamento de indicadores técnicos e de desempenho

(Continua)

| Durabilidade | | |
|--|---|--|
| Objetivo | Mensurar a durabilidade prevista para o sistema construtivo | |
| Método de avaliação | Avaliar a durabilidade prevista para os materiais que compõe o sistema construtivo | |
| Pontuação atribuída | Sistemas de cobertura | |
| | 1 | Materiais sem avaliação ou em desconformidade com a NBR 15575(2013) |
| | 2 | Desempenho mínimo (grau M) conforme a NBR 15575(2013) |
| | 3 | Desempenho Intermediário (grau I) conforme a NBR 15575(2013) |
| | 4 | Desempenho máximo (grau S) conforme a NBR 15575(2013) |
| | 5 | Desempenho superior à maior avaliação prevista pela norma de desempenho |
| | Sistemas de vedação vertical e pisos | |
| | 1 | Materiais sem avaliação ou em desconformidade com a NBR 15575(2013) |
| | 3 | Atende à condição mínima descrita pela NBR 15575(2013) |
| | 5 | Desempenho superior à maior avaliação prevista pela norma de desempenho |
| Acompanhamento de profissionais habilitados | | |
| Objetivo | Verificar o cumprimento de garantias técnicas para o sistema construtivo | |
| Método de avaliação | Avaliar a emissão de certificação técnica para os materiais e sistemas construtivos | |
| Pontuação atribuída | 1 | Materiais e técnica construtiva sem certificação técnica |
| | 2 | Materiais com certificação técnica e técnica construtiva sem acompanhamento profissional |
| | 3 | Materiais sem certificação técnica e técnica construtiva com acompanhamento profissional |
| | 4 | Materiais com certificação técnica e técnica construtiva com acompanhamento profissional |

Fonte: Autor

Quadro 6.4 - Detalhamento de indicadores técnicos e de desempenho

(Continua)

| Grau de perecibilidade | | |
|---------------------------------|--|--|
| Objetivo | Verificação do grau de perecibilidade dos materiais empregados | |
| Método de avaliação | Verificação dos períodos de validade dos produtos | |
| Pontuação atribuída | 1 | Uso de materiais com níveis abaixo dos descritos ou não perecíveis |
| | 2 | Incorporação acima de 10% de matérias com baixa perecibilidade |
| | 3 | Incorporação acima de 10% de matérias com média perecibilidade |
| | 4 | Incorporação acima de 10% de matérias com alta perecibilidade |
| | 5 | Incorporação de níveis superiores aos estabelecidos abaixo |
| Facilidade de estocagem | | |
| Objetivo | Verificar a facilidade de armazenagem dos materiais que compõe o sistema construtivo | |
| Método de avaliação | Avaliação dos materiais que compõe o sistema construtivo | |
| Pontuação atribuída | 1 | Incorporação acima dos percentuais abaixo de matérias com grandes volumes ou pesos específicos elevados |
| | 2 | Incorporação de até 75% de matérias com grandes volumes ou pesos específicos elevados |
| | 3 | Incorporação de até 50% de matérias com grandes volumes ou pesos específicos elevados |
| | 4 | Incorporação de até 25% de matérias com grandes volumes ou pesos específicos elevados |
| | 5 | Uso de 75% de materiais extraídos localmente e que não necessitam ser estocados |
| Facilidade de transporte | | |
| Objetivo | Priorizar materiais e equipamento que sejam de fácil transporte | |
| Método de avaliação | Avaliação dos equipamentos e materiais empregados na construção do sistema construtivo | |
| Pontuação atribuída | 1 | Uso de equipamentos e materiais que exigem dispositivos de transporte especiais |
| | 2 | Uso de equipamentos ou materiais que exigem dispositivos de transporte especiais |
| | 3 | Uso de equipamentos e materiais que exigem dispositivos de transporte de grande porte |
| | 4 | Uso de equipamentos ou materiais que exigem dispositivos de transporte de grande porte |
| | 5 | Uso de materiais ou equipamento que podem ser transportados por meio de veículos de pequeno ou médio porte |

Fonte: Autor

Quadro 6.4 - Detalhamento de indicadores técnicos e de desempenho

(Continua)

| Facilidade da realização de manutenções | | |
|--|---|--|
| Objetivo | Priorizar sistemas construtivos que possuem pouca dificuldade de manutenção | |
| Método de avaliação | Verificação dos requisitos normativos para os sistemas construtivos | |
| Pontuação atribuída | 1 | Sistemas construtivos sem avaliação ou em desconformidade com a NBR 15575(2013) |
| | 3 | Atende à condição mínima descrita pela NBR 15575(2013) |
| | 5 | Desempenho superior à maior avaliação prevista pela norma de desempenho. |
| Facilidade de realizar reparos | | |
| Objetivo | Avaliar a facilidade de se realizar reparos quando os sistemas construtivos apresentarem falhas | |
| Método de avaliação | Avaliação de técnicas de reparo previstas para o sistema construtivo | |
| Pontuação atribuída | 1 | Sistema construtivo que pode ser reparado apenas por profissionais altamente especializados e necessita de materiais com baixa oferta no mercado |
| | 2 | Sistema construtivo que pode ser reparado apenas por profissionais altamente especializados com materiais encontrados com facilidade no mercado |
| | 3 | Sistema construtivo que pode ser reparado por profissionais não especializados com materiais encontrados com baixa oferta no mercado |
| | 4 | Sistema construtivo que pode ser reparado por profissionais não especializados com materiais encontrados com facilidade no mercado |
| | 5 | Sistema construtivo que pode ser reparado pelo usuário |
| Padronização | | |
| Objetivo | Priorizar sistemas construtivos que possuem alta replicabilidade construtiva | |
| Método de avaliação | Avaliação de aspectos finais do sistema construtivo | |
| Pontuação atribuída | 1 | O sistema construtivo não pode ser replicado com as mesmas características técnicas e estéticas. |
| | 2 | As características técnicas não podem ser replicadas. |
| | 3 | As características estéticas não podem ser replicadas. |
| | 4 | O sistema pode ser parcialmente replicável esteticamente |
| | 5 | O sistema construtivo é altamente replicável técnica e esteticamente |

Fonte: Autor

Quadro 6.4 - Detalhamento de indicadores técnicos e de desempenho

(Conclusão)

| Versatilidade da aplicação e uso | | |
|---|---|---|
| Objetivo | Priorizar sistemas construtivos que podem ser aplicados em ambientes com usos diversos e que, ainda, possuam boas condições para a realização de ampliações | |
| Método de avaliação | Avaliação das condições técnicas atribuídas a solução construtiva | |
| Pontuação atribuída | 1 | O sistema construtivo não pode ser ampliado ou ter o seu uso alterado |
| | 3 | O sistema construtivo pode ser ampliado, porém, o seu uso não pode ser alterado ou, o sistema construtivo não pode ser ampliado, porém, o seu uso pode ser alterado |
| Versatilidade da aplicação e uso | | |
| Pontuação atribuída | 5 | O sistema construtivo pode ser ampliado, porém, o seu uso não pode ser alterado ou, o sistema construtivo não pode ser ampliado, porém o seu uso pode ser alterado |

Fonte: Autor

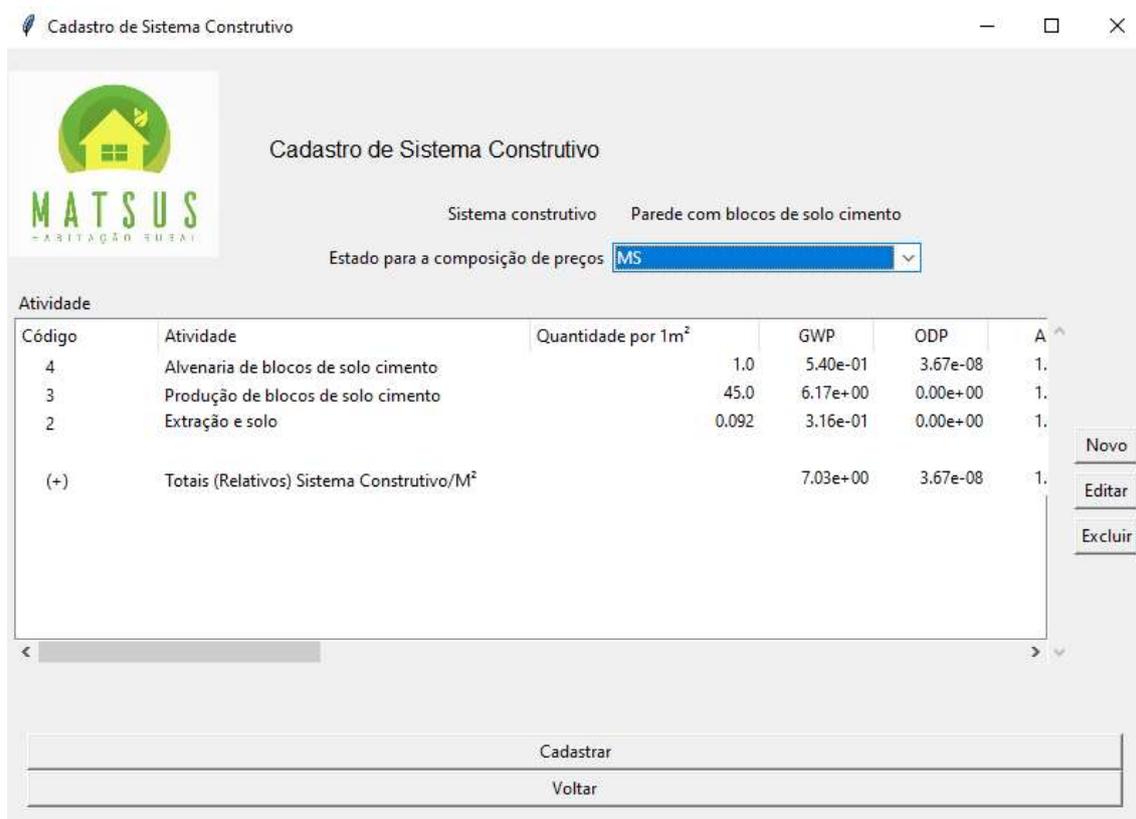
6.5.3.3 Processo de agregação relativa de dados elaborados para os sistemas construtivos

Compõe o grupo de indicadores relativos, referentes aos sistemas construtivos, os pertencentes às dimensões Técnica e desempenho quantificados na seção anterior, Econômico e financeiro (categoria EI) e Ecológica e ambiental, sendo que, para os dois últimos, estes valores são resultados da agregação por atividade, conforme visto nas seções anteriores. Assim sendo, conforme apresentado na figura 6.18, tem-se a janela final de cadastramento de sistemas construtivos, sendo apresentado os valores resultantes do processo de agregação.

Ao final desta etapa são computados no banco de dados de sistemas construtivos, os valores unitários de desempenho sustentável de cada sistema, sendo considerada como unidade básica de análise 1m². Os demais indicadores, pertencentes às dimensões Sócio, histórica e cultural e a categoria EII à dimensão Econômica e financeira são inseridos na etapa de análise de projeto, pois estes são

vinculados ao comportamento da solução construtiva no meio se deseja implementá-la.

Figura 6.18 – Janela de apresentação dos valores agregados por atividade



Fonte: Autor

6.5.3.4 Cadastro de quantidades de projeto

Para se realizar o cadastro das características de uma edificação o usuário deve acessar o botão “informações de projeto” na seção dados locais, sendo direcionado a janela de cadastro ilustrada por meio da figura XX.

Primeiramente se deve cadastrar o nome do projeto a ser analisado, sendo recomendado que o nome faça menção a região aonde o projeto será implementado. Também se deve inserir informações quanto a localidade, situação financeira da maioria dos habitantes desta região (por faixa de rendimentos), classificação da região (assentamento rural, reserva indígena, propriedade rural de pequeno, médio ou grande porte), distancia da área a centros mais urbanizados e demais informações

acerca do nível de conhecimento e aceitação dos habitantes locais com técnicas construtivas alternativas, assim como, a possibilidade de se utilizar materiais locais e se já há na região a cultura de autoconstrução de habitações. Ao final, o usuário deve cadastrar as quantidades totais do sistema construtivo a ser analisado, empregado na edificação que se deseja implementar, ou seja, quando se está analisando os sistemas de vedação horizontal, nesta fase deve-se inserir a área de paredes totais da edificação analisada.

Figura 6.19 – Janela de cadastramento de informações iniciais do projeto

Cadastro de projeto

MATSUS
- HABITAÇÃO SUSTÁVEL

Cadastro de projeto

Nome do Projeto

Local

Situação financeira

Classificação de região

Distancia de centros urbanos

Nível de conhecimento sobre técnicas alternativas de construção

Nível de conhecimento sobre materiais construtivos alternativos

Grau de aceitação de técnicas construtivas alternativas

Disponibilidade da região para a exploração de materiais construtivo locais

Há a cultura de auto contrução na região?

Quantidade de Sistema construtivo

*Aviso: O preenchimento do campo 'nome do projeto' é obrigatório

Pesquisar

Seguinte

Voltar

Fonte: Autor

A quantificação de área de sistema construtivo é feita de maneira simplificada, sendo adotados os valores totais descontados os vazios, tais como, para o caso de vedações verticais, são descontados os vãos de portas e janelas (equação 6.6).

Salienta-se que deverá ser usado obrigatoriamente a unidade básica para a avaliação de sistemas construtivo (m^2), mesmo que para a composição deste sejam necessários a implementação de atividades com outras unidades básicas de quantificação.

$$ASC_{(total)} = C_{(linear)} * H - A_{(vazios)}$$

Equação 6.6

Onde:

$ASC_{(total)}$ corresponde ao valor total quantificado para a área de sistema construtivo;

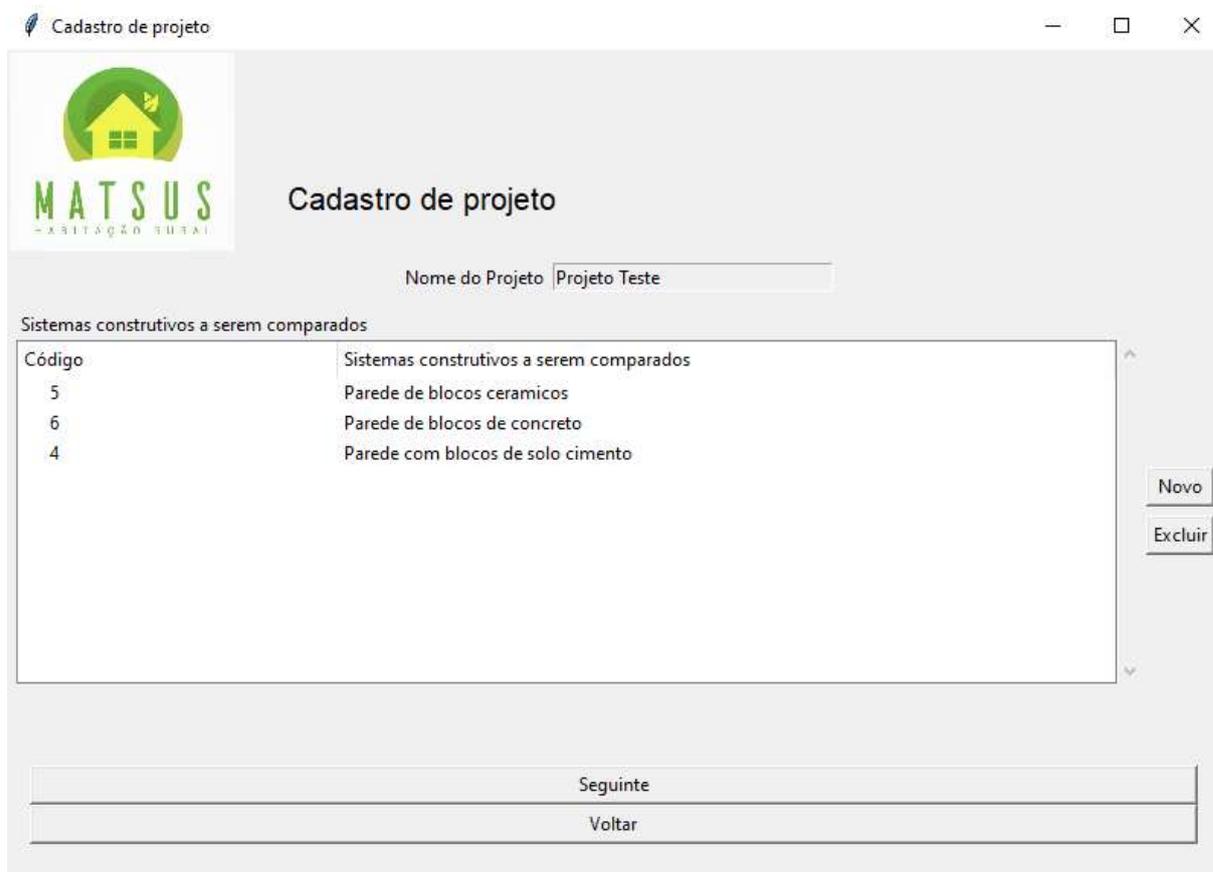
$C_{(linear)}$ é relativo ao comprimento linear, ou a maior dimensão do sistema construtivo;

H é o valor mensurado para a maior dimensão da seção transversal do sistema construtivo analisado;

$A_{(vazios)}$ representa o valor de áreas não preenchidas pelo sistema.

A outra etapa desta fase está relacionada a seleção dos sistemas construtivos a serem considerados (ou comparados), sendo possibilitados ao usuário a seleção de inúmeros sistemas construtivos já cadastrados nos bancos de dados da ferramenta. Apenas os sistemas considerados nesta fase serão levados em conta na quantificação dos indicadores e as demais fases posteriores (figura 6.20).

Figura 6.20 – Janela de seleção de sistemas construtivos a serem comparados em um projeto



Fonte: Autor

6.5.3.5 Análise de transportes e deslocamentos

Uma parcela relevante dos impactos ambientais gerados pela implementação de sistemas construtivos, especialmente em regiões afastadas dos centros produtores ou comércio de materiais de construção civil, corresponde ao transporte destes insumos para o local aonde serão utilizados.

Neste cenário, a MATSUS-HR prevê a quantificação destes impactos por meio da análise dos transportes e movimentações sob duas etapas. A primeira correspondente às distâncias entre a extração ou fabricação de insumos a um centro comercializador e a segunda referente às distâncias a serem percorridas para se transportar os materiais e equipamentos ao local.

Nesta etapa, são quantificados, à partir das quantidades específicas composta para atividades e sistemas construtivos, as quantidades totais de insumos necessários para se edificar os sistemas construtivos analisados. Os valores unitários, para impactos ambientais e custos específicos, são cadastrados na fase de inserção de dados primários, especificamente na fase de cadastramento de equipamentos. O usuário deve, a partir de dados técnicos, listar as taxas de emissões, geração de resíduos, consumo de energia e água, assim como o custo unitário para o tipo de transporte a ser realizado. Recomendando-se a utilização dos dados veiculados pelo Ministério do Meio Ambiente brasileiro¹⁶.

Inicialmente o usuário deverá selecionar o sistemas construtivo que se deseja avaliar, em seguida, serão apresentados as quantidades totais, necessárias para se edificar o sistemas e, ainda, o grau de segurança e salubridade de cada atividade necessária para a sua implementação, podendo, nesta fase que estas informações sejam alteradas.

Nas janelas “equipamento” e “material” são apresentados todos os insumos necessários para a realização da produção e implementação do sistema construtivo, por meio da agregação das diversas atividades que o compõe, sendo estes apresentados nas quantidades necessárias a partir do quantitativo inserido nas etapas anteriores. Nesta parte deve-se inserir o tipo de transporte necessário para o insumo (equipamento ou material) e o valor das distancias a serem percorridas (figura 6.21)

¹⁶ As emissões de gases poluentes por meio de veículo automotores podem ser consultadas por meio do link:
https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario_de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviaros_2013.pdf.

Figura 6.21 – Janela de seleção de cadastramento de transportes e movimentações

Nome do Projeto

Escolha o sistema

Quantidade total

Atividades

| Atividades | Quantidade | Grau de Salubridade | Grau de Seguridade |
|-------------------------------------|------------|---------------------|--------------------|
| Alvenaria de blocos de solo cimento | 1.0 | 7 | 5 |
| Produção de blocos de solo cimento | 45.0 | 7 | 5 |
| Extração de solo | 0.092 | 7 | 5 |

Equipamento

| Atividade | Equipamento | Qtd. unitária | Peso unitario | Und | Quant. total |
|-------------------------|-----------------------|---------------|---------------|-----|-------------------|
| Extração de solo | RETROESCAVADEIRA SOBR | 0.0484 | 2.0 | HM | 5.808 |
| Extração de solo | | 0.1 | 0.0 | HM | 12.0 |
| Produção de blocos de s | MAQUINA MANUAL TIPO I | 0.03 | 0.0 | HM | 3.599999999999999 |

Material

| Atividade | Material | Qtd. unitária | Peso unitario | Und | Quant. total |
|-------------------------|------------------------|---------------|---------------|-----|--------------|
| Produção de blocos de s | SOLO EXTRAIDO PROXIMO | 0.002 | 0.0 | M³ | 0.24 |
| Produção de blocos de s | Cimento - CP II E 40 | 0.168 | 0.0 | KG | 20.16 |
| Produção de blocos de s | ÁGUA DA REDE DE ABASTE | 0.0002 | 0.0 | M³ | 0.024 |

Cadastrar

Voltar

Menu

Fonte: Autor

Devido à grande variabilidade e incertezas, não são considerados os deslocamentos dos profissionais que executam as atividades de edificação dos sistemas construtivos analisados.

Após cadastramento de todos os processos de transporte é possível fazer a visualização todos os meios considerados por atividade dentro de um mesmo sistema construtivo (figura 6.22).

Figura 6.22 – Janela de seleção de análise de transportes e movimentações por sistema construtivo

Nome do Projeto: Projeto Teste

Escolha o sistema: Parede com blocos de solo cin

Quantidade total: 120.0

Resultados

| Atividade | Insumo | Km Distância | Tipo de transporte | Custo | GWP (unit) | GWP (sub. total) | ODP (unit) | ODP (sub. total) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------|----------------------------|-----------|------------|------------------|------------|------------------|
| Extração de solo | RETROESCAVEIRA SOBRE RODAS COM C | 30.0 | Toco ou caminhão semi-pr | R\$ 200.0 | 2.67e+00 | 1.44e+01 | 0.00e+00 | 0.00e+00 |
| Extração de solo | | 0.0 | | R\$ 0.0 | 0.00e+00 | 0.00e+00 | 0.00e+00 | 0.00e+00 |
| Produção de blocos de solo cimento | MAQUINA MANUAL TIPO PRENSA PARA PR | 30.0 | Veiculo Urbano de Carga (\ | R\$ 50.0 | 2.67e+00 | 1.05e+01 | 0.00e+00 | 0.00e+00 |
| Produção de blocos de solo cimento | BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL 400 L, \ | 30.0 | Veiculo Urbano de Carga (\ | R\$ 50.0 | 2.67e+00 | 1.05e+01 | 0.00e+00 | 0.00e+00 |
| Produção de blocos de solo cimento | SOLO EXTRAIDO PROXIMO AO LOCAL DA C | 0.0 | | R\$ 0.0 | 0.00e+00 | 0.00e+00 | 0.00e+00 | 0.00e+00 |
| Produção de blocos de solo cimento | Cimento - CP II E 40 | 0.0 | | R\$ 0.0 | 0.00e+00 | 0.00e+00 | 0.00e+00 | 0.00e+00 |
| Produção de blocos de solo cimento | ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO PUBLIC | 0.0 | | R\$ 0.0 | 0.00e+00 | 0.00e+00 | 0.00e+00 | 0.00e+00 |
| Alvenaria de blocos de solo cimento | ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTIUSO, | 0.0 | | R\$ 0.0 | 0.00e+00 | 0.00e+00 | 0.00e+00 | 0.00e+00 |
| Alvenaria de blocos de solo cimento | BLOCO DE SOLO CIMENTO 2 FUROS 7,5X15) | 0.0 | | R\$ 0.0 | 0.00e+00 | 0.00e+00 | 0.00e+00 | 0.00e+00 |

Pesquisar

Menu

Fonte: Autor

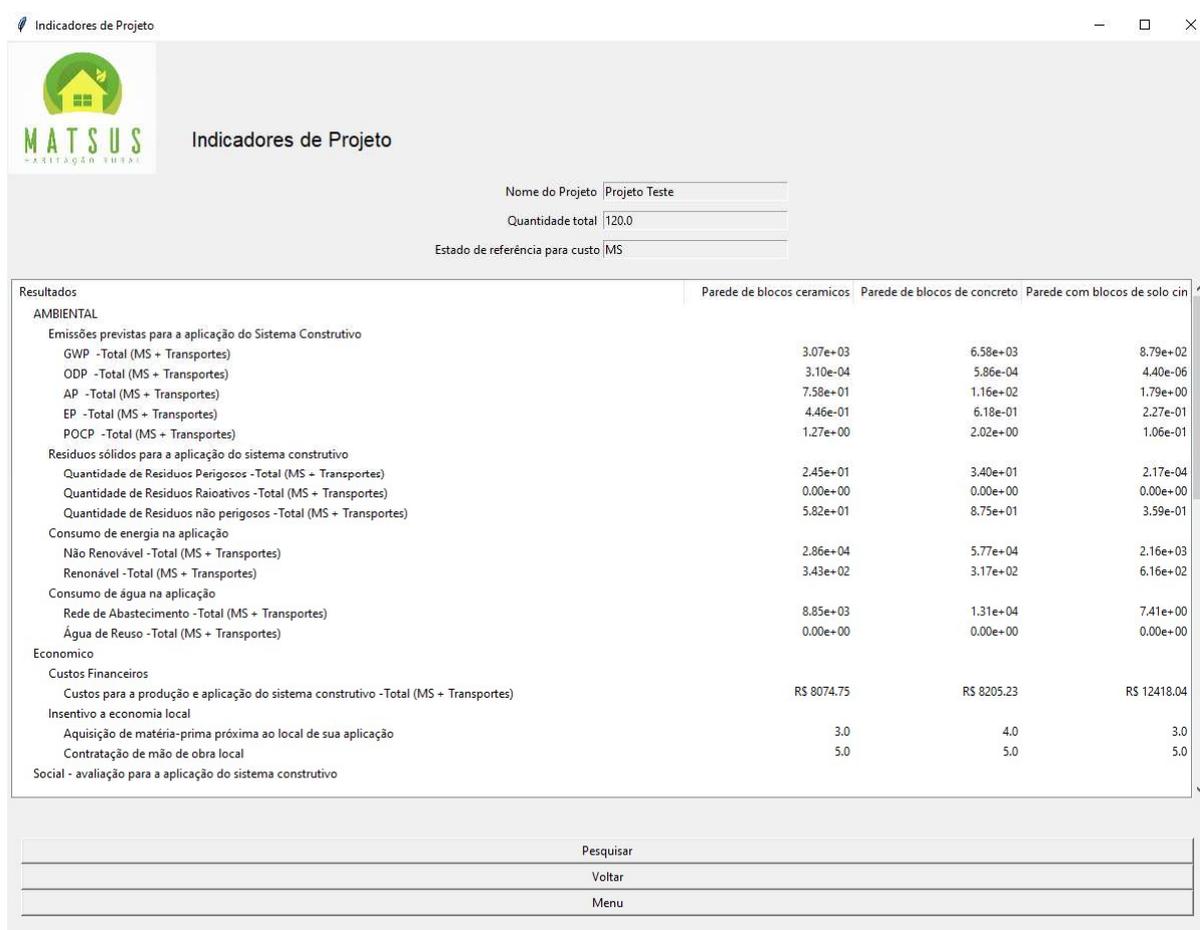
6.5.4 Cálculo de indicadores totais não ponderados e valores de desempenho agregado

A última etapa de cálculo, fase copa, é caracterizada pela a agregação dos valores totais, mensurados a partir da análise dos transportes e movimentações, com a análise dos impactos dos sistemas construtivos simulados.

Como visto nas seções anteriores, os indicadores de sustentabilidade propostos pela MATSUS-HR são aferidos em diferentes fases da produção do sistema construtivo. De maneira simplificada, até a presente etapa tem-se atribuído à cada sistema construtivo os indicadores pertencentes às categorias da dimensão Ecológica e ambiental, aferidos entre as fases de produção, transporte e aplicação, os que constituem as categorias pertencentes à dimensão Econômica e financeira, sendo aferidos os custos de aquisição, aplicação e fomento à cultura local, os indicadores propostos para a dimensão Sócio, histórica e cultural, sendo avaliadas as condições trabalho e desenvolvimento local gerados pelo sistema construtivo e, ainda, todos os

indicadores da dimensão técnica e desempenho que são voltados ao comportamento dos sistemas (figura 6.23).

Figura 6.23 – Janela de apresentação dos indicadores totais não ponderados (agregados por sistema construtivo dentro do projeto analisado)



Fonte: Autor

Para a obtenção do desempenho das soluções construtivas em cada dimensão proposta, faz-se necessário a sua agregação em valores totais, como demonstrado na figura 6.22, onde, para a dimensão Ecológica e ambiental e a categoria EI da dimensão Econômica e financeira” que possuem essencialmente dados quantitativos, os valores analisados em diversas fases de forma unitária ou relativa são considerados à partir das quantidades totais de projeto. Para as demais categorias, que possuem pontuações qualitativas, suas informações são compiladas para que possam ser trabalhadas na fase de ponderação de dimensões e categorias com base nos seus graus de importância.

6.6 Graus de importância de indicadores nas suas respectivas categorias

No processo de se atribuir pesos aos indicadores, observa-se a interferência direta, do ponto de vista pessoal, do decisor, portanto compartilhar esta tarefa à partir de um grupo de decisores tende a equalizar o direcionamento avaliativo da ferramenta (MATEUS, 2004).

Os indicadores propostos para as dimensões de sustentabilidade são baseados nos impactos gerados pelas atividades necessárias para a formação de um sistema construtivo e as suas respectivas participações nas categorias propostas foi feita por meio da consulta às metodologias que possuem objetivos análogos à MATSUS-HR (para o 3º nível) e, ainda, a opinião dos especialistas consultados na fase de validação de indicadores.

Tal estratégia é semelhante à utilizada por diferentes autores (CASTRO, 2018; MATEUS, 2009; SILVA, 2003), onde, a partir da revisão de graus de importância considerados por ferramentas com objetivo análogo ao pretendido, aliado à consulta de grupos de especialista, se estabelece a construção de um vetor decisão inicial que mensura os indicadores mais impactantes na avaliação geral do fatores a serem considerados em uma análise de sustentabilidade. Desta maneira, a partir da análise de métodos que avaliam a sustentabilidade construtiva e a consulta à especialistas da área (Apêndice B e C) se construiu o vetor decisão a ser considerado inicialmente na ferramenta operacional. É previsto que para cada região analisada e com um aumento do número de opiniões consideradas a cada aplicação a ferramenta se adeque melhor a realidade em que se está inserida.

Nesta pesquisa, as categorias propostas para a avaliação dos impactos gerados pelo sistema construtivo ao meio ambiente são compostas por 12 indicadores, que mensuram os impactos de equipamentos (na aplicação e transporte de materiais) e materiais ao longo das fases “do berço ao canteiro de obras” e “aplicação” (quadro 6.5).

Quadro 6.5 - Graus de importância para o 3º nível – dimensão Ecológica e ambiental

| Dimensão | ID | Categoria | Indicador | Peso Relativo |
|------------------------------|-------------|---|---|----------------------|
| Ecológica e ambiental | AI | Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | Emissões de gases que potencializam o aquecimento global (Global Warming Potencial – GWP) | 43,24% |
| | | | Emissões de gases que degradam a camada de ozônio (Ozone Depletion Potencial – ODP) | 13,51% |
| | | | Emissões de gases que aumentam o potencial de acidificação pluvial (Acidification Potencial – AP) | 13,51% |
| Ecológica e ambiental | AI | Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | Emissões de gases que aumentam o potencial de oxidação fotoquímica (photochemical oxidation potential - POCP) | 16,22% |
| | | | Emissões de gases que aumentam o grau de eutrofização de mananciais (Eutrophication potencial – EP) | 13,51% |
| | AII | Geração de resíduos sólidos | Quantidade de resíduos perigosos gerados (RP) | 35,00 % |
| | | | Quantidade de resíduos radioativos gerados (RR) | 25,00 % |
| | | | Quantidade de resíduos não perigosos gerados (RNP) | 40,00 % |
| | AIII | Consumo de energia | Quantidade relativa de energia não renovável empregada na produção do sistema construtivo (CENR) | 50,00 % |
| | | | Quantidade relativa de energia renovável empregada na produção do sistema construtivo (CER) | 50,00 % |
| | AIV | Consumo de água | Quantidade água consumida, proveniente da rede de abastecimento, para produção do sistema construtivo (CAA) | 50,00 % |
| | | | Quantidade água consumida, proveniente de fontes de reuso, para produção do sistema construtivo (CAR) | 50,00 % |

Fonte: Autor

A dimensão Sócio, histórica e ambiental é formada por quatro dimensões e oito indicadores, para esta dimensão a mensuração destes valores é feita à partir da análise do sistema construtivo, de maneira global (quadro 6.6).

Quadro 6.6 - Graus de importância para o 3º nível – dimensão Sócio, histórica e cultural

| Dimensão | ID | Categoria | Indicador | Peso Relativo |
|--------------------------------------|------|---|--|---------------|
| Dimensão Sócio, histórica e cultural | SI | Disseminação de conhecimento técnico acerca da sustentabilidade | Popularização dos conceitos de sustentabilidade ao longo da cadeia produtiva do sistema construtivo | 50% |
| | | | Fomento/apoio a instituições que promovem a sustentabilidade da construção civil | 50% |
| | SII | Respeito e afirmação histórica e cultural local | Grau de utilização de materiais culturalmente usados pela comunidade local | 100% |
| | SIII | Salubridade e seguridade social | Grau de salubridade nas condições de trabalho ao longo da cadeia produtiva do sistema construtivo (GS) | 50% |
| | | | Grau de utilização de mão de obra formal, com a garantia seguridades sociais | 50% |
| | SIV | Incorporação da técnica construtiva pela população local | Grau de contribuição do sistema construtivo na edificação | 30% |
| | | | Grau de complexidade produtiva do sistema construtivo | 30% |
| | | | Possibilidade de produção do sistema construtivo por meio de mutirões | 40% |

Fonte: Autor

Os indicadores que compõe a dimensão Econômica e financeira possuem participação relativa iguais, ou seja, contribuem paritariamente para a formação das categorias propostas (quadro 6.7).

Quadro 6.7 - Graus de importância para o 3º nível – dimensão Econômica e financeira

| Dimensão | ID | Categoria | Indicador | Peso Relativo |
|---------------------------------|-----|----------------------------|--|---------------|
| Dimensão Econômica e financeira | EI | Custos Financeiros | Custos para a produção e aplicação do sistema construtivo | 100,00 % |
| | EII | Incentivo a economia local | Aquisição de matéria-prima próxima ao local de sua aplicação | 50,00 % |
| | | | Contratação de mão de obra local | 50,00 % |

Fonte: Autor

Os graus de contribuição dos indicadores para a dimensão Técnica e desempenho foram atribuídos a partir da consulta ao grupo de interesse formado por pesquisadores e profissionais da construção civil (quadro 6.8).

Quadro 6.8 - Graus de importância para o 3º nível – dimensão Técnica e desempenho

(Continua)

| Dimensão | ID | Categoria | Indicador | Peso Relativo |
|-------------------------------|-----|----------------------------|---|---------------|
| Dimensão Técnica e desempenho | TI | Reciclagem ou ao reuso | Parcela que pode ser reciclada do sistema construtivo após o seu desuso | 50,00 % |
| | | | Parcela que pode ser reaproveitada do sistema construtivo após o seu desuso | 50,00 % |
| | TII | Desempenho físico-mecânico | Grau de estanqueidade do sistema construtivo | 17,86% |
| | | | Grau de transmitância térmica do sistema construtivo | 17,86% |
| | | | Grau de transmissão de ondas sonoras do sistema construtivo | 17,86% |
| | | | Comportamento mecânico do sistema construtivo aos esforços de: compressão, tração e abrasão | 23,21% |
| | | | Durabilidade prevista para o sistema construtivo | 23,21% |

Fonte: Autor

Quadro 6.8 - Graus de importância para o 3º nível – dimensão Técnica e desempenho**(Conclusão)**

| Dimensão | ID | Categoria | Indicador | Peso Relativo |
|-------------------------------|--|---------------------------------------|---|--------------------------------------|
| Dimensão Técnica e desempenho | TIII | Confiabilidade de técnica | Acompanhamento de profissionais habilitados durante as fases de produção e aplicação do sistema construtivo | 100,00 % |
| | | | TIV | Facilidade de estocagem e transporte |
| | Facilidade de estocagem dos elementos que compõem o sistema construtivo | 33,33% | | |
| | Facilidade de transporte dos elementos que compõem o sistema construtivo | 37,04% | | |
| | TV | Facilidade de manutenções/ ampliações | Facilidade da realização de manutenções periódicas no sistema construtivo | 29,41% |
| | | | Facilidade de realizar reparos no sistema construtivo | 29,41% |
| | | | Padronização na replicação do sistema construtivo | 20,59% |
| | | | Versatilidade da aplicação e uso do sistema construtivo | 20,59% |

Fonte: Autor

A mesma sequência metodológica, adotada para a definição dos indicadores, foi utilizada para a definição de pesos para a modelagem AHP, sendo a percepção dos especialistas levada em consideração (o questionário e os resultados desta etapa podem ser verificados nos apêndices deste trabalho).

