



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGRICULTURA E AMBIENTE



# **Caracterização da fertilidade do solo, distribuição do sistema radicular e índice de qualidade do solo no Ecossistema Restinga do Litoral Paulista**

**Mestrando: Rodolfo Martins Bonilha**  
**Orientador: Prof. Dr. José Carlos Casagrande**

**ARARAS-SP**  
**2011**

**RODOLFO MARTINS BONILHA**

**Caracterização da fertilidade do solo,  
distribuição do sistema radicular e índice de  
qualidade do solo no Ecossistema Restinga do  
Litoral Paulista**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Campus de Araras, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

**Orientador: Prof. Dr. José Carlos Casagrande**

**ARARAS-SP  
2011**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

B715cf

Bonilha, Rodolfo Martins.

Caracterização da fertilidade do solo, distribuição do sistema radicular e índice de qualidade do solo no Ecossistema Restinga do Litoral Paulista / Rodolfo Martins Bonilha. -- São Carlos : UFSCar, 2012.  
74 f.

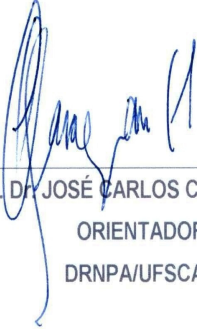
Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.

1. Solos. 2. Saturação por bases. 3. Sistema radicular. 4. Capacidade de troca de cátions. 5. Impacto ambiental. 6. Modelo aditivo ponderado. I. Título.

CDD: 631.4 (20<sup>a</sup>)


MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
DE  
**RODOLFO MARTINS BONILHA**  
APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA  
E AMBIENTE, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, **EM 03 DE  
FEVEREIRO DE 2012.**

BANCA EXAMINADORA:



---

Prof. Dr. JOSÉ CARLOS CASAGRANDE  
ORIENTADOR  
DRNPA/UFSCAR



---

Prof. Dr. MARCIO ROBERTO SOARES  
PPGAA/UFSCar



---

Dr. ESTEVÃO VICARI MELLIS  
IAC/CAMPINAS

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida e auxílio financeiro para a execução da dissertação vinculada ao projeto (nº 577129/2008-2); à CAPES pela bolsa concedida.

Ao Prof. Dr. José Carlos Casagrande pela orientação, instrução, ensinamentos no decorrer do desenvolvimento do trabalho, bem como ao longo destes últimos anos.

Aos Professores: Dr<sup>a</sup>. Rose Mary Reis-Duarte, Dr<sup>a</sup>. Silvana Perissatto Meneghin e Dr. Alexandre Colato pelo importante auxílio no desenvolvimento do trabalho.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA), Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Leonor R. C. Lopes Assad (Coordenadora) e Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Roberta C. F. Nocelli (Vice-coordenadora). E aos demais Professores do curso, cujos ensinamentos contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos alunos de graduação: Jasse Rodrigues Filho pelo auxílio em algumas coletas de solo e Joana América Castellar da Cunha pelas análises referentes à salinidade.

Aos meus pais, cujo apoio e incentivo nos momentos de dificuldades propiciaram galgar mais este degrau de conhecimento adquirido em minha vida, e em especial a minha noiva Paula Cardoso pela paciência e tolerância, bem como seu constante auxílio.

## RESUMO

A Restinga é um conjunto de comunidades vegetais em mosaico, determinadas pelas características de seus substratos resultantes de processos deposicionais e idades. De todos os ecossistemas associados à Mata Atlântica, a restinga é a mais frágil e susceptível às perturbações antrópicas. Neste complexo mosaico encontram-se as fitofisionomias de florestas de restinga em estágio de elevada regeneração (restinga alta) e em estágio de média regeneração (restinga baixa), cada qual com suas características vegetais que as diferenciam. Localizam-se nas planícies costeiras do litoral brasileiro, sofrendo influência tanto das encostas internas continentais, bem como marinha. Seu solo tem origem no quaternário e estão sujeitos a constantes deposição de sedimentos. O clima no litoral, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical. Nas últimas décadas, com a crescente preocupação com os recursos naturais e a qualidade do meio ambiente, intensificaram-se as pesquisas, resultando na definição do conceito de Qualidade do Solo (QS), fortemente alicerçado no conceito de sustentabilidade. Para tanto, vários modelos foram propostos na tentativa de avaliar um Índice de Qualidade do Solo (IQS). O monitoramento da qualidade do solo deve ser orientado para detectar tendências de mudanças que são mensuráveis num período de tempo. Os Objetivos deste estudo foram: a) avaliação comparativa da caracterização da fertilidade do solo, através dos parâmetros químicos e físicos, sob floresta de restinga alta e baixa, com relação a distribuição do sistema radicular no perfil do solo; e b) determinar o Índice de Qualidade do Solo para floresta de restinga em estágio de elevada e média regeneração e para uma área de restinga sem vegetação. Este estudo foi realizado em quatro locais: (1) Parque Estadual da Ilha Anchieta, município de Ubatuba; (2) Estação Ecológica Juréia-Itatins, Estação Ecológica dos Chauás, município de Iguape; (3) Vila de Pedrinhas no município de Ilha Comprida; e (4) Parque Estadual da Ilha do Cardoso, município de Cananéia. Os estudos sobre fertilidade do solo foram feitos nas profundidades de 0 a 5, 0 a 10, 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60cm para as análises químicas e físicas, com cinco repetições para cada fitofisionomia, para cada local de estudo, cada uma delas composta por doze subamostras. Também foi avaliada a distribuição do sistema radicular no perfil do solo. Para a determinação do índice de qualidade do solo (IQS), foram feitas análises químicas, físicas e microbiológicas na camada de 0-10cm de profundidade. Utilizaram-se dois modelos na determinação do índice de qualidade do solo: Modelo Aditivo (MA) e Modelo Aditivo Comparativo (MAC). Conclui-se que o sistema radicular para todas as fitofisionomias estudadas encontra-se nas camadas mais superficiais, 0-10 e 10-20cm, principalmente na camada de 0-10cm (80%), e que os teores baixos de cálcio e elevados de alumínio restringem o desenvolvimento radicular. Todos os ambientes estudados apresentaram baixa fertilidade do solo, com valores de saturação por bases inferiores a 18%, onde a maior parte da CTC destes ambientes está ocupada por alumínio. O modelo aditivo produz resultados quantitativos e o modelo aditivo comparativo resultados quantitativos e qualitativos (potencial do solo), que os valores de IQS obtidos pelo MAC foram baixos e realísticos para todos os locais e fitofisionomias, demonstrando o baixo potencial de produção de biomassa desses solos, bem como sua baixa resiliência. Os valores semelhantes para as florestas com e sem vegetação demonstraram que a restinga é uma vegetação edáfica, e que o emprego de análise química de rotina é suficiente na determinação do índice de qualidade do solo.

**Palavras-chave:** Saturação por bases, sistema radicular, capacidade de troca de cátions, impacto ambiental, modelo aditivo ponderado.

## ABSTRACT

The Restinga forest is a set of plant communities in mosaic, determined by the characteristics of their substrates as a result of depositional processes and ages. And of all the ecosystems associated with the Atlantic, the most fragile and susceptible to human disturbance. In this complex mosaic are the physiognomies of restinga forests of high-stage regeneration (high restinga) and middle stage of regeneration (low restinga), each with its plant characteristics that differentiate them. Located on the coastal plains of the Brazilian coast, suffering internal influences both the continental slopes, as well as navy. His solo comes from the Quaternary and are subject to constant deposition of sediments. The climate on the coast, according to Köppen classification, type is tropical. In recent decades, with growing concern about natural resources and environmental quality, intensified research, resulting in the definition of soil quality (SQ), strongly rooted in the concept of sustainability. To this end, several models have been proposed in an attempt to assess soil quality index (SQI). The monitoring of soil quality should be directed to detect trends that are measurable changes in a period of time. The objectives of this study were: a) Comparative evaluation of the characterization of soil fertility, through chemical and physical parameters under restinga forest of high and low, with respect to distribution of the root in the soil profile, and b) Determine the index Soil Quality for restinga forest in high-and middle-stage regeneration and a resting area with no vegetation. This work was conducted in four locations: (1) Anchieta Island, Ubatuba, (2) Juréia-Itatins Ecological Station, Iguape, (3) Vila das Pedrinhas, Comprida Island; and (4) Cardoso Island, Cananeia. Studies on soil fertility have been made in depths of 0 to 5, 00-10, 00-20, 20-40 and 40 to 60cm for the chemical and physical analysis, with five replicates for each vegetation type, for each study site, each composed of twelve subsamples. Also being evaluated the distribution of the root in the soil profile. To determine the rate of soil quality, chemical analysis were made, microbiological and physical-layer 0-10cm depth. Using two models in determining the rate of soil quality: Additive Model (MA) and Comparative Additive Model (MAC). It is concluded that the root system for all studied vegetation types found in the more superficial layers, 0-10 and 10-20cm, mainly in the 0-10cm (80%), that low levels of calcium and elevated aluminum restrict root development. All the studied have low soil fertility, with base saturation values below 16%, where most of these environments CEC is occupied by aluminum. The additive model produces quantitative results and the additive model comparative quantitative and qualitative results (ground potential), the SQI values were obtained by the MAC for all local and low vegetation types and realistic, demonstrating the low potential for biomass production in these soils, and its low resilience. Values similar to the forests with and without vegetation showed numerically the consideration that the restinga is an edaphic vegetation. And that the use of routine chemical analysis is sufficient to determine the IQS.

**Index terms:** saturation of bases, the root system, cation exchange capacity, environmental impact, weighted additive model.

# ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE QUADROS.....	ii
<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
1. Geologia e Geomorfologia.....	2
2. Clima.....	3
3. Ecossistema Restinga.....	4
3.1 Vegetação de Restinga em estágio médio de regeneração (rest. baixa).....	6
3.2 Vegetação de Restinga em estágio elevado de regeneração (rest. alta).....	6
4. Solos das planícies costeiras.....	7
4.1 Neossolos quartzarênicos.....	8
4.2 Espodosolos.....	8
5. Interação solo x planta.....	9
<b>Capítulo 1 – Caracterização da Fertilidade do solo e distribuição do sistema radicular de floresta de restinga no Litoral Paulista</b>	
1. Introdução.....	11
2. Material e Métodos.....	13
2.1 Amostragem e análise do solo.....	14
2.2 Distribuição do sistema radicular.....	15
3. Resultados e Discussão.....	18
4. Conclusões.....	28
<b>Capítulo 2 – Índice de qualidade do solo no Ecossistema Restinga do Litoral Paulista</b>	
1. Introdução.....	30
2. Material e Métodos.....	37
2.1 Modelo Aditivo (MA).....	38
2.2 Modelo Aditivo Ponderado (MAP).....	40
3. Resultados e Discussão.....	42
3.1 Modelo Aditivo (MA).....	42
3.2 Modelo Aditivo Ponderado (MAP).....	52
3.3 Comparação entre modelos.....	60
4. Conclusões.....	62
Considerações Gerais.....	62
Referências Bibliográficas.....	63
Apêndice 1.....	68
Apêndice 2.....	70



## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Dados históricos de balanço hídrico para os Municípios de Cananéia, Iguape e Ubatuba.....	4
<b>Figura 2.</b> Distribuição das fisionomias de vegetação de Restinga no litoral paulista. ....	5
<b>Figura 3.</b> Imagens da camada de raiz sobre o solo de restinga.....	5
<b>Figura 4.</b> Floresta de restinga em estágio médio de regeneração da Ilha Anchieta (à esquerda) e da Ilha do Cardoso (à direita) no Litoral Paulista.....	6
<b>Figura 5.</b> Floresta de restinga em estágio elevado de regeneração da Estação Ecológica Juréia-Itatins (à esquerda) e da Ilha Anchieta (à direita) no Litoral Paulista. ....	7
<b>Figura 6.</b> Fotos representativas de perfis de Neossolos Quartzarênicos.....	8
<b>Figura 7.</b> Fotos representativas de perfis de Espodossolos.....	9
<b>Figura 8.</b> Foto ilustrativa do litoral paulista com imagens ampliadas dos locais de estudo.....	14
<b>Figura 9.</b> Imagens representativas da colocação da moldura na trincheira.....	15
<b>Figura 10.</b> Raízes classificadas no perfil.....	17
<b>Figura 11.</b> Raízes classificadas em camadas.....	17
<b>Figura 12.</b> Concentrações médias de potássio, cálcio, magnésio e valores médios de soma de bases nas profundidades de 0 a 10 cm para as localidades estudadas.....	20
<b>Figura 13.</b> Valores médios encontrados para de saturação por bases e por alumínio nas profundidades de 0 a 10 cm para as localidades estudadas.....	21
<b>Figura 14.</b> Valores médios da condutividade elétrica (CE), relação de adsorção de Sódio (RAS), porcentagem de sódio trocável (PST) e pH dos extratos de saturação nas florestas alta e baixa de restinga.....	25
<b>Figura 15.</b> Valores médios da distribuição do sistema radicular em floresta de restinga nas quatro localidades estudadas.....	27
<b>Figura 16.</b> Exemplos das três fitofisionomias compreendidas no estudo.....	37
<b>Figura 17.</b> Foto ilustrativa do litoral paulista com imagens ampliadas dos locais de estudo.....	37
<b>Figura 18.</b> Diagrama comparativo para Qualidade do Solo, distribuídos em atributos físicos, químicos e biológicos.....	39
<b>Figura 19.</b> Funções de pontuação padronizada: (a) “mais é melhor”, (b) “valor máximo”, e (c) “menos é melhor”.....	41
<b>Figura 20.</b> Diagramas comparativos das qualidades dos solos, distribuídas em atributos físicos, químicos e microbiológicos, entre RA, RB e RSV, na camada de 0 a 10 cm, nas quatro localidades estudadas.....	46
<b>Figura 21.</b> Estruturas comparativas entre Restinga alta, baixa e sem vegetação para cada localidade. ....	50
<b>Figura 22.</b> Valores médios obtidos das áreas de RA, RB e RSV para IQS nas localidades estudadas. ....	51
<b>Figura 23.</b> Resultados obtidos de IQS para as quatro localidades e nas três áreas (RA, RB e RSV).....	55
<b>Figura 24.</b> Resultados gráficos e numéricos das simulações do modelo aditivo ponderado, e diferenças em relação ao índice padrão.....	58
<b>Figura 25.</b> Valores de IQS obtidos pelos modelos MA e MAP nas quatro localidades estudadas, para todas as fitofisionomias.....	61

## Lista de Quadros

<b>Quadro 1.</b> Resultados das análises químicas de solos sob floresta de restinga em estágio de elevada e média regeneração nas quatro localidades estudadas.....	19
<b>Quadro 2.</b> Teores de micronutrientes em diversas profundidades em solos sob floresta de restinga em estágios de elevada e média regeneração nas quatro localidades estudadas.....	23
<b>Quadro 3.</b> Características dos solos salinos, sódicos e salino-sódicos.....	24
<b>Quadro 4.</b> Resultados de análises físicas das restingas em estágios de elevada e média regeneração nos quatro locais.....	26
<b>Quadro 5.</b> Distribuição percentual do sistema radicular em florestas de restinga no perfil do solo nas quatro localidades estudadas.....	27
<b>Quadro 6.</b> Conjunto dos indicadores físicos, químicos e biológicos do solo que podem ser utilizados para avaliar a qualidade do solo.....	36
<b>Quadro 7.</b> Exemplo da estrutura ponderada das relações entre indicadores, funções e componentes no solo.....	40
<b>Quadro 8.</b> Indicadores utilizados no cálculo de IQS.....	42
<b>Quadro 9.</b> Resultados obtidos para o modelo aditivo para os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos nos quatro locais de estudo, para RA, RB e RSV.....	43
<b>Quadro 10.</b> Valores dos indicadores e o índice calculado para o vértice dos parâmetros químicos nas quatro localidades, nas áreas de RA, RB e RSV, individualmente por local.....	44
<b>Quadro 11.</b> Valores dos indicadores e o índice calculado para o vértice dos parâmetros físicos nas quatro localidades, nas áreas de RA, RB e RSV, individualmente por local.....	45
<b>Quadro 12.</b> Valores dos indicadores e o índice calculado para o vértice dos parâmetros microbiológicos nas quatro localidades, nas áreas de RA, RB e RSV, individualmente por local.....	46
<b>Quadro 13.</b> Valores dos indicadores e o índice calculado para o vértice dos parâmetros químicos nas quatro localidades, nas áreas de RA, RB e RSV, em conjunto.....	47
<b>Quadro 14.</b> Valores dos indicadores e o índice calculado para o vértice dos parâmetros físicos nas quatro localidades, nas áreas de RA, RB e RSV, em conjunto.....	48
<b>Quadro 15.</b> Valores dos indicadores e o índice calculado para os parâmetros microbiológicos nas quatro localidades, nas áreas de RA, RB e RSV, em conjunto.....	48
<b>Quadro 16.</b> Resultados obtidos para os vértices dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos nas quatro localidades, consideradas em conjunto, nas vegetações de RA, RB e RSV.....	49
<b>Quadro 17.</b> Valores de IQS obtidos para todos os locais em conjunto e para os locais individualmente.....	52
<b>Quadro 18.</b> Valores médios (0-10cm) observados para os indicadores químicos, físicos e microbiológicos em solos sob floresta de restinga alta, baixa e de solo de restinga sem vegetação nas quatro localidades de estudo.....	53
<b>Quadro 19.</b> Estrutura do modelo com as funções, os indicadores, os pesos relativos e os limites críticos.....	54
<b>Quadro 20.</b> Estrutura do modelo aditivo ponderado com indicadores químicos de análise de rotina.....	60

## INTRODUÇÃO GERAL

O termo Restinga, no sentido geomorfológico, em geral, engloba o conjunto de depósitos arenosos costeiros, enquanto que no sentido biótico, é o conjunto das comunidades existentes sobre estes depósitos (CERQUEIRA, 2000).

As formações vegetais sobre restingas e as dunas ocupam cerca de cinco mil quilômetros do litoral brasileiro, correspondendo a cerca de 79% do total (Araújo e Lacerda, 1987). De uma maneira geral, há um aumento na complexidade da vegetação no sentido oceano-continente, que é interpretado por alguns autores como sendo, simultaneamente, faixas de zonação e fases sucessionais (WAECHTER, 1985).

A Restinga, de todos os ecossistemas associados à Mata Atlântica, é o mais frágil e susceptível às perturbações antrópicas, além de ter perdido espaço para o assentamento de infraestrutura urbana (ARAÚJO e LACERDA, 1987; SILVA et al., 1993). E, por sua localização, é desde a colonização européia, submetida a um intenso processo de degradação de suas características naturais. Esse ecossistema foi praticamente o primeiro a sofrer impactos antrópicos que, cerca de quatro séculos após o descobrimento do país, começaram a afetar os ecossistemas interioranos. São raras as áreas de restinga com características naturais e poucas estão protegidas em Unidades de Conservação (LACERDA e ESTEVES, 2000).

As áreas do Ecossistema Restinga sofreram degradação principalmente pelo desmatamento para agricultura e expansão urbana. No passado, em maior escala, essas áreas foram totalmente desmatadas. Estas áreas estão, atualmente, protegidas como reservas estaduais, em diferentes estágios de recuperação, embora os efeitos possam ser observados pelo desenvolvimento diferenciado de suas fitofisionomias. Na Ilha Anchieta, por exemplo, o uso agrícola diferenciado da restinga reflete, no desenvolvimento da vegetação, ainda hoje, após cerca de 50 anos, o efeito da antropização sofrida, além do efeito gerado pelo turismo atual na área. Os solos de suas fitofisionomias, devido à sua baixa potencialidade de sustentação vegetal, em função de sua composição arenosa e baixos teores de nutrientes e de matéria orgânica, representam um dos maiores desafios quanto à recuperação.

A Floresta de Restinga (CASAGRANDE, 2003) representa uma situação diferenciada pela topografia e textura do solo. São solos de relevo plano e de elevada infiltração. Devido ao baixo teor de argila (normalmente de 1 a 5%), estes solos estão sujeitos a intensa lixiviação pela baixa capacidade de troca de cátions (CTC), além de já serem solos originalmente pobres em nutrientes.

Os trabalhos desenvolvidos por CASAGRANDE et al. (2002 a, b) e REIS-DUARTE et al. (2002 a, b; 2003 a, b) indicaram que as correlações entre fertilidade de solo e desenvolvimento da

vegetação de Restinga devem proporcionar informações para o melhor entendimento dos modelos de recuperação desse ecossistema. As experiências de recuperação de áreas de Restinga ainda são preliminares, sem dados conclusivos, em função da dinâmica da água no solo e sua qualidade, intensidade e frequência (RODRIGUES e CAMARGO, 2000).

Assim, esta revisão tem por objetivo reunir conhecimentos sobre as características do solo e do clima das áreas de planícies costeiras ocupadas pelo ecossistema restinga.

## 1. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Segundo MAGALHÃES (2003), o surgimento das restingas brasileiras teve origem na separação do Supercontinente de Gondwana. A placa tectônica sul-americana que se encontrou com a placa do Oceano Pacífico sofrendo fraturas e elevação de massas do terreno, rochas muito antigas até então soterradas por outras mais recentes e por sedimentos, começaram a ser expostas há cerca de 80 milhões de anos.