Seguindo-se a estrutura metodológica para uma modelagem AHP (GODOI, 2014), ao conjunto de resposta de cada especialista foi verificado o grau de consistência das opiniões obtidas, sendo descartadas as consideradas inconsistentes. Ao final, o conjunto das médias aritméticas referentes às categorias e dimensões atribuídas pelos especialistas da área deu origem ao vetor de graus de importância verificado no quadro 6.9.

Quadro 6.9 - Graus de importância para o 1º e 2º nível hierárquico

| DIMENSÃO | PESO | CATEGORIA | PESO | Grau de importância |
|-----------------------------|--------|---|--------|---------------------|
| Ecológica e ambiental | 20,19% | Categoria A I: Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | 25,00% | 5,05% |
| | | Categoria A II: Geração de resíduos sólidos | 25,00% | 5,05% |
| | | Categoria A III: Consumo de energia | 25,00% | 5,05% |
| | | Categoria A IV: Consumo de água | 25,00% | 5,05% |
| Sócio, histórica e cultural | 18,24% | Categoria S I: Disseminação de conhecimento técnico | 16,67% | 3,04% |
| | | Categoria S II: Respeito e afirmação a cultura local | 16,67% | 3,04% |
| | | Categoria S III: Salubridade e seguridade social | 50,00% | 9,12% |
| | | Categoria S IV: Vulnerabilidade social | 16,67% | 3,04% |
| Econômico e financeira | 24,00% | Categoria E I: Custos Financeiros | 75,00% | 18,00% |
| | | Categoria E II: Incentivo a economia local | 25,00% | 6,00% |
| Técnica e desempenho | 37,57% | Categoria T I: Aptidão a reciclagem ou ao reuso | 12,89% | 4,84% |
| | | Categoria T II: Desempenho físico-mecânico | 34,39% | 12,92% |
| | | Categoria T III: Confiabilidade técnica | 34,39% | 12,92% |
| | | Categoria T IV: Facilidade de estocagem e transporte | 5,44% | 2,04% |
| | | Categoria T V: Facilidade de manutenções/ ampliações | 12,89% | 4,84% |

Fonte: Autor

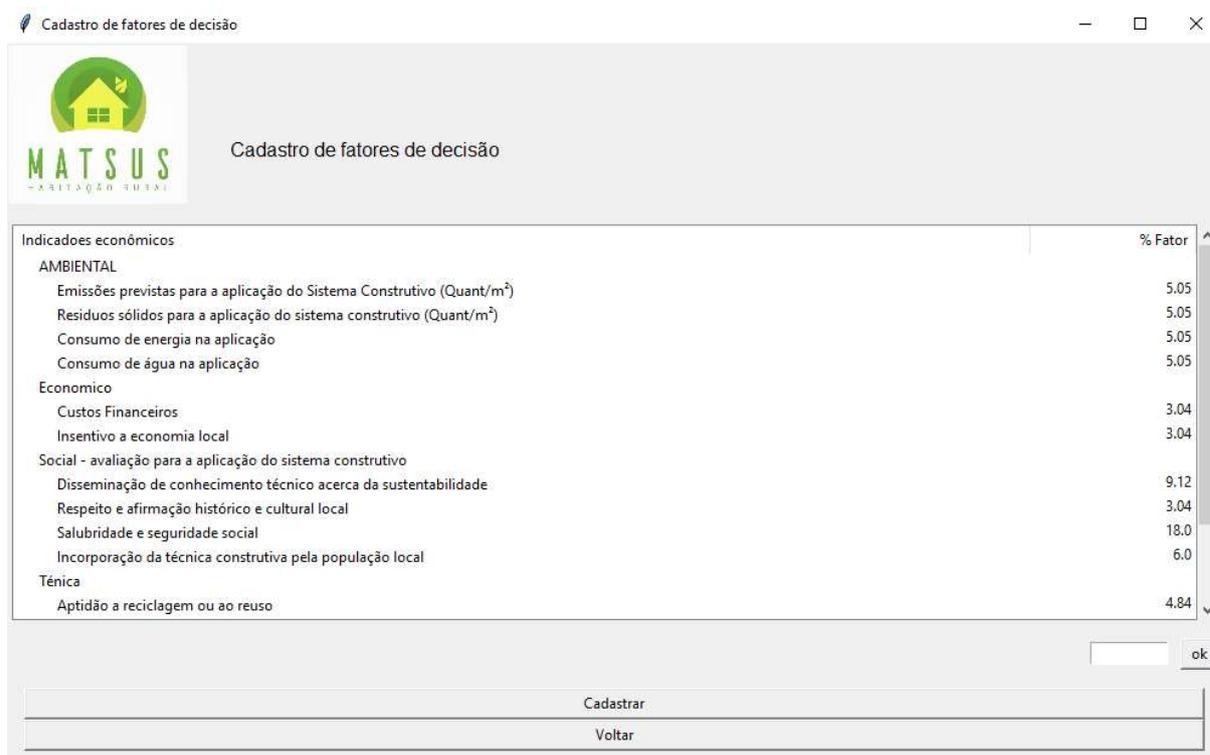
De modo geral, a avaliação dos sistemas construtivos foi afetada fortemente por pelos grau de importância aferido à dimensão Técnica, ou seja, esta dimensão é a que apresenta maior área dentro do vetor decisão adotado. Tal consideração implica

que os sistemas construtivos que apresentaram melhores desempenhos nas categorias desta dimensão têm vantagens sobre os demais. A categoria EI (Custos Financeiros) representa 18% de importância na composição do índice geral, representando a categoria com a maior relevância, ou maior peso relativo adotado para o vetor decisão composto. Sendo, portanto, os sistemas construtivos com menores custos de implementação considerados possuem grande relevância para a sua seleção.

Tal fato pode ser entendido pela configuração do grupo majoritariamente ouvido para a construção dos graus de importância considerados: profissionais da construção civil ligados ao ensino e a pesquisa científica. Destes, 34,4% são docentes em instituições de ensino superior, 75,00% são mestre e doutores e 81,3% já tiveram contato ou conhecem diferentes técnicas construtivas alternativas (apêndice C).

Dentro do ambiente da ferramenta operacional do método, as informações, ou o vetor decisão são inseridos por meio da janela de atribuição de graus de importância, acessada ao clicar-se no botar “ponderação” presente no menu principal. Nessa seção o usuário poderá editar os graus de importância já cadastrados ou, ainda, inserir um novo (figura 6.24).

Figura 6.24 – Janela de cadastramento do vetor decisão



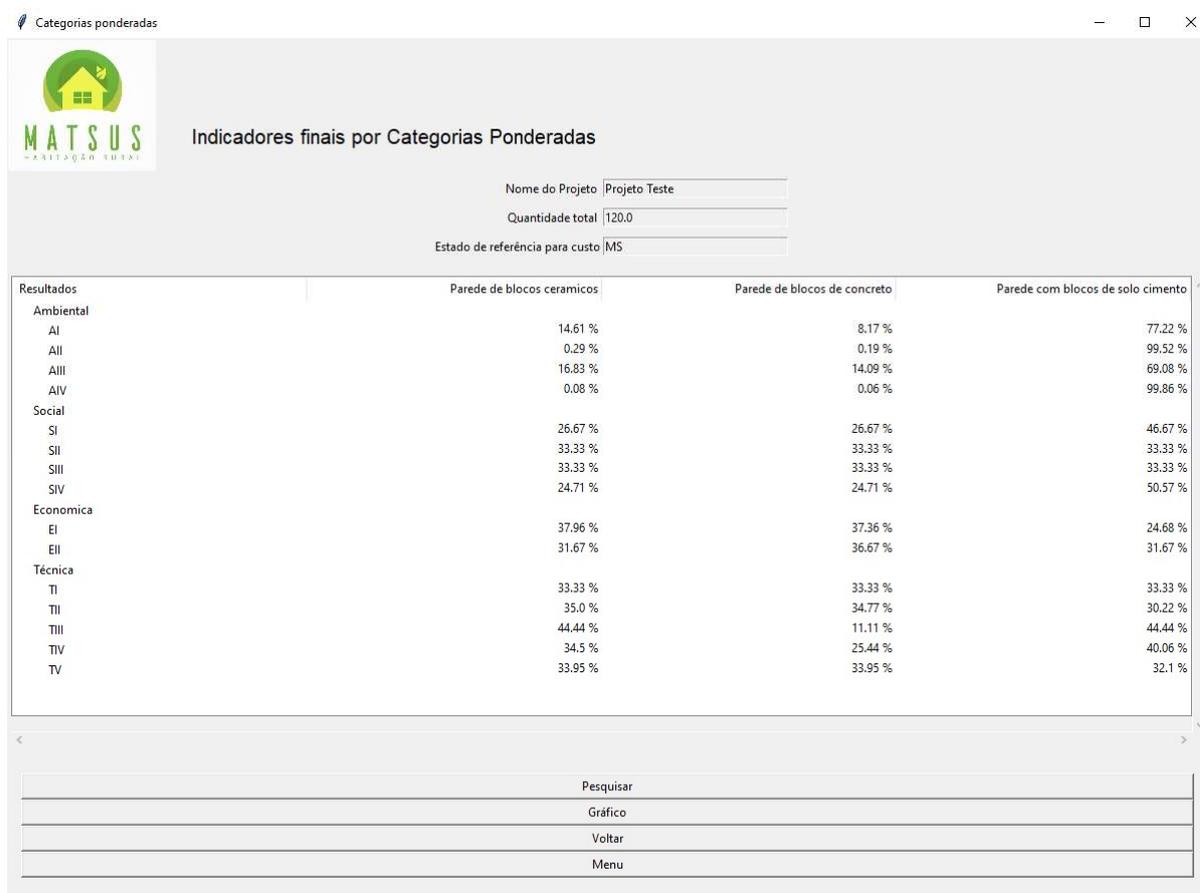
Fonte: Autor

6.7 Indicadores ponderados totais e ordenação de soluções construtivas mais sustentáveis

Ao final do processo de análise, são apresentados os valores obtidos para os indicadores agregados por categoria de avaliação (inseridas em suas respectivas dimensões). Nesta seção são considerados os graus de importância atribuídos à cada parâmetro por meio do vetor decisão construído para a região aonde estes serão implementados vinculando-o aos indicadores não ponderados já calculados.

O usuário ao clicar em categorias ponderadas, no menu inicial da ferramenta, é direcionado a uma janela de pesquisa. Nessa janela deverá ser selecionado o projeto que deseja visualizar os resultados finais. Após essa etapa o usuário é direcionado a janela expressa por meio da figura 6.25.

Figura 6.25 – Janela de exposição dos valores calculados por categorias



Fonte: Autor

Da maneira análoga ao descrito acima, por meio do menu principal, clicando no botão “Desempenho Sustentável” são apresentados os valores calculados para as melhores soluções construtivas locais, sendo feita a apresentação do índice de sustentabilidade atingido por cada sistema construtivo (figura 6.26).

Figura 6.26 – Janela de exposição do índice de sustentabilidade por sistema construtivo



Fonte: Autor

Em ambas as janelas se é possível visualizar os resultados finais por meio de gráficos gerados dentro do próprio software (figura 6.27 e 6.28), possibilitando que as análises sejam feitas de maneira dinâmica. As demais opções de gráfico são demonstradas no capítulo 7, por meio da realização de um estudo de caso na região do antigo Assentamento Rural “Itamarati” em Ponta Porã-MS.

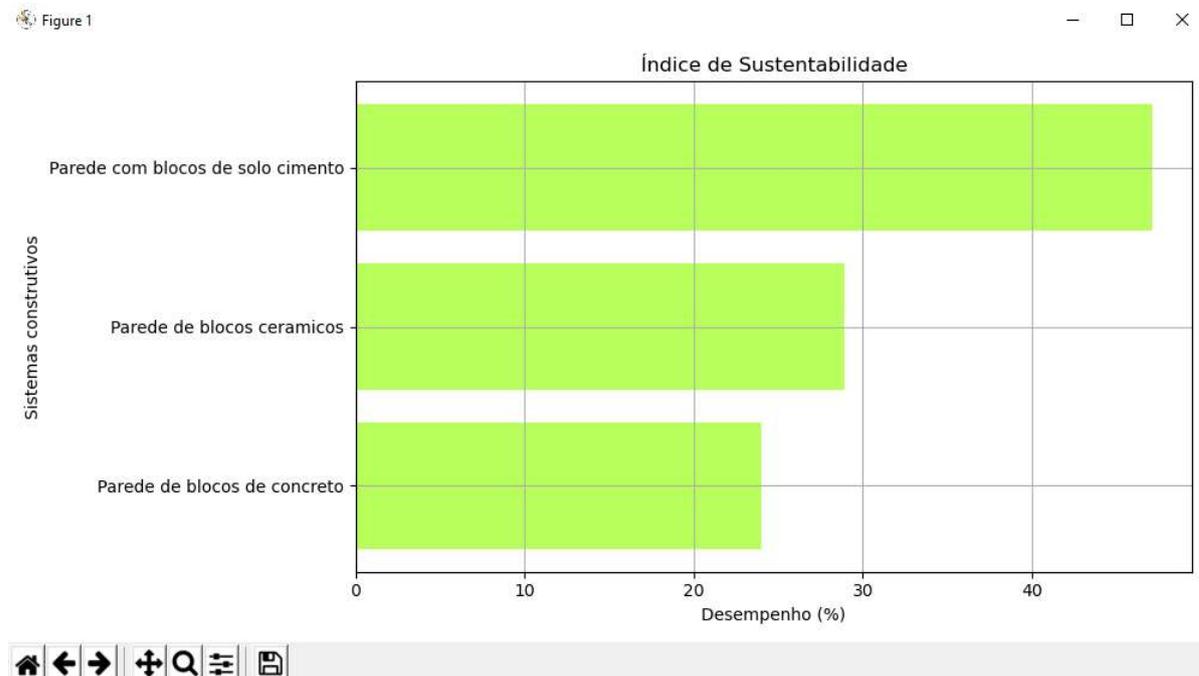
É importante salientar que os valores apresentados nas janelas, até aqui, não são os valores finais obtidos no estudo de caso, estes apenas foram inseridos na fase de testes para atestar o funcionamento da ferramenta.

Figura 6.27 – Desempenhos finais por categorias expressos por meio de gráficos dentro da ferramenta MATSUS-HR



Fonte: Autor

Figura 6.28 – Valores finais expressos por meio de gráficos dentro da ferramenta MATSUS-HR



Fonte: Autor

Capítulo 7

APLICAÇÃO METODOLÓGICA: ESTUDO DE CASO

A descrição metrológica proposta deve apresentar níveis aceitáveis de aplicabilidade e comparabilidade. Com o intuito de se verificar o comportamento da MATSUS-HR em uma aplicação prática, o presente capítulo traz as análises de um estudo de caso realizado em edificações do Assentamento Itamarati, Ponta Porã-MS, Brasil. Onde são comparadas diferentes soluções construtivas para uma edificação padrão, apontado para as técnicas com desempenhos sustentáveis mais elevados.

7.1 Introdução

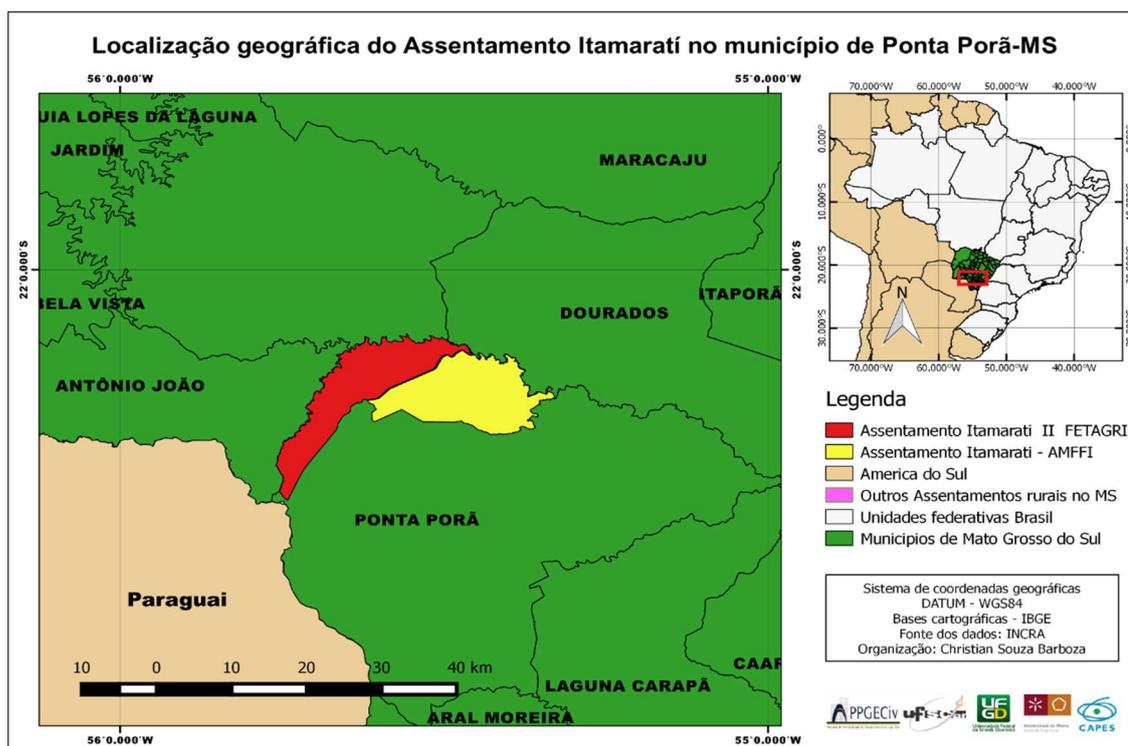
O estado de Mato Grosso do Sul, segundo dados da agência de habitação popular do estado de Mato Grosso do Sul (AGEHAB), apresenta um déficit rural de 14.641 unidades habitacionais. Possui, ainda, uma diversificada composição populacional agrária. Abrigando em seu interior, segundo dados do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), grande quantidade de comunidades rurais sob vulnerabilidade social, tais como: a segunda maior concentração de povos indígenas do país, o maior programa de assentamento rural já implantado – Fazenda Itamarati I e II, comunidades quilombolas e, ainda, altos índices de propriedades ligadas à agricultura familiar.

Nesse contexto, a aplicabilidade de materiais alternativos em substituição aos tradicionalmente utilizados na construção civil pode se apresentar como alternativa para o aumento da seguridade social com a elevação dos índices de qualidade de vida proporcionados pela construção de edificações residenciais. Tais materiais, especialmente os que possuem matriz construtiva a base de solo, são apresentados por diversas abordagens acadêmicas (MAIA, 2011; OLIVEIRA; FERREIRA, 2012; SANCHEZ, 2009) como solução para a edificação de habitações rurais de baixo custo. Com o objetivo de verificar o comportamento da MATSUS-HR, o presente capítulo compara o desempenho sustentável de diferentes sistemas construtivos de vedação vertical em regiões não urbanas da região da grande Dourados, no estado de Mato Grosso do sul.

7.2 O assentamento Itamarati

Inserido na região de fronteira seca entre Brasil e Paraguai (figura 7.1), o assentamento Itamarati fora implementado entre os anos de 2002 (primeira parte – Itamarati I) e 2004 (segunda parte – Itamarati II). Recentemente, em 2015, a região foi transformada em município da cidade de Ponta Porã-MS por meio da aprovação do projeto de Lei 02/2015, passando a se chamar Nova Itamarati (distante 268Km da capital Campo Grande).

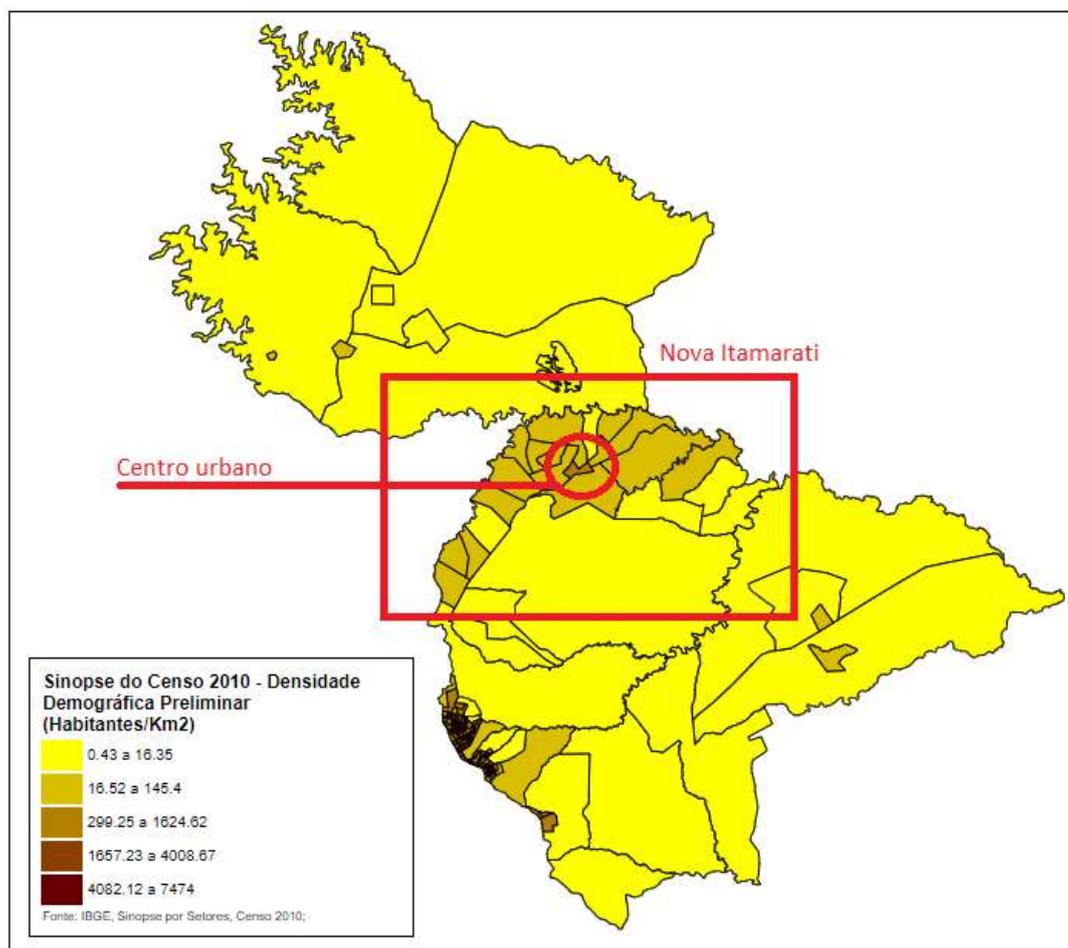
Figura 7.1 – Posicionamento geográfico do Assentamento Itamarati



Fonte: (BARBOZA; BARRETO, 2019)

O distrito é dividido em duas áreas, sendo, uma região com maior densidade demográfica, chamado de centro urbano. Esta área é cortada pela rodovia MS-164, por onde escoam a maior parte da produção local, estão lotados nesta região as sedes de cooperativas de armazenamento, comercialização e beneficiamentos de produtos agrícolas, órgãos governamentais de saúde, correios, educação e outros. Há, ainda, a presença de estabelecimentos comerciais variados, tais como, farmácias, restaurantes, mercados e etc. A outra região, menos densa demograficamente, é composta por pequenos lotes rurais, oriundos da divisão feita durante o período de loteamento da área e destinada para famílias de agricultores sem-terra, porém, em comparação com as demais regiões não urbanas do município de Ponta Porã, caracterizado por grandes latifúndios, a área de Nova Itamarati representa a mais povoada (figura 7.2).

Figura 7.2 – Densidade demográfica do município de Ponta Porã e da região do Assentamento Itamarati



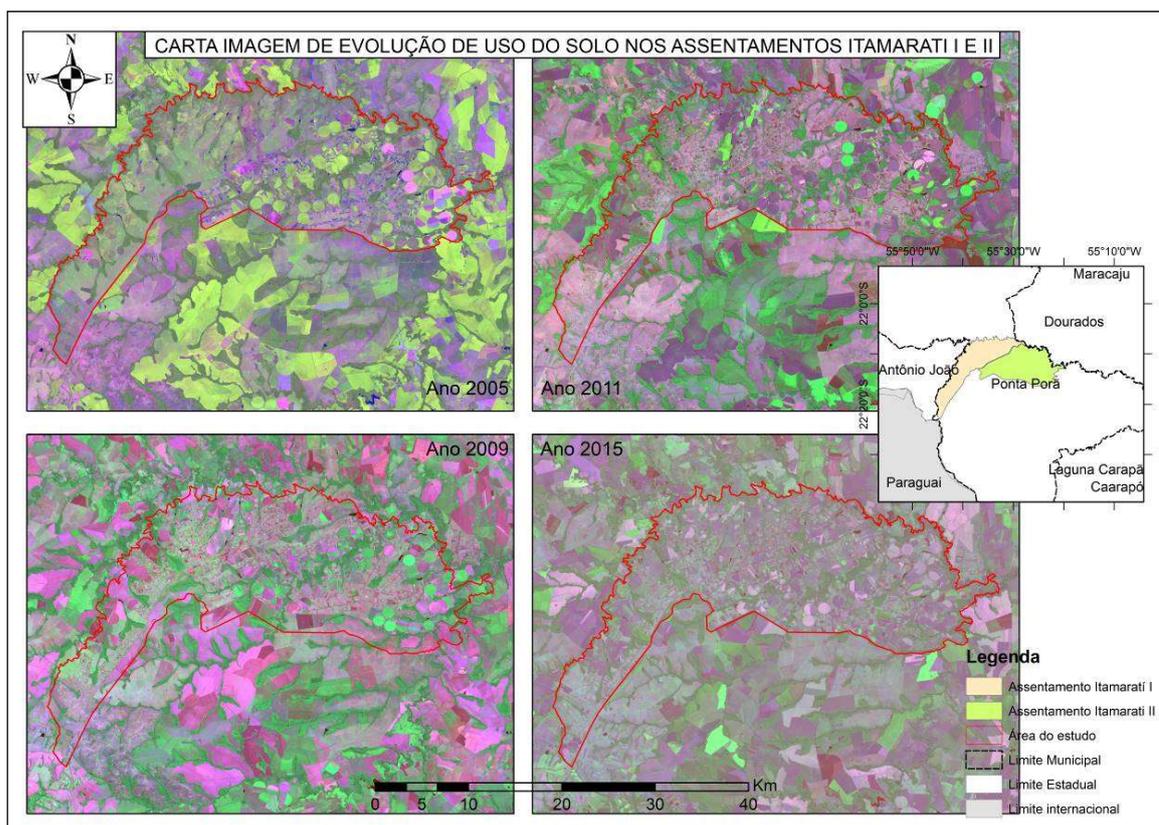
Fonte: Adaptado (IBGE, 2010)

A região possui população local com grande heterogeneidade histórica e cultural, já que abriga pessoas oriundas de diversas regiões do país e, também, aquelas vindas do Paraguai e outros países vizinhos. Com uma área aproximada de 50 mil hectares e população de 15.867 habitantes, o assentamento fora constituído, originalmente, por famílias vinculadas ao Movimento dos Trabalhadores Sem-terra (MST), a Central Única dos Trabalhadores (CUT), a Federação dos Trabalhadores na Agricultura (FETAGRI) e a Associação dos Moradores e Funcionários da Fazenda Itamaraty (AMFFI).

O processo de uso e ocupação do solo se deu de maneira ostensiva nesta região, transformando a antiga fazenda Itamaraty de característica monocultora, responsável pela produção de grandes volumes de grãos (especialmente soja e milho)

destinados ao comércio exterior e com uma renda *per capita*¹⁷ elevada em uma região de grande diversificação produtiva, ligada à agricultura familiar com a produção de produtos agrícolas para o abastecimento do mercado interno local (figura 7.3).

Figura 7.3 – Evolução espacial da região ao longo do tempo



Fonte: (BARBOZA; BARRETO, 2019)

7.3 Avaliação por meio da MATSUS-HR

Para avaliar o desempenho sustentável de diferentes sistemas construtivos na região rural do distrito de Nova Itamarati, foi selecionada a principal tipologia construtiva das edificações inseridas neste contexto. Sendo que, em visitas ao local, foi constatado, por meio de entrevistas não estruturadas, que a maioria das edificações foram feitas por meio de mutirões pelos próprios moradores ou por

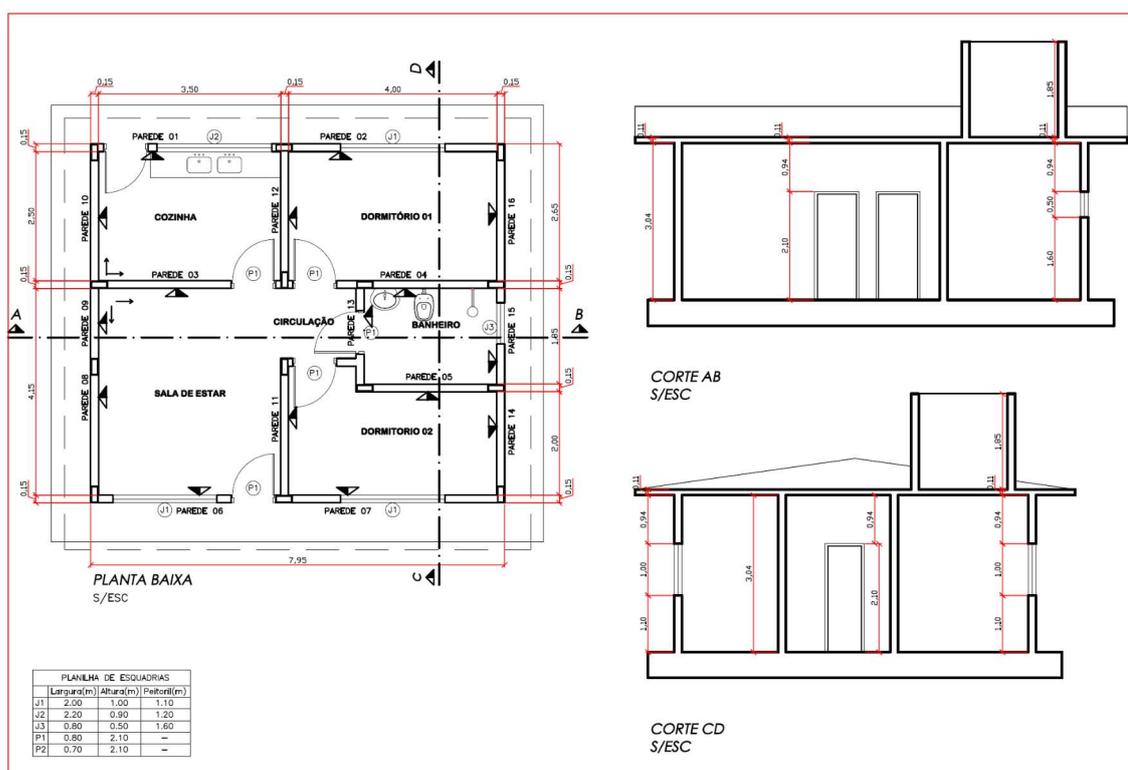
¹⁷ Expressão habitualmente utilizada nas ciências econômicas para indicar o grau de desenvolvimento de determinada região. Do Latim, que, em uma tradução literal, significa renda por pessoa.

profissionais não contratados formalmente. Os valores disponibilizados para a construção de moradias para as famílias assentadas era muito baixo (próximo à R\$10.000,00) e os primeiros rendimentos provenientes do acesso à porção de terra só são conseguidos após a primeira colheita (no caso de propriedades vinculadas a agricultura) ou a venda de produtos animais após algum tempo, o que impossibilitaria a contratação de profissionais qualificados para a realização de projeto e construção, situação semelhante à outros assentamentos rurais brasileiros (LEITE et al., 2004).

As tipologias construtivas se assemelham bastante ao padrão encontrado nas moradias de programas sociais habitacionais verificados nas cidades (origem da maior parte dos moradores). Onde as edificações possuem, em média, 50m² de área construída, sendo distribuídas em cômodos (sala, cozinha, banheiro e dois quartos (BELLÉ, 2011).

Para o presente trabalho, considerou-se como unidade básica de projeto o croqui apresentado na figura 7.4, confeccionado a partir da aferição *in loco* de projeto replicados por moradores da região em sistema de autoconstrução. As paredes apresentaram área total, descontando-se os vãos, de 141,03 m².

Figura 7.4 – Croqui de caracterização da unidade habitacional básica de projeto



Fonte: Autor

Originalmente o sistema de vedação vertical, correspondente à parcela mais significativa dos sistemas prediais edificado, é constituído por tijolos cerâmicos, sem revestimento, assentado com argamassa de cimento e cal, fabricada na própria obra. Para o presente estudo de caso, não foram consideradas as quantidades de concreto armado utilizadas para se fazer pilares e vigas, sendo comparados, desta forma, sistemas construtivos de vedação vertical composto por paredes autoportantes, ou seja, paredes constituem tanto o sistema de vedação como o sistema de superestrutura da edificação, sendo considerados quatro soluções construtivas:

- Paredes edificadas em blocos de solo-cimento prensados, com fabricação local, por meio de prensa manual – solução construtiva semelhante a aplicada para a construção de moradias na aldeia indígena Rancho Jacaré (SANCHEZ, 2009), no município Laguna Caarapã-MS a 112 Km de Nova Itamarati;
- Paredes em blocos cerâmicos, solução semelhante esteticamente ao já aplicado na região, porém, em dimensões maiores e com função estrutural (alvenaria estrutural);
- Paredes em bloco de concreto, material utilizado para a edificação de habitações populares em centros urbanizados (GUERRA; KERN; GONZÁLEZ, 2009);
- Taipa de pilão mecanizada, apontada como solução construtiva de baixo custo e bom desempenho ambiental e técnico para a aplicação em edificações localizadas no estado de Mato Grosso do Sul (MIRANDA; YUBA, 2016).

Sendo considerada a fabricação local para as técnicas a base de solo-cimento, considerando-se a aquisição/locação de maquinários necessários para a infraestrutura produtiva de cada técnica. Para as alvenarias em bloco cerâmico e de concreto, foi considerada a aquisição dos elementos construtivos fabricados por indústrias locais.

Para a realização da análise de desempenho no ambiente da MATSUS-HR foram coletados dados primários para o cadastramento de impactos ambientais de materiais, com base no inventário de ciclo de vida de materiais construtivos – dando-se preferência para os inventários feitos para o Brasil e cadastrados nas bases de

acesso gratuito, tais como o Banco Nacional de Inventário de Ciclo da Vida (SICV)¹⁸ ao inventário produzido pela Associação Nacional da Indústria cerâmica (ANICER, 2012) e publicações acadêmicas que trabalharam com os materiais analisados (EVANGELISTA et al., 2018; MIRANDA; YUBA, 2016; OERSTED; HORA, 2017). Para o cadastramento de equipamentos, foram consultadas especificações técnicas de fabricantes quanto ao consumo, potência, peso e demais informações. O cadastramento de mão de obra se baseou na análise de composição de serviço propostos na TCPO (PINI, 2003), assim como a composição de quantidade de serviço por atividade. Por fim, o cadastramento de preços de insumos se deu por meio da consulta à tabelas do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil (SINAPI, 2019), referentes à junho de 2019 para o estado de Mato Grosso do Sul.

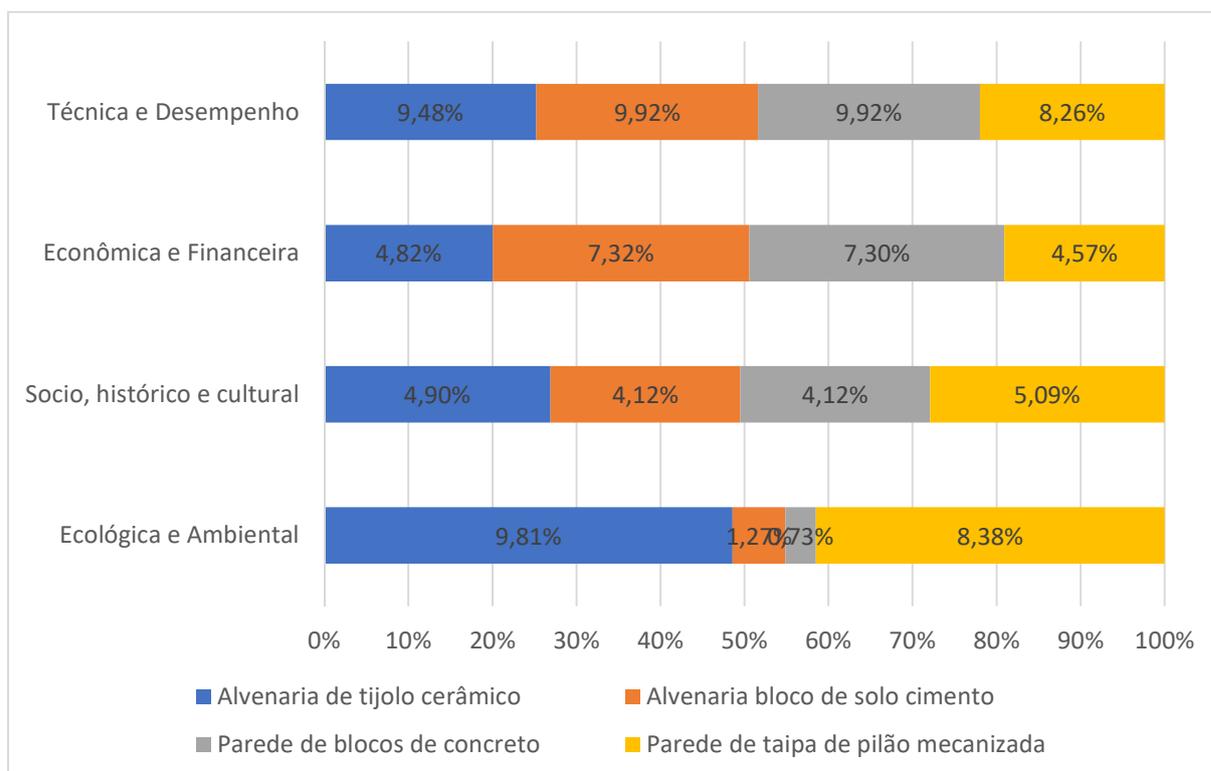
7.3.1 Resultados e discussões

Avaliando-se os desempenhos dos sistemas construtivos ante às dimensões de sustentabilidade, verifica-se que para a dimensão Ecológica e ambiental os sistemas construtivos com matriz formada por solo (blocos de solo-cimento e taipa de pilão mecanizada) possuem desempenhos significativamente melhores que as alvenarias de bloco cerâmico e de concreto, já para as categorias Técnica e desempenho” e Sócio, histórica e cultural, o desempenho dos sistemas construtivos foi bastante próximo, porém na categoria Econômica e financeira, os produtos industrializados tiveram melhores resultados, ou seja, para a situação analisada estes se mostraram mais viáveis financeiramente que as técnicas com fabricação local (figura 7.5), onde, quanto maior for é o grau de participação do sistema construtivo para o alcance de um horizonte mais sustentável, expresso em valores percentuais por categoria, melhor é o desempenho desse sistema.

Tal situação é explicada pela a necessidade de se adquirir equipamentos e ferramentas necessárias para a fabricação local, sendo estes custos diluídos em uma aplicação em maiores escalas produtivas.

¹⁸ Os dados públicos possuem acesso online por meio da página da IBICT: <http://acv.ibict.br/>.

Figura 7.5 – Desempenho por dimensões de sustentabilidade para os sistemas construtivos analisados



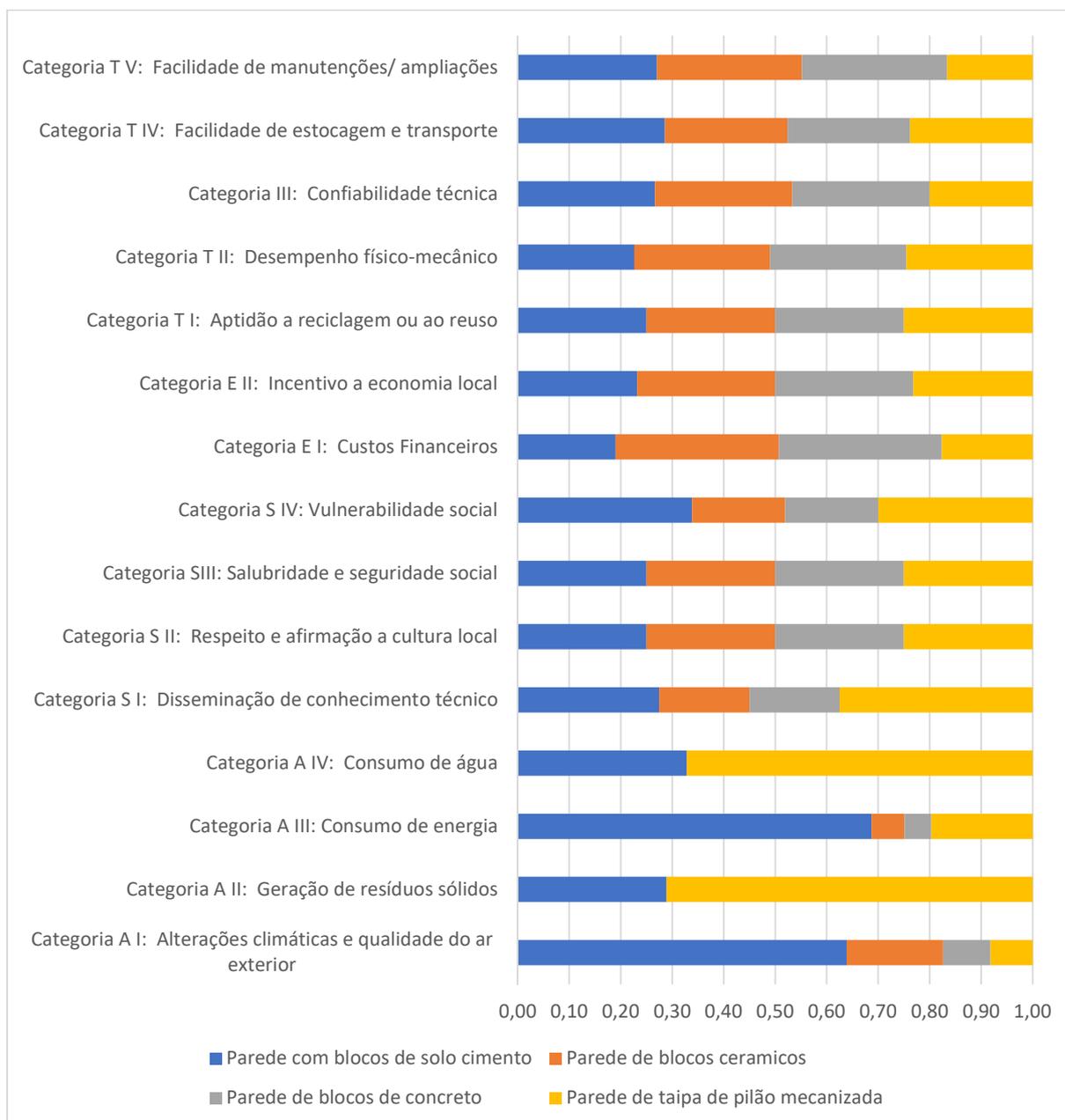
Fonte: Autor

A figura 7.6, demonstra o desempenho de cada sistema construtivo por categoria avaliativa, sendo que as categorias que mais apresentaram diferenças entre o desempenho dos sistemas e que, portanto, definiram o seu desempenho global foram às pertencentes a dimensão ambiental. Sendo as técnicas construtivas à base de solo consideradas, pela avaliação proposta, menos impactantes ambientalmente.

Na categoria AI (Alterações climáticas e qualidade do ar exterior), a implementação de paredes com o uso de blocos de solo-cimento prensados apresentou grande vantagem sobre as demais. Os sistemas construtivos “blocos de concreto” e “taipa de pilão mecanizada” apresentaram os piores resultados, tal situação se explica pelo uso de um maior percentual de cimento incorporado no caso do primeiro, e da utilização de formas metálicas produzidas em fábricas do estado de São Paulo, distante cerca de 1000Km do local de aplicação, fator este que imputa à segunda técnica grande índices de emissões incorporadas à sua fase de aplicação – fazendo-se referência aos ciclos de vida do material, abordagem adotada pela MATSUS-HR. Tal situação também fora identificada por Miranda e Yuba (2016), quando, ao se considerar o transpor de insumos construtivos para a técnica

construtiva de taipa de pilão mecanizada (neste caso fibras poliméricas fabricadas na China), o indicador “Emissão de gás carbônico” apresentou grande discrepância ante aos demais sistemas construtivos comparados.

Figura 7.6 – Desempenho por categoria para os sistemas construtivos analisados



Fonte: Autor

A geração de resíduos sólidos e consumo de água verifica para a taipa de pilão mecanizada apresenta excelentes resultados, o oposto verificado para as técnicas industrializadas, pois, além de um processo fabril que gera muitos passivos, o seu fator de perda é elevado durante as fases de transporte e aplicação e, também,

possuem em seu processo produtivo consumo elevado de água. Para a categoria que analisa o desempenho quanto ao consumo de energia, a técnica construtiva de blocos de solo-cimento com fabricação local, com máquina manual, se apresentou com a mais vantajosa (figura 7.6).

De maneira global, a técnica construtiva que composta por blocos de solo-cimento se mostrou mais sustentável para a aplicação no local estudado, seguido pela taipa de pilão mecanizada, blocos cerâmicos e blocos de concreto (quadro 7.1).

Quadro 7.1 - Classificação dos sistemas construtivos analisados

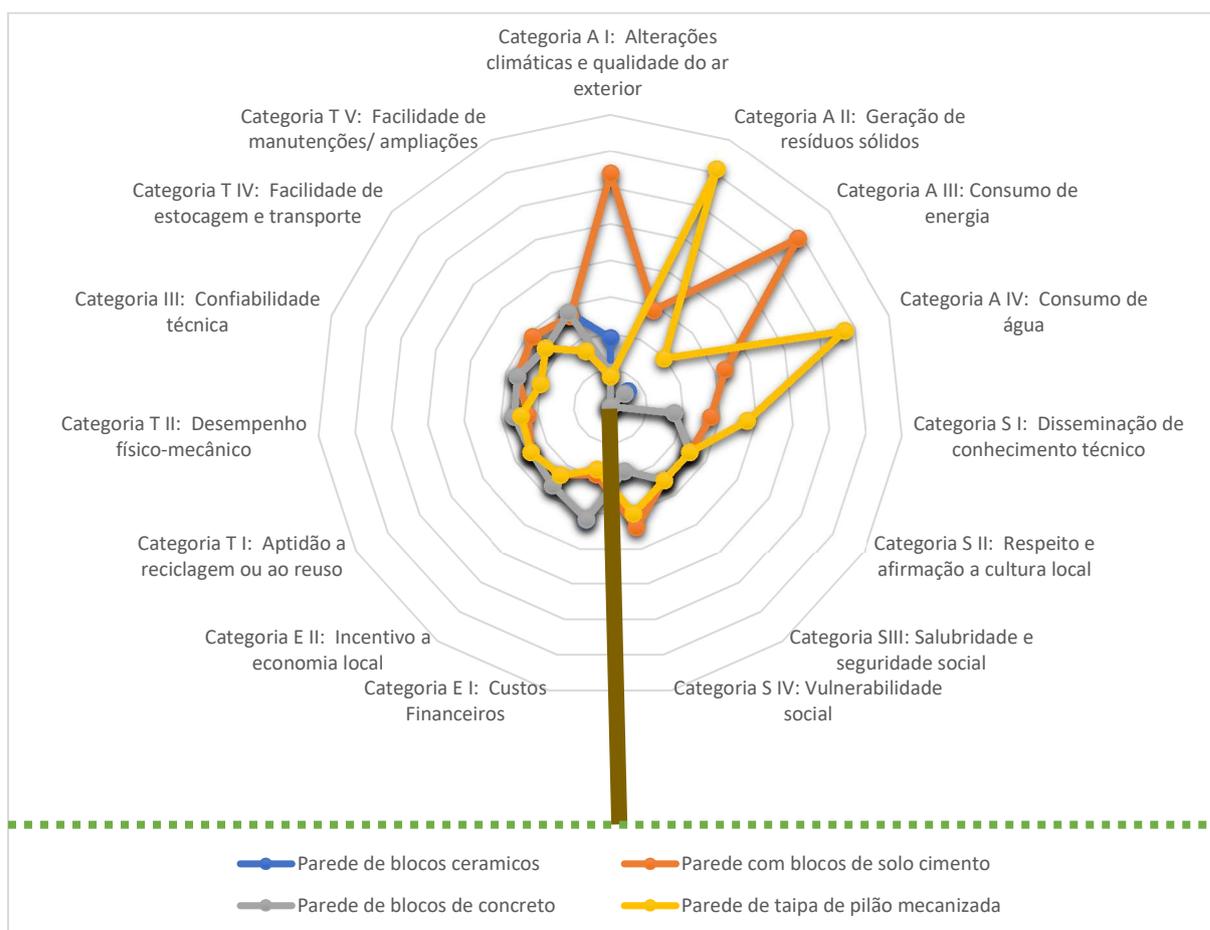
| Sistema Construtivo | Peso | Classificação |
|-------------------------------------|--------|---------------|
| Parede com blocos de solo-cimento | 0,2900 | 1 |
| Parede de blocos cerâmicos | 0,2263 | 3 |
| Parede de blocos de concreto | 0,2207 | 4 |
| Parede de taipa de pilão mecanizada | 0,2630 | 2 |

Fonte: Autor

O desempenho dos sistemas construtivos em um contexto de habitação de interesse social, verificados pela MATSUS se assemelham às conclusões de outros trabalhos que abordaram a temática em um contexto brasileiro. (CARVALHO; SPOSTO, 2012; MIRANDA; YUBA, 2016; PAULSEN; SPOSTO, 2014; SPOSTO, 2017).

Espacialmente, aplicando-se a analogia proposta pela MATSUS-HR, a área do polígono formado pela agregação dos desempenhos das categorias de análise para os sistemas analisados (tamanho de copa) apresenta homogeneidade para todas as categorias, com exceção à ambiental, sendo verificada as maiores copas para os primeiros colocados na hierarquia construída como resultado final (figura 7.7).

Figura 7.7 – Visualização espacial do desempenho dos sistemas (Tamanho de copa)



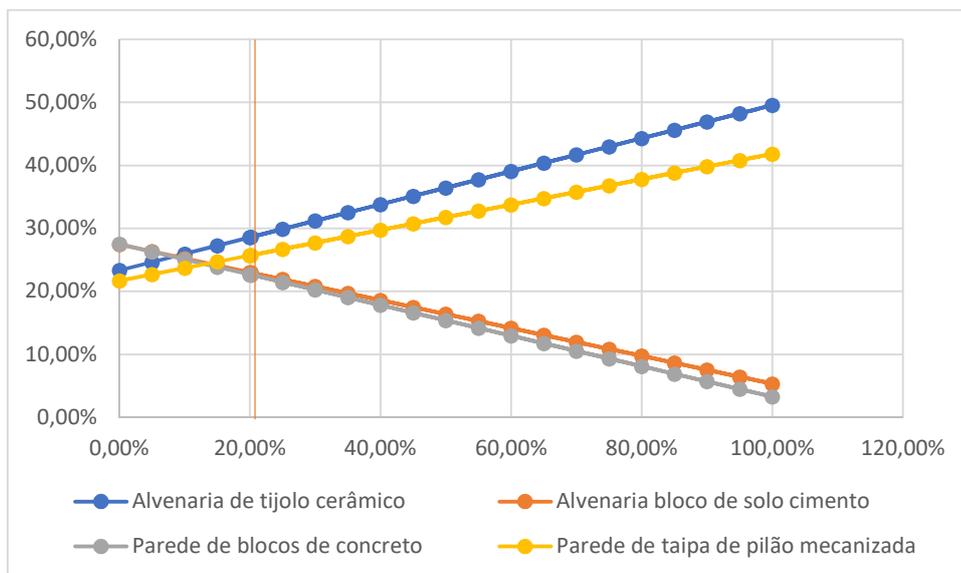
Fonte: Autor

7.3.2 Análise de sensibilidade

Um fator importante para a escolha de uma determinada solução analisada é como se relaciona o seu desempenho, ante aos indicadores propostos e os graus de importância atribuído a cada parâmetro. Neste sentido, através das figuras (7.8 a 7.11) são apresentadas análises quanto à sensibilidade de cada dimensão de sustentabilidade relacionada ao desempenho dos sistemas construtivos analisados dentro do sistema avaliativo da MATSUS-HR.

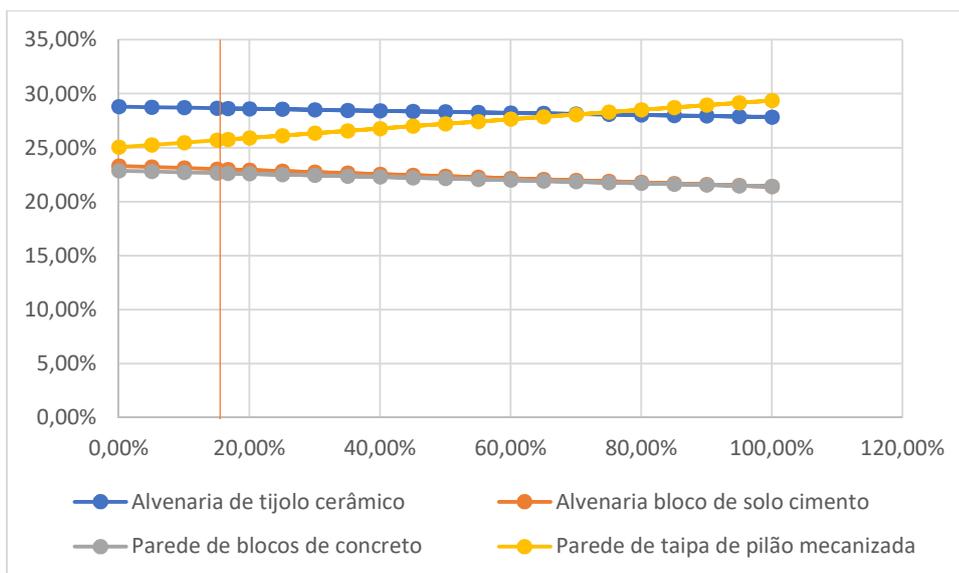
Verifica-se para as dimensões “Sócio, histórica e cultural”, “Econômica e financeira” e “Técnica e desempenho” apresentam uma tendência decrescente para a alternativa de maior desempenho global, ou seja, a medida que o grau de importância destas dimensões cresce, menores são os desempenhos verificados para o sistema construtivo em blocos de solo-cimento.

Figura 7.8 – Análise de sensibilidade para a dimensão Ecológica e ambiental



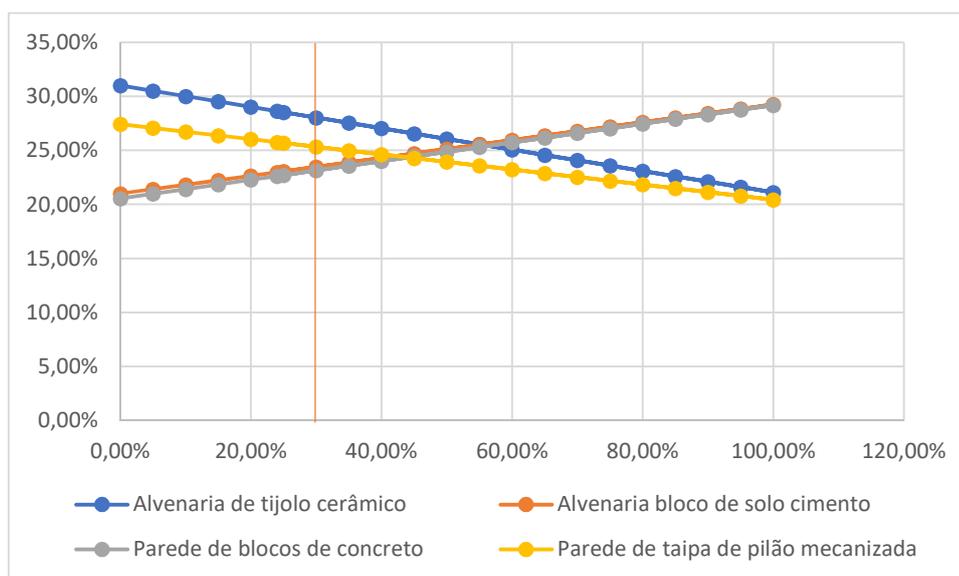
Fonte: Autor

Figura 7.9 - Análise de sensibilidade para a dimensão Sócio, histórica e cultural



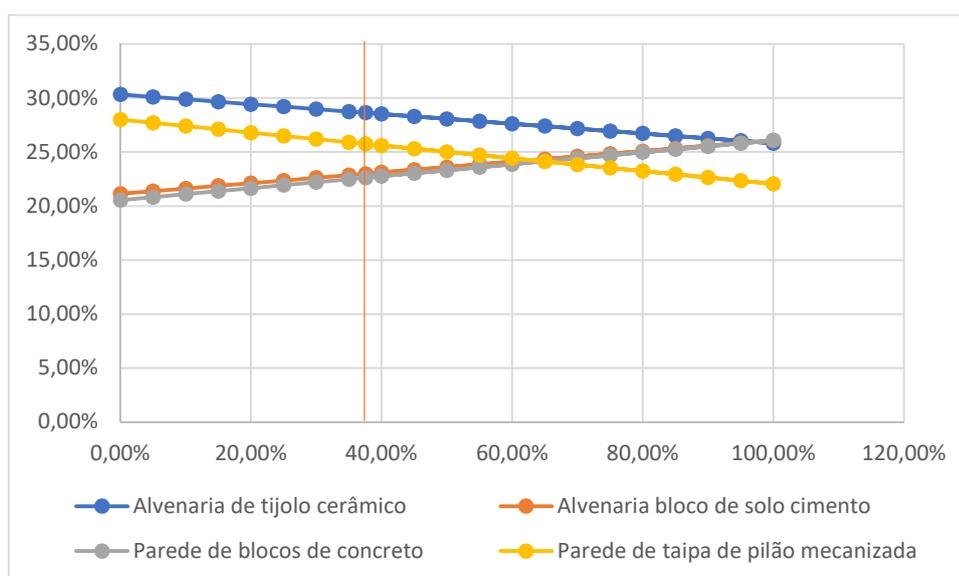
Fonte: Autor

Figura 7.10 – Análise de sensibilidade para a dimensão Econômica e financeira



Fonte: Autor

Figura 7.11 – Análise de sensibilidade para a dimensão Técnica e desempenho



Fonte: Autor

Para os sistemas pré-fabricados se verifica um comportamento oposto nas dimensões Técnica e desempenho e Econômica e financeira já que quanto maiores são os graus de importância para estas dimensões, melhores são os desempenhos para estes sistemas. Na dimensão “Sócio, histórica e cultural” observa-se que quanto maior é o seu grau de relevância, menores são os desempenhos de todos os sistemas, exceto a taipa de pilão mecanizada.

Capítulo 8

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação do desempenho sustentável de sistemas construtivos em ambientes rurais é composta por diversas fases de apreensão da realidade, estruturação de soluções e processamento de dados. No último capítulo desta tese, são apresentadas as principais conclusões acerca do método proposto, assim como o seu comportamento e perspectivas futuras.

8.1 Conclusões

A análise da bibliografia ligada ao tema permitiu a identificação de critérios para se definir o conceito de desempenho sustentável de edificações rurais, sob o prisma de sistemas construtivos. De maneira geral, grande parte das metodologias propostas são voltadas a análise do comportamento das edificações sob três dimensões (social, econômica e ambiental) havendo variações nas categorias avaliativas que compõe cada dimensão.

A estrutura montada à partir de quatro dimensões Ecológica e ambiental, Sócio, histórica e cultural, Econômica e financeira e Técnica e desempenho permitiu a construção de uma rede de categorias, indicadores e parâmetros que avaliam a sustentabilidade de forma integral, considerando boa parte dos aspectos que envolvem os impactos dos materiais e sistemas construtivos na sociedade onde este se insere, assim como nos ecossistemas afetados pelo seu ciclo produtivo.

A particularização dos parâmetros considerados para se estabelecer o desempenho de cada solução construtiva analisada às particularidades de populações rurais permitiu que se estabelecesse um ranqueamento ante ao grau de aplicabilidade de sistemas construtivo (tracionais ou alternativos) nestas regiões.

A estruturação da MATSUS-HR permitiu que, com base no modelo matemático proposto pela AHP, o problema atribuído à seleção de sistemas construtivos fosse hierarquizado, levando-se em consideração as quatro dimensões adotadas.

Um sistema construtivo é enxergado pelo comportamento de suas subpartes e o seu desempenho em conjunto, esta consideração permitiu que dentro do ambiente MATSUS-HR o usuário possa compor, com base no armazenamento de informações sobre materiais, equipamentos, mão de obra e atividades. Tal abordagem considera na composição de bancos de dados um novo formato de se avaliar os impactos dos de uma edificação, podendo estes serem mensurados por meio do grau de impacto das atividades necessárias para a sua implementação. Essa consideração possibilita, entre outros aspectos, compor de maneira simplificada uma análise de ciclo de vida para as fases produtivas de sistemas construtivos alternativos, não convencionais ou, ainda, aqueles que não possuem processos fabris.

No ambiente da MATSUS diversos sistemas construtivos podem ser analisados de maneira simultânea e, para facilitar essa experiência, a ferramenta, programada em linguagem *Python*, demonstrou-se eficaz e com uma interface amigável.

A estruturação feita para se ponderar os valores obtidos para o desempenho dos sistemas construtivos mostrou-se uma alternativa para se adequar soluções gerais ou apenas de caráter técnico à realidade onde pretende-se aplicar a solução construtiva, posicionando a MATSUS-HR no limiar entre os métodos do tipo *TOPDOWN* e *DOWN TOP*, situação desejável para metodologias que buscam atender a transdisciplinaridade proposta pela conceituação mais recente de sustentabilidade construtiva. Outra característica, proposta em sua estruturação, é a constante atualização de indicadores a serem considerados, assim como o grau de importância a eles atribuídos, tornando o método dinâmico social, espacial e temporalmente. Conferindo a MATSUS-HR um alto grau de adequabilidade a diferentes características do meio ou do sistema construtivo a ser comparado.

Em sua aplicação prática, os valores finais obtidos para a presente avaliação demonstram que, de maneira global, uma edificação implementada na região do assentamento Itamarati e possuindo as características de projeto analisadas, a implementação do sistema construtivo composto por “blocos de solo-cimento prensados moldados *in loco*” possui um desempenho sustentável superior aos demais comparados, considerando os parâmetros e pesos de sustentabilidade definidos, obtendo uma pontuação de 0,290. Em segundo lugar foi classificada a utilização de paredes de taipa de pilão mecanizada (com pontuação de 0,263), seguidos dos sistemas em bloco cerâmicos industrializados (0,226) e blocos de concreto (0,221). Com base nos resultados, pode-se constatar que a metodologia produziu um bom indicativo de qual sistema pode ser incentivado a ser adotado em regiões com características semelhantes ao Assentamento, sendo destacada as soluções construtivas que utilizam mão de obra e materiais locais.

A metodologia proposta se apresentou aplicável para analisar, de maneira sistemática, uma realidade complexa e com características locais diferentes dos centros urbanizados, onde os sistemas construtivos são importantes para o aumento da qualidade de vida e amenização dos fatores de vulnerabilidade social da população local, fomentando a aplicação prática de soluções construtivas não popularizadas na

região de estudo (soluções construtivas adotados por populações de outras regiões ou nacionalidades, desenvolvidos em centros acadêmicos, técnicas utilizadas por populações tradicionais ou historicamente esquecidas) que podem apresentar grande eficiência sustentável.

8.2 Perspectivas futuras

No decorrer do desenvolvimento do método, verificou-se a necessidade da realização de ampliação do mapeamento dos impactos nas pluridimensões possíveis para a avaliação dos materiais construtivos, aumentando as inter-relações entre as hierarquias definidas, assim como a necessidade de se expandir os grupos de interesse. Outra constatação foi a grande eficiência da junção de métodos computacionais na análise de desempenho em ambientes com muitas variáveis. Essa situação aponta para perspectivas futuras que alinhem o uso de técnicas de aprendizagem de máquinas e o desenvolvimento de bancos de dados colaborativos em ambientes online, para que assim, maximize-se o processamento e análise das informações, dados mais precisos e capilarizados.

REFERÊNCIAS

ABCP. **Indústria da construção**: crescimento com emprego e investimento. Associação Brasileira de Cimento Portland, 2018. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/industria-da-construcao-crescimento-com-emprego-e-investimento/>. Acesso em: out. 2018.

ABIKO, A. K. **Tecnologias apropriadas em construção civil**. In: FREIRE, J. W.; BERALDO, A. L. Tecnologias e materiais alternativos de construção. Campinas, SP: Editora Unicamp, p. 55-64, 2003.

ABNT. **ISO 14040:2006 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura**. ABNT, p. 10, 2014.

_____. **Indicadores de Sustentabilidade**. 1º. ed. Rio de Janeiro, RJ: Fundação Getúlio Vargas - FGV, 2005.

_____. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento. Rio de Janeiro, RJ: 2012.

_____. **NBR 10834**: Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, RJ: 2012.

_____. **NBR 10836**: Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ: 2013.

_____. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: 2013.

_____. **NBR 12024**: Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — Procedimento. Rio de Janeiro, RJ: 2013.

_____. **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento – requisitos. Rio de Janeiro, RJ: 2012.

_____. **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ: 2012.

_____. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, RJ: 2019.

_____. **NBR ISO 14044**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, RJ: 2009.

ALI, H. H.; AL NSAIRAT, S. F. **Developing a green building assessment tool for developing countries** - Case of Jordan. *Building and Environment*, v. 44, n. 5, p. 1053–1064, 2009.

ALVES, J. A. L. **Relações internacionais e temas sociais: a década das conferências**. Brasília: Instituto Brasileiro de Relações Internacionais (IBRI/ UNB), 2001.

AMENDOLA, F. et al. Validade aparente de um índice de vulnerabilidade das famílias a incapacidade e dependência. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, São Paulo, v. 45, n. 2, 2011.

ANICER. Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado moldado in loco. **Associação Nacional da Indústria Cerâmica**, 2012.

ARDDA, N. **Developing Assessment Tool for New and Retrofit Residential Building in West Bank, Palestine**. Universidade do Minho, n. March, p. 0–106, 2011.

ARGOLLO FERRÃO, A. M. DE. Arquitetura Rural e o espaço não-urbano. **Revista Labor & Engenho**, v. 1, n. 1, p. 89–112, 2007.

AZEVEDO, N. J. D. DE. **Sistema para avaliação de sustentabilidade do ambiente construído**: aplicação à habitação de interesse social, 2008, 261 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2008.

BARBOSA, N. P. **Considerações sobre materiais de construção convencionais e não convencionais**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, 2015.

BARBOZA, C. S. **Avaliação físico-mecânica do solo-cimento autoadensável para fabricação de paredes monolíticas**. [s.l.] Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2014.

BARBOZA, C. S. et al. Relação entre o ambiente construído tradicional indígena e as atuais edificações dos Guarani-Kaiowá em Dourados-MS/Brasil. **7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, regional, integrado e sustentável. Contrastes, contradições e complexidades**, out. 2016.

BARBOZA, C. S.; BARRETO, D. A sustentabilidade social e o modelo construtivo para edificações rurais: um estudo de caso no assentamento itamaratí. In: **Encuentro Latinoamericano y Europeo de Edificaciones y Comunidades Sostenibles, 3º. 2019, Santa Fé (Argentina)**. *Anais (...)*. p 1121 - 1130, 2019.

BELLÉ, M. DE F. L. **Impactos sobre o desenvolvimento regional decorrentes do assentamento Itamarati, Ponta Porã (MS): 2001-2010**. [s.l.] Universidade Anhanguera-Uniderp, 2011.

BELLÉ, M. F. L.; ALVES, Gilberto Luiz; DE SOUZA, Celso Correia. Impactos sobre o desenvolvimento regional decorrentes do Assentamento Itamarati, Ponta Porã (MS): 2001-2010. **Albuquerque: revista de história**, v. 5, n. 9, p 9 - 33, 2017.

BELLEN, H. M. V. Indicadores de sustentabilidade: um levantamento dos principais sistemas de avaliação. **Cadernos EBAPE.BR**, v. II, n. 1, Mar. 2004.

BERGE, B. THE ECOLOGY OF BUILDING MATERIALS. **Architectu** ed. [s.l.] Elsevier, 2009.

BESTEIRO, A. M.; MIUCCIATO, V. **A Utilização do método AHP para traçar, como ferramenta para o auxílio a decisão de um candidato, a escolha de um curso de engenharia**. 2009.

BOFF, Leonardo. Sustentabilidade: o que é, o que não é. Rio de Janeiro, RJ: **Vozes**, 2012.

BONETE, B. I.; FILHO, N. A. Há uma nova economia do desenvolvimento? In: **Território, políticas públicas e estratégias de desenvolvimento**. 2° ed. Campinas-SP: Grupo Átomo e Alínea, p. 39–56, 2015.

BORGES, L. E. **Python para desenvolvedores**: aborda Python 3.3. São Paulo, SP: Novatec Editora, 2014.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. Note - A Preference Ranking Organisation Method. **Management Science**, v. 31, n. 6, p. 647–656, 1985.

BRASIL. [EMENDA CONSTITUCIONAL Nº 65]. Altera a denominação do Capítulo VII do Título VIII da Constituição Federal e modifica o seu art. 227, para cuidar dos interesses da juventude [2010]. Disponível em: https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/EMC65_13.07.2010/EMC65.asp. Acesso em: 20 fev. 2018

_____. [EMENDA CONSTITUCIONAL Nº 90]. Dá nova redação ao art. 6º da Constituição Federal, para introduzir o transporte como direito social. [2015]. Disponível em: https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/EMC90_15.09.2015/EMC90.asp. Acesso em: 20 fev. 2018

BRUNTLAND, G. **Our Common Future**. Report of the World Commission on Environment and Development, Oxford University, Press, Oxford, 1987.

BUENO, C. et al. Sensitivity Analysis of the use of Life Cycle Impact Assessment Methods: A case study on building materials Cristiane. **Journal of Cleaner Production**, 2015.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT - **BRE GLOBAL LTD. BREEAM** (Building Research Establishment Environmental Assessment Method): International New Construction 2018 Technical Manual TM. 2018. 463f. Disponível em: <https://www.breeam.com/>. Acesso em: 25 jun. 2019.

CALDAS, L. R, et al. Life cycle carbon emissions inventory of brick masonry and light steel framing houses in Brasília: proposal of design guidelines for low-carbon social housing. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 3, p. 71-85, 2017.

CARAM, R. **Estrutura e Propriedades dos Materiais**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2006.

CARVALHO, M. T. M.; SPOSTO, R. M. Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 207–225, 2012.

CASTRO, M. DE F. M. DE A. E. **Sustentabilidade no edificado: método de apoio ao projeto de edifícios hospitalares**. Guimarães (Portugal). Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em engenharia civil - Universidade do Minho, 2018.

CHANDRATILAKE, S. R.; DIAS, W. P. S. Sustainability rating systems for buildings: Comparisons and correlations. **Energy**, v. 59, p. 22–28, 2013.

CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração**. São Paulo, SP: McGraw-Hill do Brasil, 1983.

CIB. **Agenda 21 on sustainable construction**. Rotterdam, Netherlands: [s.n.].

CORRÊA, V. P.; SILVA, F. F.; NEDER, H. D. Índice de Desenvolvimento Rural e Políticas Públicas - Análise das liberações do PRONAF nas regiões Nordeste e Sul do Brasil. Território, **Políticas Públicas e Estratégias de Desenvolvimento**, Campinas, p. 115-138, 2015. ISSN ISBN 978-85-7516-753-3.

COSTA, T. C. DA; BELDERRAIN, M. C. N. DECISÃO EM GRUPO EM MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO. **Anais do evento: 15º Encontro de iniciação científica e pós-graduação do ITA- XV ENCITA**, p. 1–12, 2009.

CSILLAG, D. **Análise das práticas de sustentabilidade em projetos de construção latino americanos**. Usp, p. 117, 2007.

DAGNINO, R. **Tecnologia Social contribuições conceituais e metodológicas**. [s.l: s.n.].

DEPONTI, C. M. **Indicadores para avaliação da sustentabilidade em contextos de desenvolvimento rural local**. Rio Grande do Sul (Brasil): UFRGS, 2001. 156f. Monografia (especialização). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.

DESTATTE, P. Foresinght: A major tool in tackling sustainable development. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 77, p. 1575–1587, 2010.

DIXON, W. The impacts of construction and the built environment. **Briefing note**, p. 1-6, 2010.

EBERHARDT, L. C. M.; BIRGISDÓTTIR, H.; BIRKVED, M. Life cycle assessment of a Danish office building designed for disassembly. **Building Research and Information**, v. 47, n. 6, p. 666-680, 2019.

ELKINGTON, J. Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st Century Business. **Century Business**, v. 23, p. 229-231, 1997.

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION (BRASIL). **Declarações ambientais brasileiras**. Disponível em: <https://www.epdbrasil.com.br/>. Acesso em: 28 abr. 2019.

ESCOBAR, L. Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas. **Eure**, v. 32, n. 96, p. 73-98, 2006.

EUROCONSTRUCT. **Engenharia civil europeia assumindo a liderança**. Euroconstruct, 2018. Acesso em: mai. 2019.

EVANGELISTA, P. P. A. et al. Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA). **Construction and Building Materials**, v. 169, p. 748–761, 2018.

FIGUEIRA, J. R. ET AL. An overview of ELECTRE methods and their recent extensions. **Journal of Multi-Criteria Decion Analysis**, v. 20, n. 1-2, p. 61-85, 2013.