Os cordões arenosos de São Paulo apresentam sérios problemas de datações de gêneses geológicas. Por algum tempo, preferiu-se considerar a restinga mais interna da ilha de Cananéia (litoral Norte) como sendo Pleistoceno<sup>1</sup> e a restinga mais interna da Ilha Comprida (litoral Norte), como sendo parcialmente do Pleistoceno e parcialmente do Holoceno<sup>2</sup>, mas existem indícios camuflados pela ação das águas dos córregos que comprovam que sejam do período do Pleistoceno. Talvez as restingas (Cananéia e Ilha Comprida) sejam heranças de um período de mar alto do Pleistoceno Superior, alterando por transgressões e regressões de pequena amplitude (AB`SABER, 2006).

Nesse último período geológico, chamado holoceno, durante o recuo do mar para próximo do nível que apresenta hoje, a faixa de planície submersa foi sendo novamente trabalhada, recebendo sedimentos mais recentes, formando novos alinhamentos de cordões arenosos e desenhando cursos de água (MAGALHÃES, 2003).

As planícies arenosas são ocupadas por uma grande variedade de comunidades vegetais devido à diversidade da sua origem geológica, topografia e condições ambientais que ali existem, incluindo as influências marinhas e continentais. Esta diversidade propicia a formação de muitos habitats e, conseqüentemente, de uma flora rica e variada, englobada na categoria geral de vegetação de restinga (SUGIYAMA, 1993).

---

<sup>1</sup> Época geológica do período quaternário, anterior ao atual holoceno, com duração aproximada de 2 milhões de anos.

<sup>2</sup> Época geológica mais recente do período quaternário, com duração aproximada de 1 milhão de anos.

A grande maioria das planícies litorâneas arenosas é constituída de feixes de cristas praias, formando uma planície de relevo muito suave denominada “terraço de construção marinha”. Essas superfícies, quando originadas concomitantemente ao abaixamento do nível relativo do mar exibem, situação mais freqüente nas costas sul e sudeste brasileiro, declividade pouco acentuada rumo ao mar (SUGUIO e TESSLER, 1984).

Os processos geológicos sofridos no passado conferem ao litoral paulista características distintas, tanto no Sul como no Norte, sob o ponto de vista morfológico. Devido à diferença de resistência das rochas às erosões ocasionadas pelas diversas transgressões e regressões marinhas, a encosta da serra no Vale do Ribeira recuou formando uma extensa planície ao sul, enquanto que ao norte a serra permanece mais próxima ao mar. Além disso, os processos de deposição sedimentar que formaram a planície de Cananéia e Iguape (litoral sul) ocorreram em período mais recente. Quatro fatores principais promovem a formação das planícies litorâneas arenosas: fontes de areia, correntes de deriva litorânea, variação do nível relativo do mar e armadilhas para retenção de sedimentos (SUGUIO e TESSLER, 1984).

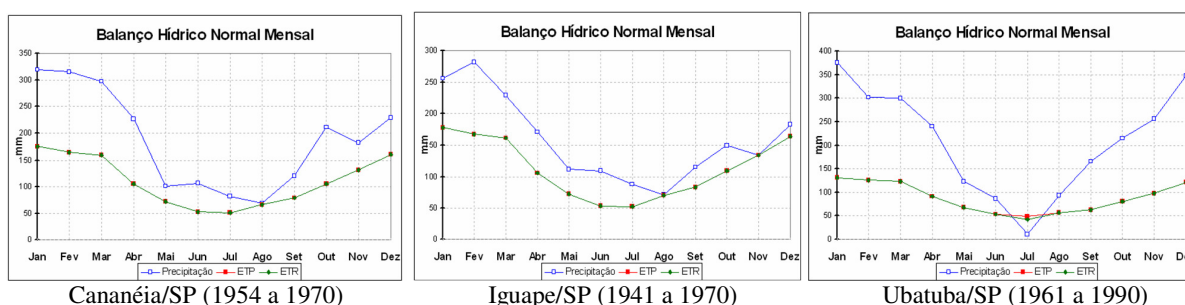
A região litorânea do Estado de São Paulo pode ser genericamente subdividida em três partes distintas: Litoral Sul, onde se desenvolvem grandes planícies essencialmente formadas por depósitos marinhos e flúvio-lagunares; Baixada Santista, deslocando-se ao norte, com amplas planícies preenchidas com sedimentos quaternários; e Litoral Norte do Estado, onde a planície é estreita e o mar está em contato com os granitos e gnaisses da Serra do Mar em quase toda a sua extensão (SUGUIO E MARTIN, 1978a).

## **2. CLIMA**

O clima que caracteriza grande parte do litoral, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical, com a temperatura média do mês mais quente superior a 18°C; o total de chuvas do mês mais seco é de 60 mm e a precipitação anual é aproximadamente 2.200 mm. Não apresenta estação seca invernal, apenas diminuição de pluviosidade, enquanto os verões são excessivamente úmidos (ROSSI, 1999). As características climáticas ao longo do litoral paulista são bem homogêneas, com exceção da região de Cananéia (litoral sul), onde a temperatura média de inverno é ligeiramente mais baixa do que no litoral norte e Baixada Santista (LAMPARELLI, 1998).

O balanço hídrico climatológico, desenvolvido por Thornthwaite e Matter (1955), é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. Partindo-se do suprimento natural de água ao solo, da demanda atmosférica, e da capacidade de água disponível, o balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real, da deficiência e excedente hídrico, e

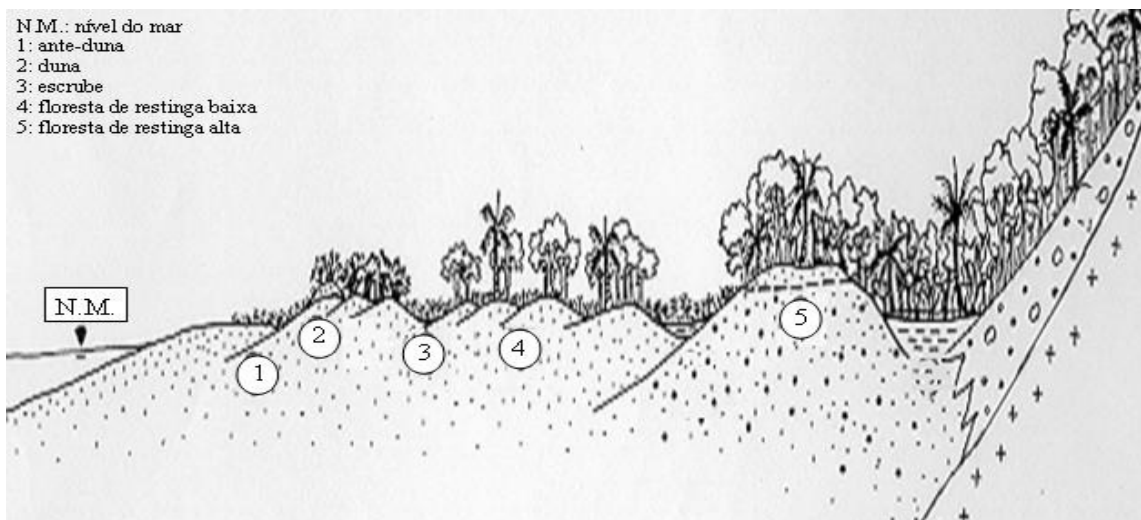
do armazenamento de água no solo. O balanço hídrico assim calculado torna-se um indicador climatológico da disponibilidade hídrica em uma região (PEREIRA et al., 1997). Desta forma e conforme dados históricos (Fonte: Embrapa, 2003) dos municípios de Cananéia, Iguape e Ubatuba localizados no litoral paulista, observa-se valores médios anuais de temperatura de 24,1°C/24,3°C/21,9°C, precipitação média anual de 2.261mm/1.900mm/2.519mm, e excedente hídrico de 939mm/551mm/1460mm, respectivamente, para os três municípios citados. Somente para o município de Ubatuba/SP (Figura 1) ocorre déficit hídrico, mas apenas durante 7 dias no ano, caracterizando o litoral paulista como uma região onde praticamente não ocorre déficit hídrico, mesmo com solos de textura muito arenosa (2-4% argila).



**Figura 1.** Dados históricos de balanço hídrico para os Municípios de Cananéia, Iguape e Ubatuba (Fonte: EMBRAPA)

### 3. ECOSSISTEMA RESTINGA

Segundo Rizzini (1997), a vegetação de restinga é um conjunto de comunidades vegetais em mosaico (vegetação de praia, duna, escrube, restinga baixa e alta). Determinados pelas características dos substratos que, por sua vez, são determinados pelos processos deposicionais e idades (ARAÚJO e LACERDA, 1987). Segundo a Resolução CONAMA N°417/2009, essas comunidades, distribuídas em mosaico, ocorrem em áreas de grande diversidade ecológica, sendo consideradas comunidades edáficas por dependerem mais da natureza do solo que do clima. Os processos de formação e adaptação das espécies existentes neste ecossistema estão muito relacionados com as condições edáficas (profundidade do solo, fertilidade do solo e drenagem).



**Figura 2.** Distribuição das fisionomias de vegetação de Restinga no litoral paulista (adaptado: SOUZA et al., 1997).

Neste mosaico de comunidades encontram-se as florestas de restinga em estágios de elevada e média regeneração, restinga alta e baixa, respectivamente (Figura 2). Ambas apresentam sobre o solo uma camada de raízes (Figura 3), que auxilia o processo da ciclagem de nutrientes, possibilitando uma disponibilização mais lenta dos nutrientes da serrapilheira para o solo extremamente arenoso (< 5% argila). Segundo Pires et al. (2006), em estudo realizado na Ilha do Mel, a produção anual de serrapilheira em floresta de restinga encontra-se no limite inferior aos obtidos em florestas tropicais ( $5.5\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ). Entretanto, em conjunto com a relativa baixa taxa de decomposição anual, representa um grande valor adaptativo para esse ecossistema, pois minimiza perdas por lixiviação e permite melhor aproveitamento dos nutrientes.



**Figura 3.** Imagens da camada de raiz sobre o solo de restinga: 1: Foto da trincheira. 2: Foto ampliada da camada de raízes. 3: Visão lateral da camada de raiz.



### 3.1 VEGETAÇÕES DE RESTINGA EM ESTÁGIO MÉDIO DE REGENERAÇÃO (RESTINGA BAIXA)

Nas regiões mais interiores da planície litorânea, a vegetação pode apresentar-se com porte mais elevado, com as árvores podendo chegar a 12 metros de altura. Nestes locais, tende a ocorrer o acúmulo de matéria orgânica no solo e menor incidência de luz no interior da mata, pelo sombreamento das copas das árvores (SAMPAIO et al., 2005)

Esta vegetação apresenta substrato arenoso, seco, e de origem marinha, com estrato predominante arbóreo baixo e arbustivo com dossel aberto, podendo atingir de 3 a 10 m de altura, sendo que as emergentes chegam a 15 m (Figura 4). Outra característica presente em suas arvores é a existência de ramificação dos caules desde a sua base.

Seu sub-bosque é dificilmente visualizado, e possui serrapilheira mais desenvolvida que no escrube, bem como maior diversidade de espécies. Apresenta um processo de formação em direção a Restinga alta e sofre um pouco de influência das matas de encostas pós Restinga Alta.



**Figura 4.** Floresta de restinga em estágio médio de regeneração da Ilha Anchieta (à esquerda) e da Ilha do Cardoso (à direita) no Litoral Paulista (Fonte: CASAGRANDE, 2009).

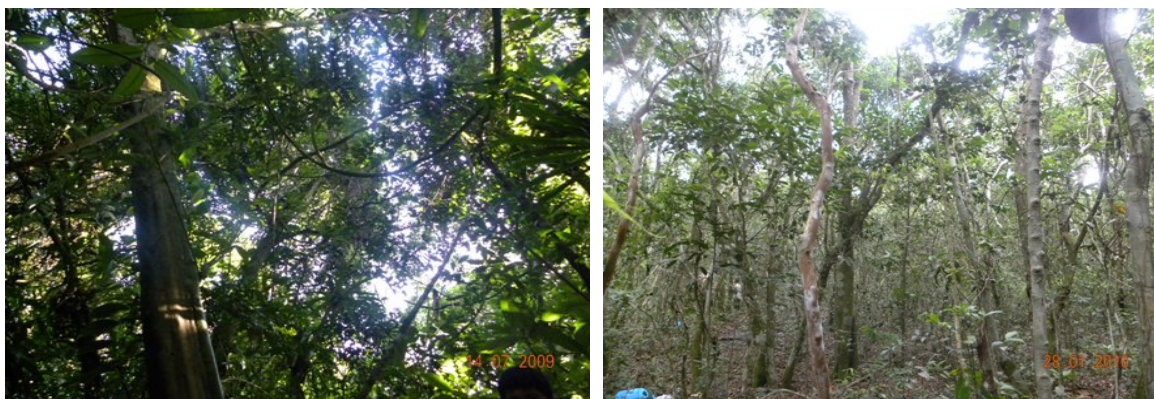
### 3.2 VEGETAÇÕES DE RESTINGA EM ESTÁGIO ELEVADO DE REGENERAÇÃO (RESTINGA ALTA)

Seu substrato a exemplo da Restinga Baixa é arenoso de origem predominantemente marinha, podendo neste caso ocorrer deposição de areia e argila de origem continental, proporcionando inundações ocasionais em determinadas áreas.

Sua vegetação é arbórea com dossel fechado (Figura 5), com altura variando de 10 a 20 metros, podendo em certas regiões atingirem porte maior. Ocorre a existência de um sub-bosque formado por plantas jovens do estrato arbóreo e arbustivo, e uma pequena quantidade de plantas no



estrato herbáceo. Apresenta uma grande diversidade de espécies, constatando a crescente diversidade no sentido mar/continente. Sua serrapilheira é espessa, variando no decorrer do ano.



**Figura 5.** Floresta de restinga em estágio elevado de regeneração da Estação Ecológica Juréia-Itatins (à esquerda) e da Ilha Anchieta (à direita) no Litoral Paulista (Fonte: Casagrande, J. C).

#### 4. SOLOS DAS PLANÍCIES COSTEIRAS

As planícies costeiras representam uma situação diferenciada pela topografia e textura do solo. São solos de relevo plano e de elevada infiltração. Devido ao baixo teor de argila (normalmente de 1 a 5%), estes solos estão sujeitos à intensa lixiviação pela baixa capacidade de troca de cátions (CTC), além de já serem solos originalmente pobres em nutrientes.

São na sua maioria solos hidromórficos, que se formam em presença de água. Encontram-se nas partes mais baixas da paisagem e apresentam baixo potencial de oxirredução, sendo comum apresentarem espessa camada escura de matéria orgânica mal decomposta. Nas áreas mais internas, tendo como referência o mar, apresentam evidências de podzolização em profundidade, tais como suave escurecimento e valores ligeiramente mais elevados de  $Fe^{2+}$  e  $Al^{3+}$  (GOMES et al., 2007a). A hidromorfia ocorre sempre em conjunto com a podzolização, mascarando as feições redoximórficas pela coloração “espódica”. Podzolização e hidromorfia são, portanto, processos pedogenéticos dominantes na gênese desses solos (GOMES et al., 2007a).

Trabalhos realizados na costa brasileira mostraram que, sob vegetação de restinga, as principais classes de solos encontradas são Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos (Gomes et al., 1997a; Rossi, 1999); muitas vezes estes últimos apresentam incipiente processo de podzolização, levando-os a apresentar características intermediárias para Espodossolo.

##### 4.1 NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS

Estes solos (Figura 6) compreendem os solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso com pequena expressão dos processos pedogenéticos, em consequência da baixa intensidade de atuação desses processos, que não conduziram, ainda, a modificações expressivas do material originário, de características do próprio material, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química, e do relevo, que podem impedir ou limitar a evolução desses solos (EMBRAPA, 2006).



**Figura 6.** Fotos representativas de perfis de Neossolos Quartzarênicos (Fonte: Casagrande, J. C.)

Os Neossolos Quartzarênicos são de textura areia ou areia franca, encontradas nas planícies costeiras sob a vegetação de restinga, onde o material de origem é constituído por sedimentos arenosos, provenientes principalmente de arenitos e quartzitos sob excesso d'água. São solos pobres, ácidos, com baixa saturação por bases e alta saturação por alumínio trocável, com deficiência em macro e micronutrientes.

#### **4.2 ESPODOSSOLOS**

Os Espodossolos (Figura 7), anteriormente classificados como Podzóis, são solos minerais, com seqüência de horizontes A-E-Bh e, ou Bs e, ou Bhs-C. São, na maioria arenosa, sendo raras as citações de outras classes texturais (GOMES et al., 2007a). Apresentam horizonte B espódico, onde predomina o processo de podzolização (queluviação), caracterizado pela iluviação de húmus ácido, acompanhada ou não de oxi-hidróxidos de Fe e Al, e aluminossilicatos com diferentes graus de cristalinidade (imogolita, alofana, haloisita, caulinita e vermiculitas com hidróxi entre camadas)

(EMBRAPA, 2006). Quanto a suas propriedades químicas, apresentam baixa saturação por bases, elevada saturação por alumínio e elevada acidez do solo.



**Figura 7.** Fotos representativas de perfis de Espodosolos (Fonte: Casagrande, J. C.)

## **5. INTERAÇÃO SOLO X PLANTA**

O solo é a base de sustentação para o ecossistema terrestre, servindo de suporte para as raízes, desempenhando funções essenciais para a funcionalidade e sustentabilidade dos ecossistemas, de forma a garantir a produção de alimentos, fibras, matérias primas e serviços ambientais. Portanto é fundamental para processos vitais à manutenção do planeta (SIQUEIRA et al., 2008).

O solo é considerado como reserva, dreno e fonte de nutrientes para as plantas, liberando esses recursos quando necessário e evitando perdas. Os solos possuem cargas positivas e negativas, o que o permite administrar o fluxo de cátions e ânions, nutrientes ou não. O suprimento de nutrientes para as plantas não implica somente em sua existência no solo, mas também seu transporte até as raízes para serem absorvidos (MELO e NOVAIS, 2007).

O solo não é apenas formado por partículas físicas bem arranjadas, mas também por inúmeros micros ambientes e agregados onde ocorrem interações de natureza química, física e biológica. Isso a torna um habitat complexo, com uma grande diversidade de comunidades biológicas, em sua grande parte heterotróficos, com elevada capacidade de decompor e também produzir substâncias químicas das mais variadas origens e formas. No ambiente, o solo possui as funções de armazenar e purificar a água, promover a biodegradação de poluentes, restaurar e

aumentar a resiliência do ecossistema e promover a ciclagem de elementos químicos (“C”, nutrientes e metais pesados) (SIQUEIRA et al., 2008).

No sistema solo-planta, os processos que regulam as transformações, fluxos e dinâmica dos elementos químicos são muito interdependentes e bem regulados pelo estoque e frações de “C” e pelas transformações desses compartimentos de matéria orgânica (STEVENSON, 1986). Declínios nos estoques e na qualidade de matéria orgânica afetam a qualidade do solo, aumenta a erosão, compactação e causa alterações no suprimento de água e nutrientes, na lixiviação e acidificação do solo, além de reduzir a atividade biológica (LAL, 2001).

A planta, através do seu sistema radicular, é a principal força propulsora na manutenção da qualidade do solo. Pelo processo da fotossíntese, utilizando energia solar, CO<sub>2</sub> da atmosfera, água e nutrientes do solo, produzem os compostos orgânicos primários existentes na face da terra. Estes compostos são distribuídos entre as partes acima do solo, raízes e exsudatos. Os exsudatos e o tecido radicular são transferidos diretamente à matriz do solo e são fonte de energia aos seres heterotróficos, com liberação de subprodutos de diversos graus de complexidade molecular. Estes compostos associam-se com o material mineral do solo formando agregados estáveis em água, onde permanecem menos acessíveis ao ataque de microorganismos decompositores e constituem a matéria orgânica do solo (MIELNICZUK, 1999).

O sistema radicular está exposto às alterações espaciais e temporais quanto às concentrações de nutrientes do solo (LAINÉ et al., 1998). As plantas respondem a essa heterogeneidade por meio de modificações fisiológicas e morfológicas, de modo a alterar a arquitetura (configuração espacial) de seus sistemas radiculares. Tipicamente, as raízes crescem profusamente em direção às regiões de maior concentração de nutrientes (VAN VUUREN et al., 1996), provavelmente uma resposta adaptativa compensatória à variabilidade do solo (ROBINSON, 1996). Dentre as restrições de fatores químicos de solos ácidos, os que mais afetam a absorção de nutrientes são os elementos tóxicos (alumínio, especialmente) e a própria deficiência de nutrientes, principalmente de fósforo e cálcio. Elevados teores de alumínio no solo provocam redução no crescimento das raízes, variando com as espécies, cultivares e solos. As raízes não crescem nos solos deficientes em cálcio, que é essencial para a divisão celular e para a funcionalidade da membrana celular. A sua exigência, em termos quantitativos, é pequena, porém, deve estar presente nos pontos de crescimento, pois não há translocação do cálcio do floema para as raízes (RAIJ, 1991).