FILIPPI, E. E. **Reforma agrária: experiências internacionais de reordenamento agrário e a evolução da questão da terra no Brasil**. Porto Alegre, RS: Editora UFRGS, 2005.

FORMAN, E.; PENIWATI, K. **Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process**. 1998.

FREIRE, W. J. Materiais alternativos de construção. In: FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2003. Cap. 1, p. 27 - 54.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO; **Déficit habitacional no Brasil 2015**/ Fundação João Pinheiro, Diretoria de Estatística e Informações. Belo Horizonte, MG, 2018.

FUNDAÇÃO VANZOLINI E CERWAY. **Processo AQUA, construção sustentável**. Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção. Brasil, 2018. 100p. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/aqua>. Acesso em: 25 jul 2019.

GALLO, A. D. S. et al. Indicadores da sustentabilidade de uma propriedade rural de base familiar no estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 3, p. 104, 2016.

GARCIA, R. M. Tecnologia apropriada: amiga ou inimiga oculta? **Administração de empresas**, v. 27, n. 3, p. 26–38, 1987.

GENOVESE, A. et al. **Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications.** *Omega*, v. 66, p. 344–357, 2017.

GODOI, C. Método de construção das matrizes de julgamento paritários no AHP: método do julgamento holístico a method for building a pairwise comparison matrix in AHP - wholistic assessment method. **Revista Gestão Industrial**, n. 1996, p. 474–493, 2014.

GOMES, V. **Indicadores de sustentabilidade de edifícios: estado da arte e desafios para desenvolvimento no Brasil.** n. c, p. 47–66, 2007.

GONÇALVES, C. D. F.; DIAS, J. A. M.; MACHADO, V. A. C. Multi-criteria decision methodology for selecting maintenance key performance indicators. **International Journal of Management Science and Engineering Management**, v. 10, n. 3, p. 215–223, 2015.

GONÇALVES, D. B. Desenvolvimento sustentável: o desafio da presente geração. **Revista Espaço Acadêmico**, n. 1998, p. 1–7, 2005.

GOVINDAN, K.; JEPSEN, M. B. ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal of Operational Research**, v. 250, n. 1, p. 1–29, 2016.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. Certificação LEED Leadership in **Energy and Environmental Design**. Disponível em: www.gbcbrazil.org.br. Acesso em: 25 jun. 2019.

GUERRA, G. M.; KERN, A. P.; GONZÁLEZ, M. A. S. **Empreendimentos de Habitação de Interesse Social: o Desafio na Relação Área/Custo.** p. 51–58, 2009.

GUIMARÃES, R. P.; FEICHAS, S. A. Q. Desafios na Construção de Indicadores de Sustentabilidade. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. XII, n. 2, p. 307-323, jul. 2009.

HASSAN, M. F. et al. Sustainability evaluation of alternative part configurations in product design: Weighted decision matrix and artificial neural network approach. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 18, n. 1, p. 63–79, 2016.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. **Traité de construction en terre.** [s.l.] Parentheses, 1989.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico [2010]**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9673&t=downloads>. Acesso em: 20 fev. 2018.

INTERNATIONAL INITIATIVE FOR A SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT - IISBE. Procedures for using SBTool 2007 **Procedures for using SBTool 2007**. 2008. Disponível em: <http://www.iisbe.org/>. Acesso em: 23 abr. 2019.

- IPEA. **AGENDA 2030 ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2018.
- ISHIZAKA, A.; LABIB, A. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 11, p. 14336–14345, 2011.
- ISO. INTERNATIONAL STANDARD. v. 2007, 2007.
- JEFFERSON, P.; CAMACHO, S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 2006.
- JORDÃO, B. M. DA C.; PEREIRA, S. R. A análise multicritério na tomada de decisão - O Método Analítico Hierárquico de T. L. Saaty. 2006.
- KAGEYAMA, A. DESENVOLVIMENTO RURAL: CONCEITO E MEDIDA. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 21, p. 379-408, Set/Dez 2007.
- KESIKIDOU, F.; STEFANIDOU, M. Natural fiber-reinforced mortars. **Journal of Building Engineering**, v. 25, n. April, p. 100786, 2019.
- LARSSON, N. An Overview of Green Building Rating and Labelling Systems An Overview of **Green Building Rating and Labelling Systems**. n. March 2004, 2014.
- LEITE, S. et al. **Impactos dos assentamentos: Um estudo sobre o meio rural brasileiro**. Unesp ed. São Paulo: [s.n.].
- LI, Y. et al. A review of studies on green building assessment methods by comparative analysis. **Energy and Buildings**, v. 146, p. 152–159, 2017.
- LIBRELOTTO, L. I. **Modelo para avaliação da sustentabilidade na construção civil nas dimensões econômica, social e ambiental (ESA): aplicação no setor de edificações**, 2005, 371f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005.
- LIMA, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. A comparison between TOPSIS and Fuzzy-TOPSIS methods to support multicriteria decision making for supplier selection | Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão e Produção**, v. 22, n. 1, p. 17–34, 2015.
- LIMA, T. V. **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias-primas do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ**. [s.l.]. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006.
- LITTLE, P. E. **Etnodesenvolvimento local: autonomia cultural na era do neoliberalismo global**. Tellus, Campo Grande - MS, v. 3, p. 33-52, out. 2002.
- LOPEZ-RIDAURA, S., MASERA, O., ASTIER, M. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. **Ecological Indicators**, v. 2, n. (1-2), p. 135-148, 2002.

MAIA, R. T. **Avaliação das variáveis que influenciaram no uso da terra como material construtivo para habitação social rural no Assentamento Rural Sepé Tiaraju – Serra Azul-SP.** [s.l.]. Universidade de São Paulo, 2011.

MARCELO, V. C. C.; VIZIOLI, S. H. T.; ANGINELI, C. M. DE M. **Construção Participativa de Indicadores de Sustentabilidade da Construção Habitacional nas Comunidades de Santo André.** Seminário internacional "Espaço sustentável: inovações em edifícios e cidades". **Anais...** . 2008.

MARX, Â. M.; PAULA, I. C. DE. Proposta de uma sistemática de gestão de requisitos para o processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis. **Production**, v. 21, n. 3, p. 417–431, 2011.

MATEUS, R. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção. Guimarães (Portugal):** Uminho, 2004. 224f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2004.

_____. **Avaliação da Sustentabilidade da Construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis.** Guimarães (Portugal): Uminho, 2009. 427f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2009.

MATTONI, B. et al. Critical review and methodological approach to evaluate the differences among international green building rating tools. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. April 2017, p. 950–960, 2018.

MELLO, L. C. B. DE B.; AMORIM, S. R. L. DE. O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. **Produção**, v. 19, p. 388–399, 2009.

MELO, C. O. DE; PARRÉ, J. L. Índice de desenvolvimento rural dos municípios paranaenses: determinantes e hierarquização. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, n. 2, p. 329–365, 2007.

MICHAEL VAN BELLEN, H. Indicadores de sustentabilidade: um levantamento dos principais sistemas de avaliação. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 2, n. 1, p. 1–14, 2004.

MICHEL, I.; LEITE, S. **Análise Comparativa dos Métodos de Apoio Multicritério a Decisão: AHP, Electre E Promethee.** XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...** . p. 11, 2012.

MIKHAILOVA, I. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teróricos e os problemas da mensuração prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, v. 16, p. 22–41, 2004.

MIRANDA, A. DOS S.; YUBA, A. N. **Comparação de impactos ambientais de sistemas construtivos de paredes utilizando avaliação do ciclo de vida modular.** XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** . 2016.

MMA. **Construção Sustentável**. Ministério do Meio Ambiente, 2018. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: dez. 2018.

MOLDAN, B.; JANOUŠKOVÁ, S.; HÁK, T. How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 4–13, 2012.

MONTEIRO, H.; FREIRE, F. Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: Comparison of three impact assessment methods. **Energy & Buildings**, v. 47, p. 572–583, 2012.

MONTIS, A. DE et al. A method for analysing and planning rural built-up landscapes: The case of Sardinia, Italy. **Land Use Policy**, v. 62, p. 133–131, 2017.

MORIN, E. A necessidade de um pensamento complexo. In: MENDES, C. **Representação e Complexidade**. Rio de Janeiro: Garamond, p. 69-79, 2003.

MYRRHA, M. A. D. L. E. Solo-cimento para fins construtivos. In: FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas, SP: Unicamp, 2003. Cap. 4, p. 95 - 120.

NAÇÕES UNIDAS. ONU Meio Ambiente no Brasil 2017-2018. **Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente**, v. 1, 2019.

OERSTED, H. C.; HORA, G. **Avaliação do ciclo de vida do alumínio primário utilizando o software OpenLca**. 2017.

OLIVEIRA, B. M. DA S.; FERREIRA, D. N. **Avaliação Pós-Ocupação de habitações construídas com tijolo solo-cimento, no interior da Paraíba**. VII CONNEPI - Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. **Anais...** . 2012.

OLSEN, M. E.; LODWICK, G.; DUNLAP, R. E. Viewing the world ecologically. New York: Routledge, 2018.

ONU. Declaração universal dos direitos humanos. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2018/10/DUDH.pdf>. Acesso em: out. 2017.

ONU. Nações Unidas Brasil. 17 OBJETIVOS PARA TRANSFORMAR NOSSO MUNDO, 2016. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: out. 2018.

ONU. ONU Meio Ambiente no Brasil 2017-2018. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, v. 1, 2019.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 1, p. 28–39, 2009.

OVIEDO, R. A. M.; CZERESNIA, D. O conceito de vulnerabilidade e seu caráter biossocial. **Interface: Communication, Health, Education**, v. 19, n. 53, p. 237–249, 2015.

PACHECO, T.; LEROY, J. P. **Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: FIOCRUZ, 2013.

PACHECO, T.; PORTO, F.; ROCHA, D. Metodologia e Resultados do Mapa: uma síntese dos casos de injustiça ambiental e saúde no Brasil. In: PACHECO; FIRPO, M.; PACHECO, T.; LEROY, J. P. **Injustiça ambiental e saúde no Brasil: o mapa de conflitos**. Rio de Janeiro, Editora Fiocruz, 2013.

PALMIERIA, A. R. et al. **Desenvolvimento sustentável e exequibilidade: Sistematização de debate sociocêntrico participativo em decisões organizacionais no desenvolvimento de projetos**. Design & Tecnologia, Porto Alegre, RS, 2014.

PARAVIDINO, W. L. F. et al. Inserção de critérios de sustentabilidade na matriz de decisão altera alternativa de aquisição de bens em uma instituição pública. **International Scientific Journal**, 2017. ISSN ISSN: 1679-9844.

PARREIRAS, R. O. **Algoritmos Evolucionários e Técnicas de Tomada de Decisão em Análise Multicritério**. 2006. 166f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2006.

PASTRO, R. Z. **Alvenaria estrutural sistema construtivo**. Itatuba: Universidade São Francisco, 2007.

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “MY HOUSE MY LIFE”. **Energy & Buildings**, v. 57, n. 2013, p. 95–102, 2014.

PEREIRA, M. C. **O pátio interno como arquétipo**. 2010. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2010.

PEREIRA, P. M.; VIEIRA, C. S. **Resíduos de Construção e Demolição**. Um estado de arte visando a sua valorização em Trabalhos Geotécnicos. 2013.

PIMENTA, P. **Taipa: levantamento, normas e pesquisas disseminam técnica mais sustentável**. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2018. Disponível em: <https://www.ufms.br/taipa-levantamento-normas-e-pesquisas-disseminam-tecnica-mais-sustentavel/>. Acesso em: mai. 2019.

PINHEIRO, S. L. G. O enfoque sistêmico e o desenvolvimento rural sustentável: Uma oportunidade de mudança da abordagem hard-systems para experiências com

soft-systems. **Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Porto Alegre, v. 1, p. 27-37, jun. 2000.

PINI. Tabela de Composição de Preços para Orçamentos - TCPO. PINI ed. São Paulo: [s.n.].

PORTO, M. F. Injustiça ambiental no campo e nas cidades: do agronegócio químico-dependente às zonas de sacrifício urbanas. In: PORTO, M. F.; PACHECO, T.; LEROY, J. P. **Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil: o mapa de conflitos**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2013.

PUPPHACHAI, U.; ZUIDEMA, C. Sustainability indicators: A tool to generate learning and adaptation in sustainable urban development. **Ecological Indicators**, v. 72, p. 784–793, 2017.

REED, M. S.; FRASER, E. D. G.; DOUGILL, A. J. An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities. **Ecological Economics**, v. 59, n. 4, p. 406–418, 2006.

REN, P.; XU, Z.; GOU, X. Pythagorean fuzzy TODIM approach to multi-criteria decision making. **Applied Soft Computing Journal**, v. 42, p. 246–259, 2016.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. II. ed. Belo Horizonte - MG: UFMG, 2002.

SAATY, T. L. Analytic Network Process. In: GASS, S. I.; FU, M. C. (Eds.). **Encyclopedia of Operations Research and Management Science**. Boston, MA: Springer US, 2013. p. 64-72.

_____. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. **European Journal of Operational Research**, v. 145, n. 1, p. 85–91, 2003.

_____. **Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process** (To the Memory of my Beloved Friend Professor Sixto Rios Ga. Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat. VOL, v. 102, n. 2, p. 251-318, 2008.

_____. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

_____. **Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks**. [s.l.] RWS publications, 2005.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos - formulação e aplicação de uma metodologia** São Paulo Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, 1989.

SACHS, I. Environnement et styles de développement. *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, v. 29, n. 3, p. 553-570, 1974.

- SAMPAIO, G. S.; NUNES, I. E. S. Estudo interdisciplinar da viabilidade de aplicação do tijolo de solo-cimento na construção civil: economia aliada à sustentabilidade. **JANUS**, v. 12, n. 22, p. 33-46, 2018.
- SANCHEZ, R. **Comunidade guarani koiwá - Caso: Aldeia Rancho Jacaré - MS.** [s.l.] Universidade de Brasília, 2009.
- SANTOS, B. S. Uma concepção multicultural de direitos humanos. Lua Nova: **Revista de Cultura e Política**, 1997.
- SANTOS, C. A. **Construção com terra no brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, 2015.
- SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção.** Editora da Universidade de São Paulo, p.259, 2006.
- SCHMIDT, A. M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão abordagens: AHP e Macbeth.** 1995, 155f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 1995.
- SCHRAMM, F.; MORAIS, D. C. **Aplicação Do Método Multicritério Smarter Na Seleção De Fornecedores:** um estudo de caso na construção. Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...** . 2008.
- SENA, A. et al. Medindo o invisível: análise dos objetivos de Desenvolvimento Sustentável em populações expostas à seca. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 3, p. 671–684, 2016.
- SERAMIM, R. J.; LAGO, S. M. S. Estudo das publicações sobre sustentabilidade em pequenas propriedades rurais no período de 2005 a 2015. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 24, n. 1, p. 113–141, 2016.
- SHAD, R.; KHORRAMI, M.; GHAEMI, M. Developing an Iranian green building assessment tool using decision making methods and geographical information system: Case study in Mashhad city. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 324–340, 2017.
- SICHE, R. et al. Índices Versus Indicadores: Precisões Conceituais Na Discussão. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 2, p. 137–148, 2007.
- SILVA, M. R. O uso do solo-cimento na construção. In: BAUER, L. A. F. **Materiais de construção.** 5°. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. II, 2016. Cap. 24, p. 705 - 729.
- SILVA, S. P. D. **Ferramenta de apoio ao manejo de águas pluviais urbanas com base em indicadores de sustentabilidade – SAMSAP,** 2016. 175f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016. 175.

SILVA, V. G. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: diretrizes e base metodológica**, 2003. 333f. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2003.

SINAPI. Índices da Construção Civil. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi>>. Acesso em: 23 jun. 2019.

SPOSTO, R. M. Life cycle carbon emissions inventory of brick masonry and light steel framing houses in Brasilia: proposal of design guidelines for low- carbon social housing. p. 71–85, 2017.

SUJATHA, E. R.; DEVI, S. S. Reinforced soil blocks: Viable option for low cost building units. **Construction and Building Materials**, v. 189, p. 1124–1133, 2018.

TAYRA, F.; RIBEIRO, H. Modelos de indicadores de sustentabilidade: síntese e avaliação crítica das principais experiências. **Saúde e Sociedade**, v. 15, n. 1, p. 84-95, 2008.

TCPO. Tabela de Composições de Preços para Orçamentos. São Paulo: PINI, 2003. 441p.

THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM (BRASIL). Declarações ambientais brasileiras. Disponível em: <https://www.epdbrasil.com.br/encontre-epd>. Acesso em: 25 jul. 2019.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. 2°. ed. Portugal: TecMinho, 2010.

TRADINGECONOMICS. Tradingeconomics, 2018. Disponível em: <https://tradingeconomics.com/united-states/gdp>. Acesso em: mai. 2019.

TURNER, B. L. et al. **Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis**: three case studies. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 100, n. 14, p. 8080-8085, 2003.

VEIGA, J. E. DA. Indicadores De Sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 39–52, 2010.

WEIMER, G. INTERRELAÇÕES ARQUITETÔNICAS: BRASIL - ÁFRICA. Porto Alegre - RS: EDIPUCRS, 2014.

WU, Z. et al. A comparative analysis of waste management requirements between five green building rating systems for new residential buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 895–902, 2016.

YADAV, V. et al. SoftwareX PyTOP: A Python based tool for TOPSIS. SoftwareX, v. 9, p. 217–222, 2019.

ZOGHBI, E. O. **Perspectivas para o mercado de carbono pós-cop21**. [S.l.]. 2017.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. PREFDIS: A multicriteria decision support system for sorting decision problems. **Computers and Operations Research**, v. 27, n. 7–8, p. 779–797, 2000.

Apêndice A

**ESTRUTURA AUXILIAR PARA O CÁLCULO DE
INDICADORES TOTAIS NÃO PONDERADOS
(EM AMBIENTE EXCEL) DA FERRAMENTA
OPERACIONAL DA MATSUS-HR**

Cadastro de materiais

| Dimensão Ecológica e ambiental | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------|---------|-----------------------|-------------|---------------|------|-------------|
| ID | Nome - especificações - (fabricante ou fornecedor) | Quantidade base para a análise | Unidade | Rastreamento de dados | | | | |
| | | | | Fonte | Possui EPD? | Código da EPD | País | Data da EPD |
| | Material (1) | X (1) | Und (1) | | | | | |
| | Material (2) | X (2) | Und (1) | | | | | |
| | | ... | ... | | | | | |
| | Material (n) | X (n) | Und (n) | | | | | |

Etapa: 1 de 4

| Dimensão Ecológica e ambiental | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------|---------|---|------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| ID | Nome - especificações - (fabricante ou fornecedor) | Quantidade base para a análise | Unidade | Categoria: Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | | | | |
| | | | | GWP (KgCO2 – equivalente) | ODP (kg CFC-11- equivalente) | AP (kg SO2- equivalente) | EP (kg PO4 3- equivalente) | POCP (kg C2H4-equivalente) |
| | Material (1) | X (1) | Und (1) | | | | | |
| | Material (2) | X (2) | Und (1) | | | | | |
| | | ... | ... | | | | | |
| | Material (n) | X (n) | Und (n) | | | | | |

Etapa: 2 de 4

| Dimensão Ecológica e ambiental | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------|---------|---|---|---|--|--|
| ID | Nome - especificações - (fabricante ou fornecedor) | Quantidade base para a análise | Unidade | Categoria: Geração de resíduos sólidos | | | | |
| | | | | Quantidade de Resíduos Perigosos (Kg-equivalente) | Quantidade de Resíduos Radioativos (Kg-equivalente) | Quantidade de Resíduos não perigosos (Kg-equivalente) | | |
| | Material (1) | X (1) | Und (1) | | | | | |
| | Material (2) | X (2) | Und (1) | | | | | |
| | | ... | ... | | | | | |
| | Material (n) | X (n) | Und (n) | | | | | |

Etapa: 3 de 4

| Dimensão Ecológica e ambiental | | | | | | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------|----------------|---|--|--|--|
| ID | Nome - especificações - (fabricante ou fornecedor) | Quantidade base para a análise | Unidade | Categoria: Consumo de energia | | Categoria: Consumo de água | |
| | | | | Energia primária não renovável (MJ-equivalente) | Energia produzida a partir de fontes renováveis (MJ-equivalente) | Consumo de água da rede de abastecimento (M ³ -equivalente) | Consumo de água proveniente de reuso (M ³ -equivalente) |
| | <i>Material (1)</i> | <i>X (1)</i> | <i>Und (1)</i> | | | | |
| | <i>Material (2)</i> | <i>X (2)</i> | <i>Und (1)</i> | | | | |
| | | ... | ... | | | | |
| | <i>Material (n)</i> | <i>X (n)</i> | <i>Und (n)</i> | | | | |

Etapa: 4 de 4

Notas:

¹ O cadastramento dos materiais deve, preferencialmente, possuir relação com o utilizados na etapa de composição de atividades, portanto, recomenda-se, para uma mesma base de dados cadastrar os insumos pertencentes a uma mesma fonte de dados, tais como os presentes na TCPO e SINAPI;

² Para a aquisição dos dados referentes às categorias de impacto ambiental, recomenda-se dar preferência às declarações ambientais de produto e, em casos aonde não houver EPD cadastrada para o produto, deve-se dar preferência a trabalhos acadêmicos que realizaram estudos acerca da análise de ciclo de vida para insumo cadastrado nas fases objeto de análise da MATSUS-HR;

³ Nesta etapa é fundamental dar especial atenção às unidades básicas de análise para cada insumo cadastrado, pois estes devem relacionar-se com a composição de atividades feita na próxima etapa;

⁴ O Valor de Identificação (ID) de cada material segue o padrão descrito na seção de Organização e Codificação de dados.

Cadastro de equipamentos

| Dimensão Ecológica e ambiental | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|------------------|-------|--------------------------------|---|------------------------|-----------------------|----------------------------------|------|------|
| ID | Nome – especificações – (fabricante ou fornecedor) | Fonte de energia | Porte | Consumo médio de energia (KWh) | Consumo médio de combustível (L/H – diesel) | Consumo de água (m³/h) | Rastreamento de dados | | | |
| | | | | | | | Fonte | Possui avaliação de desempenho ? | País | Data |
| | Equipamento (1) | Y (1) | Z (1) | | | | | | | |
| | Equipamento (2) | Y (2) | Z (2) | | | | | | | |
| | | ... | ... | | | | | | | |
| | Equipamento (n) | Y (n) | Z (n) | | | | | | | |

Etapa: 1 de 4

| Dimensão Ecológica e ambiental | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|------------------|-------|---|------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|--|--|
| ID | Nome – especificações – (fabricante ou fornecedor) | Fonte de energia | Porte | Categoria: Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | | | | | | |
| | | | | GWP (KgCO2 – equivalente) | ODP (kg CFC-11- equivalente) | AP (kg SO2- equivalente) | EP (kg PO4 3- equivalente) | POCP (kg C2H4- equivalente) | | |
| | Equipamento (1) | Y (1) | Z (1) | | | | | | | |
| | Equipamento (2) | Y (2) | Z (2) | | | | | | | |
| | | ... | ... | | | | | | | |
| | Equipamento (n) | Y (n) | Z (n) | | | | | | | |

Etapa: 2 de 4

| Dimensão Ecológica e ambiental | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|------------------|-------|---|---|---|--|--|--|--|
| ID | Nome – especificações – (fabricante ou fornecedor) | Fonte de energia | Porte | Categoria: Geração de resíduos sólidos | | | | | | |
| | | | | Quantidade de Resíduos Perigosos (Kg-equivalente) | Quantidade de Resíduos Radioativos (Kg-equivalente) | Quantidade de Resíduos não perigosos (Kg-equivalente) | | | | |
| | Equipamento (1) | Y (1) | Z (1) | | | | | | | |
| | Equipamento (2) | Y (2) | Z (2) | | | | | | | |
| | | ... | ... | | | | | | | |
| | Equipamento (n) | Y (n) | Z (n) | | | | | | | |

Etapa: 3 de 4

| Dimensão Ecológica e ambiental | | | | | | | |
|--------------------------------|--|------------------|--------------|---|--|--|--|
| ID | Nome – especificações – (fabricante ou fornecedor) | Fonte de energia | Porte | Categoria: Consumo de energia | | Categoria: Consumo de água | |
| | | | | Energia primária não renovável (MJ-equivalente) | Energia produzida a partir de fontes renováveis (MJ-equivalente) | Consumo de água da rede de abastecimento (M ³ -equivalente) | Consumo de água proveniente de reuso (M ³ -equivalente) |
| | <i>Equipamento (1)</i> | <i>Y (1)</i> | <i>Z (1)</i> | | | | |
| | <i>Equipamento (2)</i> | <i>Y (2)</i> | <i>Z (2)</i> | | | | |
| | | ... | ... | | | | |
| | <i>Equipamento (n)</i> | <i>Y (n)</i> | <i>Z (n)</i> | | | | |

Etapa: 4 de 4

Notas:

¹ O cadastramento dos materiais deve, preferencialmente, possuir relação com o utilizados na etapa de composição de atividades, portanto, recomenda-se, para uma mesma base de dados cadastrar os insumos pertencentes a uma mesma fonte de dados, tais como os presentes na TCPO e SINAPI;

² Para a aquisição dos dados referentes às categorias de impacto ambiental, recomenda-se dar preferência às declarações ambientais de produto e, em casos aonde não houver EPD cadastrada para o produto, deve-se dar preferência a trabalhos acadêmicos que realizaram estudos acerca da análise de ciclo de vida para insumo cadastrado nas fases objeto de análise da MATSUS-HR;

³ Nesta etapa é fundamental dar especial atenção às unidades básicas de análise para cada insumo cadastrado, pois, estes devem relacionar-se com a composição de atividades feita na próxima etapa;

⁴ O Valor de Identificação de cada equipamento segue o padrão descrito na seção de Organização e Codificação de dados.

Cadastro de mão de obra

| Dimensão Sócio, histórica e cultural | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| ID | Nome do profissional | Descrição da atividade | Formação mínima exigida | Tempo de experiência |
| | <i>Profissional (1)</i> | | | |
| | <i>Profissional (1)</i> | | | |
| | | | | |
| | <i>Profissional (n)</i> | | | |

Etapa: 1 de 1

Notas:

¹ O cadastramento mão de obra deve, preferencialmente, possuir relação com o utilizados na etapa de composição de atividades, portanto, recomenda-se, para uma mesma base de dados cadastrar os insumos pertencentes a uma mesma fonte de dados, tais como os presentes na TCPO e SINAPI;

² Nesta etapa é fundamental dar especial atenção às unidades básicas de análise para cada insumo cadastrado, pois, estes devem relacionar-se com a composição de atividades feita na próxima etapa;

³ O Valor de Identificação (ID) de cada função segue o padrão descrito na seção de Organização e Codificação de dados.

Cadastro de custos unitários

| Dimensão Econômica e financeira | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|---------|---------------------------------|
| ID | LOCAL | CLASSE | NOME DO INSUMO | CUSTO UNITÁRIO MÉDIO | UNIDADE | MÊS/ANO (REFERÊNCIA DA COTAÇÃO) |
| | <i>Estado (1)</i> | <i>Classe (1)</i> | <i>Insumo (1)</i> | | | |
| | <i>Estado (2)</i> | <i>Classe (2)</i> | <i>Insumo (2)</i> | | | |
| | | <i>OU</i> | | | | |
| | <i>Estado (n)</i> | <i>Classe (3)</i> | <i>Insumo (n)</i> | | | |

Etapa: 1 de 1

Notas:

¹ Para o cadastramento de custos unitários, recomenda-se a utilização de bases de dados amplamente conhecida e utilizada em território nacional, para que possam ser feitas comparação entre diferentes localidades, para tanto, o uso da tabela SINAPI apresenta grande relevância para os produtos que não constam na base de dados recomendada, o valor médio unitário pode ser composto pela média aritmética de três cotações feitas para a região estudada;

² A coluna local refere-se ao estado ao qual o custo unitário foi orçado;

³ O item classe refere-se à tipologia do insumo utilizado, sendo, para a MATSUS-HR consideradas três opções: mão de obra, equipamento ou material;

⁴ Os nomes dos insumos referem-se aos insumos cadastrados nas etapas anteriores;

⁵ O Valor de Identificação (ID) de cada custo unitário segue o padrão descrito na seção de Organização e Codificação de dados.

Composição de atividades

| ID (Atividade) | ATIVIDADE | Quantidade relativa | UNIDADE (para a atividade) | | | | |
|-------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------|------|---------|------------|
| | <i>Atividade (1)</i> | <i>Quant. (1)</i> | <i>Und (1)</i> | Mão de Obra | | | |
| | | | | ID (insumo) | Nome | Unidade | Quantidade |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | Equipamentos | | | |
| | | | | ID (insumo) | Nome | Unidade | Quantidade |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | Materiais | | | |
| | | | | ID (insumo) | Nome | Unidade | Quantidade |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | <i>Atividade (2)</i> | <i>Quant. (2)</i> | <i>Und (2)</i> | Mão de Obra | | | |
| | | | | ID (insumo) | Nome | Unidade | Quantidade |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | Equipamentos | | | |
| | | | | ID (insumo) | Nome | Unidade | Quantidade |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | Materiais | | | |
| | | | | ID (insumo) | Nome | Unidade | Quantidade |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | <i>Atividade (n)</i> | <i>Quant. (n)</i> | <i>Und (n)</i> | Mão de Obra | | | |
| | | | | ID (insumo) | Nome | Unidade | Quantidade |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | Equipamentos | | | |
| | | | | ID (insumo) | Nome | Unidade | Quantidade |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | Materiais | | | |
| | | | | ID (insumo) | Nome | Unidade | Quantidade |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Etapa: 1 de 1 | | | | | | | |

Notas:

¹ O cadastramento das quantitativos relativas para cada insumo insumos possui relação direta com os insumos cadastrados nas fases anteriores estes são relacionados por seus códigos de identificação.

Cálculo de indicadores relativos para a dimensão “Ecológica e ambiental” por atividade – Categoria AI (relativa)

| Dimensão Ecológica e Ambiental | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|---|------------|----------------|--|----------------|--|---------------|--|---------------|--|-----------------|--|
| ID | Atividade | Quantificação para a fase “Do berço ao canteiro de obras” | | | | | | | | | | | |
| Materiais | | | | | | | | | | | | | |
| ID (material) | Nome | Unidade | Quantidade | GWP (unitário) | GWP (Sub. Total) | ODP (Unitário) | ODP (Sub. Total) | AP (Unitário) | AP (Sub. Total) | EP (Unitário) | EP (Sub. Total) | POCP (unitário) | POCP (Sub. Total) |
| ID(mi) | nome(mi) | Und(mi) | Q(mi) | GWP(ui) | $GWP(mi) \cdot Q(mi)$ $= Q(mi) \cdot GWP(ui)$ | ODP(ui) | $ODP(mi) \cdot ODP(ui)$ $= Q(mi) \cdot ODP(ui)$ | AP(ui) | $AP(mi) \cdot AP(ui)$ $= Q(mi) \cdot AP(ui)$ | EP(ui) | $EP(mi) \cdot EP(ui)$ $= Q(mi) \cdot EP(ui)$ | POCP(ui) | $POCP(mi) \cdot POCP(ui)$ $= Q(mi) \cdot POCP(ui)$ |
| Subtotal (1) - fase “Do berço ao canteiro de obras” | | | | GWP (1) | $= \sum_{m=1}^n GWP(mi) \cdot Q(mi)$ $= \sum_{m=1}^n GWP(ui) \cdot Q(ui)$ | ODP (1) | $= \sum_{m=1}^n ODP(mi) \cdot Q(mi)$ $= \sum_{m=1}^n ODP(ui) \cdot Q(ui)$ | AP (1) | $= \sum_{m=1}^n AP(mi) \cdot Q(mi)$ $= \sum_{m=1}^n AP(ui) \cdot Q(ui)$ | EP (1) | $= \sum_{m=1}^n EP(mi) \cdot Q(mi)$ $= \sum_{m=1}^n EP(ui) \cdot Q(ui)$ | POCP (1) | $= \sum_{m=1}^n POCP(mi) \cdot Q(mi)$ $= \sum_{m=1}^n POCP(ui) \cdot Q(ui)$ |
| Equipamentos | | | | | | | | | | | | | |
| ID (Equipam) | Nome | Unidade | Quantidade | GWP (unitário) | GWP (Sub. Total) | ODP (Unitário) | ODP (Sub. Total) | AP (Unitário) | AP (Sub. Total) | EP (Unitário) | EP (Sub. Total) | POCP (unitário) | POCP (Sub. Total) |
| ID(ei) | nome(ei) | Und(ei) | Quant(ei) | GWP(ui) | $GWP(ei) \cdot GWP(ui)$ $= Q(ei) \cdot GWP(ui)$ | ODP(ui) | $ODP(ei) \cdot ODP(ui)$ $= Q(ei) \cdot ODP(ui)$ | AP(ui) | $AP(ei) \cdot AP(ui)$ $= Q(ei) \cdot AP(ui)$ | EP(ui) | $EP(ei) \cdot EP(ui)$ $= Q(ei) \cdot EP(ui)$ | POCP(ui) | $POCP(ei) \cdot POCP(ui)$ $= Q(ei) \cdot POCP(ui)$ |
| Subtotal (2) - fase “Aplicação no canteiro de obras” | | | | GWP (2) | $= \sum_{e=1}^n GWP(ei) \cdot Q(ei)$ $= \sum_{e=1}^n GWP(ui) \cdot Q(ui)$ | ODP (2) | $= \sum_{e=1}^n ODP(ei) \cdot Q(ei)$ $= \sum_{e=1}^n ODP(ui) \cdot Q(ui)$ | AP (2) | $= \sum_{e=1}^n AP(ei) \cdot Q(ei)$ $= \sum_{e=1}^n AP(ui) \cdot Q(ui)$ | EP (2) | $= \sum_{e=1}^n EP(ei) \cdot Q(ei)$ $= \sum_{e=1}^n EP(ui) \cdot Q(ui)$ | POCP (2) | $= \sum_{e=1}^n POCP(ei) \cdot Q(ei)$ $= \sum_{e=1}^n POCP(ui) \cdot Q(ui)$ |
| TOTAIS por Atividade | | | | GWP (Final) | $= GWP(1) + GWP(2)$ | ODP (Final) | $= ODP(1) + ODP(2)$ | AP (Final) | $= AP(1) + AP(2)$ | EP (Final) | $= EP(1) + EP(2)$ | POCP (Final) | $= POCP(1) + POCP(2)$ |
| Categoria AI (relativa) – Emissões Atmosféricas | | | | | | | | | | | | | |

Etapa 1 de 3

Notas:

¹ Os insumos relacionados, assim como as suas respectivas quantidades e unidades são oriundos da composição das atividades e, os valores unitários de seus impactos ambientais são importados do banco de dados primários, onde os mesmos foram cadastrados.

Cálculo de indicadores relativos para a dimensão “Ecológica e ambiental” por atividade – Categorias AII e AIII

Finalidade

| Dimensão Ecológica e Ambiental | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|---|------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--|--------------------------------|--|--|
| ID | Atividade | Quantificação para a fase “Do berço ao canteiro de obras” | | | | | | | | | | | | |
| | | Materiais | | | | | | | | | | | | |
| ID (material) | Nome | Unidade | Quantidade | Resíduos Perigosos (unitário) | Resíduos Perigosos (Sub. Total) | Resíduos radioativos (unitário) | Resíduos radioativos (Sub. Total) | Resíduos não Perigosos (unitário) | Resíduos não Perigosos (Sub. Total) | Fontes renováveis (Unitário) | Fontes renováveis (Sub. Total) | Fontes renováveis (Sub. Total) | | |
| ID(mi) | nome(mi) | Und(mi) | Q(mi) | RP(ui) | $RP(t) = \sum_{i=0}^t RP(ui)$ | RR(ui) | $RR(t) = \sum_{i=0}^t RR(ui)$ | RNP(u) | $RNP(t) = \sum_{i=0}^t RNP(ui)$ | ENR(u) | $ENR(t) = \sum_{i=0}^t ENR(ui)$ | ER(u) | $ER(t) = \sum_{i=0}^t ER(ui)$ | |
| Subtotal(1) - fase “Do berço ao canteiro de obras” | | | | R.P (1) | $\sum_{i=0}^t RP(t)$ | R.R (1) | $\sum_{i=0}^t RR(t)$ | R.N.P (1) | $\sum_{i=0}^t RNP(t)$ | E.N.R (1) | $\sum_{i=0}^t ENR(t)$ | E.R (1) | $\sum_{i=0}^t ER(t)$ | |
| Equipamentos | | | | | | | | | | | | | | |
| ID (Equipam) | Nome | Unidade | Quantidade | Resíduos Perigosos (unitário) | Resíduos Perigosos (Sub. Total) | Resíduos radioativos (unitário) | Resíduos radioativos (Sub. Total) | Resíduos não Perigosos (unitário) | Resíduos não Perigosos (Sub. Total) | Fontes renováveis (Unitário) | Fontes renováveis (Sub. Total) | Fontes renováveis (Sub. Total) | | |
| ID(ei) | nome(ei) | Und(ei) | Quant(ei) | RP(ui) | $RP(t) = \sum_{i=0}^t RP(ui)$ | RR(ui) | $RR(t) = \sum_{i=0}^t RR(ui)$ | RNP(u) | $RNP(t) = \sum_{i=0}^t RNP(ui)$ | ENR(u) | $ENR(t) = \sum_{i=0}^t ENR(ui)$ | ER(u) | $ER(t) = \sum_{i=0}^t ER(ui)$ | |
| Subtotal(2) - fase “Aplicação no canteiro de obras” | | | | R.P (2) | $\sum_{i=0}^t RP(t)$ | R.R (2) | $\sum_{i=0}^t RR(t)$ | R.N.P (2) | $\sum_{i=0}^t RNP(t)$ | E.N.R (2) | $\sum_{i=0}^t ENR(t)$ | E.R (2) | $\sum_{i=0}^t ER(t)$ | |
| TOTALS por Atividade | | | | R.P (Final) | $RP(1) + RP(2)$ | R.R (Final) | $RR(1) + RR(2)$ | R.N.P (Final) | $RNP(1) + RNP(2)$ | E.N.R (Final) | $ENR(1) + ENR(2)$ | E.R (Final) | $ER(1) + ER(2)$ | |
| | | | | | | | | | | | Categoria AII (Relativa) – Resíduos Sólidos Produzidos | | Categoria AIII (Relativa) – Consumo de energia | |

Etapa 2 de 3

Notas:

¹ Os insumos relacionados, assim como as suas respectivas quantidades e unidades são oriundos da composição das atividades e, os valores unitários de seus impactos ambientais são importados do banco de dados primários, onde os mesmos foram cadastrados.

Cálculo de indicadores relativos para a dimensão “Ecológica e ambiental” por atividade – Categoria AIV (relativa)

| ID | | Dimensão Ecológica e Ambiental | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------|---------|------------|--|--|--|--|--|--|
| Atividade | | Quantificação para a fase “Do berço ao canteiro de obras” | | | | | | | | | |
| Materiais | | ID (material) | Nome | Unidade | Quantidade | Água proveniente do abastecimento público (unitário) | Água proveniente do abastecimento público (Sub. Total) | Água proveniente de fontes alternativas (unitário) | Água proveniente de fontes alternativas (Sub. Total) | Água proveniente de fontes alternativas (Sub. Total) | |
| | | ID(mi) | nome(mi) | Und(mi) | Q(mi) | AA(ui) | $AA(t) = \sum_{(mi)} AA(ui)$ | AR(ui) | $AR(t) = \sum_{(mi)} AR(ui)$ | | |
| | | Subtotal(1) - fase “Do berço ao canteiro de obras” | | | | A.A (1) | $= \sum_{(mi)} AA(t)$ | | A.R (1) | $= \sum_{(mi)} AR(t)$ | |
| Equipamentos | | Quantificação para a fase “aplicação no canteiro de obras” | | | | | | | | | |
| ID (Equipam) | | ID (ei) | Nome | Unidade | Quantidade | Água proveniente do abastecimento público (unitário) | Água proveniente do abastecimento público (Sub. Total) | Água proveniente de fontes alternativas (unitário) | Água proveniente de fontes alternativas (Sub. Total) | | |
| | | ID(ei) | nome(ei) | Und(ei) | Quant(ei) | AA(ui) | $AA(t) = \sum_{(mi)} AA(ui)$ | AR(ui) | $AR(t) = \sum_{(mi)} AR(ui)$ | | |
| | | Subtotal(2) - fase “Aplicação no canteiro de obras” | | | | A.A (2) | $= \sum_{(ei)} AA(t)$ | | A.R (2) | $= \sum_{(ei)} AR(t)$ | |
| TOTALS por Atividade | | | | | | A.A (Final) | $= AA(1) + AA(2)$ | A.R (Final) | $= AR(1) + AR(2)$ | | |
| Categoria AIV (Relativa) – Consumo de água | | | | | | | | | | | |

Etapa 3 de 3

Notas:

¹ Os insumos relacionados, assim como as suas respectivas quantidades e unidades são oriundos da composição das atividades e, os valores unitários de seus impactos ambientais são importados do banco de dados primários, onde os mesmos foram cadastrados.

Cálculo de indicadores relativos para a dimensão “Econômica e financeira” por atividade – Categoria EI (relativa)

| Dimensão Econômica e financeira – Categoria E I: Custos Financeiros | | | | | | | |
|---|-----------|--|------------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------------------------|
| ID | Atividade | Quantificação para a fase “Do berço ao canteiro de obras” | | | | | |
| | | Materiais | | | | | |
| | | ID (material) | Nome | Unidade | Quantidade | Custo Unitário | Custo Relativo (Subtotal) |
| | | <i>ID(mi)</i> | <i>nome(mi)</i> | <i>Und(mi)</i> | <i>Q(mi)</i> | <i>CU(mi)</i> | $\frac{CR(ti)}{= Q(mi)*CU(mi)}$ |
| | | | | | | | |
| | | Subtotal (1) | | | | | $= \sum_0^i CR(ti)$ |
| | | Quantificação para a fase “aplicação no canteiro de obras” | | | | | |
| | | Equipamentos | | | | | |
| | | ID (equipamento) | Nome | Unidade | Quantidade | Custo Unitário | Custo Relativo (Subtotal) |
| | | <i>ID(ei)</i> | <i>nome(ei)</i> | <i>Und(ei)</i> | <i>Quant(ei)</i> | <i>CU(ei)</i> | $\frac{CR(ti)}{= Q(ei)*CU(ei)}$ |
| | | | | | | | |
| | | Subtotal (2) | | | | | $= \sum_0^i CR(ti)$ |
| | | Mão de Obra | | | | | |
| | | ID (mão de obra) | Nome | Unidade | Quantidade | Custo Unitário | Custo Relativo (Subtotal) |
| | | <i>ID(moi)</i> | <i>nome(moi)</i> | <i>Und(moi)</i> | <i>Quant(moi)</i> | <i>CU(moi)</i> | $\frac{CR(ti)}{= Q(ei)*CU(ei)}$ |
| | | | | | | | |
| | | Subtotal (3) | | | | | $= \sum_0^i CR(ti)$ |
| | | Total com Encargos Sociais | | <i>Enc(i)</i> | Subtotal (4) | | $= (3) * Enc(i)$ |
| | | TOTAL RELATIVO POR ATIVIDADE | | | | | $= (1) + (2) + (4)$ |

Etapa 1 de 1

Notas:

¹ Os insumos relacionados, assim como as suas respectivas quantidades e unidades são oriundos da composição das atividades e, os valores unitários de seus custos são importados do banco de dados primários, onde os mesmos foram cadastrados.

Cadastramento de informações Econômicas e financeiras e Sócio, histórica e culturais” para os sistemas construtivo – Categoria SIII

| ID | Sistema Construtivo | Atividade | Dimensão Sócio, histórica e cultural | |
|----|---------------------|---|--------------------------------------|---------------------------|
| | | | Grau de salubridade | Grau de seguridade social |
| | | Atividade (1) | GE (1) | GTT (1) |
| | | Atividade (2) | GE (2) | GTT (2) |
| | | Atividade (ni) | GE (ni) | GTT (ni) |
| | | | | |
| | | Categoria SIII - Salubridade e seguridade social | | |

Etapa 1 de 1

Cadastramento de informações Econômicas e financeiras e Sócio, histórica e culturais” para os sistemas construtivo – Categorias EII, SI, SII e SIV

| ID | Sistema Construtivo | Dimensão Economia e Financeira | | Dimensão Sócio, histórica e cultural | | | | | |
|----|---------------------|--|----------------------------------|--|--|--|---|--|---|
| | | Aquisição de matéria-prima próxima ao local de sua aplicação | Contratação de mão de obra local | Grau de popularização dos conceitos de sustentabilidade | Grau de Fomento/apoio a instituições que promovem a sustentabilidade | Grau de utilização de materiais culturalmente usados pela comunidade local | Grau de contribuição do sistema construtivo na edificação | Grau de complexidade produtiva do sistema construtivo | Possibilidade de produção do sistema construtivo por meio de mutirões |
| | i | AML (i) | CMOL (i) | GE(i) | GTT(i) | GTS(i) | CM(i) | D(i) | APF(i) |
| | | Categoria EII - Incentivo a economia local | | Categoria SI - Disseminação de conhecimento técnico acerca da sustentabilidade | | Categoria SII - Respeito e afirmação histórica e cultural local | | Categoria SIV - Incorporação da técnica construtiva pela população local | |

Etapa 1 de 1

Cadastramento de informações técnicas e de desempenho para os sistemas construtivo – Categorias TI a TIII

| ID | Sistema Construtivo | Dimensão Técnica e desempenho | | | | | | | |
|----|---------------------|---|--------------------|--|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------|---|
| | | Potencial de reciclagem | Potencial de reuso | Grau de estanqueidade | Grau de transmitância térmica | Grau de transmissão de ondas sonoras | Comportamento mecânico | Durabilidade | Acompanhamento de profissionais habilitados |
| | i | PRC (i) | PRU (i) | GE(i) | GTT(i) | GTS(i) | CM(i) | D(i) | APF(i) |
| | | Categoria TI - Aptidão a reciclagem ou ao reuso | | Categoria TII - Desempenho Físico-mecânico | | | | | Categoria TIII - Confiabilidade de técnica |

Etapa 1 de 2

**Cadastramento de informações técnicas e de desempenho para os sistemas
construtivo - Categorias TIV e TV**

| ID | Sistema Construtivo | Dimensão Técnica e desempenho | | | | | | |
|--|---------------------|-------------------------------|-------------------------|--|---|--------------------------------|--------------|----------------------------------|
| | | Grau de perecibilidade | Facilidade de estocagem | Facilidade de transporte | Facilidade da realização de manutenções | Facilidade de realizar reparos | Padronização | Versatilidade da aplicação e uso |
| | i | GPR (i) | FE (i) | FT(i) | FM(i) | FR(i) | PDR(i) | VST(i) |
| Categoria TIV - Facilidade de estocagem e transporte | | | | Categoria TV - Facilidade de manutenções/ ampliações | | | | |

Etapa 2 de 2

Fonte: Autor

Cálculo de indicadores relativos para a dimensão Ecológica e ambiental por sistema construtivo – Categorias AI a AIII (relativas)

| ID | | Dimensão Ecológica e Ambiental | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|--------------------------------|---------|------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Sistema construtivo | ID (Atividade) | Nome | Unidade | Quantidade | GWP (unitário) | GWP (Sub. Total) | ODP (unitário) | ODP (Sub. Total) | AP (unitário) | AP (Sub. Total) | EP (unitário) | EP (Sub. Total) | POCP (unitário) | POCP (Sub. Total) |
| | ID(ai) | nome(ai) | Und(ai) | Q(ai) | $GWP(ui)$ | $GWP(t_i) = Q(ai) \cdot GWP(ui)$ | $ODP(ui)$ | $ODP(t_i) = Q(ai) \cdot ODP(ui)$ | $AP(ui)$ | $AP(t_i) = Q(ai) \cdot AP(ui)$ | $EP(ui)$ | $EP(t_i) = Q(ai) \cdot EP(ui)$ | $POCP(ui)$ | $POCP(t_i) = Q(ai) \cdot POCP(ui)$ |
| TOTALS por Sistema Construtivo (por m ²) | | | | | GWP (Final) | $\sum_0^i GWP(t_i)$ | ODP (Final) | $\sum_0^i ODP(t_i)$ | AP (Final) | $\sum_0^i AP(t_i)$ | EP (Final) | $\sum_0^i EP(t_i)$ | POCP (Final) | $\sum_0^i POCP(t_i)$ |
| Categoria AI (relativa) – Emissões Atmosféricas | | | | | | | | | | | | | | |

Etapa 1 de 3

| ID | | Dimensão Ecológica e Ambiental | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|--------------------------------|---------|------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Sistema construtivo | ID (material) | Nome | Unidade | Quantidade | Resíduos Perigosos (unitário) | Resíduos Perigosos (Sub. Total) | Resíduos radioativos (unitário) | Resíduos radioativos (Sub. Total) | Resíduos não Perigosos (unitário) | Resíduos não Perigosos (Sub. Total) | Fontes renováveis (unitário) | Fontes renováveis (Sub. Total) | Fontes renováveis (unitário) | Fontes renováveis (Sub. Total) |
| | ID(ai) | nome(ai) | Und(ai) | Q(ai) | $RP(ui)$ | $RP(t_i) = Q(ai) \cdot RP(ui)$ | $RR(ui)$ | $RR(t_i) = Q(mi) \cdot RR(ai)$ | $RNP(ui)$ | $RNP(t_i) = Q(mi) \cdot RNP(ai)$ | $ENR(ui)$ | $ENR(t_i) = Q(mi) \cdot ENR(ai)$ | $ER(ui)$ | $ER(t_i) = Q(mi) \cdot ER(ai)$ |
| TOTALS por Sistema Construtivo (por m ²) | | | | | R.P (Final) | $\sum_0^i RP(t_i)$ | R.R (Final) | $\sum_0^i RR(t_i)$ | R.N.P (Final) | $\sum_0^i RNP(t_i)$ | E.N.R (Final) | $\sum_0^i ENR(t_i)$ | E.R (Final) | $\sum_0^i ER(t_i)$ |
| Categoria AII (Relativa) – Resíduos Sólidos Produzidos | | | | | | | | | | | | | | |
| Categoria AIII (Relativa) – Consumo de energia | | | | | | | | | | | | | | |

Etapa 2 de 3

Notas:

¹ As atividades relacionadas, para a composição dos sistemas construtivos, são oriundas da composição das atividades assim como os valores unitários de seus impactos ambientais.

² As suas respectivas quantidades e unidades devem ser, a exemplo da composição de atividades, baseadas em tabelas de composição de sistemas construtivos confiáveis. Recomenda-se a utilização da TCPO.

Cálculo de indicadores relativos para a dimensão Ecológica e ambiental por sistema construtivo – Categorias AI a AIII (relativas)

| ID | Sistema construtivo | | Dimensão Ecológica e Ambiental | | | | Dimensão Econômica e Financeira | | | |
|--|---------------------|----------|--|------------|--|--|--|--|-------------------------------|---------------------------------|
| | ID (Atividade) | Nome | Unidade | Quantidade | Água proveniente do abastecimento público (unitário) | Água proveniente do abastecimento público (Sub. Total) | Água proveniente de fontes alternativas (unitário) | Água proveniente de fontes alternativas (Sub. Total) | Custos Financeiros (unitário) | Custos Financeiros (Sub. Total) |
| i | ID(ai) | nome(ai) | Und(ai) | Q(ai) | AA(ui) | AA(ti) = Q(mi)*AA(ui) | AR(ui) | AR(ti) = Q(mi)*AR(ui) | CFN(ui) | CFN(ti) = Q(ai)*AR(ui) |
| TOTALS por Sistema Construtivo (por m ²) | | | | | A-A (Final) | $\sum_j A_A(tj)$ | A.R (Final) | $\sum_j AR(tj)$ | C.F.N (Final) | $\sum_i CFN(tj)$ |
| | | | Categoria AIV (Relativa) – Consumo de água | | | | Categoria EI: Custos Financeiros | | Etapa 3 de 3 | |

Notas:

¹ As atividades relacionadas, para a composição dos sistemas construtivos, são oriundas da composição das atividades assim como os valores unitários de seus impactos ambientais.

² As suas respectivas quantidades e unidades devem ser, a exemplo da composição de atividades, baseadas em tabelas de composição de sistemas construtivos confiáveis. Recomenda-se a utilização da TCPO.

Análise de movimentações e transportes

| Quantidade de projeto | ID | Sistema Construtivo | ID | Atividade | Unidade | Quantidade da atividade para 1m2 de sistema construtivo | ID | Insumo | Unidade | Quantidade (Unitária por atividade) | peso unitário (kg / Und de Insumo) | Quantidade Total para o insumo | Peso total (Kg) | Tipo de transporte | ¹ Distância média (1) | ² Distância média (2) | Distância total |
|-----------------------|----|---------------------------|----|--------------|---------|---|----|----------------|-------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Q (1) | | Sistema construtivo (i) | | Atividade(n) | | Q (2) | | Insumo (n,i) | Und (n,i) | Q (3) | P (n,i) | Q(i) = Q(1)*Q(2)*Q(3) | P(i) = P(n,i)*Q(i) | Eq (n, i) | D(1) | D(2) | D(i) = D(1) + D(2) |
| | | Sistema construtivo (i+1) | | Atividade(n) | | Q (2) | | Insumo (n,i+1) | Und (n,i+1) | Q (3) | P (n,i+1) | Q(i) = Q(1)*Q(2)*Q(3) | P(i) = P(n,i+1)*Q(i) | Eq (n, i+1) | D(1) | D(2) | D(i) = D(1) + D(2) |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Etapa 1 de 4

Notas:
¹ Distância média (1) -Entre fabricação -> comércio
² Distância média (2) - Entre comércio -> aplicação

Cálculo de impactos gerados por movimentações e transportes (categoria AI)

| Dimensão Ecológica e Ambiental – Categoria AI | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|----|--------------|----|----------------|--------------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|-----------------|----------------------------|
| Quantidade de projeto | Sistema Construtivo ID | ID | Atividade | ID | Insumo | Tipo de transporte | GWP (unitário) | GWP (Sub. Total) | ODP (Unitário) | ODP (Sub. Total) | AP (Unitário) | AP (Sub. Total) | EP (Unitário) | EP (Sub. Total) | POCP (unitário) | POCP (Sub. Total) |
| Q.(1) | Sistema construtivo 0 (i) | | Atividade(n) | | Insumo (n,i) | Eq (n, i) | $GWP.Eq (u_i)$ | $GWP.Eq (t_i)$ | $ODP.Eq (u_i)$ | $ODP.Eq (t_i)$ | $AP(u_i)$ | $AP(t_i)$ | $EP(u_i)$ | $EP(t_i)$ | $POCP(u_i)$ | $POCP(t_i)$ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sistema construtivo 0 (i+1) | | Atividade(n) | | Insumo (n,i+1) | Eq (n, i+1) | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Totais para a fase de transporte | | | | | | | $GWP (Final)$ | $\sum_{t=0}^{t-1} GWP(t)$ | $ODP (Final)$ | $\sum_{t=0}^{t-1} ODP(t)$ | $AP (Final)$ | $\sum_{t=0}^{t-1} AP(t)$ | $EP (Final)$ | $\sum_{t=0}^{t-1} EP(t)$ | $POCP (Final)$ | $\sum_{t=0}^{t-1} POCP(t)$ |

Etapa 2 de 4

Cálculo de impactos gerados por movimentações e transportes (categorias AII e AIII)

| Quantidade de projeto | Sistema Construtivo ID | Atividade ID | Insun ID | Tipo de transporte | Dimensão Ecológica e Ambiental – Categoria AII | | | | | | | Dimensão Ecológica e Ambiental – Categoria AIII | | | | | | |
|---|---------------------------|----------------|---------------|--------------------|--|--|--|--|--|-------------------------------------|----------------------------------|---|------------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|-------------|---------------|
| | | | | | Resíduos perigosos (unitário) | Resíduos perigosos (Sub. Total) | Resíduos radioativos (unitário) | Resíduos radioativos (Sub. Total) | Resíduos não perigosos (unitário) | Resíduos não perigosos (Sub. Total) | Fontes não renováveis (unitário) | Fontes não renováveis (Sub. Total) | Fontes renováveis (unitário) | Fontes renováveis (Sub. Total) | E.N.R (Final) | R.N.P (Final) | R.R (Final) | E.N.R (Final) |
| Q.(1) | Sistema construtivo (i) | Atividade(n) | Insun (n,i) | Eq (n, i) | $RP(i) = P(t) \cdot Q(t) \cdot RP \cdot Eq(i)$ | $RR(i) = P(t) \cdot Q(t) \cdot RR \cdot Eq(i)$ | $RNP(i) = P(t) \cdot Q(t) \cdot RNP \cdot Eq(i)$ | $ENR(i) = P(t) \cdot Q(t) \cdot ENR \cdot Eq(i)$ | $ER(i) = P(t) \cdot Q(t) \cdot ER \cdot Eq(i)$ | | | | | | | | | |
| | | Atividade(n+1) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sistema construtivo (i+1) | Atividade(n) | Insun (n,i+1) | Eq (n, i+1) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Atividade(n+1) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Totais para a fase de transporte | | | | | $R.P (Final) = \sum_{t=0}^1 RP(t)$ | $R.R (Final) = \sum_{t=0}^1 RR(t)$ | $R.N.P (Final) = \sum_{t=0}^1 RNP(t)$ | $E.N.R (Final) = \sum_{t=0}^1 ENR(t)$ | $E.R (Final) = \sum_{t=0}^1 ER(t)$ | | | | | | | | | |

Etapa 3 de 4

Cálculo de impactos gerados por movimentações e transportes (categorias AIV e EI)

| Dimensão Ecológica e Ambiental – Categoria AIV | | | | | | | | Dimensão Econômica e Financeira – Categoria EI | | | | |
|--|----|---------------------------|----|----------------|----|----------------|--------------------|--|--|--|-------------------------------|---------------------------------|
| Quantidade de projeto | ID | Sistema Construtivo | ID | Atividade | ID | Insumo | Tipo de transporte | Água proveniente do abastecimento público (unitário) | Água proveniente de fontes alternativas (unitário) | Água proveniente de fontes alternativas (Sub. Total) | Custos Financeiros (unitário) | Custos Financeiros (Sub. Total) |
| Q.(1) | | Sistema construtivo (i) | | Atividade(n) | | Insumo (n,i) | Eq (n, i) | $AA(ui)$ | $AR(ui)$ | $AR(ti)$ | $CFN(ui)$ | $CFN(ti)$ |
| | | | | Atividade(n+1) | | | | $AA(ti)$ | | $AR(ti)$ | | |
| | | Sistema construtivo (i+1) | | Atividade(n) | | Insumo (n,i+1) | Eq (n, i+1) | $AA(ti)$ | | | | |
| | | | | Atividade(n+1) | | | | | | | | |
| Totais para a fase de transporte | | | | | | | | A.A (Final) | A.R (Final) | A.R (Final) | C.F.N (Final) | C.F.N (Final) |
| | | | | | | | | $\sum_{i=1}^n AA(ti)$ | $\sum_{i=1}^n AR(ti)$ | $\sum_{i=1}^n AR(ti)$ | $\sum_{i=1}^n CFN(ti)$ | $\sum_{i=1}^n CFN(ti)$ |

Etapa 4 de 4

Categoria de indicadores totais não ponderados (Dimensão Técnica e desempenho)

| | | | Dimensão Econômica e Financeira | | | | | | | |
|-----------------------|----|---------------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------|---|
| | | | Categoria TI | | Categoria TII | | | | | Categoria TIII |
| Quantidade de projeto | ID | Sistema Construtivo | Potencial de reciclagem | Potencial de reuso | Grau de estanqueidade | Grau de transmitância térmica | Grau de transmissão de ondas sonoras | Comportamento mecânico | Durabilidade | Acompanhamento de profissionais habilitados |
| Q (1) | | Sistema construtivo (i) | PRC (i) | PRU (i) | GE(i) | GTT(i) | GTS(i) | CM(i) | D(i) | APF(i) |
| | | Sistema construtivo (i+1) | | | | | | | | |

Etapa 1 de 2

| | | | Dimensão Econômica e Financeira | | | | | | |
|-----------------------|----|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|---|--------------------------------|--------------|------------------------------------|
| | | | Categoria TIV | | | Categoria TV | | | |
| Quantidade de projeto | ID | Sistema Construtivo | Grau de perecibilidade | Facilidade de estocagem | Facilidade de transporte | Facilidade da realização de manutenções | Facilidade de realizar reparos | Padronização | Versatilidade e da aplicação e uso |
| Q (1) | | Sistema construtivo (i) | GPR (i) | FE (i) | FT(i) | FM(i) | FR(i) | PDR(i) | VST(i) |
| | | Sistema construtivo (i+1) | | | | | | | |

Etapa 2 de 2

Apêndice B

FORMULÁRIOS DE PRÉ-VALIDAÇÃO DE INDICADORES DESTINADOS À ESPECIALISTAS

Pré-avaliação de indicadores

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

Esta pesquisa está inserida no âmbito do trabalho intitulado "O potencial da aplicação de técnicas alternativas para a edificação de residências em ambientes não urbanos" a nível de doutorado, no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (PPGECiv / UFSCar) com a colaboração da Universidade do Minho, Portugal e da Universidade Federal de Grande Dourados (UFGD).

Os dados obtidos por meio do presente questionário serão usados apenas para fins científicos, garantindo o anonimato dos participantes e o acesso aos resultados da pesquisa depois de finalizada. Sua participação não envolverá nenhum risco físico e nem gasto ou ganho financeiro. Você é livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem nenhum prejuízo.

A obtenção dos dados ocorrerá exclusivamente por meio deste questionário eletrônico, sob autoria do pesquisador.

No início do questionário o participante deverá indicar o aceite deste termo, respondendo "Aceito participar da pesquisa".

Para quaisquer dúvidas e/ou esclarecimentos contactar diretamente o pesquisador por meio de mensagens eletrônicas por meio do contato abaixo:

Christian S. Barboza

emails: enq_christian.barboza@hotmail.com / christianbarboza@ufgd.edu.br

*Obrigatório

Endereço de e-mail *

Seu e-mail

Declaro que aceito participar da presente pesquisa por livre e esclarecida escolha *

- Aceito participar da pesquisa
- Não concordo em participar da pesquisa



PRÓXIMA

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

*Obrigatório

Dados iniciais

Sexo *

- Feminino
- Masculino

Idade *

- 17 anos ou menos
- Entre 18 e 29 anos
- Entre 30 e 39 anos
- Entre 40 e 49 anos
- Entre 50 e 59 anos
- 60 anos ou mais

Formação acadêmica *

- Ensino básico completo
- Ensino médio completo
- Técnico
- Graduado
- Especialista
- Mestre
- Doutor

VOLTAR

PRÓXIMA

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

*Obrigatório

Atuação Profissional

Área de atuação *

- Construtor (Profissional da Construção Civil)
- Profissional com atuação na área de projeto de edificações (Engenheiros, arquitetos ou tecnólogos)
- Profissional de organização relacionada a questão fundiária
- Pesquisador
- Outro:

Instituição que possui vinculação profissional

Sua resposta _____

Tempo aproximado de atuação na área

- 4 anos ou menos
- Entre 5 e 9 anos
- Entre 10 e 19 anos
- Entre 20 e 39 anos
- 40 anos ou mais

VOLTAR

PRÓXIMA

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

Seleção de indicadores

O módulo em estudo investiga a aplicabilidade de sistemas construtivos alternativos (com sua matriz formada por solo estabilizado) em ambientes não urbanos. Assim sendo, para a avaliação do desempenho sustentável de diferentes sistemas construtivos, a presente metodologia propõe um olhar sob quatro dimensões: "Ecológica e ambiental", "Sócio, histórico e cultural", "Econômico e financeira" e "Técnica", tais dimensões visam descrever um panorama que relacione as diferentes fases de ciclo de vida de uma sistema construtivo (extração, produção uso e desuso) com a dinâmica social e econômica de uma determinada localidade.

Para cada uma das quatro dimensões foram propostas diversas categorias e, para a mensuração de cada categoria, foram selecionados indicadores que visam mensurar o desempenho de cada sistema construtivo avaliado. De maneira colaborativa o presente questionário consulta os setores que estudam o tema, por meio dos especialistas da área.

Neste sentido, solicita-se que o entrevistado valide a lista de indicadores para cada categoria, em cada dimensão proposta. Para tanto, selecione os indicadores mais adequados para cada categoria, sendo que, ao final da avaliação de cada categoria, será facultado ao entrevistado a sugestão da consideração de novos indicadores.

***Observação:**

Se o entrevistado concordar com todos os indicadores propostos, este deverá selecionar todas as caixas de seleção, caso contrário, deverá deixar desmarcadas as caixas com os indicadores que não deverão compor a categoria de avaliação proposta.

Se o entrevistado não concordar com nenhum dos indicadores propostos para se avaliar a categoria em análise, este deverá marcar a opção "Nenhuma das alternativas".

VOLTAR

PRÓXIMA

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

*Obrigatório

Dimensão: Ecológica e Ambiental

Categoria AI: Alterações climáticas e qualidade do ar exterior *

- Quantidade de emissão de gases que agravam efeito estufa ao longo ciclo de vida do sistema construtivo
- Quantidade de emissão de gases que degradam a camada de ozônio ao longo do ciclo de vida do sistema construtivo
- Quantidade de emissão de gases relacionados à formação de chuva ácida ao longo do ciclo de vida do sistema construtivo
- Quantidade de emissão de gases tóxicos/ patogênicos ao longo do ciclo de vida do sistema construtivo
- Quantidade de emissões de gases que contribuem para o processo de eutrofização de cursos d'água ao longo do ciclo de vida do sistema construtivo
- Nenhuma das alternativas
- Outro:

Categoria AII: Geração de resíduos sólidos *

- Quantidade gerada de resíduos sólidos inflamáveis, assim como o seu grau de inflamabilidade, no processo produtivo do sistema construtivo
- Quantidade gerada de resíduos corrosivos, assim como o seu grau de corrosibilidade, na produção do elemento
- Quantidade gerada de resíduos radioativos, assim como o seu grau de radioatividade, na produção do sistema construtivo
- Quantidade gerada de resíduos com potencial patogênico, assim como o grau de patogenicidade, na produção do sistema construtivo
- Quantidade gerada de resíduos inertes da construção civil gerados na produção do sistema construtivo
- Quantidade gerada de resíduos não inertizados da construção civil gerados na produção do sistema construtivo
- Nenhuma das alternativas
- Outro: _____

Categoria AIII: Consumo de energia *

- Quantidade de energia primária não renovável empregada na produção do sistema construtivo
- Quantidade de energia primária renovável empregada para produção do sistema construtivo
- Nenhuma das alternativas
- Outro: _____

Categoria AIV: Consumo de água *

- Quantidade de água proveniente da rede de abastecimento, empregada para produção do sistema construtivo
- Quantidade de água reutilizada, a partir de fonte alternativa, para produção do sistema construtivo
- Nenhuma das alternativas
- Outro:

Categoria AV: Incorporação de materiais reciclados ou reutilizados *

- Quantidade de materiais reciclados, incorporados ao sistema construtivo
- Quantidade de materiais reutilizados, incorporados ao sistema construtivo
- Nenhuma das alternativas

VOLTAR**PRÓXIMA**

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

*Obrigatório

Dimensão: Sócio, histórico e cultural

Categoria SI: Popularização dos conceitos de sustentabilidade ao longo da cadeia produtiva do sistema construtivo *

- Promoção de ações para popularizar o conceito de sustentabilidade
- Fomento/apoio a instituições que promovem a sustentabilidade da construção civil
- Nenhuma das alternativas
- Outro: _____

Categoria SII: Respeito e afirmação histórico e cultural local *

- Grau de utilização de materiais culturalmente usados pela comunidade local
- Proximidade da técnica construtiva à historicidade cultural da tradição construtiva local
- Nenhuma das alternativas
- Outro: _____

Categoria SIII: Salubridade e segurança social *

- Grau de salubridade das condições de trabalho ao longo da cadeia produtiva do sistema construtivo
- Grau de utilização de mão de obra formal, com a garantia seguridades sociais
- Nenhuma das alternativas
- Outro: _____

Categoria SIV: Incorporação da técnica construtiva pela população local *

- Grau de contribuição do sistema construtivo na construção de novas edificações
- Grau de complexidade produtiva do sistema construtivo
- Possibilidade de produção do sistema construtivo por meio de mutirões
- Nenhuma das alternativas
- Outro: _____

VOLTAR

PRÓXIMA

Nome envie senhas pelo Formulário Google.

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

*Obrigatório

Dimensão: Econômica e financeira

Categoria EI: Custos Financeiros *

- Custos para a produção e aplicação do sistema construtivo
- Custos previstos durante a fase de uso do sistema construtivo
- Custos previstos no desuso do sistema construtivo
- Nenhuma das alternativas
- Outro:

Categoria EII: Incentivo a economia local *

- Aquisição de matéria-prima próxima ao local de sua aplicação
- Contratação de mão de obra local
- Nenhuma das alternativas
- Outro: _____

VOLTAR

PRÓXIMA

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

*Obrigatório

Dimensão: Técnica

Categoria TI: Aptidão a reciclagem ou ao reuso *

- Parcela que pode ser reciclada do sistema construtivo após o seu desuso
- Parcela que pode ser reaproveitada do sistema construtivo após o seu desuso
- Nenhuma das alternativas
- Outro: _____

Categoria TII: Desempenho físico-mecânico *

- Grau de estanqueidade do sistema construtivo
- Grau de transmitância térmica do sistema construtivo
- Grau de transmissão de ondas sonoras do sistema construtivo
- Comportamento mecânico do sistema construtivo aos esforços de: compressão, tração e abrasão
- Comportamento do sistema construtivo sob calor intenso
- Durabilidade prevista para o sistema construtivo
- Nenhuma das alternativas
- Outro: _____

Categoria TIII: Confiabilidade técnica *

- Acompanhamento de profissionais habilitados durante as fases de produção e aplicação do sistema construtivo
- Nenhuma das alternativas
- Outro: _____

Categoria TIV: Facilidade de estocagem e transporte *

Grau de perecibilidade dos elementos que compõem o sistema construtivo

Facilidade de estocagem dos elementos que compõem o sistema construtivo

Facilidade de transporte dos elementos que compõem o sistema construtivo

Nenhuma das alternativas

Outro: _____

Categoria TV: Facilidade de manutenções/ ampliações *

Facilidade da realização de manutenções periódicas no sistema construtivo

Facilidade de realizar reparos no sistema construtivo

Padronização na replicação do sistema construtivo

Versatilidade da aplicação e uso do sistema construtivo

Nenhuma das alternativas

Outro: _____

Nunca envie senhas pelo Formulário Google.

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

Agradecimentos

Agradecemos a disponibilidade e atenção. As suas respostas irão contribuir imensamente para o andamento desta pesquisa e, ainda, para o desenvolvimento de novas ferramentas que auxiliem pesquisadores, projetistas, construtores, agentes financiadores e gestores a implementar técnicas construtivas mais sustentáveis na edificações de residências em ambientes não urbanos.



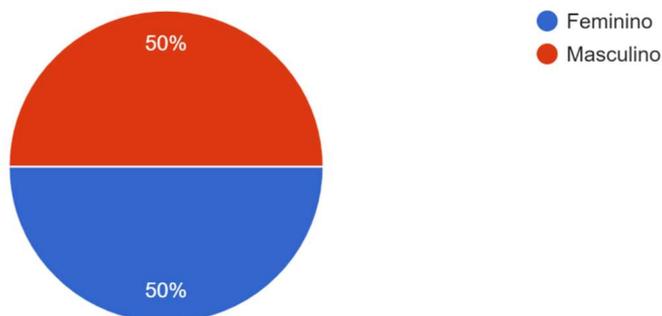
Envie-me uma cópia das minhas respostas.

Nunca envie senhas pelo Formulário Google.