## Capítulo 1

### **Caracterização da Fertilidade do solo e distribuição do sistema radicular de floresta de restinga no Litoral Paulista**

#### **1. INTRODUÇÃO**

De acordo com Suguio e Tessler (1984), a denominação “restinga” é empregada na literatura brasileira com diferentes acepções, podendo ser usada tanto para designar vários tipos de depósitos litorâneos como outras feições costeiras, e até mesmo a vegetação. Os diferentes tipos de vegetação ocorrentes nas restingas brasileiras variam de formações herbáceas, formações arbustivas e até florestas, cujo dossel não ultrapassa 20 metros de altura (SILVA, 1999).

A Restinga, de todos os ecossistemas associados à Mata Atlântica, é o mais frágil e susceptível às perturbações antrópicas. Segundo Rizzini (1997) a vegetação de restinga é um conjunto de comunidades vegetais em mosaico. Determinados pelas características dos substratos que, por sua vez, são determinados pelos processos deposicionais e idades (Araújo e Lacerda, 1987). As ações impactantes em sua maioria são decorrentes das atividades da construção civil que promovem a remoção da camada superficial do solo ou a deposição de solo mais argiloso para a terraplanagem, alterando completamente o regime hídrico do solo. Considerando-se que em geral a terra para depósito é transportada de regiões mais próximas, os impactos sobre as áreas vizinhas são ainda maiores. A vegetação de restinga é uma formação típica que ocorre nas planícies costeiras arenosas brasileiras, principalmente sobre solos quartzosos e pobres em nutrientes, pertencentes às Ordens dos ESPODOSSOLOS e dos NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS (Gomes et al., 2007).

Os cordões litorâneos que se sucedem horizontalmente formam as planícies de cordões litorâneos ou de cristas praias e são também chamadas de planícies costeiras, que constituem os terraços de construção marinha. Apresentam-se como cristas alongadas, de alturas variáveis, mas,

em geral, baixas (poucos metros), que constituem as pós-praias. Além de areias finas ou grossas, poderiam ser constituídas de seixos e até de conchas de moluscos (SUGUIO, 2003).

As superfícies das planícies de cordões litorâneos podem apresentar-se horizontalmente, sugerindo a ocorrência do avanço da linha de praia costa afora (progradação) com nível do mar praticamente estacionário. No entanto, elas comumente apresentam uma suave inclinação rumo ao mar e indica que a progradação (processo natural de ampliação das praias) tenha ocorrido juntamente com a descensão do nível relativo do mar, como aconteceu na maioria das planícies litorâneas quaternárias do litoral brasileiro (SUGUIO, 2003).

A origem dos argilominerais em ambientes costeiros com influência constante dos aportes marinhos e fluviais pode ser de dois tipos: compostas por fragmentos materiais de fora da bacia (alóctone) ou por fragmentos minerais originados dentro da bacia sedimentar (autóctone) (SUGUIO, 2003).

Solos de restinga são arenosos, quimicamente pobres, tendo como principal fonte de nutrientes o “spray marinho” (ARAÚJO e LACERDA, 1987). Trabalhos realizados na costa brasileira mostraram que, sob essa vegetação, as principais classes de solos encontradas são ESPODOSSOLOS e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS (GOMES et al., 2007a), muitas vezes estes últimos apresentam incipiente processo de podzolização, com características intermediárias para Espodossolo. A saturação por bases (V%) destes solos é muito baixa estando na maioria das vezes abaixo de 25%, sendo o V% um número índice abrangente, que relaciona os teores de K, Ca, Mg com a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, expressando a porcentagem de cátions trocáveis do solo (CASAGRANDE et al., 2010).

O processo de salinização resulta da acumulação de sais solúveis de Na, Ca, Mg e K nos horizontes do solo, e está relacionada a climas áridos, semi-áridos e a condições de restrição de drenagem, envolvendo lençol freático alto ou permeabilidade baixa do solo. Pode ser causado pela invasão de água salgada, sendo característico de regiões costeiras e é o único que ocorre em regiões úmidas (RIBEIRO et al., 2003). Desta forma o litoral seria o único local do Estado de São Paulo onde este processo poderia ocorrer. No entanto, segundo Sato (2007), em trabalho realizado sobre caracterização da fertilidade do solo sob restinga no litoral paulista, onde abrangeu desde Ubatuba (litoral norte) até Cananéia (litoral sul), não encontrou valores que caracterizassem estes solos como salinos, devido aos valores de condutividade elétrica obtidos, sempre inferiores a 4 dS/m. Casagrande et al. (2006), em estudo de solos de restinga no Parque Estadual da Ilha Anchieta, obteve resultados semelhantes aos encontrados por Sato (2007). A alta pluviosidade, associada à granulometria arenosa alta do solo, permite uma rápida lixiviação dos sais juntamente com a água, que facilmente percola no perfil.

O solo como um sistema aberto permite a troca de matéria e energia entre seus horizontes e os ecossistemas adjacentes. A magnitude e a taxa dessas trocas definem a pedogênese e, por consequência, as propriedades físico-químicas dos constituintes e a função do solo no contexto ambiental (WILSON, 1999; BRADY e WEIL, 2002). Sua origem no perfil de solo pode estar ligada à herança do material parental, à descontinuidade litológica, decorrente da deposição de camadas sedimentares sobre um perfil já existente (SCHAETZL, 1998), e à translocação quando há migração de material no perfil (PHILLIPS, 2007).

O sistema radicular está exposto às alterações espaciais e temporais quanto às concentrações de nutrientes do solo (Lainé et al., 1998). As plantas respondem a essa heterogeneidade por meio de modificações fisiológicas e morfológicas, de modo a alterar a arquitetura (configuração espacial) de seus sistemas radiculares. Tipicamente, as raízes crescem profusamente em direção às regiões de maior concentração de nutrientes (van Vuuren et al., 1996), provavelmente uma resposta adaptativa compensatória à variabilidade do solo (Robinson, 1996).

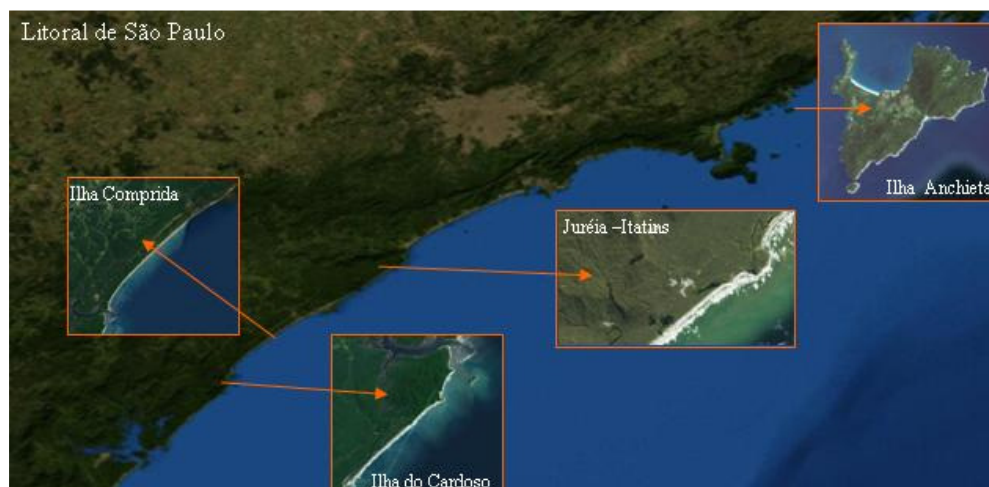
Dentre as restrições de fatores químicos de solos ácidos, os que mais afetam a absorção de nutrientes são os elementos tóxicos (alumínio, especialmente) e a própria deficiência de nutrientes, principalmente de fósforo e cálcio. O teor de alumínio no solo provoca redução no crescimento das raízes e varia com as espécies, cultivares e solos. As raízes não crescem nos solos deficientes em cálcio, que é essencial para a divisão celular e para a funcionalidade da membrana celular. A sua exigência, em termos quantitativos, é pequena, porém, deve estar presente nos pontos de crescimento, pois não há translocação do cálcio do floema para as raízes (Raij, 1991).

O objetivo deste estudo é a avaliação comparativa da caracterização da fertilidade do solo das quatro áreas estudadas, através dos parâmetros químicos e físicos, sob floresta de restinga alta e baixa, com relação à distribuição do sistema radicular no perfil do solo, com o intuito de adquirir conhecimentos sobre as limitações e capacidades destes solos, para auxiliar a recuperação destas áreas, quando degradadas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado no ecossistema restinga, nas fitofisionomias de floresta em estágio elevado (restinga alta) e médio (restinga baixa) de regeneração, em quatro locais do litoral Paulista: (1) Parque Estadual da Ilha Anchieta, município de Ubatuba (23° 32' 24.58" S, 45° 4' 33.03" W); (2) Estação Ecológica Juréia-Itatins, Estação Ecológica dos Chauás, município de Iguape (24° 33' 02.16" S, 47° 13' 16.80" W); (3) Vila de Pedrinhas no município de Ilha Comprida (24° 53' 52.38" S, 47° 47' 56.22" W) ; e (4) Parque Estadual da Ilha do Cardoso, município de Cananéia (25° 04'

29.50" S, 47° 55' 41.10" W) (Figura 8). A caracterização das fisionomias de florestas de restinga foi feita com base na Resolução CONAMA n°417/2009.



**Figura 8.** Foto ilustrativa do litoral paulista com imagens ampliadas dos locais de estudo (Fonte: Google Earth Maps).

## 2.1 AMOSTRAGEM E ANÁLISES DO SOLO

Os estudos sobre fertilidade do solo foram feitos nas profundidades de 0 a 5, 0 a 10, 0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, para floresta de restinga em estágios de elevada e média regeneração, com cinco repetições para cada fitofisionomia, para cada local de estudo, cada uma delas composta por doze subamostras.

As análises químicas foram realizadas conforme EMBRAPA (1997), determinando-se: pH, matéria orgânica (MO), P, K, Ca, Mg, S, Al, H+Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, saturação por alumínio (m%), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), além da condutividade elétrica (CAMARGO et al., 1986), relações de adsorção de Sódio (RAS), porcentagem de sódio trocável (PST) que, juntamente com o pH do solo, constituem critérios para classificar o solo como salino, sódico ou salino – sódico. Para as análises físicas, foram determinadas densidade global e granulometria (CAMARGO et al., 1986). As sub-amostras foram obtidas através do quarteador de Jones. As análises foram realizadas pelo Laboratório de Análise Química de Solos e Planta e pelo Laboratório de Física de Solos, ambos do Centro de Ciências Agrárias - Depto. de Recursos Naturais e Proteção Ambiental.



## 2.2 DISTRIBUIÇÃO SISTEMA RADICULAR

Para a análise da distribuição do sistema radicular no perfil do solo foram abertas trincheiras, com três repetições, nas duas fitofisionomias, com 80cm de largura e 70cm de profundidade, tendo como referência a espécie *Psidium cattleianum* (Araçá), espécie presente em ambas as fitofisionomias. Após a abertura da trincheira, foi colocada paralela ao perfil do solo uma moldura de madeira com quadriculados de barbante espaçados de 10 em 10cm, tanto vertical como horizontalmente, sendo fotografado utilizando-se uma máquina fotográfica digital de alta resolução.

O procedimento desenvolvido foi realizado em cada imagem obtida, totalizando 24 procedimentos (4 locais, 2 fitofisionomias e três repetições). De maneira a ser explicado com maior clareza foi dividido em 5 etapas, descritas a seguir utilizando uma imagem como exemplo:

### **Etapa 1:** Abertura, preparo da trincheira e aquisição da imagem.

A trincheira foi aberta na base da planta Araçá, com 80cm de largura e 70cm de profundidade. Após sua abertura é necessário preparar o perfil exposto de solo para que se possa analisar corretamente a imagem digital que será adquirida. Para tanto, é necessário um nivelamento vertical da superfície do perfil para que todas as raízes expostas fiquem em um mesmo nível. Deverão ser retirados resíduos de solo sobre as raízes, pois causarão dificuldades nas operações digitais de diferenciação (raiz/solo) e classificação das mesmas na imagem.



**Figura 9.** Imagens representativas da colocação da moldura na trincheira.

Com relação à luminosidade incidente no alvo, esta deverá ser homogênea, pois a heterogeneidade poderá causar distúrbios na captura da imagem bem como confusão nas análises.

Após estes passos e cuidados a serem tomados na abertura e preparo da trincheira é colocada paralela ao perfil do solo uma moldura de madeira com quadriculados de barbante

espaçados de 10 em 10cm, tanto vertical como horizontalmente (Figura 9), nivelando-se a primeira faixa da moldura com o nível do solo, com o objetivo de ser a referência para a medição quantitativa da distribuição das raízes no perfil do solo. Posteriormente, este perfil foi fotografado adquirindo-se a imagem digital.

**Etapa 2:** Planejamento e estruturação do Banco de Dados.

Nesta fase, de acordo com os objetivos e necessidades do processo, foi montado o esquema/estrutura do Banco de Dados (Apêndice 1, Quadro 1), de maneira a organizar os processos e possibilitar a importação dos dados para posterior tratamento e manipulação.

**Etapa 3:** Importação e preparo da imagem em ambiente Spring.

Em posse da imagem adquirida pelo sensor, esta imagem foi importada para o programa em uma categoria Imagem, onde este arquivo digital (JPEG) foi convertido automaticamente em 3 bandas “RGB” (Red, Green e Blue). Esta categoria possibilita a visualização do histograma da imagem, sendo que cada banda formada pode ser avaliada como uma imagem monocromática que equivale a uma função de intensidade luminosa bidimensional, demonstrada pela equação  $f(x, y)$ , onde que o valor de  $f$  nas coordenadas espaciais  $(x, y)$  dá a intensidade do brilho (ou nível de cinza) da imagem naquele ponto, sendo posteriormente corrigido o seu contraste, de maneira a “espalhar” as respostas espectrais da imagem pela faixa de Nível de Cinza.

**Etapa 4:** Conversão RGB em IHS (Intensity, Hue, Saturation).

No ambiente Spring, ainda em categoria Imagem, utilizou-se a ferramenta “Transformação IHS<->RGB”, onde ocorre a transformação das bandas RGB em bandas IHS (Intensidade, Cor ou Matiz e Saturação). Desta forma, obteve-se uma banda específica para intensidade, para matiz e para saturação da imagem original (RGB).

**Etapa 5:** Leitura dos pixels e classificação da imagem.

Nesta etapa, selecionou-se a banda “I” (Intensidade), que é a medida de energia total envolvida em todos os comprimentos de onda. Fez-se uma análise estatística da imagem e a leitura de pixels dos alvos. A “análise estatística” é composta pelos valores de nível de cinza de todos os

pixels da imagem, e a “leitura de pixels” é feito sobre os objetos de interesse na imagem, raiz no caso.

Desta forma, os resultados destas análises informaram que os objetos alvos (raízes) estão localizados na faixa de 150-255, da faixa total de 0-255 de nível de cinza da banda “I”, com média de 113.73, coeficiente de variação 0.48, desvio padrão de 54.28 e coeficiente de assimetria de 0.57.

Em posse destes dados foi gerado um programa no “Legal” (Apêndice 1, Figura 1) para classificar as áreas referentes à raiz na imagem. Esse programa novo plano de informações (fatia\_1) em uma categoria temática com representação matricial.

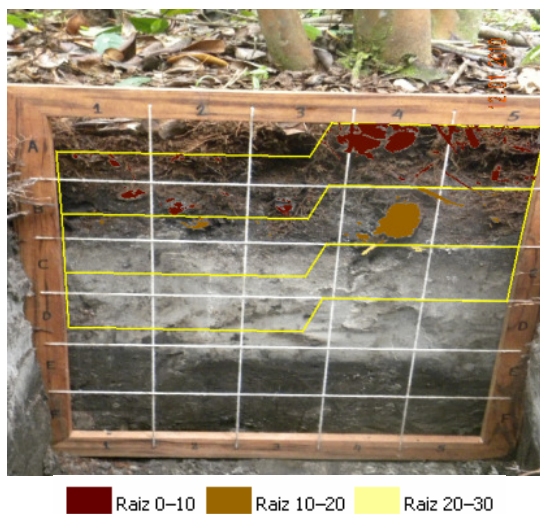
#### **Etapa 6:** Vetorização da moldura classificação das raízes em relação ao perfil.

Com a imagem original representada na tela, foi criado um novo plano de informações (“3488\_moldura”) na categoria temática, onde foi vetorizada a moldura presente na imagem, tendo a imagem com pano de fundo, gerando polígonos com referência às faixas de 0-10, 10-20 e 20-30cm de profundidade, aos quais foram atribuídas classes com os respectivos nomes.

Desta forma, as regiões representativas das raízes (fatia\_1) e as regiões que representam as camadas de profundidades do solo (3488\_moldura) com representações matricias seram correlacionadas. Para tanto, uma nova programação dentro do LEGAL foi feita (Apêndice 1, Figura 2), gerando um novo plano de informações (“Clas\_raiz”), onde mostra a área ocupada por raízes em cada camada do perfil (Figuras 10 e 11).



**Figura 10.** Raízes classificadas no Perfil.



**Figura 11.** Raízes classificadas em camadas.

Fazendo-se uma relação entre a quantidade de raiz em cada camada com o total de raízes presentes no perfil, obtiveram-se as porcentagens de raízes presentes em cada camada.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A matéria orgânica, para todas as fitofisionomias e em todas as localidades estudadas, apresentou teores mais elevados nas camadas superficiais (0-5, 0-10 e 0-20cm), com decréscimo em profundidade, sendo estatisticamente superiores nas camadas até 20cm (Quadro 1), comportamento também observado para capacidade de troca de cátions (CTC). Pelo fato dos solos de restinga serem muito arenosos, de 2 a 4% de argila apenas, a matéria orgânica passa a ter uma importância ainda maior quanto à retenção e fornecimento de nutrientes.

Observa-se no Quadro 1, na restinga alta da Estação Ecológica Juréia/Itatins e na restinga alta (RA) e baixa (RB) da Ilha Anchieta, que os teores matéria orgânica e capacidade de troca de cátions estão mais elevados na profundidade de 40 a 60 cm em relação à camada de 20 a 40 cm. Isto pode ser explicado, conforme salientaram Gomes et al. (2007a), pela ocorrência do processo de podzolização, com presença de horizonte espódico na camada de 40-60cm, caracterizado pela iluviação de húmus ácido, acompanhada ou não de oxi-hidróxidos de  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  e aluminossilicatos. Os Espodosolos são solos minerais, com seqüência de horizontes A-E-Bh e, ou, Bs e, ou, Bhs-C. São na maioria arenosos, sendo raras as citações de outras classes texturais. Na Ilha do Cardoso, neste estudo, até a profundidade de 60 cm, não foi encontrado horizonte espódico, embora ocorra em diferentes profundidades superiores a 60 cm (Gomes et al., 2007).

Para todas as áreas estudadas, tanto para floresta de restinga alta como baixa, com exceção da restinga baixa da Ilha do Cardoso, houve diminuição significativa dos teores de fósforo em profundidade (Quadro 1). Os níveis mais elevados estiveram presentes nas camadas mais superficiais, até a profundidade de 20cm, não diferindo entre as profundidades de 0-5, 0-10 e 0-20cm. Esta distribuição de fósforo no perfil do solo sob floresta de restinga, até a profundidade de 60cm, deve estar associada à distribuição do teor de matéria orgânica, pois apresentaram correlação de 83% (Quadro 1). Machado et al. (1993) avaliaram amostras de 44 solos de 11 unidades principais de mapeamento de solos, e verificaram que o fósforo orgânico correspondeu a 57% do fósforo total e que houve correlação significativa entre o fósforo orgânico e a matéria orgânica do solo. Deve-se ressaltar que para os solos sob floresta de restinga, cujos teores de argila são muito baixos, os fatores causadores da retenção de fósforo, óxidos de ferro e alumínio, estão presentes em teores baixos, observado por (Gomes et al., 2007a). O trabalho sobre caracterização e classificação

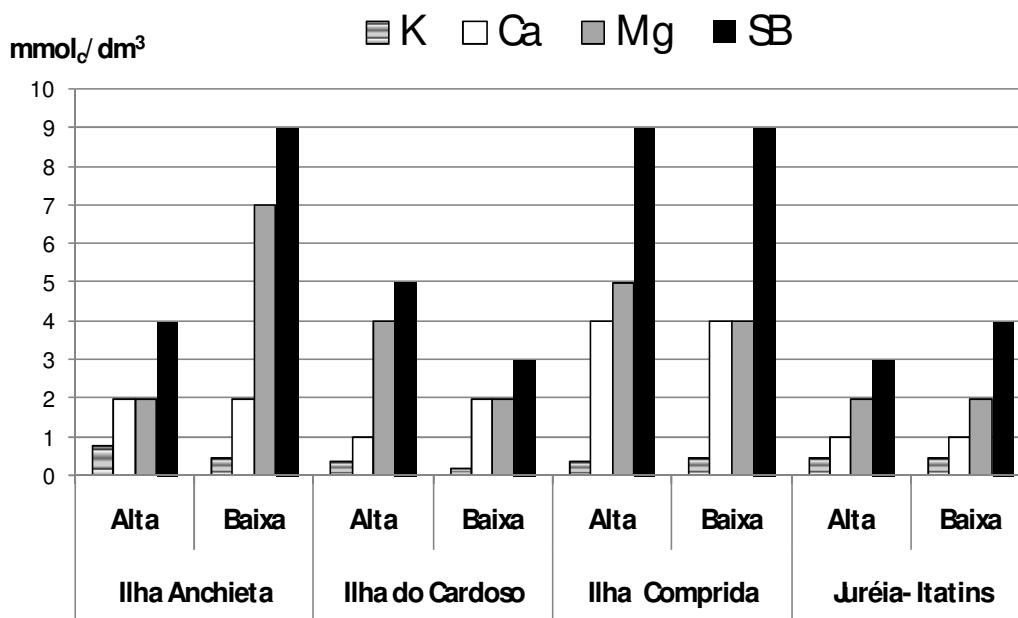
**Quadro 1.** Resultados das análises químicas de solos sob floresta de restinga em estágio de elevada e média regeneração nas quatro localidades estudadas.

Prof	Pres	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	m	S													
cm	mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mmol/dm <sup>3</sup>				%				mg/dm <sup>3</sup>														
<b>Ilha Anchieta</b>																										
0 - 5	Alta 11 aB	Baixa 22 aA	Alta 49 aA	Baixa 61 aA	Alta 3,2 bC	Baixa 3,2 bC	Alta 0,8 aA	Baixa 0,4 bB	Alta 2 aC	Baixa 3 aB	Alta 2 aB	Baixa 7 aA	Alta 112 aB	Baixa 177 aA	Alta 25 aA	Baixa 20 aB	Alta 4 aB	Baixa 11 aA	Alta 116 aB	Baixa 188 aA	Alta 4 bB	Baixa 6 bB	Alta 85 bA	Baixa 66 bB	Alta 14 aA	Baixa 12 aA
0 - 10	Alta 11 aB	Baixa 20 aA	Alta 49 aA	Baixa 55 aA	Alta 3,2 bC	Baixa 3,2 bC	Alta 0,8 aA	Baixa 0,5 aB	Alta 2 aB	Baixa 2 bB	Alta 2 aB	Baixa 7 aA	Alta 113 aB	Baixa 153 aA	Alta 24 aA	Baixa 18 aB	Alta 4 aB	Baixa 9 aA	Alta 115 aB	Baixa 161 aA	Alta 3 bC	Baixa 5 bC	Alta 87 aA	Baixa 70 bC	Alta 15 aA	Baixa 10 aB
0 - 20	Alta 11 aA	Baixa 20 aA	Alta 42 bA	Baixa 29 bB	Alta 3,2 bC	Baixa 3,2 bC	Alta 0,6 bA	Baixa 0,3 cC	Alta 1 bC	Baixa 1 cC	Alta 1 bB	Baixa 2 bA	Alta 108 aA	Baixa 68 bB	Alta 24 aA	Baixa 13 bB	Alta 3 bC	Baixa 4 bC	Alta 111 aA	Baixa 72 bB	Alta 2 bC	Baixa 5 bC	Alta 90 aA	Baixa 78 aB	Alta 11 aA	Baixa 3 bC
20 - 40	Alta 4 bA	Baixa 2 bC	Alta 8 dA	Baixa 5 cB	Alta 3,9 aA	Baixa 3,9 aA	Alta 0,3 cB	Baixa 0,1 dD	Alta 1 bB	Baixa 1 cB	Alta 1 bB	Baixa 1 bB	Alta 14 cB	Baixa 12 bB	Alta 6 bB	Baixa 3 cC	Alta 3 bB	Baixa 2 bB	Alta 17 cB	Baixa 14 cB	Alta 15 aA	Baixa 15 aA	Alta 69 cA	Baixa 60 cB	Alta 1 bC	Baixa 1 bC
40 - 60	Alta 2 bC	Baixa 2 bB	Alta 20 cA	Baixa 29 bA	Alta 3,9 aA	Baixa 3,9 aA	Alta 0,3 cB	Baixa 0,1 dD	Alta 1 bB	Baixa 1 cB	Alta 1 bB	Baixa 1 bB	Alta 76 bA	Baixa 10,5 bD	Alta 23 aA	Baixa 3 cD	Alta 2 bB	Baixa 2 bB	Alta 79 bA	Baixa 34 cD	Alta 3 bC	Baixa 17 aA	Alta 91 aA	Baixa 65 bB	Alta 3 bC	Baixa 2 bD
<b>Ilha do Cardoso</b>																										
0 - 5	Alta 10 aB	Baixa 3 aD	Alta 47 aA	Baixa 34 aB	Alta 3,4 bB	Baixa 3,1 bC	Alta 0,5 aB	Baixa 0,2 bC	Alta 1 aC	Baixa 2 aC	Alta 4 aA	Baixa 2 aB	Alta 54 aC	Baixa 116 aB	Alta 13 aC	Baixa 13 aC	Alta 6 aB	Baixa 4 aB	Alta 61 aC	Baixa 119 aB	Alta 11 cB	Baixa 5 bB	Alta 66 aB	Baixa 77 aA	Alta 7 aB	Baixa 7 aB
0 - 10	Alta 8 aC	Baixa 3 aD	Alta 43 aA	Baixa 28 aB	Alta 3,4 bB	Baixa 3,2 bC	Alta 0,4 aB	Baixa 0,2 bC	Alta 1 aC	Baixa 2 aB	Alta 4 aA	Baixa 2 aB	Alta 47 aC	Baixa 92 aB	Alta 12 aC	Baixa 11 aC	Alta 5 aB	Baixa 3 aB	Alta 52 aD	Baixa 95 aC	Alta 10 cB	Baixa 5 bC	Alta 69 aC	Baixa 78 aB	Alta 7 aC	Baixa 7 aC
0 - 20	Alta 2 bC	Baixa 4 aC	Alta 31 bB	Baixa 26 aB	Alta 3,3 bC	Baixa 3,5 aB	Alta 0,3 aC	Baixa 0,4 aB	Alta 1 aC	Baixa 2 aA	Alta 2 bA	Baixa 2 aA	Alta 38 aC	Baixa 49 bC	Alta 11 aB	Baixa 7 bC	Alta 4 bB	Baixa 4 aB	Alta 42 aC	Baixa 53 bC	Alta 10 cB	Baixa 9 aB	Alta 73 aB	Baixa 61 bD	Alta 6 aB	Baixa 8 aB
20 - 40	Alta 1 bD	Baixa 3 aB	Alta 9 cA	Baixa 11 bA	Alta 3,6 bB	Baixa 3,5 aB	Alta 0,1 bD	Baixa 0,1 bD	Alta 1 aB	Baixa 2 aA	Alta 1 bB	Baixa 1 aB	Alta 12 bB	Baixa 23 bA	Alta 5 bB	Baixa 6 bB	Alta 2 bB	Baixa 3 aA	Alta 14 bB	Baixa 26 bA	Alta 15 bA	Baixa 14 aA	Alta 70 aA	Baixa 62 bB	Alta 3 bB	Baixa 5 aA
40 - 60	Alta 1 bD	Baixa 3 aA	Alta 4 cB	Baixa 8 bB	Alta 3,9 aA	Baixa 3,6 aB	Alta 0,1 bD	Baixa 0,1 bD	Alta 1 aB	Baixa 1 bB	Alta 1 bB	Baixa 1 aB	Alta 10 bD	Baixa 21 bC	Alta 2 bD	Baixa 4 bC	Alta 3 bB	Baixa 3 bB	Alta 13 bD	Baixa 24 bC	Alta 19 aA	Baixa 9 aB	Alta 47 bC	Baixa 61 bB	Alta 2 bD	Baixa 5 bA
<b>Ilha Comprida</b>																										
0 - 5	Alta 7 aC	Baixa 3 aD	Alta 29 aB	Baixa 31 aB	Alta 3,2 cC	Baixa 3,6 bA	Alta 0,4 aB	Baixa 0,5 aB	Alta 4 aA	Baixa 5 aA	Alta 5,4 aA	Baixa 5 aA	Alta 65 aC	Baixa 50 aC	Alta 13 aC	Baixa 9 aD	Alta 12 aA	Baixa 10 aA	Alta 76 aC	Baixa 61 aC	Alta 16 aA	Baixa 19 aA	Alta 54 bC	Baixa 45 cC	Alta 12 aA	Baixa 11 aA
0 - 10	Alta 7 aC	Baixa 4 aD	Alta 30 aB	Baixa 29 aB	Alta 3,2 cC	Baixa 3,6 bA	Alta 0,4 aB	Baixa 0,5 aB	Alta 4 aA	Baixa 4 aA	Alta 4,5 aA	Baixa 4 bA	Alta 67 aC	Baixa 42 bC	Alta 13 aC	Baixa 9 aD	Alta 9 aA	Baixa 9 bA	Alta 76 aC	Baixa 58 aD	Alta 12 bB	Baixa 17 aA	Alta 60 bD	Baixa 49 cE	Alta 14 aA	Baixa 11 aB
0 - 20	Alta 7 aB	Baixa 2 bC	Alta 25 aB	Baixa 16 bC	Alta 3,2 cC	Baixa 3,6 bA	Alta 0,4 aB	Baixa 0,4 bB	Alta 1 bC	Baixa 2 cA	Alta 2,6 bA	Baixa 3 cA	Alta 64 aB	Baixa 29 bC	Alta 12 aB	Baixa 8 aC	Alta 4 bB	Baixa 5 cA	Alta 68 aB	Baixa 35 bC	Alta 6 bC	Baixa 18 aA	Alta 76 aB	Baixa 59 bD	Alta 14 aA	Baixa 8 aB
20 - 40	Alta 3 bC	Baixa 2 bD	Alta 9 bA	Baixa 4 cB	Alta 3,4 bC	Baixa 3,9 aA	Alta 0,2 bC	Baixa 0,3 cB	Alta 1 bB	Baixa 1 dB	Alta 1,4 dB	Baixa 1 dB	Alta 23 bA	Baixa 12 cB	Alta 7 bA	Baixa 4 bB	Alta 3 bB	Baixa 2 dB	Alta 25 bA	Baixa 15 cB	Alta 10 bB	Baixa 16 aA	Alta 74 aA	Baixa 65 aB	Alta 5 bA	Baixa 4 bB
40 - 60	Alta 3 bB	Baixa 1 cD	Alta 5 bB	Baixa 1 cB	Alta 3,6 aB	Baixa 4,0 aA	Alta 0,2 bC	Baixa 0,3 cB	Alta 3 aA	Baixa 1 dA	Alta 1,6 cA	Baixa 1 dB	Alta 15 bD	Baixa 13 cD	Alta 4 cC	Baixa 6 bB	Alta 5 bA	Baixa 2 dB	Alta 20 bC	Baixa 16 cD	Alta 24 aA	Baixa 15 aA	Alta 49 cC	Baixa 70 aB	Alta 4 bB	Baixa 3 bC
<b>Juréia-Itatins</b>																										
0 - 5	Alta 4 aD	Baixa 3 aD	Alta 16 aB	Baixa 24 aB	Alta 3,3 bB	Baixa 3,3 cB	Alta 0,5 aB	Baixa 0,4 aB	Alta 1 aC	Baixa 1 aC	Alta 2 aB	Baixa 3 aB	Alta 38 bC	Baixa 49 aC	Alta 9 aD	Baixa 8 aD	Alta 4 aB	Baixa 4 aB	Alta 42 bC	Baixa 53 aC	Alta 9 bB	Baixa 8 cB	Alta 70 aB	Baixa 66 aB	Alta 4 aB	Baixa 3 aB
0 - 10	Alta 4 aD	Baixa 3 aD	Alta 15 aB	Baixa 20 aB	Alta 3,3 bC	Baixa 3,3 cC	Alta 0,5 aB	Baixa 0,4 aB	Alta 1 aC	Baixa 1 aC	Alta 2 aB	Baixa 2 bB	Alta 37 bC	Baixa 43 aC	Alta 9 aD	Baixa 7 aD	Alta 3 aB	Baixa 4 aB	Alta 40 bD	Baixa 46 aD	Alta 9 bC	Baixa 8 cC	Alta 73 aC	Baixa 67 aC	Alta 3 aD	Baixa 3 aD
0 - 20	Alta 3 aC	Baixa 2 aC	Alta 13 aC	Baixa 13 bC	Alta 3,4 bC	Baixa 3,3 cC	Alta 0,5 aA	Baixa 0,4 aB	Alta 1 aC	Baixa 1 aC	Alta 1 aB	Baixa 2 bA	Alta 35 bC	Baixa 26 bC	Alta 9 aC	Baixa 6 aC	Alta 3 bC	Baixa 3 bC	Alta 37 bC	Baixa 29 bC	Alta 7 bC	Baixa 11 bB	Alta 79 aB	Baixa 67 aC	Alta 3 aC	Baixa 4 aC
20 - 40	Alta 2 bC	Baixa 1 bD	Alta 4 bB	Baixa 3 cB	Alta 3,6 aB	Baixa 3,8 bA	Alta 0,4 aA	Baixa 0,3 bB	Alta 1 aB	Baixa 1 aB	Alta 2 aA	Baixa 1 cB	Alta 16 cB	Baixa 11 cB	Alta 8 aA	Baixa 2 bC	Alta 3 aA	Baixa 2 cB	Alta 19 cB	Baixa 13 cB	Alta 16 aA	Baixa 18 aA	Alta 72 aA	Baixa 39 bC	Alta 1 bC	Baixa 1 bC
40 - 60	Alta 1 bD	Baixa 1 bD	Alta 15 aA	Baixa 2 cB	Alta 3,6 aB	Baixa 4,1 aA	Alta 0,5 aA	Baixa 0,3 bB	Alta 1 aB	Baixa 1 aB	Alta 1 aB	Baixa 1 cB	Alta 66 aB	Baixa 9 cD	Alta 11 aB	Baixa 1 bD	Alta 2 bB	Baixa 2 cB	Alta 69 aB	Baixa 12 cD	Alta 4 cC	Baixa 20 aA	Alta 77 aB	Baixa 33 bC	Alta 3 aB	Baixa 2 bD

Alta: elevada regeneração. Baixa: média regeneração. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Letras minúsculas relacionam às profundidades em uma mesma área, e letras maiúsculas a mesma profundidade em todas as áreas.

de solos sob vegetação de restinga da Ilha do Cardoso (GOMES et al., 2007a) evidenciou acúmulo de ferro em profundidade, embora os valores fossem baixos. Esta constatação denota a importância da matéria orgânica na retenção do fósforo na camada superficial dos solos de restinga. Assim sendo, a ciclagem de nutrientes desempenha papel essencial para a manutenção de fósforo no sistema solo-planta.

Os valores de soma de bases encontrados (Quadro 1), que variaram de 2 a 12 mmol/dm<sup>3</sup>, foram muito baixos do ponto de vista agrícola (Figura 12), resultando em valores também baixos para saturação por bases, 2 a 20%, para todas as áreas. Para se ter uma referência, a recomendação de correção do solo para povoamento misto com espécies típicas da Mata Atlântica deve ser feita quando a saturação por bases (V%) for inferior a 40% (RAIJ et al., 1991).

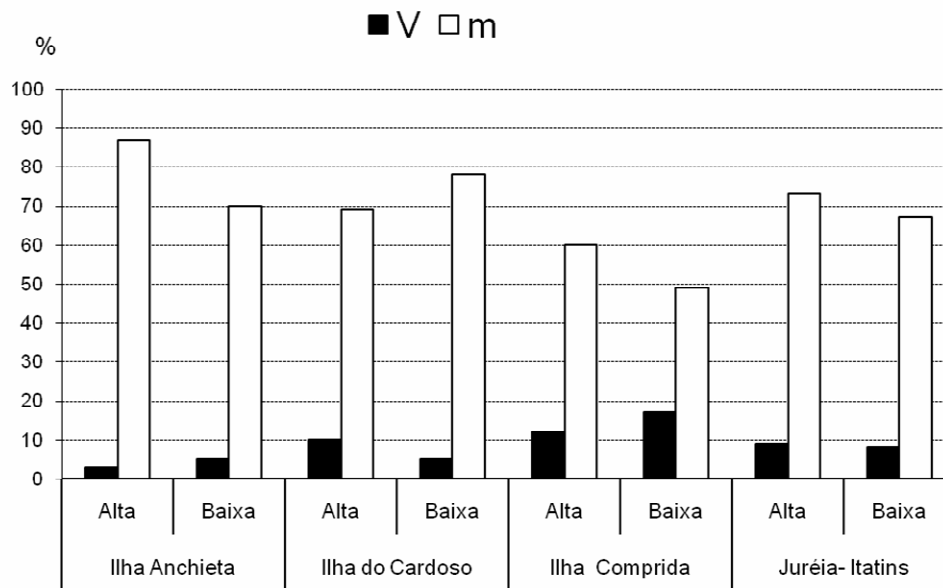


K: potássio. Ca: cálcio. Mg: magnésio. SB: soma de bases. Alta: elevada regeneração. Baixa: média regeneração.

**Figura 12.** Concentrações médias de potássio, cálcio, magnésio e valores médios de soma de bases nas profundidades de 0 a 10 cm para as localidades estudadas.

A saturação por bases, por sua vez, é um número índice que relaciona os teores de K, Ca, Mg com a capacidade de troca de cátions (CTC), que representa a soma de bases (SB) em relação à CTC do solo (SB+H+Al). Seus valores indicaram que as quantidades de cátions (K, Ca e Mg) estão presentes na mesma proporção em todas as áreas, tal como relatado por Casagrande et al. (2010) e observado por Pinto (1998), Reis-Duarte (2004), Sato (2007) e Martins (2010). Segundo Schoenholtz et al. (2000), para solos ácidos florestais, a CTC é menos importante que a saturação por bases, como parâmetro de fertilidade do solo para a indicação do suprimento de nutrientes do solo. Isto indica que, embora a CTC na superfície do solo seja mais elevada, assim como o teor de

MO, a porcentagem de cátions presentes é sempre baixa, conferindo-lhe baixos valores de V% e fertilidade baixa em todo o perfil, já que a maior parte da CTC está ocupada pelo alumínio, como indicado pela saturação por alumínio (Figura 13).



V: saturação por bases. m: saturação por alumínio. Alta: elevada regeneração. Baixa: média regeneração.

**Figura 13.** Valores médios encontrados para de saturação por bases e por alumínio nas profundidades de 0 a 10 cm para as localidades estudadas.

Tais considerações evidenciaram o fato de a restinga ser considerada um tipo de vegetação edáfica, em que o solo exerce o papel decisivo no desenvolvimento da floresta. Por outro lado, conforme também foi constatado por Martins (2010) em um gradiente altitudinal da Mata Atlântica, notou-se que o conceito agrônômico de baixa fertilidade natural pode não se aplicar no estudo da interação solo-vegetação em ecossistemas naturais, uma vez que os teores muito baixos de nutrientes, saturações por alumínio (m%) em torno de 60-91% e de bases (V%) abaixo de 24% não explicam a exuberância das florestas baixa (RB) e alta (RA) de restinga. Provavelmente, os conceitos de grupos de sucessão ecológica possam ser aplicados para as situações de restinga alta e baixa, em que espécies com menores exigências nutricionais passaram a constituir a maioria da população.

Os valores obtidos para teor de alumínio (Quadro 1) foram elevados em todas as camadas de solo para todas as áreas e fitofisionomias, apresentando diferença estatística entre as camadas, principalmente até 20 cm e as mais profundas. Os teores foram mais elevados na profundidade de 40 a 60 cm em relação a camada superior nos casos do horizonte espódico (floresta alta de restinga da Ilha Anchieta e da Juréia-Itatins). A saturação por alumínio apresentou, como consequência,

valores muito elevados para todas as áreas e fitofisionomias, chegando a atingir 90% de saturação, mesmo não sendo horizonte espódico. Lopes (1984), verificou que das 518 amostras superficiais de solos dos cerrados de Minas Gerais e Goiás, a maioria delas apresentou valores de alumínio entre 2,5 e 10,0  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$  e que apenas 15% foi superior a 10,0  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ . Quanto à restinga, outros autores também encontraram altos teores de Al: Sugiyama (1993), na Ilha do Cardoso, 8,0 e 13,0; Guedes-Silva (2003), em Bertioga, 19,0 e 25,0; Carrasco (2003), em Ilha Comprida, 4,0, 7,6, 9,0 e 9,1 e Casagrande e Soares (2009), em Picinguaba, 6,5, 10,1, 11,1, 12,0 e 18,8  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$  na camada superficial do solo. Dessas amostras de solo de restinga anteriormente citadas, 63% apresentaram resultados acima de 10,0 e 11% acima de 20  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ . Tais valores indicam que os teores de alumínio trocável, na camada superficial do solo de restinga foram superiores aos valores encontrados no cerrado.