Resultados

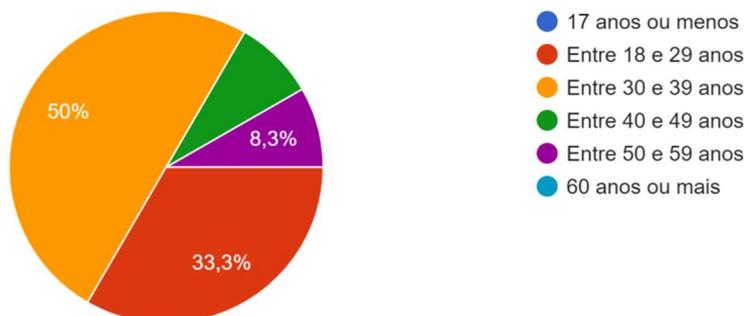
Sexo

12 respostas



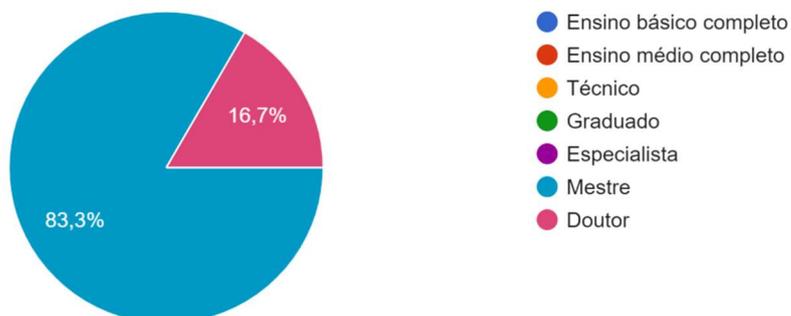
Idade

12 respostas



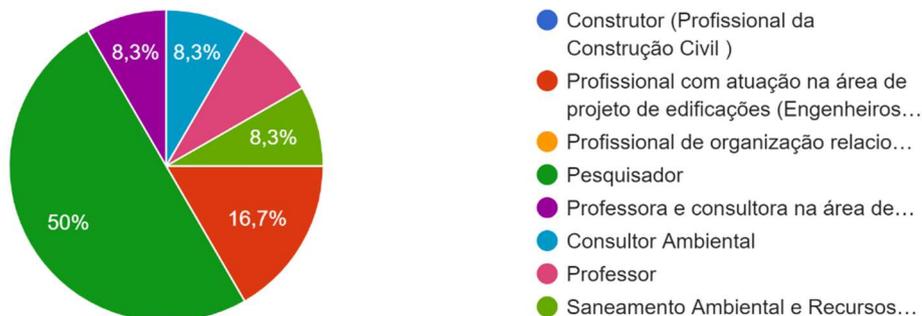
Formação acadêmica

12 respostas



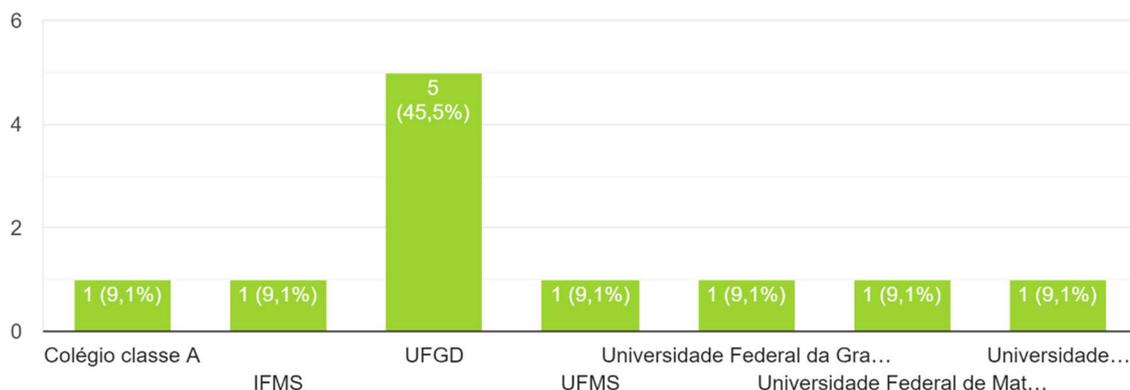
Área de atuação

12 respostas



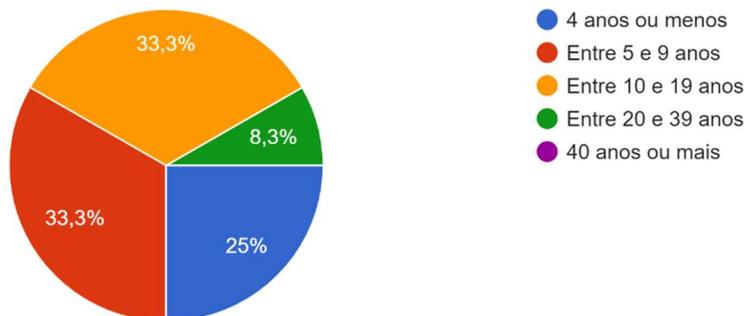
Instituição que possui vinculação profissional

11 respostas



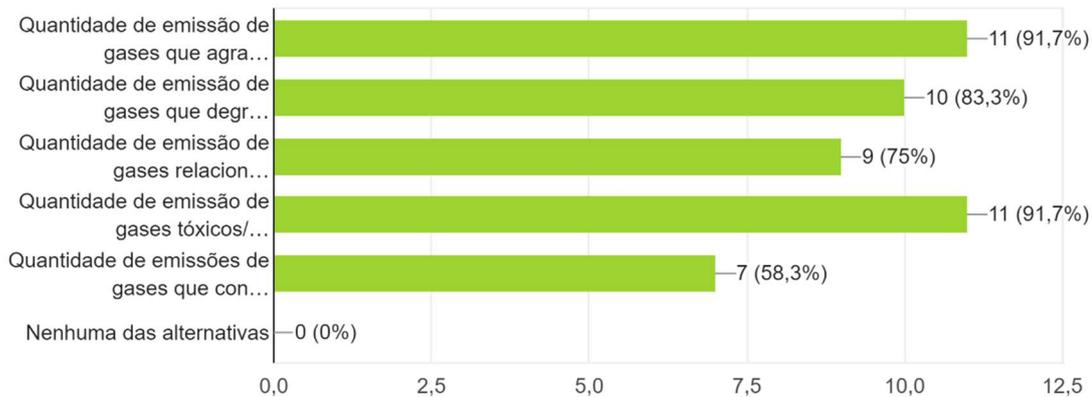
Tempo aproximado de atuação na área

12 respostas



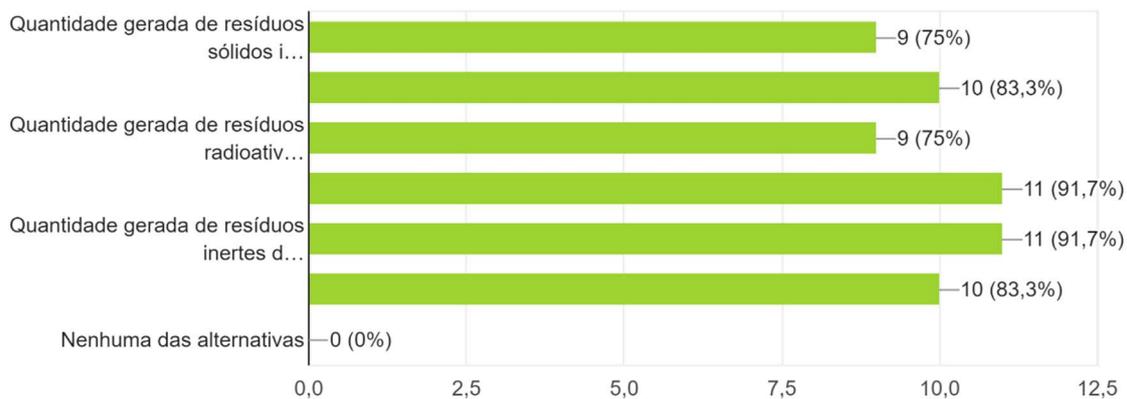
Categoria AI: Alterações climáticas e qualidade do ar exterior

12 respostas



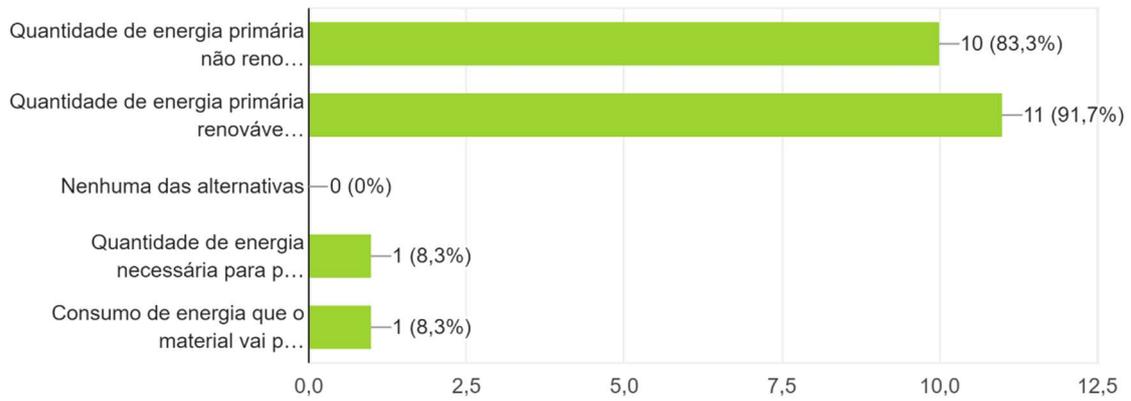
Categoria AII: Geração de resíduos sólidos

12 respostas



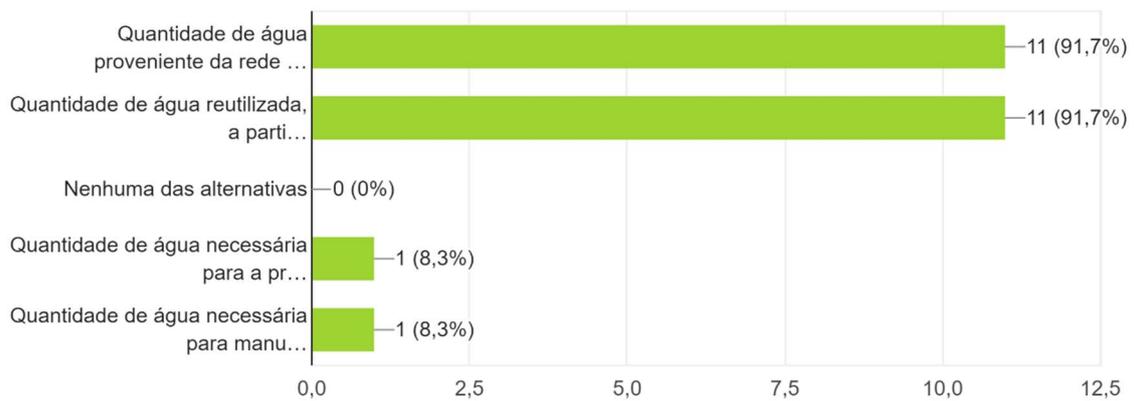
Categoria AIII: Consumo de energia

12 respostas



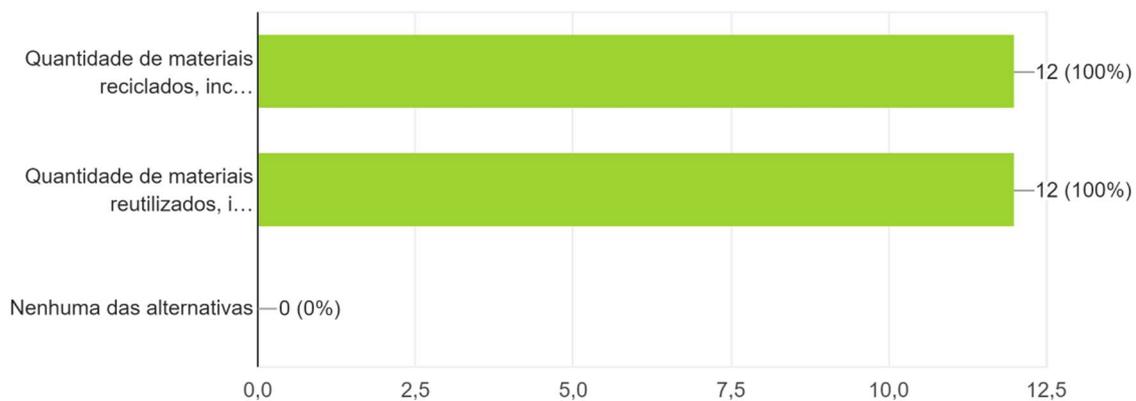
Categoria AIV: Consumo de água

12 respostas



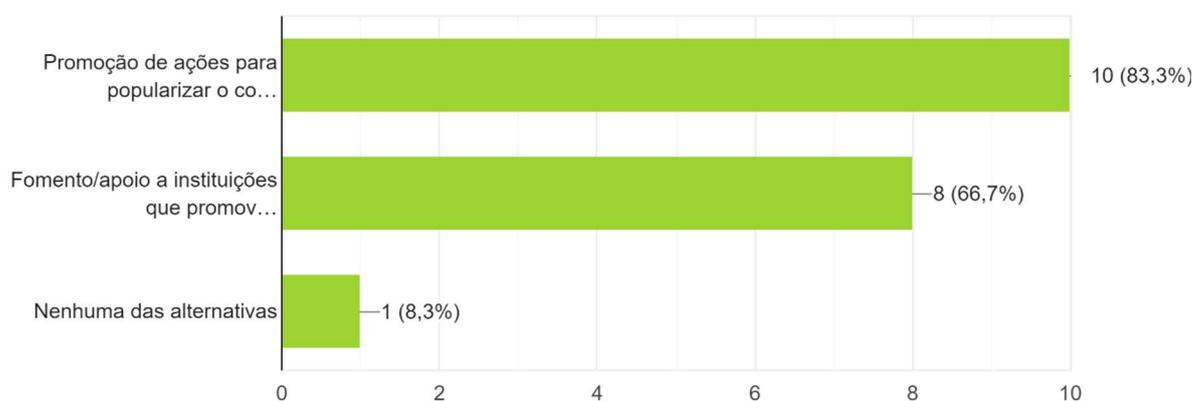
Categoria AV: Incorporação de materiais reciclados ou reutilizados

12 respostas



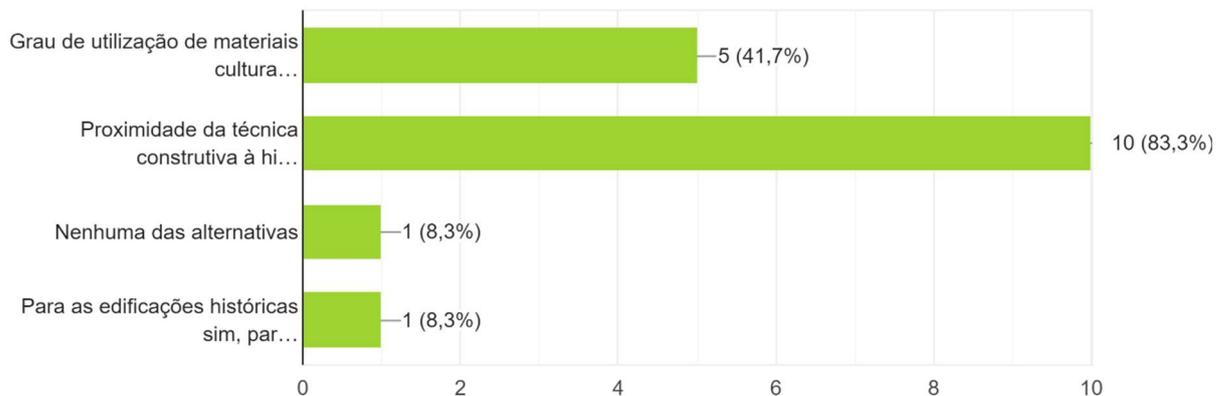
Categoria SI: Popularização dos conceitos de sustentabilidade ao longo da cadeia produtiva do sistema construtivo

12 respostas



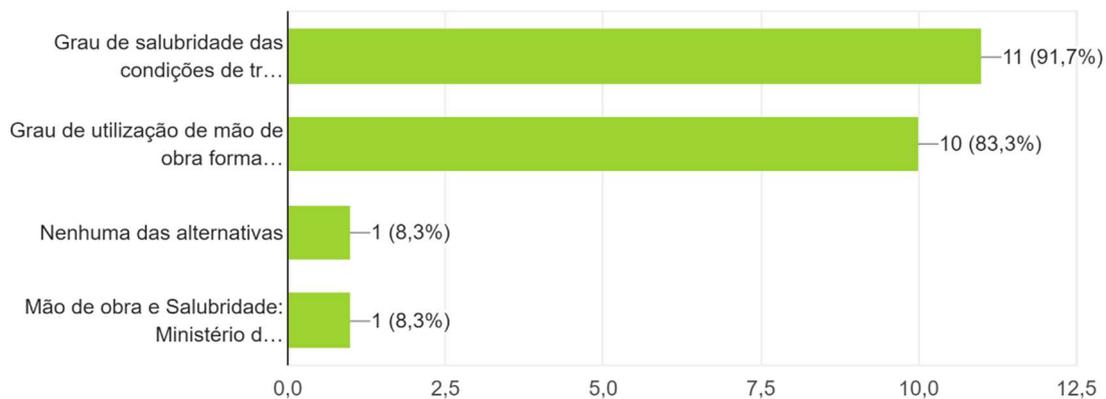
Categoria SII: Respeito e afirmação histórico e cultural local

12 respostas



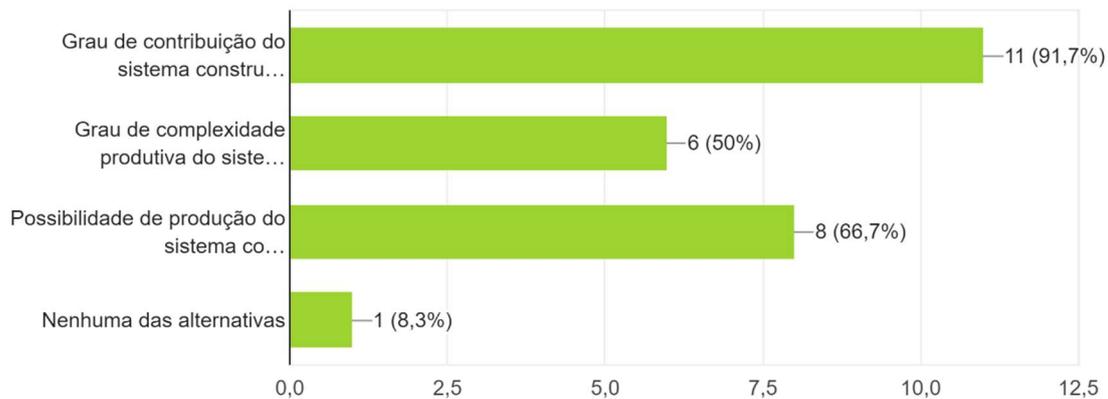
Categoria SIII: Salubridade e seguridade social

12 respostas



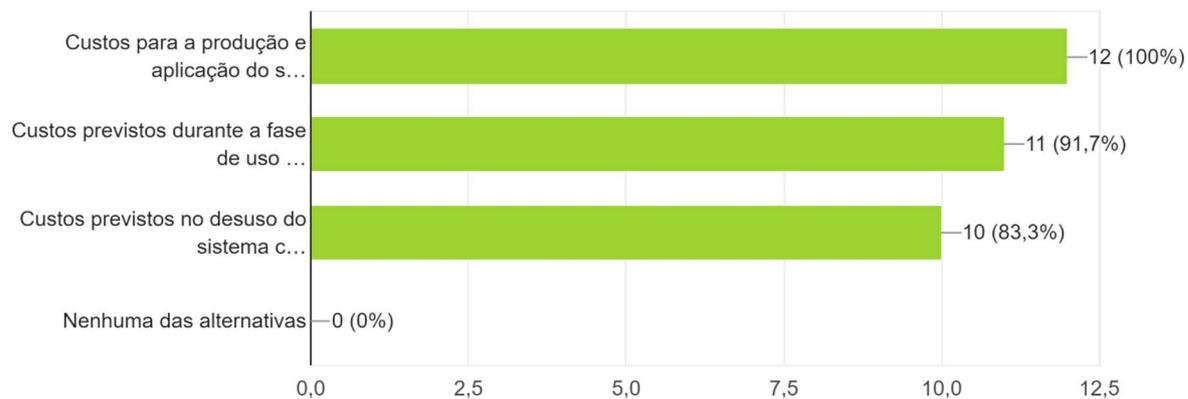
Categoria SIV: Incorporação da técnica construtiva pela população local

12 respostas



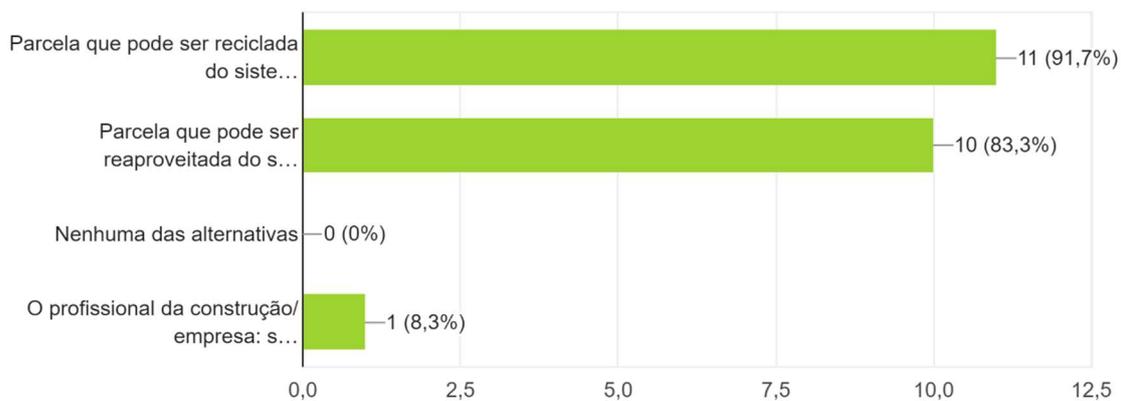
Categoria EI: Custos Financeiros

12 respostas



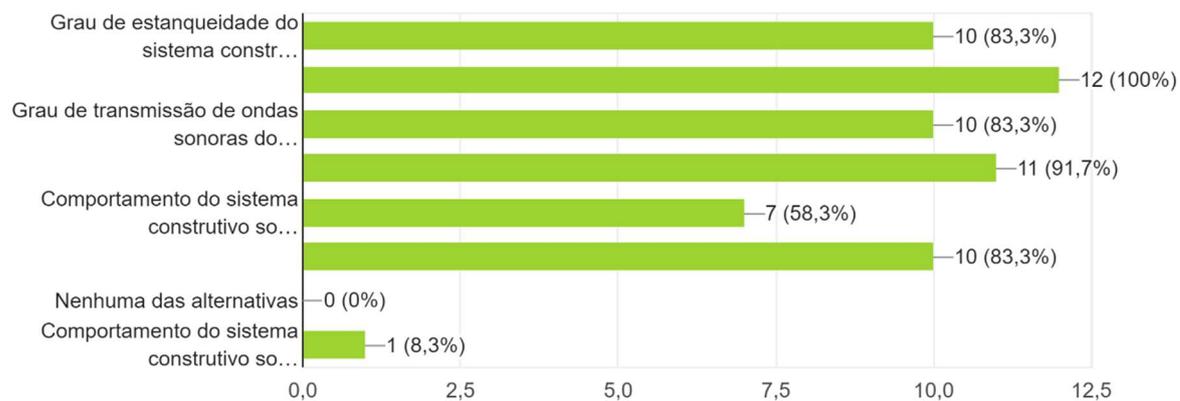
Categoria TI: Aptidão a reciclagem ou ao reuso

12 respostas



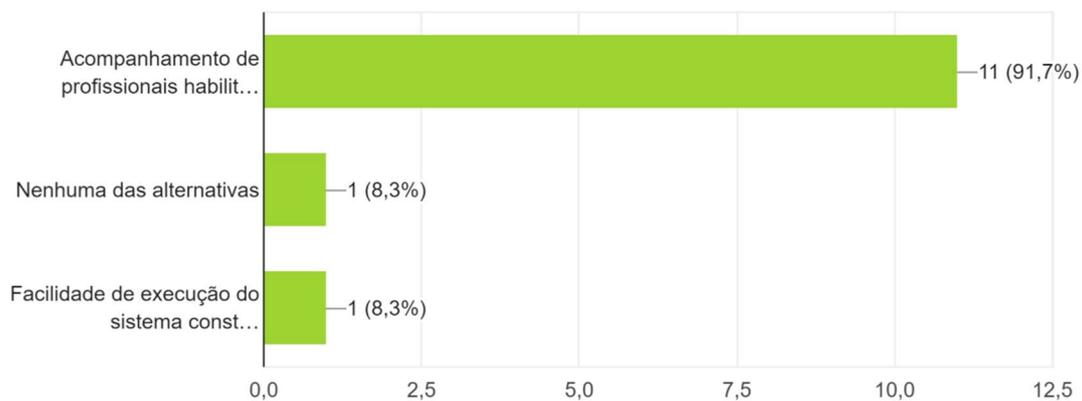
Categoria TII: Desempenho físico-mecânico

12 respostas



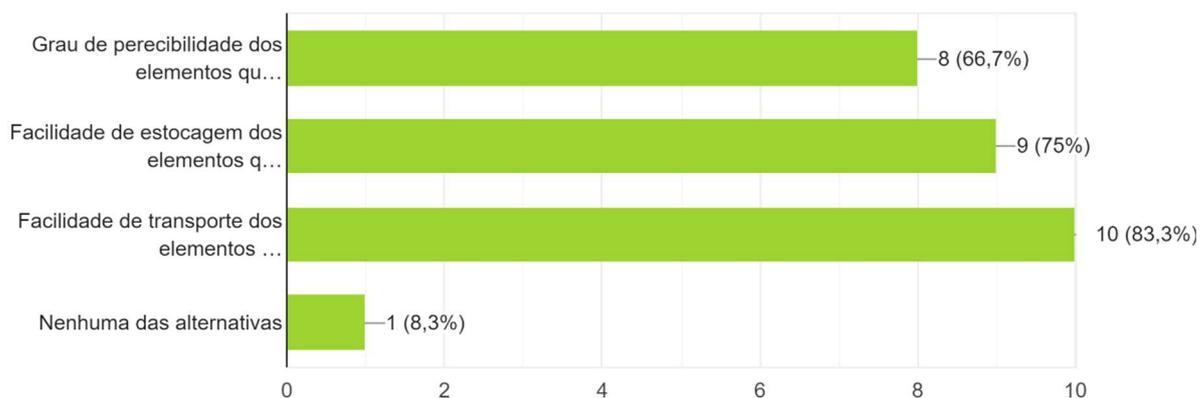
Categoria TIII: Confiabilidade técnica

12 respostas



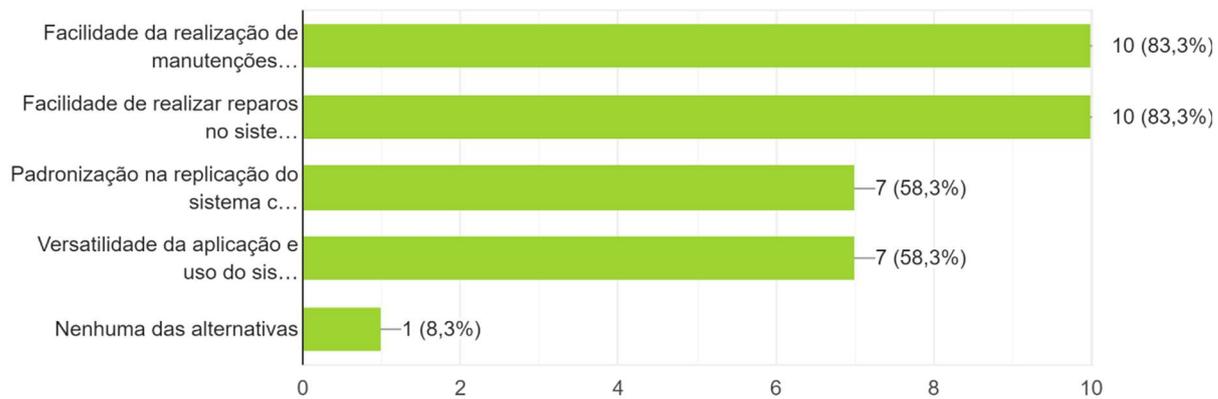
Categoria TIV: Facilidade de estocagem e transporte

12 respostas



Categoria TV: Facilidade de manutenções/ ampliações

12 respostas



Apêndice C

FORMULÁRIOS CONSULTA AOS GRAUS DE IMPORTÂNCIA

Estabelecimento de graus de importância

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

Esta pesquisa está inserida no âmbito do trabalho intitulado "O potencial da aplicação de técnicas alternativas para a edificação de residências em ambientes não urbanos" a nível de doutorado, no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (PPGECiv / UFSCar) com a colaboração da Universidade do Minho, Portugal e da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

Os dados obtidos por meio do presente questionário serão usados apenas para fins científicos, garantindo o anonimato dos participantes e o acesso aos resultados da pesquisa depois de finalizada. Sua participação não envolverá nenhum risco físico e nem gasto ou ganho financeiro. Você é livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem nenhum prejuízo.

A obtenção dos dados ocorrerá exclusivamente por meio deste questionário eletrônico, sob autoria do pesquisador.

No início do questionário o participante deverá indicar o aceite deste termo, respondendo "Aceito participar da pesquisa".

Para quaisquer dúvidas e/ou esclarecimentos contactar diretamente o pesquisador por meio de mensagens eletrônicas por meio do contato abaixo:

Christian S. Barboza

emails: eng_christian_barboza@hotmail.com / christianbarboza@ufgd.edu.br

*Obrigatório

Declaro que aceito participar da presente pesquisa por livre e esclarecida escolha *

- Aceito participar da pesquisa
- Não concordo em participar da pesquisa



PRÓXIMA

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

*Obrigatório

Dados iniciais

Identificação do entrevistado

Sexo *

Feminino

Masculino

Idade *

17 anos ou menos

Entre 18 e 29 anos

Entre 30 e 39 anos

Entre 40 e 49 anos

Entre 50 e 59 anos

60 anos ou mais

Formação acadêmica *

Ensino básico completo

Ensino médio completo

Curso técnico completo

Graduado

Especialista

Mestre

Doutor

VOLTAR

PRÓXIMA

Nunca envie senhas pelo Formulário Google.

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

*Obrigatório

Atuação Profissional

Área de atuação *

- Construtor (Profissional da Construção Civil)
- Profissional com atuação na área de projeto de edificações
- Profissional de organização relacionada a questão fundiária
- Pesquisador
- Docente na área da construção civil, engenharia ou sustentabilidade
- Outro:

Instituição que possui vinculação profissional *

Sua resposta

Tempo aproximado de atuação na área *

- 4 anos ou menos
- Entre 5 e 9 anos
- Entre 10 e 19 anos
- Entre 20 e 39 anos
- 40 anos ou mais

VOLTAR

PRÓXIMA

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

Avaliação do desempenho sustentável de sistemas construtivos

A sustentabilidade se faz efetiva quando leva em consideração fatores específicos de cada localidade ou região de análise. Para diferentes situações, gradue em diferentes níveis de importância as dimensões utilizadas para se mensurar o desempenho sustentável de um sistema construtivo

Você conhece alguma técnica construtiva alternativa?

Sim

Não

Se sim, qual?

Sua resposta _____

Para uma edificação planejada para ser implementada em uma região não urbana (regiões rurais ou afastadas de centros urbanos), responda aos seguintes questionamentos

Para a seleção de sistemas construtivos que irão compor a edificação, qual a importância de cada item

| | Muito Pouco relevante | Pouco relevante | Indiferente | Relevante | Muito Relevante |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Preservação do ambiente | <input type="radio"/> |
| Melhoramento nas condições sociais e preservação da cultura e história local | <input type="radio"/> |
| Custo e incentivo à economia local | <input type="radio"/> |
| Qualidade técnica do sistema construtivo | <input type="radio"/> |

Em uma avaliação dos impactos ambientais causados pela adoção de um determinado sistema construtivo, qual a importância de cada classe?

| | Muito Pouco relevante | Pouco relevante | Indiferente | Relevante | Muito Relevante |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | <input type="radio"/> |
| Geração de resíduos sólidos | <input type="radio"/> |
| Quantidade de energia consumida | <input type="radio"/> |
| Quantidade de água consumida | <input type="radio"/> |
| Quantidade de incorporação de materiais reciclados ou reutilizados | <input type="radio"/> |

| | | Muito Pouco relevante | Pouco relevante | Indiferente | Relevante | Muito Relevante |
|--|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <p>Em uma avaliação acerca do desempenho social causados pela adoção de um determinado sistema construtivo, qual a importância de cada classe?</p> | | | | | | |
| | <p>Popularização dos conceitos de sustentabilidade ao longo da cadeia produtiva do sistema construtivo por meio de ações educativas</p> | <input type="radio"/> |
| | <p>Respeito e afirmação a cultura local utilizando-se materiais e técnicas próximas da tradição construtiva local</p> | <input type="radio"/> |
| | <p>Priorizar a utilização de mão de obra formal e boas condições de trabalho</p> | <input type="radio"/> |
| | <p>Incorporação da técnica construtiva pela população local, priorizando-se sistemas construtivos com baixa complexidade e que sejam passíveis de serem produzidos em sistema de mútuo</p> | <input type="radio"/> |
| <p>Em uma avaliação dos fatores econômicos relacionados com a adoção de um determinado sistema construtivo, qual a importância de cada classe?</p> | | | | | | |
| | <p>Custo para se produzir, dar manutenção e para se demolir o sistema construtivo</p> | <input type="radio"/> |
| | <p>Grau incentivo a economia local dando-se prioridade a utilização de materiais e mão de obra local</p> | <input type="radio"/> |

Para a avaliação do desempenho técnico de um determinado sistema construtivo, qual a importância de cada classe?

| | Muito Pouco relevante | Pouco relevante | Indiferente | Relevante | Muito Relevante |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Projeto pensado para ser reutilizado ou reciclado | <input type="radio"/> |
| Resistência, durabilidade e desempenho do sistema construtivo | <input type="radio"/> |
| Acompanhamento de um profissional qualificado | <input type="radio"/> |
| Facilidade de estocagem e transporte | <input type="radio"/> |
| Facilidade de manutenções/ ampliações | <input type="radio"/> |

VOLTAR PRÓXIMA

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Proposta de indicadores para a avaliação da Sustentabilidade das edificações em ambientes não urbanos

Agradecimentos

Agradecemos a vossa disponibilidade e atenção. As vossas respostas irão contribuir imensamente para o andamento desta pesquisa e, ainda, para o desenvolvimento de novas ferramentas que auxiliem pesquisadores, projetistas, construtores, agentes financiadores e gestores a implementar técnicas construtivas mais sustentáveis na edificações de residências em ambientes não urbanos

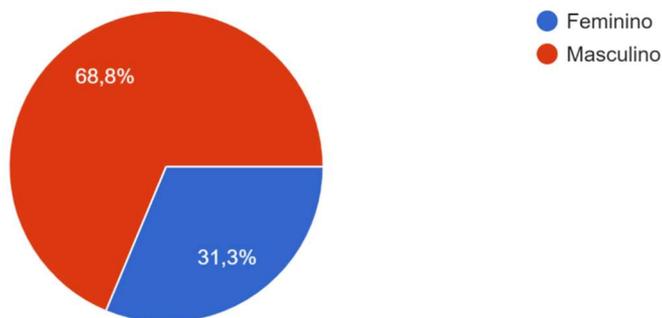
VOLTAR ENVIAR

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Resultados

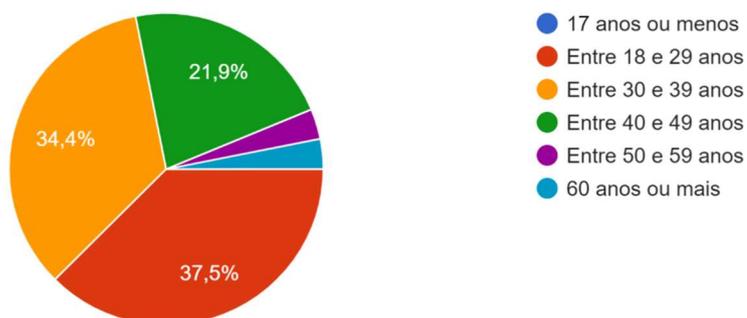
Sexo

32 respostas



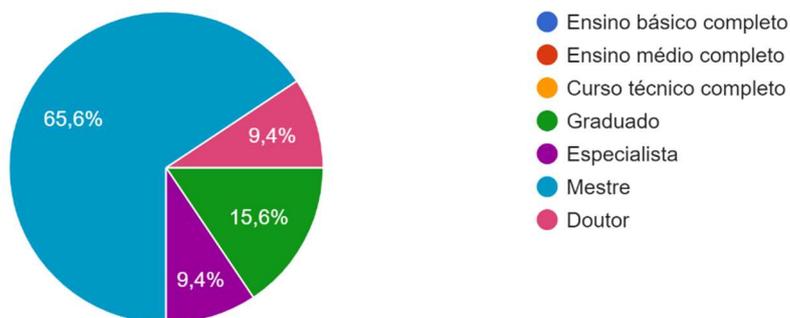
Idade

32 respostas



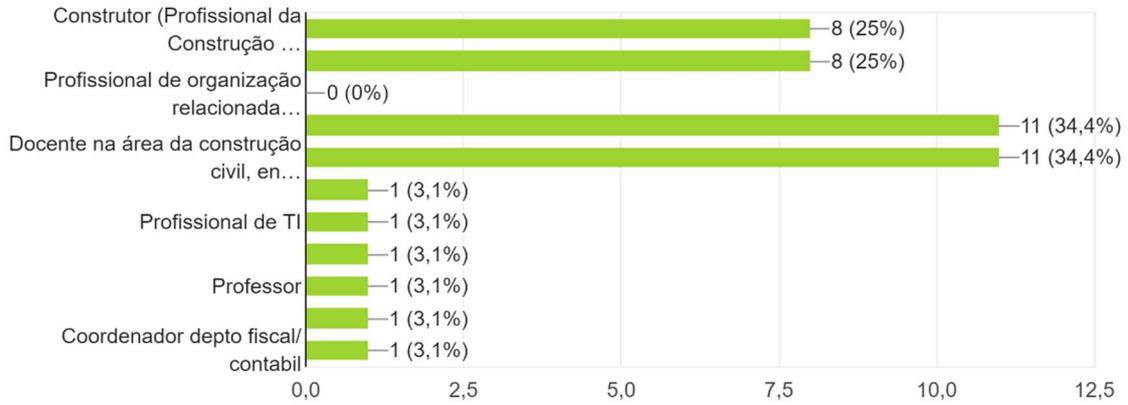
Formação acadêmica

32 respostas



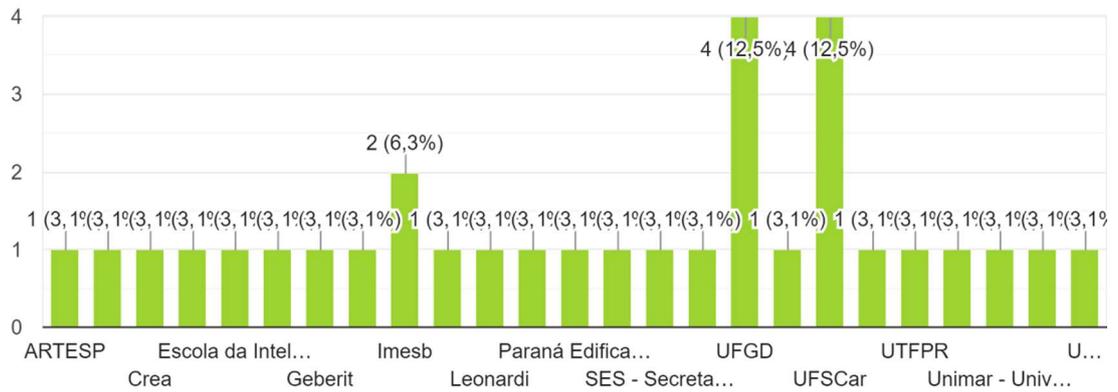
Área de atuação

32 respostas



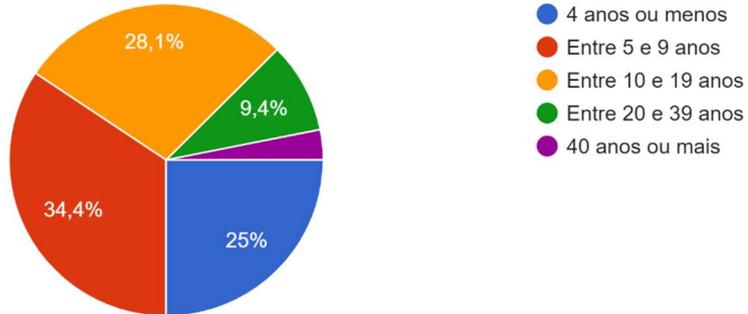
Instituição que possui vinculação profissional

32 respostas



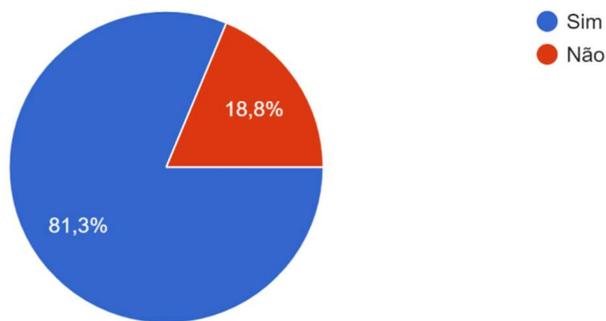
Tempo aproximado de atuação na área

32 respostas



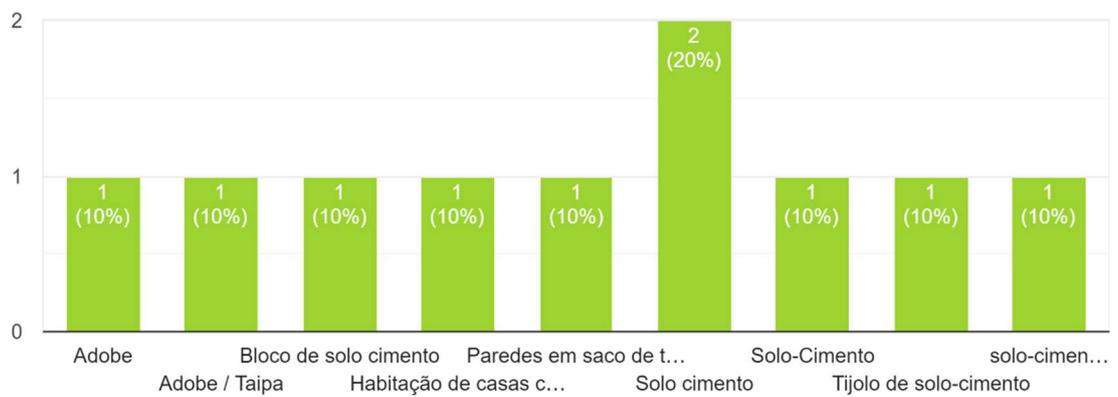
Você conhece alguma técnica construtiva alternativa?