Os baixos valores de pH de solos sob vegetação de restinga são comuns, visto que os solos se desenvolvem sob sedimentos arenosos originalmente pobres em bases (GOMES et al., 2007a). Em todas as áreas e profundidades estudadas os valores obtidos para pH foram muito baixos (Quadro 1), variando de 3,2 a 3,9, e apresentando diminuição da acidez com o aumento de profundidade. Esta elevada acidez auxilia o processo da ciclagem de nutrientes, possibilitando uma disponibilização mais lenta dos nutrientes da serrapilheira para o solo extremamente arenoso (< 5% argila). Segundo Pires et al.(2006), em estudo realizado na Ilha do Mel, a produção anual de serrapilheira em floresta de restinga encontra-se no limite inferior aos obtidos em florestas tropicais (5.5ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>). Entretanto, em conjunto com a relativa baixa taxa de decomposição anual, representa um grande valor adaptativo para esse ecossistema, pois minimiza perdas por lixiviação e permite melhor aproveitamento dos nutrientes.

As concentrações ou atividades das formas iônicas dos micronutrientes que são preferencialmente absorvidas da solução do solo pelas plantas, em condições de solos bem arejados, são dependentes do pH (ABREU et al., 2007).

Boro sob condições de acidez (pH<7), principalmente na forma de ácido bórico não dissociado ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), é altamente solúvel e facilmente permeável na membrana das células (MENGEL E KIRKBY, 1987). Foram observados (Quadro 2) valores altos de boro de acordo com Rajj et al. (1997), para todas as áreas nas camadas de 0-5, 0-10 e 0-20cm, e médios para as camadas mais profundas (20-40 e 40-60cm). Em condições de alta pluviosidade e alto grau de perdas por lixiviações, principalmente em solos arenosos, ocorre redução na disponibilidade de boro (ABREU et al., 2007). Desta forma, o boro disponível encontra-se associado principalmente à matéria orgânica, o que explica seus teores mais altos nas camadas superficiais.



O elemento cobre, cuja elevada acidez aumenta sua disponibilidade, apresentou (Quadro 2) valores médios para Floresta de Restinga Alta da Ilha Anchieta nas camadas mais superficiais (até 20 cm), e valores baixos, conforme classificação proposta por RAIJ et al.(1997) para todas as outras áreas e profundidades, o que está associado à matéria orgânica, que também decresce com a profundidade. Dentre os micronutrientes, o cobre é o que mais interage com os compostos orgânicos do solo, formando complexos estáveis, sendo alguns desses complexos tão estáveis que a maioria das deficiências de cobre tem sido associada a solos orgânicos (ABREU et al., 2007).

**Quadro 2.** Teores de micronutrientes em diversas profundidades em solos sob floresta de restinga em estágios de elevada e média regeneração nas quatro localidades estudadas.

Prof	B		Cu		Fe		Mn		Zn		
cm	----- mg/dm <sup>3</sup> -----										
<b>Ilha Anchieta</b>											
	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	
0 - 5	2,17 aA	1,72 aB	0,4 aA	0,1 bB	175 aA	10 bC	0,8 aC	0,4 bC	0,5 aA	0,2 cB	
0 - 10	1,97 aA	1,36 aB	0,4 aA	0,1 bC	180 aA	30 aC	0,9 aC	0,7 aC	0,5 aA	0,4 aA	
0 - 20	1,94 aA	0,95 bB	0,5 aA	0,2 aB	175 aA	30 aC	0,7 aB	0,6 aB	0,5 aA	0,3 bB	
20 - 40	0,53 bA	0,38 cA	0,2 bA	0,1 bB	58 bA	4 cC	0,3 bB	0,2 bB	0,3 bA	0,2 cA	
40 - 60	0,52 bA	0,27 cB	0,1 bA	0,1 bA	38 bB	3 cC	0,2 bB	0,3 bB	0,2 cC	0,2 cC	
<b>Ilha do Cardoso</b>											
	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	
0 - 5	1,13 aC	0,66 aC	0,1 bB	0,1 aB	13 aC	30 aC	1,2 aB	1,2 aB	0,5 aA	0,2 bB	
0 - 10	1,22 aB	0,55 aC	0,2 aC	0,1 aC	12 aC	30 aC	0,8 bC	1,1 aB	0,4 aA	0,2 bB	
0 - 20	0,87 aB	0,55 aC	0,2 aB	0,1 aB	11 aC	26 aC	0,7 bB	0,8 aB	0,4 aB	0,3 bB	
20 - 40	0,42 bA	0,23 bB	0,1 bB	0,1 aB	5 bC	19 aB	0,2 cB	0,8 aA	0,2 bA	0,2 bA	
40 - 60	0,44 bA	0,29 bB	0,1 bA	0,1 aA	5 bC	22 aB	0,3 cB	0,8 aA	0,3 bB	0,5 aA	
<b>Ilha Comprida</b>											
	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	
0 - 5	0,87 aC	1,39 aB	0,2 aB	0,1 aB	28 aC	50 aB	1,5 aB	4,0 aA	0,6 aA	0,5 aA	
0 - 10	0,93 aC	1,34 aB	0,2 aB	0,1 aC	27 aC	44 aB	1,5 aB	2,9 aA	0,5 aA	0,5 aA	
0 - 20	0,84 aB	0,83 bB	0,1 bB	0,1 aB	34 aC	30 aC	0,9 bB	1,2 bA	0,5 aA	0,3 bB	
20 - 40	0,37 bA	0,53 bA	0,1 bB	0,1 aB	16 bB	8 bC	0,3 cB	0,2 bB	0,2 bA	0,2 cA	
40 - 60	0,17 bB	0,45 bA	0,1 bA	0,1 aA	9 bC	12 bC	0,2 cB	0,2 bB	0,2 bC	0,2 cC	
<b>Juréia-Itatins</b>											
	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	
0 - 5	0,53 aC	0,41 aC	0,2 aB	0,2 aB	52 bB	28 aC	0,4 aC	0,7 aC	0,3 aB	0,3 bB	
0 - 10	0,59 aC	0,37 aC	0,1 bC	0,2 aB	52 bB	27 aC	0,5 aC	0,6 aC	0,3 aB	0,3 bB	
0 - 20	0,66 aC	0,18 bD	0,1 bB	0,1 bB	81 bB	22 aC	0,4 aB	0,6 aB	0,2 aB	0,5 aA	
20 - 40	0,34 bA	0,10 bB	0,1 bB	0,1 bB	50 bA	8 bC	0,3 bB	0,4 bB	0,1 bB	0,2 bA	
40 - 60	0,56 aA	0,21 bB	0,1 bA	0,1 bA	186 aA	5 bC	0,6 aA	0,3 bB	0,2 aC	0,1 cC	

Alta: elevada regeneração. Baixa: média regeneração. As Letras minúsculas relacionam as profundidades em uma mesma área, e as letras maiúsculas a mesma profundidade para todas as áreas. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

O manganês, a exemplo de boro e cobre, tem sua disponibilidade favorecida com a elevação da acidez do solo, também interage com a matéria orgânica do solo formando complexos orgânicos, contudo, com menor afinidade que o zinco e o cobre. Os valores obtidos para manganês foram altos, de acordo com Raij et al.(1997) (Quadro 2) para as florestas de restinga alta/baixa da Ilha Comprida e da Ilha do Cardoso nas camadas de 0-5 e 0-10cm, e médios para as demais profundidades e áreas. Na Estação Ecológica Juréia-Itatins, apesar de teores baixos de matéria orgânica, observaram-se valores médios para manganês. Isso se deve ao fato de que em solos arenosos com altos índices pluviométricos e baixa capacidade de troca de cátions (CTC) ocorre diminuição na disponibilidade de manganês (ABREU et al., 2007). No caso na Estação Juréia-Itatins observaram-se valores para CTC na faixa de 40 a 53 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para floresta de restinga alta e baixa, enquanto para a Ilha Anchieta observaram-se valores na faixa de 115 à 188 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para as florestas alta e baixa de restinga, respectivamente.

Os valores obtidos para ferro (Quadro 2) foram elevados (RAIJ et al., 1997) para todas as áreas nas camadas superficiais (0-5, 0-10, e 0-20cm), apresentando valores médios em profundidade (20-40, 40-60cm). Com exceção dos valores de ferro para floresta alta de restinga na Estação Ecológica Juréia-Itatins foram mais altos na camada de 40-60cm, apresentando valores médios nas camadas superficiais (0-20cm) e mais baixos na camada intermediária (20-40cm), valores com relação semelhante de matéria orgânica em superfície e profundidade, característica de ESPODOSSOLOS.

Os valores observados para zinco (Quadro 2) apresentaram diminuição com o aumento da profundidade para todas as áreas em estudo, sendo considerados baixos, conforme Raij et al.(1997). Esta ocorrência se explica, pois sua maior disponibilidade é aumentada em condições de elevada acidez e baixo teor de argila, resultando em acentuada lixiviação.

Quanto à presença de sais, os solos são classificados como salinos, sódicos e/ou salino-sódicos, conforme valores de condutividade elétrica, porcentagem de sódio trocável, relação de adsorção de sódio e pH do extrato de saturação, conforme descrito no Quadro 3.

**Quadro 3.** Características dos solos salinos, sódicos e salino-sódicos.

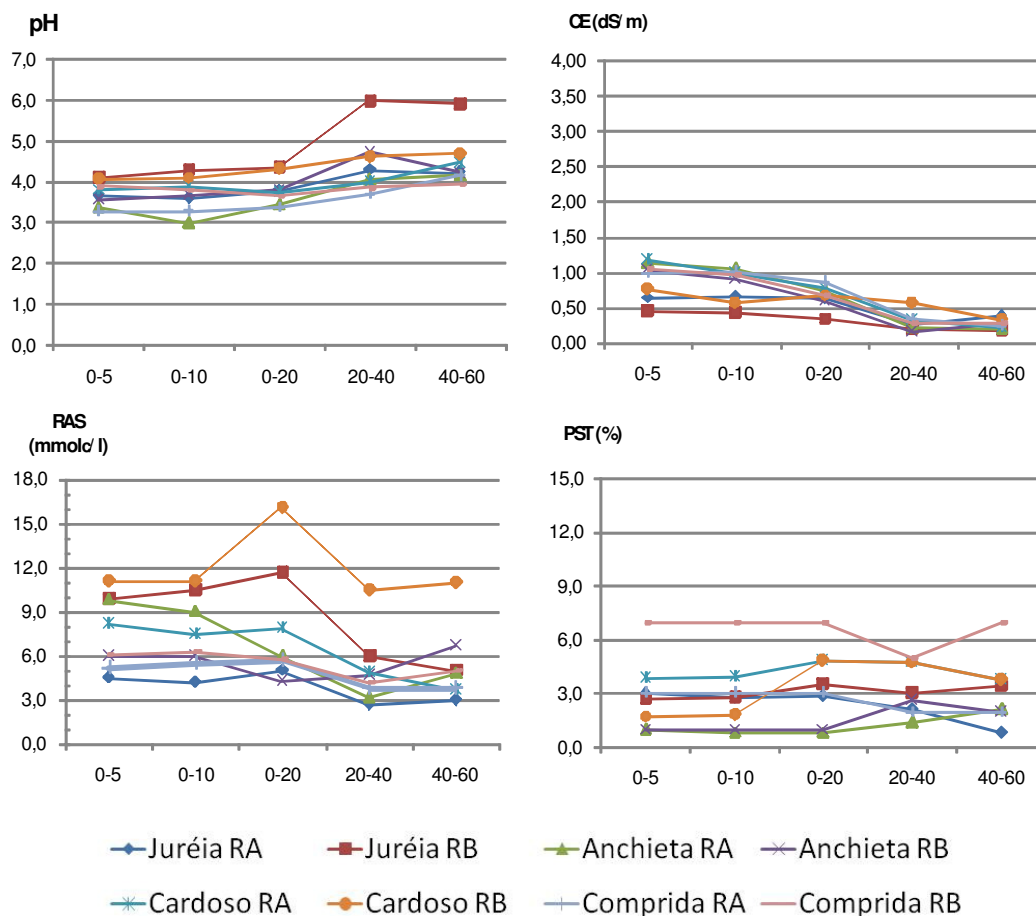
Classificação	CE	PST	RAS	pH
Salinos	> 4,0	< 15	< 13	< 8,4
Sódicos	< 4,0	> 15	> 13	> 8,4
Salino-sódico	> 4,0	> 15	> 13	> 8,4

CE: condutividade elétrica no extrato de saturação expressa em dS/m a 25°C. PST: porcentagem de sódio trocável. RAS: relação de adsorção de sódio. pH: pH do extrato de saturação.

Fonte: Richards (1954) citado por Oliveira (1997).

Assim, os valores de pH, sempre inferiores a 8,4, para todas as fitofisionomias de todos os locais de estudo, fazem com que estes solos não sejam caracterizados como sódicos e/ou salino-

sódicos (Figura 14). Os valores encontrados de condutividade elétrica sempre inferiores a 4 dS/m, para todas as fitofisionomias e locais, também excluem a possibilidade destes solos serem salinos. Desta forma, estes solos não são salinos, sódicos ou salino-sódicos.



**Figura 14.** Valores médios da condutividade elétrica (CE), relação de adsorção de Sódio (RAS), porcentagem de sódio trocável (PST) e pH dos extratos de saturação nas florestas alta e baixa de restinga.

A textura extremamente arenosa resulta em excessiva drenagem pela elevada macroporosidade e baixa capacidade de retenção de água (Quadro 4). Entretanto, não há déficit hídrico durante o ano porque o litoral paulista registra precipitação significativamente superior às outras regiões do Estado de São Paulo, atingindo médias anuais de 2.200 mm (SANCHEZ et al., 1999). No entanto, a combinação entre textura arenosa e a elevada precipitação a que está submetido leva à intensa lixiviação de nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal (CASAGRANDE e SOARES, 2008). Essas condições caracterizam solos com baixo potencial de suporte para produção de biomassa, em que o processo de regeneração florestal torna-se muito lento, principalmente quando o desmatamento é seguido por longo período de perdas que excedem as adições.

Portanto, textura altamente arenosa, precipitação elevada e solos com baixo potencial para suporte de produção de biomassa acarreta em uma baixa capacidade concreta da vegetação retornar ao estado natural de excelência (baixa resiliência), superando uma situação crítica (degradação). Tais características denotam uma baixa capacidade de reter nutrientes, indicando que a disponibilidade de nutrientes para a vegetação se dá por meio da decomposição da serrapilheira, uma vez que os níveis presentes no solo são muito baixos. Os níveis de fertilidade do solo funcionam como prova dessa afirmação, uma vez que o solo está atuando mais como suporte do que como reservatório de nutrientes. A consequência dessa reflexão é a afirmação de que o ecossistema de floresta de restinga é edáfico.

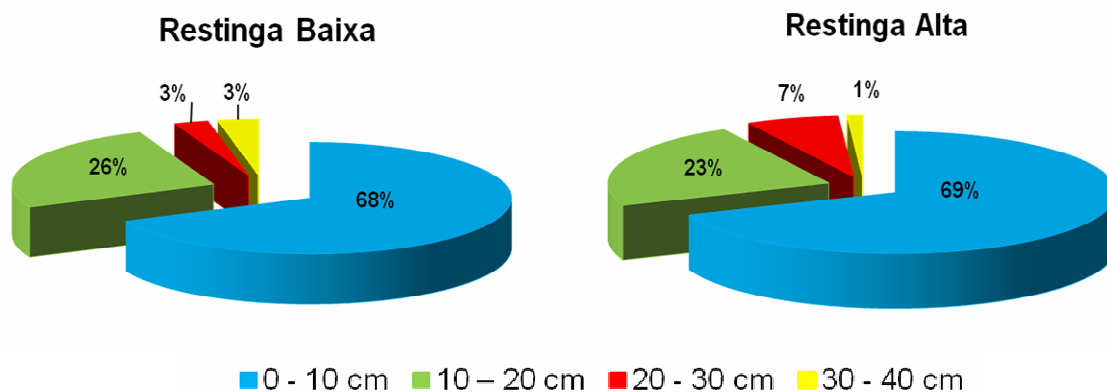
**Quadro 4.** Resultados de Análises físicas das restingas em estágios de elevada e média regeneração nos quatro locais.

Prof. cm	Ilha Anchieta				Ilha do Cardoso				Ilha Comprida				Juréia-Itatins			
	Arg.	Ar.	Silte	Dens.	Arg.	Ar.	Silte	Dens.	Arg.	Ar.	Silte	Dens.	Arg.	Ar.	Silte	Dens.
	----	%	----	kg/dm <sup>3</sup>	----	%	----	kg/dm <sup>3</sup>	----	%	----	kg/dm <sup>3</sup>	----	%	----	kg/dm <sup>3</sup>
Restinga Alta																
0 – 5	2	96	3	0,80	1	90	9	0,61	2	97	1	0,99	1	92	7	0,99
0 – 10	2	96	3	0,90	2	91	8	0,74	2	97	2	1,03	2	91	8	1,04
0 – 20	2	94	4	1,12	2	94	4	1,07	2	97	1	1,12	2	94	4	1,14
20 – 40	2	96	2	1,32	2	93	5	1,44	2	97	1	1,31	1	94	5	1,21
40 – 60	2	96	2	1,38	1	96	3	1,51	1	98	1	1,32	1	95	4	1,14
Restinga Baixa																
0 – 5	3	95	2	0,92	2	90	8	0,99	2	96	2	0,94	2	94	4	1,06
0 – 10	3	96	2	1,01	2	91	8	1,27	2	97	2	1,01	2	95	4	1,12
0 – 20	4	95	1	1,23	2	92	6	1,66	2	95	3	1,06	2	95	3	1,19
20 – 40	3	95	2	1,44	1	93	6	1,78	1	98	1	1,30	1	93	6	1,34
40 – 60	2	97	1	1,41	1	91	7	1,67	1	97	2	1,27	2	91	7	1,31

Restinga Alta: elevada regeneração. Restinga Baixa: média regeneração.

Tais condições dos solos sob vegetação alta e baixa de restinga do litoral paulista até agora descritas, foram também avaliadas pela distribuição do sistema radicular no perfil do solo, gerando importante informação para melhor compreensão da interação solo-planta para um ecossistema considerado edáfico (Figura 15).

Para as duas fitofisionomias avaliadas (Figura 15), a distribuição do sistema radicular concentrou-se nas duas primeiras camadas (0-10 e 10-20cm), com valores de 92 e 94% de raízes para floresta de restinga alta e baixa, respectivamente. Nos primeiros 10 cm de profundidade determinou-se 69 e 68% de raízes, respectivamente para floresta alta e baixa. Ou seja, praticamente 70% do sistema radicular encontrou-se na camada superficial de 10 cm de solo.



Restinga Alta: elevada regeneração. Restinga Baixa: média regeneração.

**Figura 15.** Valores médios da distribuição do sistema radicular em floresta de restinga nas quatro localidades estudadas.

O sistema radicular, para todas as fisionomias e em todas as localidades (Quadro 5), não apresentou desenvolvimento expressivo a partir dos 20 cm de profundidade, com 8 e 6%, respectivamente, para restinga alta e baixa. A única exceção foi a restinga alta da Ilha Comprida, que apresentou 24% de raízes abaixo dos 20 cm de profundidade. O sistema radicular está exposto às alterações espaciais e temporais quanto às concentrações de nutrientes do solo (LAINÉ et al., 1998) e as plantas respondem a essa heterogeneidade por meio de modificações fisiológicas e morfológicas, de modo a alterar a arquitetura (configuração espacial) de seus sistemas radiculares. Tipicamente, as raízes crescem profusamente em direção às regiões de maior concentração de nutrientes (VAN VUUREN et al., 1996), provavelmente uma resposta adaptativa compensatória à variabilidade do solo (ROBINSON, 1996). Considerando-se que cerca de 70% do sistema radicular da floresta da restinga concentrou-se na camada de 0–10cm de profundidade, conclui-se que a amostragem de solo para avaliação da fertilidade será melhor representada por esta camada.

**Quadro 5.** Distribuição percentual do sistema radicular em florestas de restinga no perfil do solo nas quatro localidades estudadas.

Prof. cm	Ilha Anchieta		Ilha do Cardoso		Ilha Comprida		Juréia-Itatins	
	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa	R. Alta	R. Baixa
	Raízes							
	%							
0 – 10	67 a	86 a	77 a	59 a	50 a	52 a	81 a	77 a
10 – 20	31 b	14 b	21 b	38 a	26 ab	35 ab	14 b	16 b
20 – 30	2 c	0 c	1 bc	3 b	21 ab	5 b	3 b	2 b
30 – 40	0 c	0 c	0 c	0 b	3 b	8 ab	2 b	5 b

Restinga Alta: elevada regeneração. Restinga Baixa: média regeneração. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Desta forma, o desenvolvimento mais superficial do sistema radicular justificou-se para todas as áreas (Quadro 5), devido aos baixos teores de cálcio (Quadro 2), cuja deficiência limita seu desenvolvimento, como também pode refletir no retardamento, restrição ou até no insucesso da revegetação (REIS-DUARTE e CASAGRANDE, 2006). Os teores de alumínio no solo foram elevados, sempre superiores a 8 e até ultrapassando 20 mmol/dm<sup>3</sup>, apresentando apenas na profundidade de 40 a 60cm valores inferiores a 5 mmol/dm<sup>3</sup> em alguns locais e fitosionomias (Quadro 1).

Assim, pode-se afirmar que os principais parâmetros da fertilidade do solo sob floresta de restinga estão associados à acidez elevada, aos teores de matéria orgânica, que é responsável pela CTC, já que os teores de argila são muito baixos, e à baixa reserva de nutrientes. Assim sendo, a retirada da vegetação torna-se crítica nestes ambientes, sobretudo pela eliminação da ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, o favorecimento de intensa lixiviação e da destruição da matéria orgânica. Neste contexto, mesmo com banco de sementes disponível, não há condições naturais para a recuperação da vegetação, notadamente onde a antropização degradou severamente o solo com a retirada da camada superficial.

O manejo da fertilidade do solo em áreas degradadas de restinga deve atender primariamente a elevação da capacidade de reter nutrientes, assim como a disponibilização permanente de nutrientes nos primeiros anos da implantação da vegetação. O aporte de matéria orgânica é fundamental para o sucesso das fases iniciais mais complexas, já que se trata de uma fonte importante de nitrogênio e de micronutrientes que imprime um regime mais lento e gradual na sua disponibilização. A cinética mais lenta de liberação de nutrientes também pode ser conseguida pelo uso de rochas que se solubilizam mais vagarosamente, como fosfatos naturais, calcário, para fornecimento de cálcio e magnésio e correção da acidez do solo (pH, H<sup>+</sup> + Al<sup>+3</sup>, Al<sup>+3</sup> e saturação por Al), e alternativas de pó de rocha potássica. O uso de leguminosas sempre será uma alternativa adequada para o suprimento de nitrogênio e produção da matéria orgânica no início da revegetação.

#### 4. CONCLUSÕES

1 – Aproximadamente 70% do sistema radicular localiza-se na camada de 0 a 10 cm e mais de 90% esta localizado na camada de 0 a 20cm;

2 – A camada a ser analisada para fins de fertilidade deve ser de 0-10 cm de profundidade;

3 – As principais limitações dos solos sob floresta de restinga estão relacionadas com o desenvolvimento radicular das plantas em profundidade e com a disponibilidade de nutrientes, devido à elevada saturação por alumínio e baixa saturação por bases, respectivamente;

4 – A recuperação da floresta de restinga, inicialmente, deve eliminar as restrições quanto à retenção e disponibilização de nutrientes para as plantas, pela adição de matéria orgânica e suprimentos de nutrientes, preferencialmente de baixa solubilidade.

## Capítulo 2

# Índice de qualidade do solo no Ecossistema Restinga do Litoral Paulista

### 1. INTRODUÇÃO

O uso sustentável dos recursos naturais, especialmente do solo e da água, tem-se constituído em tema de crescente relevância, em razão do aumento das atividades antrópicas, e, por consequência, pela crescente preocupação com o uso sustentável e a qualidade desses recursos.

O ecossistema restinga, de todos os ecossistemas associados à Mata Atlântica, é o mais frágil e susceptível às perturbações antrópicas, além de ter perdido espaço para o assentamento de infra-estrutura urbana (ARAÚJO e LACERDA, 1987; SILVA et al., 1993). E conforme Rizzini (1997), um conjunto de comunidades vegetais em mosaico (vegetação de praia, duna, escrube, restinga baixa e alta). Determinados pelas características dos substratos que, por sua vez, são determinados pelos processos deposicionais e idades (ARAÚJO e LACERDA, 1987). Segundo a Resolução CONAMA N°417/2009, essas comunidades, distribuídas em mosaico, ocorrem em áreas de grande diversidade ecológica, sendo consideradas comunidades edáficas por dependerem mais da natureza do solo que do clima.

Segundo Vezzani e Mielniczuk (2009), a discussão sobre Qualidade do Solo (QS) intensificou-se no início dos anos 1990, quando a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar, nas publicações, a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e sua função nesse contexto. Onde citam que Lal e Pierce (1991) foram os precursores em alertar sobre a relação entre manejo do solo e sustentabilidade na agricultura.

O monitoramento da qualidade do solo deve ser orientado para detectar tendências de mudanças que são mensuráveis num período relativamente longo. Esse monitoramento pode ser feito na propriedade agrícola ou em níveis mais abrangentes, como microbacia hidrográfica, região e outros. As práticas de manejo e conservação do solo e da água devem ser planejadas e executadas procurando-se manter ou mesmo melhorar seus atributos, de modo a aumentar a capacidade do solo em sustentar uma produtividade biológica competitiva, sem comprometer a qualidade da água (ARAÚJO et al., 2007). Para esses autores, o estabelecimento de índices de qualidade do solo é



ainda útil na tarefa de avaliação de impactos ambientais quando biomas são incorporados ao processo produtivo, seja de forma extensiva ou intensiva, tornando-se, assim, um instrumento importante nas funções de controle, fiscalização e monitoramento de áreas destinadas à proteção ambiental.

Gliessman em 2000, em um sentido amplo, mostrou que sustentabilidade é uma versão do conceito de produção sustentável, onde expressa a condição de ser capaz de perpetuamente colher biomassa de um sistema, pois sua capacidade de se renovar ou ser renovado não é comprometida.

Sustentabilidade agrícola é conceituada como a capacidade de um sistema agrícola produzir alimentos e fibras sem comprometer as condições que viabilizam esse processo de produção (GLIESSMAN, 2000). A sustentabilidade está fundamentada em cinco pilares: produtividade, segurança, proteção, viabilidade e aceitabilidade (SMYTH e DUMANSKI, 1995). Portanto, a relação entre Qualidade do Solo e sustentabilidade agrícola consiste na produção de alimentos e fibras em um solo capaz de cumprir suas funções, num processo de produção ambientalmente seguro, economicamente viável e socialmente aceito (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

O ambiente de um organismo pode ser definido como a soma de todas as forças e fatores externos, tanto bióticos quanto abióticos, que afetam seu crescimento, sua estrutura e reprodução. Em agroecossistemas, é vital compreender quais fatores neste ambiente – por sua condição ou nível num dado momento – pode limitar um organismo, e conhecer que níveis de determinados fatores são necessários para o desempenho desse. A estrutura e o manejo de agroecossistemas baseiam-se amplamente em tais informações. Uma vez que o ambiente é um complexo de todos esses fatores, torna-se igualmente importante compreender como cada fator afeta ou é afetado pelos outros, separadamente ou em combinações complexas que variam no tempo e no espaço (GLIESSMAN, 2000).

Assim como o ar e a água, a qualidade do solo está diretamente relacionada com a “saúde” e produtividade dos ecossistemas terrestres. No entanto, quanto aos solos, possivelmente devido às influências de fatores relativos à sua gênese, variabilidade, uso, manejo e dadas às diversas funções que pode desempenhar, tem sido difícil para os pesquisadores estabelecer critérios universais para definição e quantificação da sua qualidade (GLOVER et al., 2000). Por essa razão, vários conceitos foram propostos. Todos têm em comum a capacidade do solo de funcionar efetivamente no presente e no futuro. De todos os conceitos propostos mais amplo o da Sociedade Americana de Ciência do Solo (SACS), que define qualidade do solo como: “A capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água, promovendo a saúde humana

e a habitação” (DORAN e PARKIN, 1994). Esta proposta mais tarde foi reformulada por Doran (1997), e ainda é utilizada nos dias atuais, da seguinte forma:

***“Qualidade do Solo é a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade das plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens”.***

Qualidade do Solo, desta forma, está relacionada com as funções que capacitam o solo a aceitar, estocar e reciclar água, nutrientes e energia (CARTER, 2001), sendo a integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo que o habilita a exercer suas funções na plenitude.

O conceito qualidade do solo é relativamente recente e tem sido mais utilizado para avaliar a sustentabilidade de diferentes práticas de manejo no solo. Uma boa qualidade do solo constitui-se no mais importante elo entre as práticas agrícolas e a agricultura sustentável (SANTANA e BAHIA FILHA, 1998).

Por interferirem diretamente na produtividade das plantas, até pouco tempo atrás, apenas os atributos químicos e físicos do solo eram considerados na avaliação dos impactos e da capacidade produtiva dos plantios florestais (SCHOENHOLTZ et al., 2000). Contudo, a crescente valorização dos serviços ambientais, proporcionados pelos sistemas florestais, tem estimulado a inclusão de atributos biológicos do solo entre os parâmetros que avaliam as práticas de manejo florestal e seus impactos ao meio ambiente (SILVA et al., 2009).

A avaliação da qualidade do solo, e a direção das mudanças ao longo do tempo, é o principal indicador de gestão sustentável dos solos (DORAN e ZEISS, 2000).

Segundo Karlen et al.(1997), a avaliação da qualidade do solo pode ser analisada sobre duas perspectivas. A primeira enfatiza que a qualidade do solo é inerente a cada solo e governada por seus processos de formação. Assim, cada solo tem uma habilidade natural para funcionar, a qual é definida por um conjunto de valores que refletem o máximo de potencial de um solo na realização de uma função específica. A segunda assume que, se um determinado solo está funcionando de acordo com seu máximo potencial para um determinado uso, ele terá excelência em qualidade, se não, o seu potencial terá sido afetado pelo uso ou manejo, ou este solo naturalmente possui baixa qualidade.

Desta forma, estabelecer um índice de qualidade do solo é importante para identificar problemas e fazer estimativas realísticas, monitorar mudanças na sustentabilidade e qualidade ambiental em relação ao seu manejo, bem como orientar formas de manejo (SOUZA et al., 2003).

Diante das múltiplas funções apresentadas pelo solo, três exigências básicas devem ser atendidas no processo de avaliação e monitoramento da sua qualidade (DORAN e PARKIN, 1994):

- 1° - Definir de forma adequada a função ou finalidade a que se destina a avaliação;
- 2° - Estabelecer, dentre a multiplicidade de atributos físicos, químicos e biológicos do solo, aqueles que são pontos-chaves para cada função do solo, e definir a forma como integrá-los;
- 3° - Definir critérios específicos para a interpretação dos dados dos atributos selecionados, de forma a permitir estimativas confiáveis da qualidade do solo para cada função.

Segundo Souza et al. (2003) o índice de qualidade do solo deve servir de forma prática para todos os profissionais, tanto na área científica, como na área de produção e conservação. Para tanto os indicadores necessitam atender os seguintes critérios;

- a) Abranger processos e propriedades físicas, químicas e biológicas do solo;
- b) Ser de fácil acesso e utilização para todos. Indicadores importantes, mas de difícil aquisição podem e devem ser estimados com base em indicadores de mais fácil aquisição, através de pedotransferência. A expressão Função de Pedotransferência, que é “transformar dados que possuímos em dados que necessitamos”, foi criada por Bouma (1989);
- c) Ser aplicável em condições de campo, permitindo correlação com medidas de laboratório;
- d) Possuir critérios definidos para quantificar e interpretar seus valores;
- e) Ser sensível às variações de manejo e clima, quando for este o caso;
- f) Permitir avaliações de curto e longo prazo;
- g) Quando possível, ser componente de banco de dados já existentes.

Em todo o planeta, a degradação do solo ocorre, principalmente, devido à erosão, salinização, compactação, depleção da matéria orgânica e desequilíbrio de nutrientes. A produtividade do solo, por sua vez, é usualmente definida como a habilidade do solo para produzir biomassa florestal por unidade de área e tempo (SHOENHOLTZ et al., 2000).

Dentre os indicadores químicos, a matéria orgânica é considerada o parâmetro chave de qualidade de solo, pelas evidências que se tem de seu papel estrutural e funcional na capacidade produtiva do solo e na relação crítica entre manejo de solos florestais e produtividade (HENDERSON, 1995; NAMBIAR, 1997).

O pH do solo influencia relações químicas e biológicas no solo, mas oferece poucas informações diretas por si só. A saturação por alumínio, que é o inverso da saturação por bases, é

um indicador mais sensível e significativo em relação à resposta vegetal que o pH do solo (AUNE e LAL, 1997).

Embora a capacidade de troca de cátions (CTC) seja amplamente reconhecida como indicador da qualidade de solo, pela capacidade do solo reter e liberar nutrientes, para solos florestais a soma de bases (SB), que é a relativa abundância de nutrientes básicos no complexo de troca do solo, é considerada mais importante que a CTC (SCHOENHOLTZ et al., 2000). Segundo Reuss (1983), nos solos florestais, onde não há adição de Ca e Mg pelo calcário, é a saturação por bases que determina a influência do complexo de troca sobre a composição química e acidez da solução do solo.

Neste mosaico de comunidades encontra-se a floresta baixa de restinga, que consiste em uma vegetação arbóreo/arbustiva de porte baixo (3-10m), onde suas árvores apresentam ramificações nos caules desde a sua base e dossel aberto. Também neste mosaico ocorre a floresta alta de restinga, caracterizada por uma vegetação arbórea com dossel fechado, com altura variando de 10 a 20 metros, existência de um sub-bosque, formado por plantas jovens do estrato arbóreo e arbustivo, e pequena quantidade de plantas no estrato herbáceo, com serrapilheira espessa (CONAMA nº 417/2009).

A floresta de restinga (Casagrande, 2003) representa uma situação diferenciada pela topografia e textura do solo. São solos de relevo plano e de elevada infiltração. Devido ao baixo teor de argila (normalmente de 1-5%), estes solos estão sujeitos à intensa lixiviação pela baixa capacidade de retenção de cátions, além de já serem solos originalmente pobres em nutrientes; são solos com elevada saturação por alumínio, valores de saturação por bases geralmente inferiores a 25% e com baixos teores de cálcio; o sistema radicular localiza-se principalmente na camada de 0-10cm (70%), com 90% das raízes até a profundidade de 20cm (Bonilha et al., 2010).

Uma vez que em ambiente florestal a ciclagem de nutrientes é responsável pela manutenção e desenvolvimento vegetal, os níveis de nutrientes no solo não devem ser utilizados como indicadores de qualidade de solo para floresta, já que as reservas estão principalmente na biomassa vegetal (SCHOENHOLTZ et al., 2000). Entretanto, a deficiência de cálcio e o excesso de alumínio no subsolo podem ser os parâmetros chaves para o crescimento, estando associado com o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, com influência direta sobre a absorção de água e nutrientes, em função da exploração de maior volume de solo. Níveis baixos de cálcio e elevados de alumínio no subsolo de restinga foram observados em estudos realizados por Sugiyama (1993), Guedes-Silva (2003), Casagrande (2003), Carrasco (2003), Reis-Duarte (2004) e Sato (2007). Assim, tanto os níveis de cálcio e alumínio do subsolo, em diferentes profundidades, como

a profundidade do sistema radicular, podem funcionar como indicadores da qualidade química do solo.

A maior atividade biológica do solo situa-se, de modo geral, na camada de 0-20 cm de profundidade, pois é onde ocorre maior acúmulo de matéria orgânica pela deposição de material vegetal da parte aérea (serrapilheira), além do efeito das raízes. A vegetação, influenciadora da deposição de matéria orgânica (serrapilheira) e o efeito rizosférico, têm grande influência sobre os microorganismos. Solos sem cobertura vegetal tendem a possuir menores teores de matéria orgânica e, conseqüentemente, uma comunidade biológica menor e menos diversificada (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

Os microorganismos, juntamente com a fauna (micro, meso e macro) e as raízes das plantas, constituem a fração viva da matéria orgânica do solo e podem ser utilizados como indicadores biológicos ou bioindicadores, uma vez que estão intimamente relacionados ao funcionamento do solo, apresentando uma estreita inter-relação com os componentes físicos e químicos. Os microorganismos do solo são responsáveis por serviços ambientais de importância fundamental, tais como processos de formação do solo, decomposição de resíduos orgânicos (animais e vegetais), ciclagem de nutrientes e formação de matéria orgânica, biorremediação de poluentes e agrotóxicos, entre outros (SILVA et al., 2009).

Uma metodologia que tem sido largamente proposta para superar a dificuldade de traduzir a natureza complexa e específica de cada solo em atributos mensuráveis que possam refletir o seu estado de qualidade é a definição de funções que possam expressar os atributos de qualidade do solo, por meio de um conjunto mínimo de indicadores (DORAN e PARKIN, 1994; KARLEN e STOTT, 1994; LARSON e PIERCE, 1994; WANDER e DRINKWATER, 2000). Os indicadores de qualidade são variáveis mensuráveis que representam propriedades do solo. Seja qual for o indicador, se utilizado individualmente não será capaz de descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo. Nem mesmo uma única função do solo, isolada, será capaz de fazê-lo, visto que todos os atributos do solo interagem entre si de alguma forma (STENBERG, 1999). Desta forma, faz-se necessário avaliar as funções dos solos com base em atributos e/ou propriedades químicas, físicas e processos biológicos, em face das influências existentes entre elas no ambiente do solo (DEXTER, 2004).

Para a avaliação do funcionamento do solo, em relação às questões ambientais, Larson e Pierce (1994) propuseram três funções associadas à qualidade do solo, onde o solo deve ter a habilidade de funcionar como um meio de crescimento para as plantas, como regulador e fornecedor de fluxo de água no ambiente e também como filtro de impactos ambientais, afirmando que para a execução destas funções, um solo de alta qualidade deve permitir a infiltração,

transmissão de água e liberação de nutrientes, promover e sustentar o crescimento de raízes, manter o habitat biótico do solo em condições satisfatórias, responder ao manejo e resistir à degradação.

As funções que determinam a qualidade são expressas por meio de propriedades e atributos múltiplos do solo. Desta maneira, durante muitos anos os pesquisadores em ciência do solo identificaram, debateram e concordaram com a elaboração de um conjunto de dados mínimos fixados (DMF) (Quadro 6), que representam um conjunto de atributos do solo que podem ser usados para quantificar a sua qualidade (Wander e Drinkwater, 2000).

**Quadro 6.** Conjunto dos indicadores físicos, químicos e biológicos do solo que podem ser utilizados para avaliar a qualidade do solo.

<b>Indicadores Físicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compactação e/ou adensamento subsuperficial; densidade do solo; encrostamento superficial; estabilidade de agregados; estrutura do solo; limites de consistência; nível de agregação; profundidade do solo; profundidade de enraizamento; porosidade (macro, micro e total); resistência à penetração; temperatura do solo; textura e velocidade de infiltração e capacidade de retenção de água no solo.</li> </ul>
<b>Indicadores Químicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidade de troca catiônica; carbono orgânico; condutividade elétrica; disponibilidade de nutrientes; fósforo; pH; potássio; presença de metais pesados; presença de elementos radioativos; nitrogênio mineral (<math>\text{NH}_4^+</math> e <math>\text{NO}_3^-</math>); saturação por base e saturação por alumínio.</li> </ul>
<b>Indicadores Biológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carbono da massa microbiana; nitrogênio da massa microbiana; nitrogênio potencialmente mineralizável; população microbiana e fungos micorrízicos; relação respiração/biomassa; relação entre carbono da biomassa total/carbono total orgânico; respiração dos organismos do solo; e taxa de decomposição de resíduos biológicos.</li> </ul>

Fonte: Doran e Parkin (1994); Karlen e Stott (1994); Larson e Pierce (1994); Chaer (2001); Souza et al. (2003).

Neste contexto, é oportuno buscar indicadores de qualidade do solo comparando-se floresta alta, baixa e sem vegetação em áreas de restinga, dada a diferença natural de biomassa entre elas. Assim, este trabalho teve por objetivo determinar o Índice de Qualidade do Solo para floresta de restinga em estágio de elevada e média regeneração e área de restinga sem vegetação, utilizando um modelo aditivo e um modelo aditivo ponderado. Como também a comparação dos resultados dos dois modelos e o tipo de resposta (índice) que cada modelo produz.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no ecossistema restinga, nas fitofisionomias (Figura 16) de floresta de restinga em estágio elevado de regeneração (RA), estágio médio de regeneração (RB) e uma área sem vegetação (RSV), em quatro locais do litoral Paulista (Figura 17): (1) Parque Estadual da Ilha Anchieta, município de Ubatuba ( $23^{\circ} 32' 24.58'' S/45^{\circ} 4' 33.03'' W$ ); (2) Estação Ecológica Juréia-Itatins, Estação Ecológica dos Chauás, município de Iguape ( $24^{\circ} 33' 02.16'' S/47^{\circ} 13' 16.80'' W$ ); (3) Vila de Pedrinhas no município de Ilha Comprida ( $24^{\circ} 53' 52.38'' S/47^{\circ} 47' 56.22'' W$ ); e (4) Parque Estadual da Ilha do Cardoso, município de Cananéia ( $25^{\circ} 04' 29.50'' S/47^{\circ} 55' 41.10'' W$ ).

A caracterização das fisionomias de florestas de restinga foi feita com base na Resolução CONAMA N°417/2009.



**Figura 16.** Exemplos das três fitofisionomias compreendidas no estudo.



**Figura 17.** Foto ilustrativa do litoral paulista com imagens ampliadas dos locais de estudo (Fonte: Google Earth Maps).