32 respostas

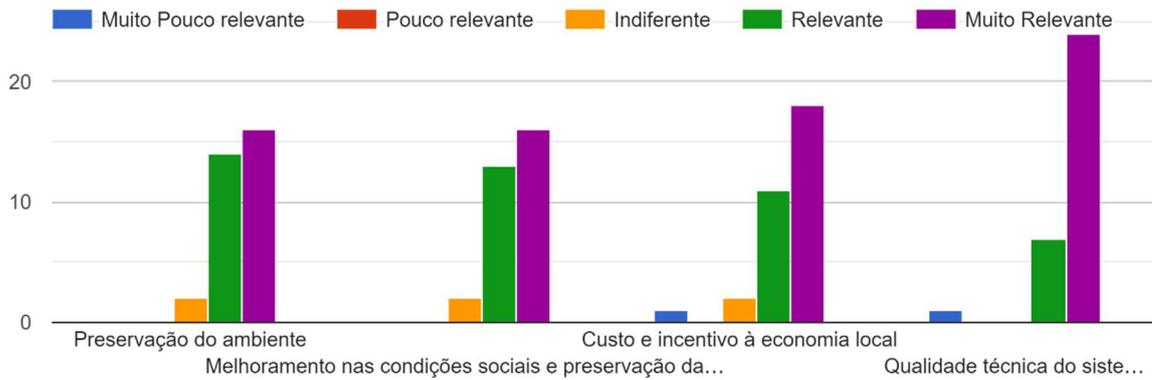


Se sim, qual?

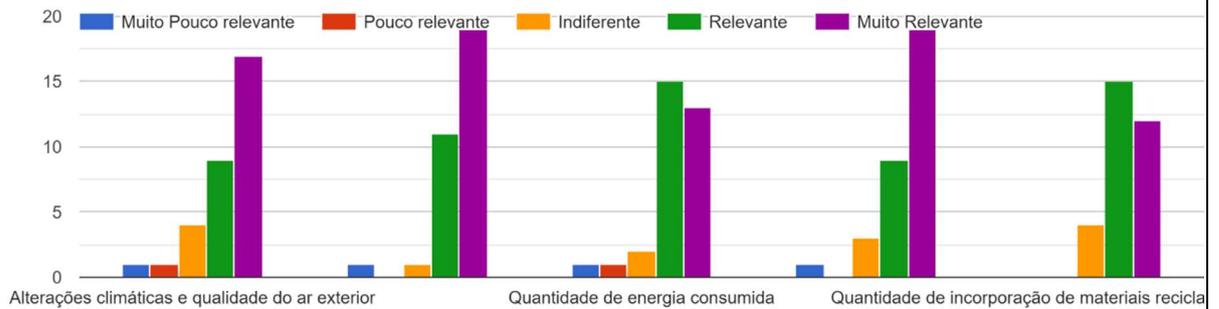
10 respostas



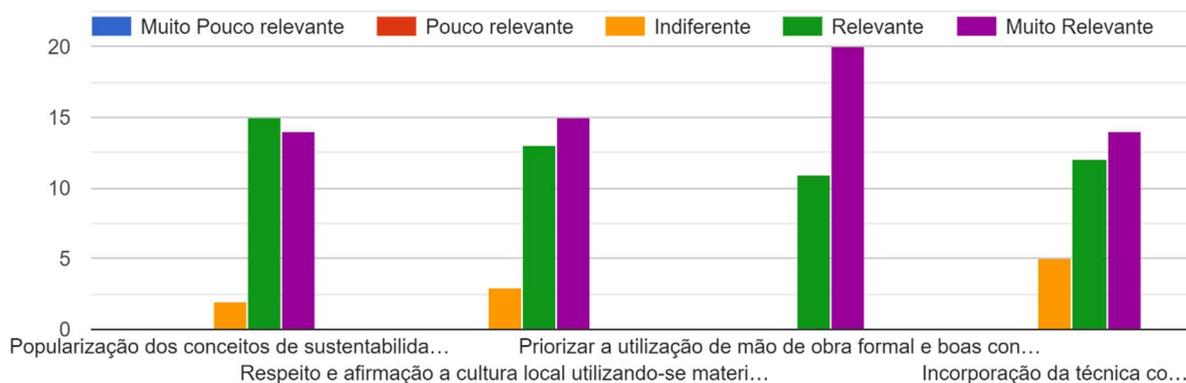
Para a seleção de sistemas construtivos que irão compor a edificação, qual a importância de cada item



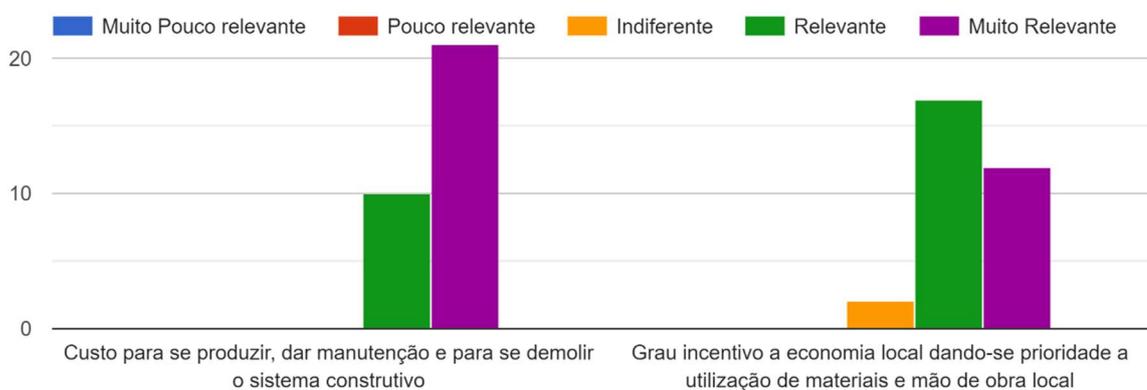
Em uma avaliação dos impactos ambientais causados pela a adoção de um determinado sistema construtivo, qual a importância de cada classe?



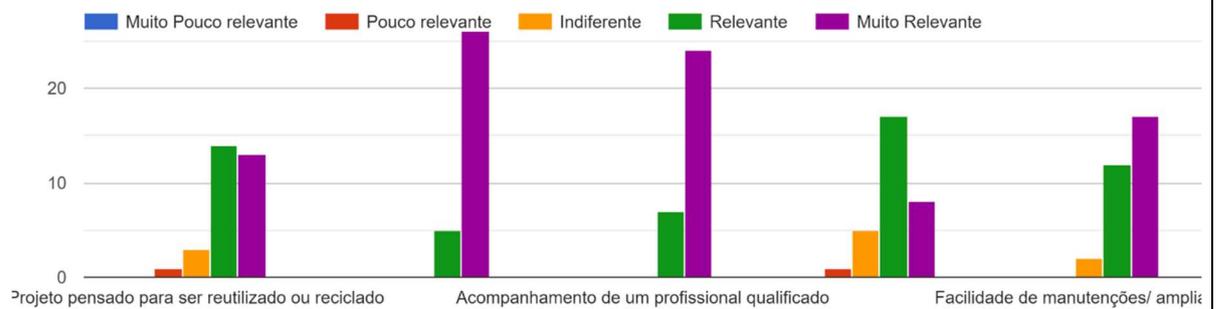
Em uma avaliação acerca do desempenho social causados pela a adoção de um determinado sistema construtivo, qual a importância de cada classe?



Em uma avaliação dos fatores econômicos relacionados com a adoção de um determinado sistema construtivo, qual a importância de cada classe?



Para a avaliação do desempenho técnico de um determinado sistema construtivo, qual a importância de cada classe?



Apêndice D

**PLANILHAS DE CÁLCULO DE GRAUS DE
IMPORTÂNCIA A PARTIR DOS DADOS
COLHIDOS COM OS GRUPOS DE INTERESSE
(ESPECIALISTAS)**

Cálculo do vetor decisão

Estrutura Matriz AHP

MATSUS-HR

Graus de importancia - MACRONIVEL

| Critérios | Ambiental | Social | Econômico | Técnico |
|-------------|-----------|--------|-----------|---------|
| 1 Ambiental | 1 | 1 | 1 | 1/2 |
| 2 Social | 1 | 1 | 1 | 1/3 |
| 3 Econômico | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 Técnico | 2 | 3 | 1 | 1 |
| Soma | 5,00 | 6,00 | 4,00 | 2,83 |

| Auto Vetor | Auto Vetor Normalizado |
|------------|------------------------|
| 0,84 | 20,19% |
| 0,76 | 18,24% |
| 1,00 | 24,00% |
| 1,57 | 37,57% |
| 4,17 | 100,00% |

MACROPESOS

$\lambda_{max} = 4,13$
 Índice de Coerencia (IC) = 4,28%
 Razão de Coerencia (RC) = 4,75%

OK!

Ordem da Matriz = 4
 Índice Randomico IR = 0,9

Graus de importancia - MICRONÍVEIS

Dimensão Ambiental

| Critérios | Categoria A I: Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | Categoria A II: Geração de resíduos sólidos | Categoria A III: Consumo de energia | Categoria A IV: Consumo de água |
|---|---|---|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1 Categoria A I: Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 Categoria A II: Geração de resíduos sólidos | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 Categoria A III: Consumo de energia | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 Categoria A IV: Consumo de água | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Soma | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 |

| Auto Vetor | Auto Vetor Normalizado |
|------------|------------------------|
| 1,00 | 25,00% |
| 1,00 | 25,00% |
| 1,00 | 25,00% |
| 1,00 | 25,00% |
| 4,00 | 100,00% |

MACROPESOS

$\lambda_{max} = 4,00$
 Índice de Coerencia (IC) = 0,00%
 Razão de Coerencia (RC) = 0,00%

OK!

Ordem da Matriz = 4
 Índice Randomico IR = 0,9

Graus de importancia - MICRONÍVEIS

Dimensão Social

| Critérios | Categoria S I: Disseminação de conhecimento técnico | Categoria S II: Respeito e afirmação a cultura local | Categoria S III: Salubridade e seguridade social | Categoria S IV: Vulnerabilidade social |
|--|---|--|--|--|
| 1 Categoria S I: Disseminação de conhecimento técnico | 1 | 1 | 1/3 | 1 |
| 2 Categoria S II: Respeito e afirmação a cultura local | 1 | 1 | 1/3 | 1 |
| 3 Categoria S III: Salubridade e seguridade social | 3 | 3 | 1 | 3 |
| 4 Categoria S IV: Vulnerabilidade social | 1 | 1 | 1/3 | 1 |
| Soma | 6,00 | 6,00 | 2,00 | 6,00 |

| Auto Vetor | Auto Vetor Normalizado |
|------------|------------------------|
| 0,76 | 16,67% |
| 0,76 | 16,67% |
| 2,28 | 50,00% |
| 0,76 | 16,67% |
| 4,56 | 100,00% |

MACROPESOS

$\lambda_{max} = 4,00$
 Índice de Coerencia (IC) = 0,00%
 Razão de Coerencia (RC) = 0,00%

OK!

Ordem da Matriz = 4
 Índice Randomico IR = 0,9

Graus de importancia - MICRONÍVEIS

Dimensão Econômico

| Critérios | Categoria E I: Custos Financeiros | Categoria E II: Incentivo a economia local |
|--|-----------------------------------|--|
| 1 Categoria E I: Custos Financeiros | 1 | 3 |
| 2 Categoria E II: Incentivo a economia local | 1/3 | 1 |
| Soma | 1,33 | 4,00 |

| Auto Vetor |
|-------------|
| 1,73 |
| 0,58 |
| 2,31 |

| Auto Vetor Normalizado |
|------------------------|
| 75,00% |
| 25,00% |
| 100,00% |

MICROFOSOS

$\lambda_{max} = 2,00$
 Índice de Coerencia (IC) = 0,00%
 Razão de Coerencia (RC) = 0,00%

OK!

Ordem da Matriz = 2
 Índice Randomico IR = 0

Graus de importancia - MICRONÍVEIS

Dimensão Técnico

| Critérios | Categoria T I: Aptidão a reciclagem ou ao reuso | Categoria T II: Desempenho físico-mecânico | Categoria T III: Confiabilidade técnica | Categoria T IV: Facilidade de estocagem e transporte | Categoria T V: Facilidade de manutenções/ ampliações |
|--|---|--|---|--|--|
| Categoria T I: Aptidão a reciclagem ou ao reuso | 1 | 1/3 | 1/3 | 3 | 1 |
| Categoria T II: Desempenho físico-mecânico | 3 | 1 | 1 | 5 | 3 |
| Categoria T III: Confiabilidade técnica | 3 | 1 | 1 | 5 | 3 |
| Categoria T IV: Facilidade de estocagem e transporte | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 1 | 1/3 |
| Categoria T V: Facilidade de manutenções/ ampliações | 1 | 1/3 | 1/3 | 3 | 1 |
| Soma | 8,33 | 2,87 | 2,87 | 17,00 | 8,33 |

| Auto Vetor |
|-------------|
| 0,80 |
| 2,14 |
| 2,14 |
| 0,34 |
| 0,80 |
| 6,23 |

| Auto Vetor Normalizado |
|------------------------|
| 12,89% |
| 34,39% |
| 34,39% |
| 5,44% |
| 12,89% |
| 100,00% |

MICROFOSOS

$\lambda_{max} = 5,04$
 Índice de Coerencia (IC) = 1,12%
 Razão de Coerencia (RC) = 1,00%

OK!

Ordem da Matriz = 5
 Índice Randomico IR = 1,12

Vetor Decisão

| VETOR DECISÃO | | | | |
|---------------|----------------|---|--------|----------------|
| Ambiental | 20,19% | Categoria A I: Alterações climáticas e qualidade do ar exterior | 25,00% | 5,05% |
| | | Categoria A II: Geração de resíduos sólidos | 25,00% | 5,05% |
| | | Categoria A III: Consumo de energia | 25,00% | 5,05% |
| | | Categoria A IV: Consumo de água | 25,00% | 5,05% |
| Social | 18,24% | Categoria S I: Disseminação de conhecimento técnico | 16,67% | 3,04% |
| | | Categoria S II: Respeito e afirmação a cultura local | 16,67% | 3,04% |
| | | Categoria S III: Salubridade e seguridade social | 50,00% | 9,12% |
| | | Categoria S IV: Vulnerabilidade social | 16,67% | 3,04% |
| Econômico | 24,00% | Categoria E I: Custos Financeiros | 75,00% | 18,00% |
| | | Categoria E II: Incentivo a economia local | 25,00% | 6,00% |
| Técnico | 37,57% | Categoria T I: Aptidão a reciclagem ou ao reuso | 12,89% | 4,84% |
| | | Categoria T II: Desempenho físico-mecânico | 34,39% | 12,92% |
| | | Categoria T III: Confiabilidade técnica | 34,39% | 12,92% |
| | | Categoria T IV: Facilidade de estocagem e transporte | 5,44% | 2,04% |
| | | Categoria T V: Facilidade de manutenções/ ampliações | 12,89% | 4,84% |
| Soma | 100,00% | | | 100,00% |

**O vetor decisão, obtido a partir das opiniões dos diversos grupos de interesse, será utilizado como input do dataset da rede

Apêndice E

PLANILHAS DE CÁLCULO MATSUS-HR PARA O ESTUDO DE CASO REALIZADO

Cadastro de materiais

| Codigo | | | | Ambiental | | | | | |
|-----------------|--|----------------------|---------|-------------|---|---------------|--------|-------------|-------------------|
| Cod. Geral | Nome - especificações - (fabricante ou fornecedor) | Quantidade analisada | Unidade | Possui EPD? | Fonte | Codigo da EPD | Pais | Data da EPD | Unidade Funcional |
| 000.000.003.001 | Cimento - CP II E 40 (Votorantin) | 1 | kg | sim | EPD - Environmental Product Declaration | S-P-00895 | Brasil | 20/06/2016 | 1000,00 |
| 000.000.003.002 | Cimento - CP III E 40 RS (Votorantin) | 1 | kg | sim | EPD - Environmental Product Declaration | S-P-00895 | Brasil | 20/06/2016 | 1000,00 |
| 000.000.003.003 | Cimento - CP V ARI (Votorantin) | 1 | kg | sim | EPD - Environmental Product Declaration | S-P-00895 | Brasil | 20/06/2016 | 1000,00 |
| 000.000.003.004 | ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTUSO, PARA REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO E ASSENTAMENTO DE BLOCOS DIVERSOS | 1 | kg | sim | EPD - Environmental Product Declaration | S-P-00897 | Brasil | 20/06/2016 | 1000,00 |
| 000.000.003.005 | BLOCO CERÂMICO, 14 X 19 X 39 CM | 1 | Unidade | não | ANICER | - | Brasil | 11/05/2012 | 13,00 |
| 000.000.003.006 | SOLO EXTRAÍDO PRÓXIMO AO LOCAL DA OBRA | 1 | m³ | não | - | - | - | - | 1,00 |
| 000.000.003.007 | ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO PÚBLICA | 1 | m³ | não | - | - | - | - | 1,00 |
| 000.000.003.008 | BLOCO DE SOLO CIMENTO 2 FUROS 7,5X15X30 | 1 | Unidade | não | - | - | - | - | 1,00 |
| 000.000.003.009 | BLOCO DE CONCRETO, 14 X 19 X 39 CM | 1 | Unidade | não | ANICER | - | Brasil | 11/05/2012 | 13,00 |
| 000.000.003.010 | FORMA TREPANTE EM ALUMÍNIO | 1 | m² | não | ANICER / (MANSILHA et al, 2017) | - | Brasil | 11/05/2012 | 1000 |
| 000.000.003.011 | | | | | | | | | 1 |

Etapa 1 de 4

| Codigo | | | | Ambiental | | | | | | | | | |
|-----------------|--|----------------------|---------|-----------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|---------------|------------------|---------------|-------------------|-----------------|
| Cod. Geral | Nome - especificações - (fabricante ou fornecedor) | Quantidade analisada | Unidade | Emissões atmosféricas | | | | | | | | | |
| | | | | GWP (kg CO2-eq) | GWP (Unitário) | ODP (kg CFC 11-eq) | ODP (Unitário) | AP (kg SO2-eq) | AP (Unitário) | EP (kg PO4 3-eq) | EP (Unitário) | POCP (kg C2H4-eq) | POCP (Unitário) |
| 000.000.003.001 | Cimento - CP II E 40 (Votorantin) | 1 | kg | 7,89E+02 | 7,89E-01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,70E+00 | 1,70E-03 | 2,00E-01 | 2,00E-04 | 1,00E-01 | 1,00E-04 |
| 000.000.003.002 | Cimento - CP III E 40 RS (Votorantin) | 1 | kg | 5,87E+02 | 5,87E-01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,30E+00 | 1,30E-03 | 2,00E-01 | 2,00E-04 | 1,00E-01 | 1,00E-04 |
| 000.000.003.003 | Cimento - CP V ARI (Votorantin) | 1 | kg | 9,06E+02 | 9,06E-01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,90E+00 | 1,90E-03 | 3,00E-01 | 3,00E-04 | 1,00E-01 | 1,00E-04 |
| 000.000.003.004 | ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTUSO, PARA REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO E ASSENTAMENTO DE BLOCOS DIVERSOS | 1 | kg | 1,42E+02 | 1,42E-01 | 9,66E-06 | 9,66E-09 | 4,88E-01 | 4,88E-04 | 9,98E-02 | 9,98E-05 | 2,45E-02 | 2,45E-05 |
| 000.000.003.005 | BLOCO CERÂMICO, 14 X 19 X 39 CM | 1 | Unidade | 2,24E+01 | 1,72E+00 | 2,38E-06 | 1,83E-07 | 6,22E-01 | 4,78E-02 | 1,62E-03 | 1,25E-04 | 1,01E-02 | 7,75E-04 |
| 000.000.003.006 | SOLO EXTRAÍDO PRÓXIMO AO LOCAL DA OBRA | 1 | m³ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.007 | ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO PÚBLICA | 1 | m³ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.008 | BLOCO DE SOLO CIMENTO 2 FUROS 7,5X15X30 | 1 | Unidade | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.009 | BLOCO DE CONCRETO, 14 X 19 X 39 CM | 1 | Unidade | 5,18E+01 | 3,99E+00 | 4,70E-06 | 3,61E-07 | 9,58E-01 | 7,37E-02 | 3,21E-03 | 2,47E-04 | 1,64E-02 | 1,26E-03 |
| 000.000.003.010 | FORMA TREPANTE EM ALUMÍNIO | 1 | m² | 6,55E+03 | 6,55E+00 | 8,01E-07 | 8,01E-10 | 7,60E+00 | 7,60E-03 | 1,60E+01 | 1,60E-02 | 8,31E-02 | 8,31E-05 |
| 000.000.003.011 | | | | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

Etapa 2 de 4

| Codigo | | | | Ambiental | | | | | | | | | |
|-----------------|--|----------------------|---------|----------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|--|--------------------|--------------------|----------------|----------------|---------------|
| Cod. Geral | Nome - especificações - (fabricante ou fornecedor) | Quantidade analisada | Unidade | Resíduos sólidos | | | | | Consumo de energia | | | | |
| | | | | Quantidade de Resíduos Perigosos | QRP (Unitário) | Quantidade de Resíduos Reciclavéis | QRR (Unitário) | Quantidade de Resíduos não perigosos (Kg-eq) | QRNP (Unitário) | Não Renovável (MJ) | ENR (Unitário) | Renovável (MJ) | ER (Unitário) |
| 000.000.003.001 | Cimento - CP II E 40 (Votorantin) | 1 | kg | 2,39E-04 | 2,39E-07 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,68E-01 | 1,68E-04 | 1,91E+03 | 1,91E+00 | 6,11E+02 | 6,11E-01 |
| 000.000.003.002 | Cimento - CP III E 40 RS (Votorantin) | 1 | kg | 1,15E-04 | 1,15E-07 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,82E+00 | 1,82E-03 | 2,09E+03 | 2,09E+00 | 4,50E+02 | 4,50E-01 |
| 000.000.003.003 | Cimento - CP V ARI (Votorantin) | 1 | kg | 2,82E-04 | 2,82E-07 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,99E-01 | 1,99E-04 | 1,99E+03 | 1,99E+00 | 7,25E+02 | 7,25E-01 |
| 000.000.003.004 | ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTUSO, PARA REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO E ASSENTAMENTO DE BLOCOS DIVERSOS | 1 | kg | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 4,54E-01 | 4,54E-04 | 9,34E+02 | 9,34E-01 | 1,36E+02 | 1,36E-01 |
| 000.000.003.005 | BLOCO CERÂMICO, 14 X 19 X 39 CM | 1 | Unidade | 2,05E-01 | 1,57E-02 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 4,75E-01 | 3,66E-02 | 2,19E+02 | 1,68E+01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.006 | SOLO EXTRAÍDO PRÓXIMO AO LOCAL DA OBRA | 1 | m³ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.007 | ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO PÚBLICA | 1 | m³ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.008 | BLOCO DE SOLO CIMENTO 2 FUROS 7,5X15X30 | 1 | Unidade | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.009 | BLOCO DE CONCRETO, 14 X 19 X 39 CM | 1 | Unidade | 2,84E-01 | 2,18E-02 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 7,21E-01 | 5,54E-02 | 4,63E+02 | 3,56E+01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.010 | FORMA TREPANTE EM ALUMÍNIO | 1 | m² | 3,10E-05 | 3,10E-08 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 3,70E+02 | 3,70E-01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.011 | | | | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

Etapa 3 de 4

| Cod. Geral | Nome - especificações - (fabricante ou fornecedor) | Quantidade analisada | Unidade | Ambiental | | Ambiental | | |
|-----------------|---|----------------------|---------|------------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------|---------------|
| | | | | resíduos sólidos | Consumo de água | Quantidade de Resíduos Perigosos | Rede de Abastecimento (m³) | AA (Unitário) |
| 000.000.003.001 | Cimento - CP II E 40 (Votorantin) | 1 | kg | 2,39E-04 | 5,50E+00 | 5,50E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.002 | Cimento - CP III E 40 RS (Votorantin) | 1 | kg | 1,15E-04 | 4,40E+00 | 4,40E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.003 | Cimento - CP V ARI (Votorantin) | 1 | kg | 2,82E-04 | 6,20E+00 | 6,20E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.004 | ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTIUSO, PARA REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO E ASSENTAMENTO DE BLOCOS DIVERSOS | 1 | kg | 0,00E+00 | 2,94E+00 | 2,94E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.005 | BLOCO CERÂMICO, 14 X 19 X 39 CM | 1 | Unidade | 2,05E-01 | 7,37E+01 | 5,67E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.006 | SOLO EXTRAÍDO PROXIMO AO LOCAL DA OBRA | 1 | m³ | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.007 | ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO PÚBLICA | 1 | m³ | 0,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.008 | BLOCO DE SOLO CIMENTO 2 FUROS 7,5X15X30 | 1 | Unidade | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.009 | BLOCO DE CONCRETO, 14 X 19 X 39 CM | 1 | Unidade | 2,84E-01 | 1,09E+02 | 8,42E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.010 | FORMA TREPANTE EM ALUMÍNIO | 1 | m² | 3,10E-05 | 4,40E-01 | 4,40E-04 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.003.011 | | | | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

Etapa 4 de 4

Cadastro de equipamentos

| Cod. Geral | Nome do Equipamento | Fonte de energia | PESO | Porte | Consumo médio de energia (KWh) | Consumo médio de combustível (L/H - diesel) | Consumo de água (m³/h) | Ambiental | | | Emissões atmosféricas | | | | | |
|--|--|------------------|------|-------|--------------------------------|---|------------------------|---------------------------------|-------|---------------|-----------------------|--------------------|----------------|------------------|------------------|----------|
| | | | | | | | | Possui avaliação de desempenho? | Fonte | Identificação | GWP (kg CO2-eq) | ODP (kg CFC 11-eq) | AP (kg SO2-eq) | EP (kg PO4 3-eq) | POCP (kg CH4-eq) | |
| 000.000.002.005 | RETENEDORA CAPACIDADE NOMINAL 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO 220/380 V POTÊNCIA 2 CV, SEM CARRILHÃO | Elétrica | | médio | 1,47 | | | | | | | 1,53E-01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.002.006 | RETROSCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARRILHÃO, TRACAO 4 X 2, POTENCIA LÍQUIDA 79 HP, PESO OPERACIONAL MÁXIMO DE 6570 KG, CAPACIDADE DA CARRILHÃO DE 1,20 M3 E DA RETROSCAVADEIRA MÍNIMA DE 0,20 M3, PROFUNDIDADE DE ESCAVACAO MÁXIMA DE 4,37 M | Diesel | | médio | | 8 | | | | | | 2,14E+01 | 0,00E+00 | 8,29E-03 | 0,00E+00 | 1,32E-03 |
| 000.000.002.007 | CAMINHÃO BASCULANTE DE 12 T DE CARGA, DE 162 CV | Diesel | | médio | | 9 | | | | | | 2,40E+01 | 0,00E+00 | 9,32E-03 | 0,00E+00 | 1,49E-03 |
| 000.000.002.008 | MAQUINA MANUAL TIPO PRENSA PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE SOLO CIMENTO | manual | | médio | 0 | 0 | | | | | | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.002.009 | COMPACTADOR MANUAL PARA TAIPA DE PILÃO | manual | 81kg | médio | 2,21 | | | | | | | 2,30E-01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.002.010 | | | | | | | | | | | | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Fator de emissão da matriz produtiva de energia elétrica (para o país do local em estudo) - kg emissão/kWh | | | | | | | | | | | 1,04E-01 | | | | | |
| Fonte: data studies | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fator de emissão para o consumo de Diesel (kgCO2 / l) | | | | | | | | | | | 2,67E+00 | 0,00E+00 | 1,04E-03 | 0,00E+00 | 1,65E-04 | |
| Fonte: data studies | | | | | | | | | | | | | | | | |

Etapa 1 de 2

| Cod. Geral | Nome do Equipamento | Fonte de energia | PESO | Porte | Consumo médio de energia (KWh) | Consumo médio de combustível (L/H - diesel) | Consumo de água (m³/h) | Resíduos sólidos | | | Consumo de energia | | Consumo de água | |
|-----------------|--|------------------|------|-------|--------------------------------|---|------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|--------------------|----------------|----------------------------|--------------------|
| | | | | | | | | Quantidade de Resíduos Perigosos | Quantidade de Resíduos Raioativos | Quantidade de Resíduos não perigosos (Kg-eq) | Não Renovável (MJ) | Renovável (MJ) | Rede de Abastecimento (m³) | Água de Reuso (m³) |
| 000.000.002.005 | RETENEDORA CAPACIDADE NOMINAL 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO 220/380 V POTÊNCIA 2 CV, SEM CARRILHÃO | Elétrica | | médio | 1,47 | | | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.002.006 | RETROSCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARRILHÃO, TRACAO 4 X 2, POTENCIA LÍQUIDA 79 HP, PESO OPERACIONAL MÁXIMO DE 6570 KG, CAPACIDADE DA CARRILHÃO DE 1,20 M3 E DA RETROSCAVADEIRA MÍNIMA DE 0,20 M3, PROFUNDIDADE DE ESCAVACAO MÁXIMA DE 4,37 M | Diesel | | médio | | 8 | | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.002.007 | CAMINHÃO BASCULANTE DE 12 T DE CARGA, DE 162 CV | Diesel | | médio | | 9 | | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.002.008 | MAQUINA MANUAL TIPO PRENSA PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE SOLO CIMENTO | manual | | médio | 0 | 0 | | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.002.009 | COMPACTADOR MANUAL PARA TAIPA DE PILÃO | manual | 81kg | médio | 2,21 | | | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| 000.000.002.010 | | | | | | | | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |

Etapa 2 de 2

Cadastro de mão de obra

| Codigo | | | | | Técnica |
|-----------------|---------------|---------------|--------|------------------------------|-------------------------------------|
| Cod. Geral | Local | Atividade | Classe | Nome | Formação mínima Exigida |
| 000.000.001.001 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Ajudante | Curso técnico ou profissionalisante |
| 000.000.001.002 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Arquiteto | Graduação |
| 000.000.001.003 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Carpinteiro | Curso técnico ou profissionalisante |
| 000.000.001.004 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Eletricista | Curso técnico ou profissionalisante |
| 000.000.001.005 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Encanador | Curso técnico ou profissionalisante |
| 000.000.001.006 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Engenheiro Civil | Graduação |
| 000.000.001.007 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Engenheiro Eletricista | Graduação |
| 000.000.001.008 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Engenheiro Mecânico | Graduação |
| 000.000.001.009 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Estoquista | Curso técnico ou profissionalisante |
| 000.000.001.010 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Marceneiro | Curso técnico ou profissionalisante |
| 000.000.001.011 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Motorista de caminhão | Curso técnico ou profissionalisante |
| 000.000.001.012 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Operador de Munk | Curso técnico ou profissionalisante |
| 000.000.001.013 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Operador de Retroescavadeira | Curso técnico ou profissionalisante |
| 000.000.001.014 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Pedreiro | Curso técnico ou profissionalisante |
| 000.000.001.015 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Serralheiro | Curso técnico ou profissionalisante |
| 000.000.001.016 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Servente | Curso técnico ou profissionalisante |
| 000.000.001.017 | Não Atribuido | Não Atribuido | Função | Voluntário | |