Foram coletadas doze subamostras para compor uma amostra composta para as profundidades de 0 a 10cm, para cada fitofisionomia dos cinco locais estudados. As subamostras foram coletadas nas três trincheiras abertas em cada fitofisionomia e fora delas, totalizando as doze

subamostras. Foram realizadas cinco repetições para cada fitofisionomia. Cada repetição foi representada por um quinto da área amostrada. Nas análises químicas dos solos foram analisados (EMBRAPA, 1997): pH, matéria orgânica (MO), P, K, Ca, Mg, S, Al, H+Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, saturação por alumínio (m%), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%). Nas análises físicas foram determinados granulometria e densidade.

Para as análises microbiológicas foram coletadas amostras na profundidade de 0-10cm com 5 (cinco) repetições. Determinou-se as populações de bactérias, actinomicetos e fungos, utilizando-se a técnica de diluição seriada (Clark, 1965). Para o isolamento dos microrganismos foram preparadas suspensões solo – água nas diluições  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$ , e 100 µl de suspensão foram transferidos para meio de cultura. Para o isolamento de bactérias foi empregado o meio de cultura Agar nutriente – NA (23 g de ágar nutriente, 1 L. água destilada e 0,042 g de nistatina) e as diluições  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$ . Para o isolamento de actinomicetos foi empregado o meio Agar Água Alcalinizado - AA (20 g de Ágar e 1L. água destilada e pH=10,5) e as diluições  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$ . Para o isolamento de fungos foi empregado o Meio de Martin (1 g  $K_2HPO_4$  ; 0,5 g  $MgSO_4.7H_2O$ ; 5 g peptona; 10 g dextrose; 0,03 g Rosa de Bengala; 16 g agar, 1l água destilada e 0,1 g de estreptomicina) e as diluições  $10^{-1}$  e  $10^{-2}$ . Foram feitas três repetições para cada combinação meio - diluição, e as placas foram mantidas a 35 °C por dois e seis dias para bactéria e actinomicetos e a 30 °C por três para fungos, quando as colônias foram contadas.

As análises foram realizadas pelo Laboratório de Análise Química de Solos e Planta, Laboratório de Física de Solos e Laboratório de microbiologia agrícola e molecular, todos do Centro de Ciências Agrárias/UFSCAR.

Para o cálculo do Índice de qualidade do solo foram utilizados dois modelos: Aditivo e Aditivo Ponderado.

## **2.1 MODELO ADITIVO (MA)**

A estrutura de cálculo deste modelo é triangular, onde os vértices são representados pelos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Cada local de estudo terá seu triângulo e, conseqüentemente, sua área triangular. A comparação percentual das áreas dos triângulos formados dá os índices de qualidade para todos os locais estudados. Para que isso ocorra, primeiramente é necessário definir um local que terá seus vértices (parâmetros físicos, químicos e microbiológicos) com valores de 100%. Os valores dos três (3) vértices para os demais locais são os valores médios dos indicadores que os representam, ex: vértice (parâmetros químicos = média (SB, V%,  $P_{res}$  e m), onde os valores para cada indicador são calculados através de uma regra de três, tendo os valores do



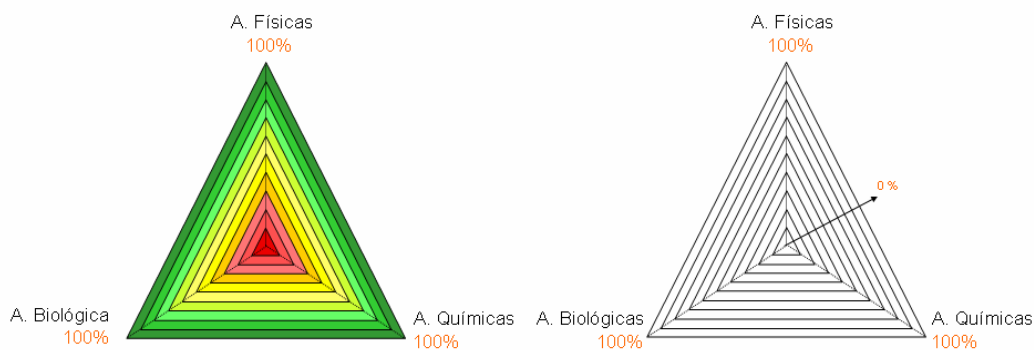
local de referência como 100%. Assim forma-se os vértices para todos os locais em estudo e a área dos triângulos formados, também através de uma regra de três, determina o índice de qualidade do solo para todos os locais de estudo (Figura 18).

Para realizar a comparação entre os solos das três fitofisionomias (RA, RB e RSV) de cada local estudado, foi necessário definir uma como padrão (ideal). A fitofisionomia utilizada como referência (padrão) normalmente utilizada nos trabalhos é aquela onde apresenta uma vegetação nativa, portanto mais preservada. Neste caso, por se tratar de uma avaliação entre fitofisionomias nativas adotou-se como referência (padrão) a fitofisionomia seguindo os seguintes critérios:

1º – Fitofisionomia mais exuberante e por mais tempo em processo de recuperação, uma vez que praticamente todas as áreas foram antropizadas: floresta alta de restinga;

2º – Maior valor de saturação por bases (V%), por ser um valor índice de fertilidade do solo, englobando diversos parâmetros.

Desta forma, a floresta alta de restinga foi adotada como área de referência (100%) para os cálculos comparativos dos indicadores dentro das classes dos parâmetros químicos, físicos e biológicos. Calcularam-se, assim, os vértices dos três parâmetros e posteriormente mediram-se as áreas respectivas dos triângulos formados para cada local de estudo. Com os valores de áreas encontrados para cada local, assumiu-se que a maior área seria definida como 1 (100%), fazendo-se a correspondência dos demais dados, de maneira que todos ficassem em uma escala variando de 0 à 1.



**Figura 18.** Diagrama Comparativo para Qualidade do Solo, distribuídos em atributos físicos, químicos e biológicos (ARAÚJO et al., 2007).

Os indicadores utilizados para os parâmetros químicos foram: matéria orgânica, teor de fósforo, soma de bases, saturação por bases e saturação por alumínio; para os parâmetros físicos: densidade do solo e porcentagem de areia; e para os parâmetros biológicos: densidade populacional de actinomicetos, bactérias e fungos.

## 2.2 MODELO ADITIVO PONDERADO (MAP)

Este modelo, também parte do princípio que a inter-relação entre os componentes físicos, químicos e biológicos de um solo define sua qualidade. No entanto, sua estrutura e processos de desenvolvimento consideram que estes componentes resultam nas funções desempenhadas pelo solo, e estas por sua vez expressam o efeito ocasionado por seus atributos (indicadores). Assim, este modelo considera as partes (indicadores), ponderando e somando seus efeitos na direção das funções no solo, de modo a quantificar sua qualidade. Sua estrutura esta expressa no Quadro 7.

**Quadro 7.** Exemplo da estrutura ponderada das relações entre indicadores, funções e componentes no solo.

Qualidade do solo					
	Funções	Peso	Indicadores	Peso	
100%	Função A	40%	A	40%	100%
			B	35%	
			C	25%	
	Função B	30%	D	30%	100%
			E	30%	
			F	40%	
	Função C	30%	G	60%	100%
			H	40%	

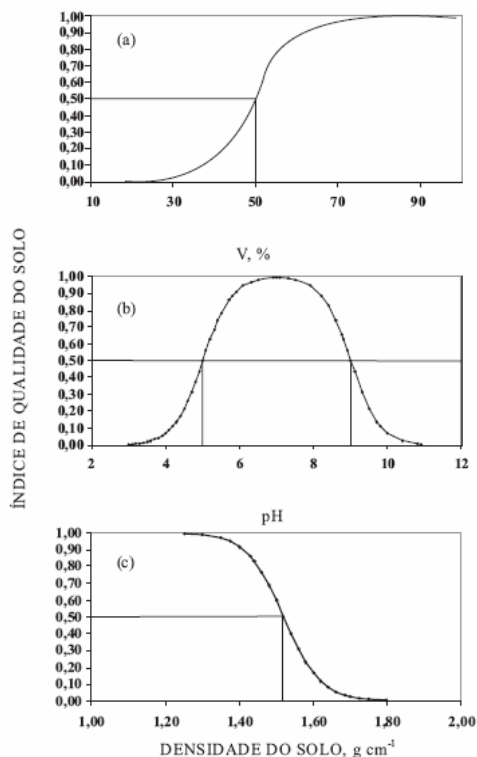
Este, diferentemente do modelo comparativo, calcula um índice de qualidade do solo tendo por referência a utilização de limites críticos para os seus indicadores, em relação aos valores medidos no local. Os pesos atribuídos devem ser padronizados. Para tanto se utiliza a equação (WYMORE, 1993):

$$v = \frac{I}{1 + ((B - L) / (x - L))^{2S(B+x-2L)}}$$

Onde “v” é a pontuação padronizada; “B” é o valor crítico ou limite-base dos parâmetros, cujo score padronizado é 0,5, e que estabelece o limite entre a ruim e a boa qualidade do solo; “L” é o valor inicial ou mais baixo que uma propriedade do solo possa expressar, podendo ser 0; “S” é a inclinação da tangente à curva no ponto correspondente ao valor crítico do indicador; e “x” é o valor da propriedade ou indicador medido no campo.

Para isso primeiramente deve-se relacionar o indicador escolhido com uma curva de padronização. Estas curvas no modelo podem ser de três tipos: “mais é melhor”, “menos é melhor” e “valor máximo”, representadas na Figura 19. A partir desta referência, criada entre o

indicador/parâmetro e a curva, calcula-se a tangente da inclinação. O cálculo da tangente da inclinação é realizado com base no processo de normalização, conforme descrito por Bahill e Szidarovszky (2007), onde é calculado o coeficiente de inclinação com base no valor ideal para o indicador (x), como também para o índice (v), respectivamente  $\Delta x$  e  $\Delta v$ , sendo a tangente =  $\Delta v / \Delta x$ . Por serem valores de grandezas diferentes, utiliza-se o logaritmo destes valores para ajustar suas grandezas, ficando: tangente da inclinação =  $\log \Delta v / \log \Delta x$ . A partir do cálculo da tangente da inclinação calculam-se os valores de pontuação padronizada (v).



**Figura 19.** Funções de pontuação padronizada: (a) “mais é melhor”, (b) “valor máximo”, e (c) “menos é melhor”. Fonte: Karlen e Stott (1994).

Os valores dos limites críticos utilizados no cálculo deste modelo foram obtidos com base na literatura disponível (Quadro 8), no caso dos indicadores químicos os valores foram obtidos do Boletim 100 (RAIJ, 1997). Chaer (2001) utilizou para determinar os limites críticos dos indicadores microbiológicos a maior média dos valores encontrados em seus tratamentos, sendo um local com vegetação natural e seis tipos de tratamentos para povoamento de Eucalipto. Em decorrência de não existirem limites críticos disponíveis para os indicadores biológicos que foram utilizados, estes foram determinados considerando-se o valor médio ponderado, em vista de todos os locais estudados serem com vegetação natural, a partir dos valores das 5 repetições feitas em cada fisionomia (alta/baixa) em todos os locais, totalizando a quantia de 40 dados para determinar este valor médio ponderado.

**Quadro 8.** Indicadores utilizados no cálculo de IQS.

Tipos de Curva	Indicadores	Limite Crítico (LC)	Unidades	Inclinação	Referência (LC)
"Mais é melhor"	Teor Matéria Orgânica	25	g/dm <sup>3</sup>	0,1505	Raij et al., 1997.
"Menos é melhor"	Saturação por Alumínio	40	%	-0,1366	Raij et al., 1991.
"Mais é melhor"	Saturação por Bases	40	%	0,1366	Raij et al., 1991.
"Mais é melhor"	Soma de Bases	30	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0,1448	Raij et al., 1997.
"Mais é melhor"	Teor de Fósforo	6	mg/dm <sup>3</sup>	0,5064	Raij et al., 1997.
"Mais é melhor"	Tepr de Cácio	4	mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0,5805	Raij et al., 1997.
"Mais é melhor"	População Actinomicetos	8.88 x 10 <sup>5</sup>	UFC.g <sup>-1</sup>	0,4508	V.M.P.
"Mais é melhor"	População Bactéria	7 x 10 <sup>5</sup>	UFC.g <sup>-1</sup>	0,4830	V.M.P.
"Mais é melhor"	População Fungos	1.14 x 10 <sup>4</sup>	UFC.g <sup>-1</sup>	1,0607	V.M.P.

V.M.P.: Valor médio ponderado, calculado com base em todas as repetições obtidas nas quatro localidades e duas fitofisionomias.

Com base nos dados foi feito o cálculo dos Decis, dividindo a amplitude destes em dez faixas. Determinou-se o número de ocorrência de dados em cada faixa, sendo que estes valores tornaram-se o peso ponderado para cada faixa. Calculou-se posteriormente a média ponderada destes valores, onde o número de ocorrências em cada faixa multiplicado pelo valor superior de cada faixa e dividido pelo número total de dados resulta no valor médio ponderado, sendo este valor considerado como limite crítico.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 MODELO ADITIVO (MA)

Os valores calculados para os vértices dos parâmetros químicos, físicos e microbiológicos (Quadro 9) mostram a importância relativa de cada parâmetro nas áreas estudadas. Analisando as áreas individualmente e considerando a vegetação de floresta alta de restinga como área (vegetação) de referência para cada local, os valores obtidos de IQS foram transformados para a escala de 0 a 1, para facilitar a visualização dos dados, bem como unificar as escalas para todos os locais. Como os valores obtidos para os vértices (parâmetros químicos, físicos e microbiológicos) são resultantes de cálculos comparativos percentuais entre os indicadores de cada um, foi adotado a forma discursiva de análise dos termos "maior" ou "menor" e não a diferença percentual entre os resultados, em vista de já serem valores percentuais calculados, de maneira a evitar a sobreposição de cálculos percentuais, os quais poderiam acarretar em aumento e/ou diminuição das diferenças. Assim, os valores obtidos (Quadro 9) sendo valores percentuais na escala de 0 a 1, podem ter comparação direta, como, por exemplo, na Ilha Comprida a RSV obteve o valor 1 (100%), a RA obteve 0,7 (70%), tendo, portanto, a RSV uma qualidade de solo 30% maior que a RA. No caso de porcentagem sobre porcentagem seria 43% ( $1/0.7=1.428 \rightarrow 43\%$ ), distorcendo os dados.

Obteve-se na Ilha Comprida o maior índice para a floresta de restinga sem vegetação, sendo 30% superior à floresta alta e 40% superior à floresta baixa, tendo uma diferença de 10% entre RA e RB com superioridade para RA. Na Ilha Anchieta o maior valor encontrado foi na RB,

sendo 10% superior a RSV e 30% superior a RA, tendo uma diferença positiva de 20% da RSV com relação a RA (Quadro 9). A Ilha do Cardoso apresentou o mesmo padrão de relações entre RA/RB/RSV que foi apresentado na Ilha Comprida. Na Estação Ecológica de Juréia-Itatins os resultados obtidos foram semelhantes aos obtidos na Ilha Anchieta.

**Quadro 9.** Resultados obtidos para o modelo aditivo para os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos nos quatro locais de estudo, para RA, RB e RSV.

		Físicos	Químicos	Microb.	Área	IQS	IQS <sup>2</sup>
I. Comprida	RA	100	100	100	12990	1,0	0,7
	RB	101	104	84	12005	0,9	0,6
	RSV	93	154	122	19250	1,5	1,0
	Amplitude	8	54	38			
I. Anchieta	RA	100	100	100	12990	1,0	0,7
	RB	95	162	103	18126	1,4	1,0
	RSV	87	194	79	16921	1,3	0,9
	Amplitude	13	94	24			
I. Cardoso	RA	100	100	100	12990	1,0	0,7
	RB	79	60	138	10359	0,8	0,6
	RSV	82	86	210	18330	1,4	1,0
	Amplitude	21	40	110			
Juréia-Itatins	RA	100	100	100	12990	1,0	0,6
	RB	99	108	188	21481	1,7	1,0
	RSV	91	73	200	17079	1,3	0,8
	Amplitude	9	35	100			

RA; restinga alta. RB; restinga baixa. RSV; restinga sem vegetação. IQS: Índice de qualidade do solo. IQS<sup>2</sup>: IQS em escala de 0 a 1.

Desta forma, observam-se dois padrões de comportamento bem definidos pelos valores de IQS obtidos. O primeiro para Ilha Comprida e Ilha do Cardoso e o segundo para Ilha Anchieta e Estação Ecológica de Juréia-Itatins, sendo que em nenhum deles o maior índice pertence às florestas altas de restinga. Isto leva-nos a concluir que as fitofisionomias de restingas altas e baixas não estão relacionadas diretamente à qualidade do solo, cuja baixa capacidade de reter nutrientes é substituída pelo fornecimento contínuo pela própria vegetação, através da serrapilheira. Como mostrado no Quadro 10, embora existam diferenças de parâmetros relativos à fertilidade dos solos sob vegetação de restinga alta, baixa e sem vegetação (principalmente M.O., SB e V), o padrão de fertilidade é sempre muito baixo, do ponto de vista agrônomo, indicando-nos que a disponibilidade de nutrientes para a vegetação se dá por meio da decomposição da serrapilheira, uma vez que os níveis presentes no solo não seriam suficientes. Os níveis de fertilidade do solo da RSV funcionam como prova dessa afirmação, uma vez que o solo está atuando mais como suporte do que como reservatório de nutrientes. Provavelmente, a vegetação de floresta de restinga evoluiu adaptando-se principalmente às condições impostas pelo solo. A consequência dessa reflexão é a

afirmação de que o ecossistema de floresta de restinga é edáfico. Isto também deixa clara a diferença que devemos fazer quanto à interpretação da fertilidade do solo para ecossistemas naturais e agrícolas. No primeiro caso, o papel principal é desempenhado pela ciclagem, enquanto no segundo depende exclusivamente do manejo dado, uma vez que a vegetação, com a conseqüente produção, deve ser alcançada em um tempo pré-determinado, além de ser continuamente substituída. Nota-se, portanto, que a questão tempo, relacionado ao desenvolvimento da vegetação, é fundamental nessa separação de ambientes, natural e agrícola. A maior exigência nutricional está diretamente relacionada a maior velocidade de desenvolvimento da vegetação. Para tais considerações, de a restinga ser edáfica, deve-se lembrar que o ecossistema restinga do litoral paulista está submetido a um regime hídrico que não gera déficit hídrico no solo ao longo do ano (EMBRAPA, 2003), não representam limitação ao desenvolvimento vegetal.

**Quadro 10.** Valores dos indicadores e o índice calculado para o vértice dos parâmetros químicos nas quatro localidades, nas áreas de RA, RB e RSV, individualmente por local.

		M.O. g/dm <sup>3</sup>	%	Pres mg/dm <sup>3</sup>	%	SB mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	%	V %	%	m %	%	Valor
Comprida	RA	30	100	7	100	9	100	12	100	60	100	100
	RB	29	97	4	57	9	100	17	142	49	122	104
	RSV	15	50	3	43	10	111	35	292	22	273	154
Anchieta	RA	49	100	11	100	4	100	3	100	87	100	100
	RB	55	112	20	182	9	225	5	167	70	124	162
	RSV	23	47	7	64	8	200	15	500	54	161	194
Cardoso	RA	43	100	8	100	5	100	10	100	69	100	100
	RB	28	65	3	38	3	60	5	50	78	88	60
	RSV	18	42	1	13	4	80	17	170	55	125	86
Juréia-Itatins	RA	15	100	4	100	3	100	9	100	73	100	100
	RB	20	133	3	75	4	133	8	89	67	109	108
	RSV	8	53	1	25	3	100	9	100	83	88	73

RA; restinga alta. RB; restinga baixa. RSV; restinga sem vegetação. Valor; média das porcentagens dos indicadores.

Depreende-se também dessa reflexão, como exposto anteriormente, que as florestas de restingas são mantidas por um ciclo de nutrientes fechado. O ciclo de nutrientes fechado foi primeiramente proposto por Hardy (1936) e confirmado em algumas regiões da Amazônia por Jordan e Herrera (1981). Em ecossistemas florestais a ciclagem de nutrientes ocorre envolvendo o processo de transferência dos nutrientes acumulados na biomassa vegetal para o solo, principalmente pela queda de resíduos da parte aérea, formador da serrapilheira, onde após sua decomposição possibilita a liberação dos nutrientes para serem absorvidos pelas plantas e por outros organismos do sistema (TOLEDO e PEREIRA, 2004).

Na sequência dessas considerações, a resiliência muito baixa do ecossistema restinga também pode ser entendida quantitativamente: solos muito arenosos, com teores de argila inferiores a 5% e submetidos a precipitações que excedem a 2.200 mm/ano, sem déficit hídrico para a vegetação, são de fertilidade muito baixa. A RSV da Ilha Comprida, em Pedrinhas, por exemplo, não consegue recuperar-se naturalmente desde 1972, quando a vegetação foi eliminada, mesmo que o banco de sementes seja contíguo ao local. Ou seja, o solo não tem reservas nutricionais suficientes para promover o início do desenvolvimento vegetal, a não ser pela presença de incipiente cobertura vegetal de orelha-de-onça (*Tibouchina grandiflora*). Assim, a disponibilidade de nutrientes para a vegetação se dá por meio da decomposição da serrapilheira, em um ciclo de nutrientes fechado, uma vez que os níveis presentes no solo não seriam suficientes, mostrando que o solo atua como suporte para a vegetação e não como reservatório de nutrientes, e, como já dito anteriormente, confirmando a vegetação de restinga como edáfica.