Etapa 1 de 1

Cadastro de custos unitários

| Cod. Com Localidade | Local | Atividade | Codigo | | Nome | Economico | | |
|---------------------|-------|---------------|--------------|--|--|----------------------|---------|-----------------|
| | | | Classe | | | Custo médio unitário | Unidade | Data da cotação |
| 012.000.001.001 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Printor | R\$ 14,03 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.002 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Arquiteto | R\$ 88,80 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.003 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Carpinteiro | R\$ 14,03 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.004 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Eletricista | R\$ 14,03 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.006 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Encanador | R\$ 14,03 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.007 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Engenheiro Civil | R\$ 96,52 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.008 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Engenheiro Eletricista | R\$ 86,54 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.011 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Marceneiro | R\$ 14,34 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.009 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Motorista operador de caminhão munck | R\$ 20,67 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.012 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Motorista de caminhão | R\$ 19,27 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.010 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Motorista de caminhão basculante | R\$ 18,19 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.013 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Mestre de Obras | R\$ 27,12 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.014 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Operador de Retroescavadeira | R\$ 20,63 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.015 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Pedreiro | R\$ 14,03 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.016 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Serralheiro | R\$ 14,03 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.017 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Servente | R\$ 10,47 | HH | jun/19 |
| 012.000.001.005 | MS | Não Atribuído | FUNÇÃO | | Encarregado de obras | R\$ 17,88 | HH | jun/19 |
| 012.000.002.005 | MS | Não Atribuído | EQUIPAMENTOS | | BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 380 L, MOTOR ELETRICO TRIFASICO 220/380 V POTENCIA 2 CV, SEM CARREGADOR | R\$ 1,25 | HM | jun/19 |
| 012.000.002.006 | MS | Não Atribuído | EQUIPAMENTOS | | RETROSCAVADORA SOBRE RODAS COM CARREGADORA, TRACAO 4 X 2, POTENCIA LIQUIDA 79 HP, PESO OPERACIONAL MINIMO DE 6570 KG, CAPACIDADE DA CARREGADORA DE 1,00 M3 E DA RETROSCAVADORA MINIMA DE 0,20 M3, PROFUNDIDADE DE ESCAVACAO MAXIMA DE 4,37 M | R\$ 72,74 | HM | jun/19 |
| 012.000.002.007 | MS | Não Atribuído | EQUIPAMENTOS | | CAMINHÃO BASCULANTE DE 12 T DE CARGA, DE 162 CV | R\$ 85,73 | HM | jun/19 |
| 012.000.002.008 | MS | Não Atribuído | EQUIPAMENTOS | | MAQUINA MANUAL TIPO PRENSA PARA PRODUCAO DE BLOCOS DE SOLO CIMENTO | R\$ 3,47 | HM | jun/19 |
| 012.000.003.004 | MS | Não Atribuído | MATERIAIS | | ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTIFUNÇÃO, PARA REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO E ASSENTAMENTO DE BLOCOS DIVERSOS | R\$ 0,41 | KG | jun/19 |
| 012.000.003.011 | MS | Não Atribuído | MATERIAIS | | BLOCO CERÂMICO (ALVENARIA DE VEDACAO), 8 FUROS, DE 9 X 19 X 19 CM | R\$ 0,58 | Unidade | jun/19 |
| 012.000.003.006 | MS | Não Atribuído | MATERIAIS | | SOLO EXTRAÍDO PROXIMO AO LOCAL DA OBRA | R\$ - | M³ | jun/19 |
| 012.000.003.001 | MS | Não Atribuído | MATERIAIS | | Cimento - CP II E 40 (Votorantim) | R\$ 0,50 | KG | jun/19 |
| 012.000.003.008 | MS | Não Atribuído | MATERIAIS | | BLOCO DE SOLO CIMENTO 2 FUROS 7,5X15X30 | R\$ - | Unidade | jun/19 |
| 012.000.003.007 | MS | Não Atribuído | MATERIAIS | | ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO PÚBLICA | R\$ 3,50 | M³ | jun/19 |
| 012.000.003.009 | MS | Não Atribuído | MATERIAIS | | BLOCO DE CONCRETO, 14 X 19 X 39 CM | R\$ 1,96 | Unidade | jun/19 |
| 012.000.003.010 | MS | Não Atribuído | MATERIAIS | | FORMA TREPANTE EM ALUMÍNIO | R\$ 1.000,00 | Jogo | jun/19 |
| 012.000.002.009 | MS | Não Atribuído | EQUIPAMENTOS | | COMPACTADOR MANUAL PARA TAPA DE PILÃO | R\$ 30,00 | HM | jun/19 |
| 012.000.003.005 | MS | Não Atribuído | MATERIAIS | | BLOCO CERÂMICO, 14 X 19 X 39 CM | R\$ 1,89 | Unidade | jun/19 |

Composição de atividades

| Código | Atividade | unidade | Cod. Geral | Cod. Com Atividade | NOME | Unidade | Quantidade | | |
|------------------|--|--|---------------------|--------------------|--|---------|------------|--|--|
| 000.001.000.000 | Extração e solo | m³ | Mão de obra | | | | | | |
| | | | 000.000.001.013 | 000.001.001.013 | Operador de Betoneira caçavala | HH | 0,0484 | | |
| | | | 000.000.001.011 | 000.001.001.011 | Mobilista de caminhão | HH | 1,0484 | | |
| | | | Equipamentos | | | | | | |
| | | | 000.000.002.006 | 000.001.002.006 | BETONEIRA UNICA SOBRE RODAS COM CARREGADORA, TRACA 6 X 3, POTENCIA LIQUIDA 79 HP, PESO OPERADORA MINIMO DE 6570 KG, CAPACIDADE DA CARREGADORA DE 1,00 M3 E DA BETONEIRA MINIMA DE 0,20 M3, PROFUNDIDADE DE ESCAVACAO MAXIMA DE 4,37M | HM | 0,0484 | | |
| | | | 000.000.002.007 | 000.001.002.007 | CAMINHÃO BASCULANTE DE 12 T DE CARGA DE 567 CV | HM | 0,1000 | | |
| Materials | | | | | | | | | |
| 000.002.000.000 | Produção de blocos de solo cimento | Unidade | Mão de obra | | | | | | |
| | | | 000.000.001.016 | 000.002.001.016 | Servente | HH | 0,0800 | | |
| | | | Equipamentos | | | | | | |
| | | | 000.000.002.008 | 000.002.002.008 | MAQUINA MANUAL TIPO PRENSAFANA PRODUCAO DE BLOCOS DE SOLO CIMENTO | HM | 0,0300 | | |
| | | | 000.000.002.005 | 000.002.002.005 | BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL 40 DL, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO 220/380 V POTÊNCIA 2 CV, SEM CABREGADOR | HM | 0,0300 | | |
| | | | Materials | | | | | | |
| 000.000.003.006 | 000.002.003.006 | SOLO EXTRAÍDO PROXIMO AO LOCAL DA OBRA | M³ | 0,0020 | | | | | |
| 000.000.003.001 | 000.002.003.001 | Cimento - CP II E 60 (Vetores-afim) | KG | 0,1680 | | | | | |
| 000.000.003.007 | 000.002.003.007 | AGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO PUBLICA | M³ | 0,0002 | | | | | |
| 000.003.000.000 | Alvenaria de blocos de solo cimento | m² | Mão de obra | | | | | | |
| | | | 000.000.001.014 | 000.003.001.014 | Pedreiro | HH | 0,5500 | | |
| | | | 000.000.001.016 | 000.003.001.016 | Servente | HH | 0,5500 | | |
| | | | Equipamentos | | | | | | |
| | | | Materials | | | | | | |
| | | | 000.000.003.004 | 000.003.003.004 | ARMAZENSA INDUSTRIALIZADA MULTIFUNÇÃO, PARA REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO E ASENTAMENTO DE BLOCOS DIVERSOS | kg | 3,8000 | | |
| 000.000.003.008 | 000.003.003.008 | BLOCO DE SOLO CIMENTO 2 FUROS 7,24 15x30 | und | 45,0000 | | | | | |
| 000.004.000.000 | Alvenaria de blocos cerâmicos 14x19x39cm | m² | Mão de obra | | | | | | |
| | | | 000.000.001.014 | 000.004.001.014 | Pedreiro | HH | 0,7000 | | |
| | | | 000.000.001.016 | 000.004.001.016 | Servente | HH | 0,7000 | | |
| | | | Equipamentos | | | | | | |
| | | | Materials | | | | | | |
| | | | 000.000.003.004 | 000.004.003.004 | ARMAZENSA INDUSTRIALIZADA MULTIFUNÇÃO, PARA REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO E ASENTAMENTO DE BLOCOS DIVERSOS | kg | 21,0000 | | |
| 000.000.003.005 | 000.004.003.005 | BLOCO CERÂMICO, 14 X 19 X 39 CM | und | 13,0000 | | | | | |

| Código | Atividade | unidade | Cod. Geral | Cod. Com Atividade | NOME | Unidade | Quantidade | | |
|-----------------|---|---------------------------------------|---------------------|--------------------|---|---------|------------|--|--|
| 000.005.000.000 | Alvenaria de blocos concreto 14x19x39cm | m² | Mão de obra | | | | | | |
| | | | 000.000.001.014 | 000.005.001.014 | Pedreiro | HH | 0,7000 | | |
| | | | 000.000.001.016 | 000.005.001.016 | Servente | HH | 0,7000 | | |
| | | | | | | HH | | | |
| | | | Equipamentos | | | | | | |
| | | | - | - | | | | | |
| | | | Materiais | | | | | | |
| | | | 000.000.003.004 | 000.005.003.004 | ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTIUSO, PARA REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO E ASSENTAMENTO DE BLOCOS DIVERSOS | kg | 19,4000 | | |
| | | | 000.000.003.009 | 000.005.003.009 | BLOCO DE CONCRETO, 14 X 19 X 39 CM | und | 13,0000 | | |
| | | | | | | | | | |
| 000.006.000.000 | Montagem e desmontagem de formas metálicas para taipa de pilão mecanizada | m² | Mão de obra | | | | | | |
| | | | 000.000.001.015 | 000.006.001.015 | Serralheiro | HH | 0,4000 | | |
| | | | 000.000.001.016 | 000.006.001.016 | Servente | HH | 0,8000 | | |
| | | | | | | HH | | | |
| | | | Equipamentos | | | | | | |
| | | | - | - | | | | | |
| | | | Materiais | | | | | | |
| | | | 000.000.003.010 | 000.006.003.010 | FORMA TREPANTE EM ALUMÍNIO | kg | 0,0683 | | |
| | | | #N/D | #N/D | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| 000.007.000.000 | PRODUÇÃO, LANÇAMENTO E COMPACTAÇÃO MECANICA PARA TAIPA DE PILAO | m³ | Mão de obra | | | | | | |
| | | | 000.000.001.016 | 000.007.001.016 | Servente | HH | 1,3100 | | |
| | | | #N/D | #N/D | | HH | | | |
| | | | | | | HH | | | |
| | | | Equipamentos | | | | | | |
| | | | 000.000.002.009 | 000.007.002.009 | COMPACTADOR MANUAL PARA TAIPA DE PILÃO | HM | 0,5700 | | |
| | | | 000.000.002.005 | 000.000.002.005 | BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO 220/380 V POTENCIA 2 CV, SEM CARREGADOR | HM | 0,0300 | | |
| | | | Materiais | | | | | | |
| | | | 000.000.003.006 | 000.007.003.006 | SÓLO EXTRAÍDO PRÓXIMO AO LOCAL DA OBRA | M³ | 0,4517 | | |
| | | | 000.000.003.001 | 000.007.003.001 | Cimento - CP II E 40 (Votorantim) | Kg | 0,1250 | | |
| 000.000.003.007 | 000.007.003.007 | ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO PÚBLICA | M³ | 0,6811 | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Calculo fatores econômicos e financeiros por atividade

Código da Composição da atividade

000.001.000.000 Nome Atividade **Extração e solo** Estado para a composição de preços **MS** 012.000.000.000
 Unidade m³

| Cod Geral | Cod com localidade | NOME | Unidade | Quantidade Unitária (Composição) | Custo Unitário | Custo Relativo (Composição) |
|---|--------------------|--|---------|----------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Quantificação para as fases (Creadle-to-gate) AI | | | | | | |
| Materiais | | | | | | |
| - | - | - | - | - | 0 | - |
| - | - | - | - | - | 0 | - |
| - | - | - | - | - | 0 | - |
| TOTAIS por m³ fase (creadle to gate) | | | | | | - |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | |
| Equipamentos | | | | | | |
| 000.000.002.006 | 012.000.002.006 | RETROSCAVADORA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRACAD 4 X 2, POTENCIA LÍQUIDA 79 HP, PESO OPERACIONAL MÍNIMO DE 6570 KG, CAPACIDADE DA CARREGADEIRA DE 1,20 M3 E DA RETROSCAVADORA MÍNIMA DE 0,20 M3, PROFUNDIDADE DE ESCAVACAO MÁXIMA DE 4,37 M | HM | 0,0484 | 72,74 | 3,52 |
| 000.000.002.007 | 012.000.002.007 | CAMINHÃO BASCULANTE DE 12 T DE CARGA, DE 162 CV | HM | 0,1000 | 85,73 | 8,57 |
| - | - | - | - | - | 0 | - |
| TOTAIS por m³ fase de aplicação AIII | | | | | | 12,09 |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | |
| Avaliação das atividades necessárias para a aplicação do sistema construtivo | | | | | | |
| 000.000.001.013 | 012.000.001.013 | Operador de Retroscavadeira | HH | 0,0484 | 27,12 | 1,31 |
| 000.000.001.011 | 012.000.001.011 | Motorista de caminhão | HH | 1,0484 | 14,24 | 15,03 |
| - | - | - | - | - | - | - |
| Total | | | | | | 16,35 |
| Total com Encargos Sociais | | | | 119,98% | | 19,61 |
| TOTAIS por m³ fase (Aplicação) | | | | | | 31,71 |
| TOTAIS por m³ da Atividade | | | | | | 31,71 |

000.002.000.000 Nome Atividade **Produção de blocos de solo cimento** Estado para a composição de preços **MS** 012.000.000.000
 Unidade Unidade

| Cod Geral | Cod com localidade | NOME | Unidade | Quantidade Unitária (Composição) | Custo Unitário | Custo Relativo (Composição) |
|---|--------------------|--|----------------|----------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Quantificação para as fases (Creadle-to-gate) AI | | | | | | |
| Materiais | | | | | | |
| 000.002.003.006 | 012.002.003.006 | SOLO EXTRAÍDO PRÓXIMO AO LOCAL DA OBRA | M ³ | 0,0020 | 31,71 | 0,06 |
| 000.002.003.001 | 012.002.003.001 | Cimento - CP II E 40 (Votorantim) | KG | 0,1680 | 0,50 | 0,08 |
| 000.002.003.007 | 012.002.003.007 | ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO PÚBLICA | M ³ | 0,0002 | 3,50 | 0,00 |
| - | - | - | - | - | 0 | - |
| TOTAIS por m³ fase (creadle to gate) | | | | | | 0,15 |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | |
| Equipamentos | | | | | | |
| 000.002.002.008 | 012.002.002.008 | MAQUINA MANUAL TIPO PRENSA PARA PRODUCAO DE BLOCOS DE SOLO CIMENTO | HM | 0,0300 | 3,47 | 0,10 |
| 000.002.002.005 | 012.002.002.005 | BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO 220/380 V POTENCIA 2 CV, SEM CARREGADORA | HM | 0,0300 | 1,25 | 0,04 |
| - | - | - | - | - | 0 | - |
| TOTAIS por m³ fase de aplicação AIII | | | | | | 0,14 |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | |
| Avaliação das atividades necessárias para a aplicação do sistema construtivo | | | | | | |
| 000.002.001.016 | 012.002.001.016 | Servente | HH | 0,0800 | 14,03 | 1,12 |
| - | - | - | - | - | - | - |
| Total | | | | | | 1,12 |
| Total com Encargos Sociais | | | | 119,98% | | 1,35 |
| TOTAIS por m³ fase (Aplicação) | | | | | | 1,49 |
| TOTAIS por m³ da Atividade | | | | | | 1,64 |

000.003.000.000 Nome Atividade **Alvenaria de blocos de solo cimento** Estado para a composição de preços **MS** 012.000.000.000
 Unidade m²

| Cod Geral | Cod com localidade | NOME | Unidade | Quantidade Unitária (Composição) | Custo Unitário | Custo Relativo (Composição) |
|---|--------------------|--|---------|----------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Quantificação para as fases (Creadle-to-gate) AI | | | | | | |
| Materiais | | | | | | |
| 000.003.003.004 | 012.003.003.004 | ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTIFUNÇÃO, PARA REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO E ASSENTAMENTO DE BLOCOS DIVERSOS | kg | 3,8000 | 0,41 | 1,56 |
| 000.003.003.008 | 012.003.003.008 | BLOCO DE SOLO CIMENTO 2 FUROS 7,5X15X30 | und | 45,00 | 0 | - |
| - | - | - | - | - | 0 | - |
| TOTAIS por m² fase (creadle to gate) | | | | | | 1,56 |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | |
| Equipamentos | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | |
| Avaliação das atividades necessárias para a aplicação do sistema construtivo | | | | | | |
| 000.003.001.014 | 012.003.001.014 | Pedreiro | HH | 0,5500 | 20,63 | 11,35 |
| 000.003.001.016 | 012.003.001.016 | Servente | HH | 0,5500 | 14,03 | 7,72 |
| - | - | - | - | - | - | - |
| Total | | | | | | 19,06 |
| Total com Encargos Sociais | | | | 119,98% | | 22,87 |
| TOTAIS por m² fase (Aplicação) | | | | | | 22,87 |
| TOTAIS por m² da Atividade | | | | | | 24,43 |

| 000.004.000.000 | | Nome Atividade | Alvenaria de blocos cerâmicos 14x19x39cm | | Estado para a composição de preços | MS | 012.000.000.000 |
|---|--------------------|--|---|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| | | Unidade m² | | | | | |
| Cod Geral | Cod com localidade | NOME | Unidade | Quantidade Unitária (Composição) | Custo Unitário | Custo Relativo (Composição) | |
| Quantificação para as fases (Creadle-to-gate) AI | | | | | | | |
| Materiais | | | | | | | |
| 000.004.003.004 | 012.004.003.004 | ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTILUSO, PARA REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO E ASSENTAMENTO DE BLOCOS DIVERSOS | kg | 21,0000 | 0,41 | 8,61 | |
| 000.004.003.005 | 012.004.003.005 | BLOCO CERÂMICO, 14 X 19 X 39 CM | und | 13,00 | 1,89 | 24,57 | |
| | | | | | 0 | - | |
| TOTAIS por m² fase (creadle to gate) | | | | | | 33,18 | |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | | |
| Equipamentos | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | |
| - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | | | - | - | |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | | |
| Avaliação das atividades necessárias para a aplicação do sistema construtivo | | | | | | | |
| 000.004.001.014 | 012.004.001.014 | Pedreiro | HH | 0,7000 | 20,63 | 14,44 | |
| 000.004.001.016 | 012.004.001.016 | Servente | HH | 0,7000 | 14,03 | 9,82 | |
| | | | | | - | - | |
| Total | | | | | | 24,26 | |
| Total com Encargos Sociais | | | | | 119,98% | 29,11 | |
| TOTAIS por m² fase (Aplicação) | | | | | | 29,11 | |
| TOTAIS por m² da Atividade | | | | | 000.004.000.000 | 62,29 | |
| 000.005.000.000 | | | | | | | |
| | | Nome Atividade | Alvenaria de blocos concreto 14x19x39cm | | Estado para a composição de preços | MS | 012.000.000.000 |
| | | Unidade m² | | | | | |
| Cod Geral | Cod com localidade | NOME | Unidade | Quantidade Unitária (Composição) | Custo Unitário | Custo Relativo (Composição) | |
| Quantificação para as fases (Creadle-to-gate) AI | | | | | | | |
| Materiais | | | | | | | |
| 000.005.003.004 | 012.005.003.004 | ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA MULTILUSO, PARA REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO E ASSENTAMENTO DE BLOCOS DIVERSOS | kg | 19,4000 | 0,41 | 7,95 | |
| 000.005.003.009 | 012.005.003.009 | BLOCO DE CONCRETO, 14 X 19 X 39 CM | und | 13,00 | 1,96 | 25,48 | |
| | | | | | 0 | - | |
| TOTAIS por m² fase (creadle to gate) | | | | | | 33,43 | |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | | |
| Equipamentos | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | |
| - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | | | - | - | |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | | |
| Avaliação das atividades necessárias para a aplicação do sistema construtivo | | | | | | | |
| 000.005.001.014 | 012.005.001.014 | Pedreiro | HH | 0,7000 | 20,63 | 14,44 | |
| 000.005.001.016 | 012.005.001.016 | Servente | HH | 0,7000 | 14,03 | 9,82 | |
| | | | | | - | - | |
| Total | | | | | | 24,26 | |
| Total com Encargos Sociais | | | | | 119,98% | 29,11 | |
| TOTAIS por m² fase (Aplicação) | | | | | | 29,11 | |
| TOTAIS por m² da Atividade | | | | | 000.005.000.000 | 62,54 | |
| 000.006.000.000 | | | | | | | |
| | | Nome Atividade | Montagem e desmontagem de formas metálicas para taipa de pilão mecanizada | | Estado para a composição de preços | MS | 012.000.000.000 |
| | | Unidade m² | | | | | |
| Cod Geral | Cod com localidade | NOME | Unidade | Quantidade Unitária (Composição) | Custo Unitário | Custo Relativo (Composição) | |
| Quantificação para as fases (Creadle-to-gate) AI | | | | | | | |
| Materiais | | | | | | | |
| 000.006.003.010 | 012.006.003.010 | FORMA TREPANTE EM ALUMÍNIO | kg | 0,0683 | 1000 | 68,30 | |
| | | | | | - | - | |
| | | | | | - | - | |
| TOTAIS por m² fase (creadle to gate) | | | | | | 68,30 | |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | | |
| Equipamentos | | | | | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | |
| - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | | | - | - | |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | | |
| Avaliação das atividades necessárias para a aplicação do sistema construtivo | | | | | | | |
| 000.006.001.015 | 012.006.001.015 | Serralheiro | HH | 0,4000 | 14,03 | 5,61 | |
| 000.006.001.016 | 012.006.001.016 | Servente | HH | 0,8000 | 14,03 | 11,22 | |
| | | | | | - | - | |
| Total | | | | | | 16,84 | |
| Total com Encargos Sociais | | | | | 119,98% | 20,20 | |
| TOTAIS por m² fase (Aplicação) | | | | | | 20,20 | |
| TOTAIS por m² da Atividade | | | | | 000.006.000.000 | 88,50 | |

| 000.007.000.000 | | PRODUÇÃO, LANÇAMENTO E COMPACTAÇÃO MECANICA PARA TAIPA DE PILAO | | Estado para a composição de preços | | MS | | 012.000.000.000 | |
|---|--------------------|--|---------|-------------------------------------|----------------|--------------------------------|-------|-----------------|--|
| | | Nome Atividade | | | | | | | |
| | | Unidade m³ | | | | | | | |
| Cod Geral | Cod com localidade | NOME | Unidade | Quantidade Unitária (Composição) | Custo Unitário | Custo Relativo (Composição) | | | |
| Quantificação para as fases (Creadle-to-gate) AI | | | | | | | | | |
| Materiais | | | | | | | | | |
| 000.007.003.006 | 012.007.003.006 | SOLO EXTRAÍDO PROXIMO AO LOCAL DA OBRA | M³ | 0,4517 | 31,71 | 14,32 | | | |
| 000.007.003.001 | 012.007.003.001 | Cimento - CP II E 40 (Votorantim) | Kg | 0,13 | 0,5 | 0,06 | | | |
| 000.007.003.007 | 012.007.003.007 | ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO PÚBLICA | M³ | 0,68 | 3,5 | 2,38 | | | |
| | | | - | - | 0 | - | | | |
| TOTALS por m² fase (creadle to gate) | | | | | | | | 16,77 | |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | | | | |
| Equipamentos | | | | | | | | | |
| | | | - | - | - | - | | | |
| | | | - | - | - | - | | | |
| | | | - | - | - | - | | | |
| | | | - | - | - | - | | | |
| Quantificação para a fase de aplicação AIII | | | | | | | | | |
| Avaliação das atividades necessárias para a aplicação do sistema construtivo | | | | | | | | | |
| 000.007.001.016 | 012.007.001.016 | Servente | HH | 1,3100 | 14,03 | 18,38 | | | |
| | | | - | - | - | - | | | |
| | | | - | - | - | - | | | |
| Total | | | | | | | | 18,38 | |
| Total com Encargos Sociais | | | | 119,98% | | | 22,05 | | |
| TOTALS por m² fase (Aplicação) | | | | | | | | 22,05 | |
| TOTALS por m² da Atividade | | | | | | | | 38,82 | |
| | | | | | | | | 000.007.000.000 | |

Composição de sistemas construtivos

| Nome Sistema Construtivo: Parede de blocos de solo cimento | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---------|---|----------------------------------|----------|----------|----------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------|----------|--|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Acumulado da composição das atividades | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AMBIENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ID | Atividade | Unidade | Quantidade da atividade empregada por m² de sistema construtivo | Emissões Atmosféricas (Quant/m³) | | | | Quantidade de Resíduos Perigosos | Quantidade de Resíduos Não Perigosos | Quantidade de Resíduos Reciclados | Consumo de Energia Renovável (MWh) | Consumo de Água (litros) | Custos Financeiros | Social | | | | |
| | | | | CO2 | CH4 | NOx | PM10 | | | | | | | | Consumo de Energia Não Renovável (MWh) | Consumo de Água (litros) | Consumo de Energia Renovável (MWh) | Consumo de Água (litros) |
| 000.00.000.000 | Assentamento de blocos de solo cimento | m² | 1 | 5,67E-01 | 3,67E-08 | 1,35E-03 | 3,79E-04 | 9,31E-05 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,73E-03 | 3,55E+00 | 5,17E-01 | 1,13E-02 | 0,00E+00 | R\$ 24,43 | 4 | 3 |
| 000.00.000.000 | Produção de blocos de solo cimento | Unidade | 45 | 6,17E+00 | 0,00E+00 | 1,29E-02 | 1,51E-03 | 7,86E-04 | 1,81E-06 | 0,00E+00 | 1,27E-03 | 1,44E+01 | 6,62E-01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | R\$ 73,64 | 3 | 3 |
| 000.00.000.000 | Estrutura de solo | m³ | 0,92 | 9,51E-02 | 0,00E+00 | 3,69E-05 | 0,00E+00 | 5,89E-06 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | R\$ 2,32 | 3 | 1 |
| 000.000.000.000 | Total (Relativo) Sistema Construtivo | | | 6,81E+00 | 3,67E-08 | 1,47E-02 | 1,89E-03 | 8,95E-04 | 1,81E-06 | 0,00E+00 | 3,00E-03 | 1,90E+01 | 5,17E-01 | 6,38E-02 | 0,00E+00 | R\$ 100,38 | 3,33 | 2,33 |
| Nome Sistema Construtivo: Parede de blocos cerâmicos | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acumulado da composição das atividades | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AMBIENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ID | Atividade | Unidade | Quantidade da atividade empregada por m² de sistema construtivo | Emissões Atmosféricas (Quant/m³) | | | | Quantidade de Resíduos Perigosos | Quantidade de Resíduos Não Perigosos | Quantidade de Resíduos Reciclados | Consumo de Energia Renovável (MWh) | Consumo de Água (litros) | Custos Financeiros | Social | | | | |
| | | | | CO2 | CH4 | NOx | PM10 | | | | | | | | Consumo de Energia Não Renovável (MWh) | Consumo de Água (litros) | Consumo de Energia Renovável (MWh) | Consumo de Água (litros) |
| 000.00.000.000 | Assentamento de blocos cerâmicos | m³ | 1 | 2,29E+01 | 2,42E-06 | 6,23E-01 | 2,00E-03 | 1,02E-02 | 2,05E-01 | 0,00E+00 | 6,77E-01 | 2,22E+02 | 5,17E-01 | 7,37E+01 | 0,00E+00 | R\$ 52,29 | 4 | 3 |
| 000.000.000.000 | Total (Relativo) Sistema Construtivo | | | 2,29E+01 | 2,42E-06 | 6,23E-01 | 2,00E-03 | 1,02E-02 | 2,05E-01 | 0,00E+00 | 6,77E-01 | 2,22E+02 | 5,17E-01 | 7,37E+01 | 0,00E+00 | R\$ 52,29 | 4,00 | 3,00 |
| Nome Sistema Construtivo: Parede de blocos de concreto | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acumulado da composição das atividades | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AMBIENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ID | Atividade | Unidade | Quantidade da atividade empregada por m² de sistema construtivo | Emissões Atmosféricas (Quant/m³) | | | | Quantidade de Resíduos Perigosos | Quantidade de Resíduos Não Perigosos | Quantidade de Resíduos Reciclados | Consumo de Energia Renovável (MWh) | Consumo de Água (litros) | Custos Financeiros | Social | | | | |
| | | | | CO2 | CH4 | NOx | PM10 | | | | | | | | Consumo de Energia Não Renovável (MWh) | Consumo de Água (litros) | Consumo de Energia Renovável (MWh) | Consumo de Água (litros) |
| 000.00.000.000 | Assentamento de blocos de concreto 14x19x38cm | m³ | 1 | 5,24E+01 | 4,73E-06 | 9,59E-01 | 3,99E-03 | 1,85E-02 | 2,84E-01 | 0,00E+00 | 7,27E-01 | 4,67E+02 | 5,17E-01 | 1,09E+02 | 0,00E+00 | R\$ 52,54 | 4 | 3 |
| 000.000.000.000 | Total (Relativo) Sistema Construtivo | | | 5,24E+01 | 4,73E-06 | 9,59E-01 | 3,99E-03 | 1,85E-02 | 2,84E-01 | 0,00E+00 | 7,27E-01 | 4,67E+02 | 5,17E-01 | 1,09E+02 | 0,00E+00 | R\$ 52,54 | 4,00 | 3,00 |
| Nome Sistema Construtivo: Parede de tijolos de solo mecanizada | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acumulado da composição das atividades | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AMBIENTAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ID | Atividade | Unidade | Quantidade da atividade empregada por m² de sistema construtivo | Emissões Atmosféricas (Quant/m³) | | | | Quantidade de Resíduos Perigosos | Quantidade de Resíduos Não Perigosos | Quantidade de Resíduos Reciclados | Consumo de Energia Renovável (MWh) | Consumo de Água (litros) | Custos Financeiros | Social | | | | |
| | | | | CO2 | CH4 | NOx | PM10 | | | | | | | | Consumo de Energia Não Renovável (MWh) | Consumo de Água (litros) | Consumo de Energia Renovável (MWh) | Consumo de Água (litros) |
| 000.00.000.000 | Montagem e desmontagem de formas metálicas para tijolos mecanizados | m³ | 0,617 | 4,67E-01 | 0,00E+00 | 1,31E-04 | 0,00E+00 | 2,89E-05 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | R\$ 14,32 | 4 | 3 | |
| 000.00.000.000 | PRODUÇÃO, LANCAMENTO E INSTALAÇÃO DE TUBOS PARA O FILADO | m³ | 1 | 4,45E+02 | 5,65E-08 | 5,13E-01 | 1,09E+00 | 5,85E-03 | 2,11E-06 | 0,00E+00 | 2,32E+01 | 2,32E+01 | 0,00E+00 | 2,99E-02 | 0,00E+00 | R\$ 88,50 | 3 | 3 |
| 000.00.000.000 | PRODUÇÃO, LANCAMENTO E INSTALAÇÃO DE TUBOS PARA O FILADO | m³ | 0,25 | 6,59E-02 | 0,00E+00 | 7,14E-05 | 8,00E-05 | 4,20E-06 | 1,00E-08 | 0,00E+00 | 7,06E-06 | 8,07E-03 | 2,37E-02 | 2,81E-04 | 0,00E+00 | R\$ 9,70 | 3 | 1 |
| 000.000.000.000 | Total (Relativo) Sistema Construtivo | | | 4,46E+02 | 5,65E-08 | 5,13E-01 | 1,09E+00 | 5,88E-03 | 2,12E-06 | 0,00E+00 | 7,06E-06 | 2,32E+01 | 2,37E-02 | 3,02E-02 | 0,00E+00 | R\$ 112,53 | 3,33 | 2,33 |

Análise de transportes

| Impacto Total Atividade em Sistema Construtivo Análise | |
|--|---------|
| ID | UNIDADE |
| | kg |

Nome Sistema Construtivo

| Nome do transportador e características | Atividade | Quantidade Adotada (m³/tonelada) | Unidade | Inimicos | Quantidade de Inimicos (kg) | Tempo de Transporte (min) | Tipo de Transporte | Carga Máxima (kg) | Carga Útil (kg) | Número de Operações | Consumo de Energia (kWh) | Consumo de Água (litros) | Emissões (kg/m³) | | | | Consumo de Energia (kWh) | Consumo de Água (litros) | Consumo de Água (litros) | | | | | |
|--|-----------|----------------------------------|---------|----------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | | | | | | | | | | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | PM ₁₀ | | | | | | | | |
| Produção de blocos de solo cimento | 1.00 | 0.020 | Unidade | Inimicos | 1.00 | 7.00 | Carro 2 eixos | 2.000 | 2.000 | 300 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | | | | |
| | 4 | | Unidade | | 1.00 | 1.00 | Veículo (ônibus) | 1.000 | 1.000 | 300 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | | | | |
| | | | kg | | 0.17 | 1.50 | Tronco cortado a ar | 1.500 | 1.500 | 300 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | | | | |
| Atividade de blocos de solo cimento | 1.00 | | kg | | 3.00 | 1.50 | Veículo (ônibus) | 1.500 | 1.500 | 300 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total de emissões de CO ₂ em kg/m³ | | | | | | | | | | | | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Total de emissões de CH ₄ em kg/m³ | | | | | | | | | | | | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Total de emissões de N ₂ O em kg/m³ | | | | | | | | | | | | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Total de emissões de PM ₁₀ em kg/m³ | | | | | | | | | | | | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Total de emissões de energia em kWh/m³ | | | | | | | | | | | | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Total de emissões de água em litros/m³ | | | | | | | | | | | | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

Nome Sistema Construtivo

| Nome do transportador e características | Atividade | Quantidade Adotada (m³/tonelada) | Unidade | Inimicos | Quantidade de Inimicos (kg) | Tempo de Transporte (min) | Tipo de Transporte | Carga Máxima (kg) | Carga Útil (kg) | Número de Operações | Consumo de Energia (kWh) | Consumo de Água (litros) | Emissões (kg/m³) | | | | Consumo de Energia (kWh) | Consumo de Água (litros) | Consumo de Água (litros) | | | | | |
|--|-----------|----------------------------------|---------|----------|-----------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | | | | | | | | | | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | PM ₁₀ | | | | | | | | |
| Atividade de blocos de solo cimento | 1.00 | | kg | | 3.00 | 1.50 | Tronco cortado a ar | 1.500 | 1.500 | 300 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total de emissões de CO ₂ em kg/m³ | | | | | | | | | | | | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Total de emissões de CH ₄ em kg/m³ | | | | | | | | | | | | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Total de emissões de N ₂ O em kg/m³ | | | | | | | | | | | | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Total de emissões de PM ₁₀ em kg/m³ | | | | | | | | | | | | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Total de emissões de energia em kWh/m³ | | | | | | | | | | | | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Total de emissões de água em litros/m³ | | | | | | | | | | | | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

Indicadores finais não ponderados

| Sistema construtivo | AMBIENTAL | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|
| | Consumo de energia na aplicação do sistema construtivo (Quanto/m²) | Consumo de água na aplicação do sistema construtivo (Quanto/m²) | Consumo de energia na aplicação do sistema construtivo (Quanto/m²) | Consumo de água na aplicação do sistema construtivo (Quanto/m²) | Consumo de energia na aplicação do sistema construtivo (Quanto/m²) | Consumo de água na aplicação do sistema construtivo (Quanto/m²) | Consumo de energia na aplicação do sistema construtivo (Quanto/m²) | Consumo de água na aplicação do sistema construtivo (Quanto/m²) | Consumo de energia na aplicação do sistema construtivo (Quanto/m²) | Consumo de água na aplicação do sistema construtivo (Quanto/m²) |
| Parede com blocos de solo cimento | 1,46E+03 | 5,18E+06 | 2,27E+00 | 1,51E+01 | 2,95E+04 | 0,00E+00 | 4,22E+01 | 7,24E+02 | 8,71E+00 | 0,00E+00 |
| Parede de blocos de rimicos | 3,93E+03 | 3,41E+04 | 2,83E+01 | 1,46E+00 | 2,89E+01 | 0,00E+00 | 6,73E+01 | 7,29E+01 | 1,04E+04 | 0,00E+00 |
| Parede de blocos de concreto | 8,02E+03 | 6,88E+04 | 5,07E+01 | 2,36E+00 | 4,00E+01 | 0,00E+00 | 1,02E+02 | 7,29E+01 | 1,54E+04 | 0,00E+00 |
| Parede de tijolo de pilão mecanizada | 6,36E+04 | 7,88E+06 | 1,53E+02 | 8,44E+01 | 2,99E+04 | 0,00E+00 | 9,95E+04 | 3,62E+00 | 4,24E+00 | 0,00E+00 |

| Sistema construtivo | Econômico | | Custos financeiros | Insentivo à economia local |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------------------|
| | Insentivo à economia local | Insentivo à economia local | | |
| Parede com blocos de solo cimento | 3 | 5 | RS 14.748,44 | Contração de mão de obra local |
| Parede de blocos de rimicos | 4 | 5 | RS 8.838,40 | Contração de mão de obra local |
| Parede de blocos de concreto | 4 | 5 | RS 8.874,22 | Contração de mão de obra local |
| Parede de tijolo de pilão mecanizada | 3 | 5 | RS 15.876,48 | Contração de mão de obra local |

| Sistema construtivo | Social - avaliação para a aplicação do sistema construtivo | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|---|------------------|--------------------------|--|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|---|
| | Diversificação de empreendimentos locais | Respeito ao patrimônio histórico e cultural local | Sustentabilidade | Segurança e saúde social | Incorporação de técnicas construtivas pela população local | Confiabilidade técnica | Facilidade de estocagem e transporte | Facilidade de manutenção/ ampliações | Facilidade de reparos no sistema construtivo | Facilidade de reutilização do sistema construtivo |
| Parede com blocos de solo cimento | 3 | 3 | 4 | 7 | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 |
| Parede de blocos de rimicos | 1 | 3 | 4 | 7 | 5 | 4 | 4 | 1 | 4 | 3 |
| Parede de blocos de concreto | 1 | 3 | 4 | 7 | 5 | 4 | 4 | 1 | 4 | 3 |
| Parede de tijolo de pilão mecanizada | 5 | 3 | 4 | 7 | 5 | 4 | 5 | 3 | 4 | 3 |

| Sistema construtivo | Técnicos | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | Capacidade de aplicação do sistema construtivo |
| Parede com blocos de solo cimento | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| Parede de blocos de rimicos | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| Parede de blocos de concreto | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 |