**Quadro 11.** Valores dos indicadores e o índice calculado para o vértice dos parâmetros físicos nas quatro localidades, nas áreas de RA, RB e RSV, individualmente por local.

		Densidade kg/dm <sup>3</sup>	%	Areia %	%	Valor
Comprida	RA	1,03	100	97	100	100
	RB	1,00	103	96	99	101
	RSV	1,19	87	96	99	93
Anchieta	RA	0,90	100	96	100	100
	RB	1,00	90	96	100	95
	RSV	1,22	74	96	100	87
Cardoso	RA	0,74	100	91	100	100
	RB	1,27	58	91	100	79
	RSV	1,16	64	91	100	82
Juréia-Itatins	RA	1,04	100	91	100	100
	RB	1,12	93	95	104	99
	RSV	1,35	77	95	104	91

RA; restinga alta. RB; restinga baixa. RSV; restinga sem vegetação. Valor; média das porcentagens dos indicadores.

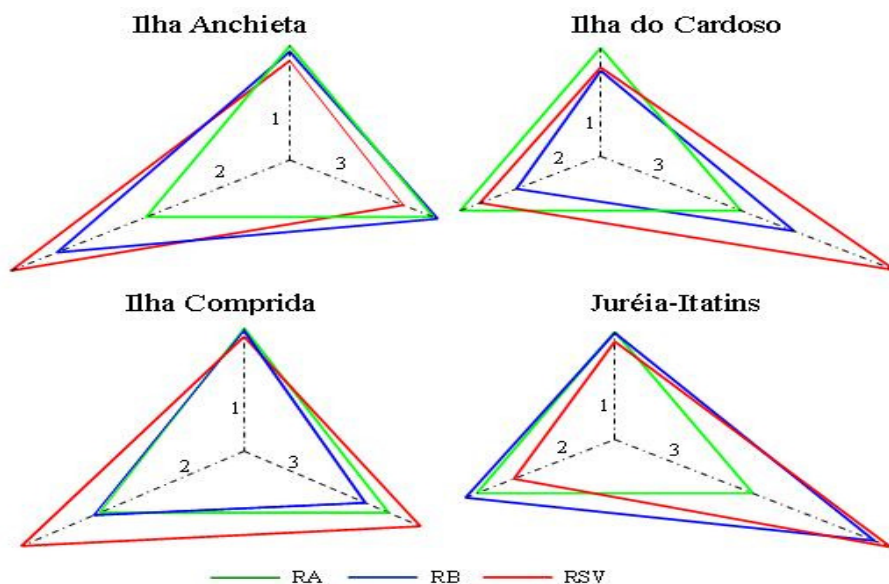
Considerando as amplitudes dos valores encontrados para os vértices dos parâmetros químicos, físicos e microbiológicos (Quadro 9), verificou-se que os físicos foram os que menos variaram em todos os locais (Figura 20), principalmente pelo fato de terem texturas muito semelhantes. Os parâmetros químicos foram os que mais variaram, como pode ser visto na Figura 20, principalmente para a Ilha Anchieta e a Ilha Comprida, em função da saturação por bases na RSV (Quadro 11), que foram de três a cinco vezes maior que o local de referência (RA). Os parâmetros microbiológicos tiveram as maiores amplitudes na Ilha do Cardoso e na Estação Ecológica de Juréia-Itatins (Figura 20). A população de fungos na RSV da Ilha do Cardoso foi,

praticamente, quatro vezes maior que na RA (Quadro 10), enquanto a população de bactérias na RSV da Estação Ecológica Juréia-Itatins foi praticamente três vezes maior que na RA (Quadro 12).

**Quadro 12.** Valores dos indicadores e o índice calculado para o vértice dos parâmetros microbiológicos nas quatro localidades, nas áreas de RA, RB e RSV, individualmente por local.

		Bactérias UFC. g <sup>-1</sup> (10 <sup>3</sup> )	%	Fungos UFC. g <sup>-1</sup>	%	Actinom. UFC. g <sup>-1</sup> (10 <sup>3</sup> )	%	Valor
Comprida	RA	538	100	5460	100	988	100	100
	RB	504	94	4920	90	670	68	84
	RSV	630	117	9920	182	660	67	122
Anchieta	RA	558	100	18680	100	438	100	100
	RB	330	59	18340	98	670	153	103
	RSV	290	52	22860	122	270	62	79
Cardoso	RA	450	100	5400	100	718	100	100
	RB	808	180	6480	120	824	115	138
	RSV	300	67	20720	384	1290	180	210
Juréia-Itatins	RA	646	100	4420	100	640	100	100
	RB	1136	176	8220	186	1292	202	188
	RSV	1634	253	7940	180	1070	167	200

RA; restinga alta. RB; restinga baixa. RSV; restinga sem vegetação. Valor; média das porcentagens dos indicadores.



RA; restinga alta. RB; restinga baixa. RSV; restinga sem vegetação; 1 Vértice parâmetro físico; 2 Vértice parâmetro químico; 3 Vértice parâmetro microbiológico.

**Figura 20.** Diagramas comparativos das qualidades dos solos, distribuídas em atributos físicos, químicos e microbiológicos, entre RA, RB e RSV, na camada de 0 a 10 cm, nas quatro localidades estudadas.

Para o cálculo do IQS foram considerados todos os locais e fitofisionomias simultaneamente, utilizando-se a floresta alta de restinga (RA) da ilha Comprida, que apresentou o maior valor de saturação por bases, como padrão.



Conforme os indicadores químicos (Quadro 16), o local que mostrou superioridade em seu valor índice foi a restinga sem vegetação (RSV) da Ilha Comprida, onde a saturação por bases mais elevada e o baixo valor de saturação por alumínio foram os determinantes deste valor (Quadro 13). Seguida pela restinga baixa (RB), onde os indicadores determinantes foram os teores de matéria orgânica (M.O.) e de fósforo (P). Os valores mais baixos foram para floresta baixa da Ilha do Cardoso e da Estação Ecológica de Juréia-Itatins, sendo a matéria orgânica e a soma de bases os principais responsáveis pelos índices. As demais áreas apresentaram valores intermediários, com uma amplitude de 110 pontos percentuais. Lembramos, como já descrito anteriormente, que embora existam diferenças de parâmetros relativos à fertilidade dos solos sob vegetação de restinga alta, baixa e sem vegetação (principalmente M.O., SB e V), o padrão de fertilidade é sempre muito baixo. Portanto, tais diferenças devem ser consideradas à luz da interpretação da fertilidade do solo, levando-se em conta amplas faixas para praticamente todos os parâmetros químicos.

**Quadro 13.** Valores dos indicadores e o índice calculado para o vértice dos parâmetros químicos nas quatro localidades, nas áreas de RA, RB e RSV, em conjunto.

		M.O. g/dm <sup>3</sup>	%	Pres mg/dm <sup>3</sup>	%	SB mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	%	V %	%	m %	%	Valor
I. Comprida	RA	30	100	7	100	9	100	12	100	60	100	100
	RB	29	97	4	57	9	100	17	142	49	122	104
	RSV	15	50	3	43	10	111	35	292	22	273	154
I. Anchieta	RA	49	163	11	157	4	44	3	25	87	69	92
	RB	55	183	20	286	9	100	5	42	70	86	139
	RSV	23	77	7	100	8	89	15	125	54	111	100
I. Cardoso	RA	43	143	8	114	5	56	10	83	69	87	97
	RB	28	93	3	43	3	33	5	42	78	77	58
	RSV	18	60	1	14	4	44	17	142	55	109	74
Juréia-Itatins	RA	15	50	4	57	3	33	9	75	73	82	60
	RB	20	67	3	43	4	44	8	67	67	90	62
	RSV	8	27	1	14	3	33	9	75	83	72	44

RA; restinga alta. RB; restinga baixa. RSV; restinga sem vegetação. Valor; média das porcentagens dos indicadores.

Com relação aos valores encontrados para o vértice do parâmetro físico (Quadro 16), o valor mais alto encontrado foi para floresta de restinga alta (RA) da Ilha do Cardoso, e o mais baixo para floresta de restinga baixa (RB) da Ilha do Cardoso e a área de restinga sem vegetação (RSV) da Estação Ecológica de Juréia-Itatins. Os resultados dos vértices dos parâmetros físicos, apesar de diferentes, apresentaram uma amplitude (40) praticamente três vezes menor com relação à amplitude dos resultados dos parâmetros químicos. Principalmente pelo fato de possuírem texturas muito semelhantes entre os locais (Quadro 14), e com densidade bem próximas e sempre inferiores aos níveis limites (1,5 kg/dm<sup>3</sup>).

**Quadro 14.** Valores dos indicadores e o índice calculado para o vértice dos parâmetros físicos nas quatro localidades, nas áreas de RA, RB e RSV, em conjunto.

		Densidade kg/dm <sup>3</sup>	%	Areia %	%	Valor
Comprida	RA	1.03	100	97	100	100
	RB	1.00	103	96	99	101
	RSV	1.19	87	96	99	93
Anchieta	RA	0.90	114	96	99	107
	RB	1.00	103	96	99	101
	RSV	1.22	85	96	99	92
Cardoso	RA	0.74	139	91	94	117
	RB	1.27	81	91	94	87
	RSV	1.16	89	91	94	91
Juréia-Itatins	RA	1.04	99	91	94	96
	RB	1.12	92	95	98	95
	RSV	1.35	76	95	98	87

RA; restinga alta. RB; restinga baixa. RSV; restinga sem vegetação. Valor; média das porcentagens dos indicadores.

Os valores calculados com base nos parâmetros microbiológicos (Quadro 16) resultaram em valores mais altos para as três áreas (RA, RB e RSV) da Ilha Anchieta, RSV da Ilha do Cardoso e nas áreas de RB e RSV da Estação Ecológica de Juréia-Itatins, influenciados pelos valores obtidos para população de fungos nestes locais (Quadro 15). Os valores mais baixos foram encontrados na floresta baixa da Ilha Comprida e nas florestas altas da Ilha do Cardoso e da Estação Ecológica de Juréia-Itatins, apresentando as demais áreas valores intermediários. A amplitude dos valores microbiológicos de 82 pontos percentuais foi inferior à amplitude dos parâmetros químicos, mas duas vezes superior aos parâmetros físicos.

**Quadro 15.** Valores dos indicadores e o índice calculado para os parâmetros microbiológicos nas quatro localidades, nas áreas de RA, RB e RSV, em conjunto.

		Bactérias UFC. g <sup>-1</sup> (10 <sup>3</sup> )	%	Fungos UFC. g <sup>-1</sup>	%	Actinom. UFC. g <sup>-1</sup> (10 <sup>3</sup> )	%	Valor
Comprida	RA	538	100	5460	100	988	100	100
	RB	504	94	4920	90	670	68	84
	RSV	630	117	9920	182	660	67	122
Anchieta	RA	558	104	18680	342	438	44	163
	RB	330	61	18340	336	670	68	155
	RSV	290	54	22860	419	270	27	167
Cardoso	RA	450	84	5400	99	718	73	85
	RB	808	150	6480	119	824	83	117
	RSV	300	56	20720	379	1290	131	189
Juréia-Itatins	RA	646	120	4420	81	640	65	89
	RB	1136	211	8220	151	1292	131	164
	RSV	1634	304	7940	145	1070	108	186

RA; restinga alta. RB; restinga baixa. RSV; restinga sem vegetação. Valor; média das porcentagens dos indicadores.

Com base nos valores calculados para os vértices, obtiveram-se figuras geométricas triangulares, suas respectivas áreas e índices de qualidade de solo (IQS) (Quadro 16). É importante lembrar que os valores obtidos para IQS são valores que numericamente pontuam as relações de

qualidade existentes entre os locais em estudo. Assim sendo, os valores quantificam a relação entre os locais, mostrando a posição percentual de um local com relação a outro. Da mesma forma que realizado com os valores obtidos no cálculo de IQS para os locais individualmente, os dados obtidos de IQS para os locais em conjunto foram também transformados para a escala de 0 a 1, gerando o IQS<sup>2</sup> (Quadro 16) com o mesmo intuito, o de facilitar a visualização dos resultados.

**Quadro 16.** Resultados obtidos para os vértices dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos nas quatro localidades, consideradas em conjunto, nas vegetações de RA, RB e RSV.

		Físicos	Químicos	Microb.	Área	IQS	IQS <sup>2</sup>
Comprida	RA	100	100	100	12990	1,0	0,6
	RB	101	104	84	12005	0,9	0,5
	RSV	93	154	122	19250	1,5	0,9
Anchieta	RA	107	92	163	18308	1,4	0,8
	RB	101	139	155	22187	1,7	1,0
	RSV	92	100	167	17868	1,4	0,8
Cardoso	RA	117	97	85	12791	1,0	0,6
	RB	87	58	117	9531	0,7	0,4
	RSV	91	74	189	16419	1,3	0,7
Juréia-Itatins	RA	96	60	89	8506	0,7	0,4
	RB	95	62	164	13700	1,1	0,6
	RSV	87	44	186	12208	0,9	0,6
Amplitude		40	110	82			

RA; restinga alta. RB; restinga baixa. RSV; restinga sem vegetação. IQS: Índice de qualidade do solo. IQS<sup>2</sup>; IQS em escala de 0 a 1.

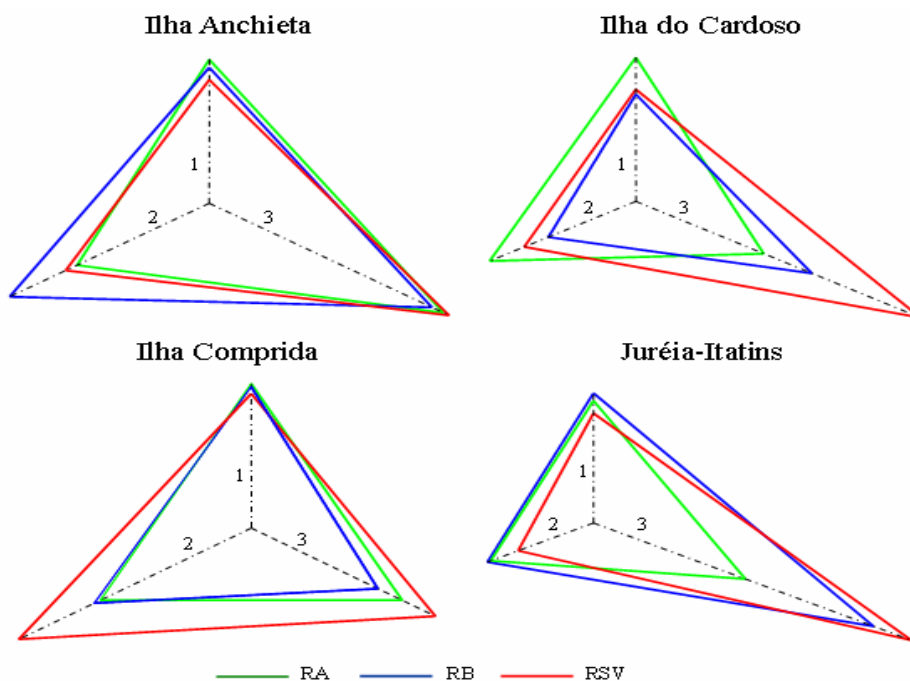
Desta forma, a floresta de restinga baixa da Ilha Anchieta apresentou o maior índice dentre todas as áreas, e, de acordo com o modelo, a melhor qualidade do solo. A floresta de restinga baixa da Ilha do Cardoso apresentou o menor índice de qualidade do solo.

Nota-se também, com relação ao índice de qualidade, que as florestas baixas de restinga apresentaram valores superiores às florestas altas de restinga para as localidades de Ilha Anchieta e Estação Ecológica de Juréia-Itatins. Apresentando relação inversa, valores de RA foram superiores a RB na Ilha do Cardoso e na Ilha Comprida. A RSV apresentou índices ora maiores, ora menores, comparados com as RA e RB, em todas as localidades. Desta forma, a exuberância da vegetação sob estes solos não é explicada pela qualidade destes, que caracterizam a restinga como uma vegetação edáfica.

Pode-se, portanto, inferir que o fator decisivo na diferenciação entre os locais não é o solo, e sim o tempo que a vegetação teve para se desenvolver, tendo em vista que os maiores índices foram encontrados na Ilha Anchieta, com aproximadamente 70 anos de regeneração (SATO, 2007), maior período dentre os locais estudados. Cabe aqui ressaltar a diferenciação que ocorre de local para local estudado, uma vez que as ações antrópicas ocorrem em diferentes intensidades.

Desta forma, os valores de IQS encontrados explicam quantitativamente a afirmação da floresta de restinga ser edáfica. A exuberância da vegetação não se explica pelas condições naturais de fertilidade do solo, mas pelas adaptações evolutivas da vegetação frente às limitações impostas pelo solo.

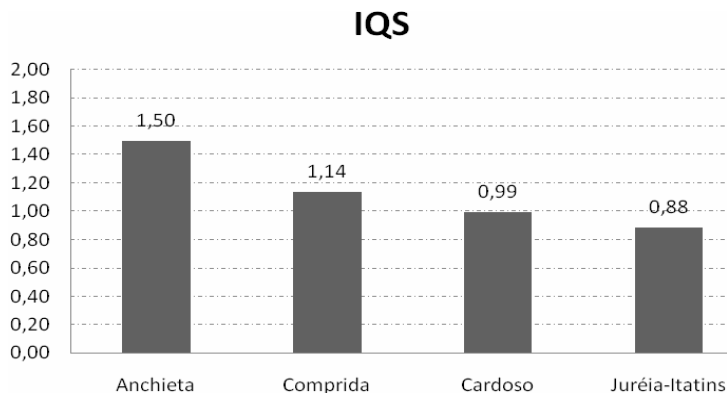
Considerando-se os vértices (parâmetros químicos, físicos e microbiológicos) dos triângulos formados, os parâmetros microbiológicos (Figura 21) foram os que mais influenciaram (variaram) nas áreas dos triângulos, base de cálculo do índice, portanto no valor do índice de qualidade do solo, excetuando-se a Ilha Anchieta, onde esta influência foi marcada pelos parâmetros químicos. Somente na Ilha do Cardoso houve influência (variação) dos três parâmetros. Onde os parâmetros químicos e físicos influenciaram negativamente os locais de RB e RSV com relação ao RA, e os parâmetros microbiológicos tiveram influência positiva principalmente para RSV.



RA; restinga alta. RB; restinga baixa. RSV; restinga sem vegetação; 1 Vértice parâmetro físico; 2 Vértice parâmetro químico; 3 Vértice parâmetro microbiológico.

**Figura 21.** Estruturas comparativas entre Restinga alta, baixa e sem vegetação para cada localidade.

Desta forma, o modelo aditivo calcula, a partir dos dados obtidos para os indicadores, valores para os parâmetros químicos, físicos e microbiológicos e a interação entre eles, representada pela área do triângulo, da qual resulta o índice de qualidade do solo.



**Figura 22.** Valores médios obtidos das áreas de RA, RB e RSV para IQS nas localidades estudadas.

Analisando-se os valores médios calculados a partir dos resultados de IQS para RA, RB e RSV nas quatro localidades (Figura 22), observou-se que os solos sob florestas de restinga na Ilha Anchieta apresentaram o maior valor (1,5) médio de IQS, seguido pela Ilha Comprida (1,14), Ilha do Cardoso (0,99) e a Estação Ecológica de Juréia-Itatins (0,88), que apresentaram valores inferiores e semelhantes entre si, com variação de 10 a 20%. Assim, pode-se admitir que a Ilha Anchieta, dentre as áreas estudadas, possui o melhor IQS. É a área que possui o maior período de recuperação, hoje cerca de 75 anos, enquanto que as demais apresentam períodos menores, de 30 a 50 anos (SATO, 2007). Desta forma, a diferenciação entre Ilha Anchieta e as demais localidades deve ser dada pelas idades das vegetações. Araújo e Lacerda (1987), corroboram as observações feitas quando citam que a vegetação de restinga é determinada pelas características dos substratos, que, por sua vez, são determinados pelos processos deposicionais e pelas idades.

Analisando-se os resultados obtidos de IQS para os locais de forma individual e conjuntamente, tendo como referência a RA de cada local e a RA da Ilha Comprida, respectivamente, pode-se inferir, devido à alta correlação entre os valores de IQS encontrados (individualmente x conjunto), que a análise da qualidade do solo pode ser realizada em um local isolado ou em conjunto de vários locais, pois apesar de serem obtidos valores diferentes nas duas formas de análise, os valores mantêm as mesmas relações numéricas entre os locais estudados (Quadro 17).

O valor encontrado de correlação para os dados referentes à Ilha Anchieta foram os mais baixos (61%), mas mesmo assim podendo ser considerada como uma alta correlação (Quadro 17). A diminuição do valor de correlação, apesar de ainda alta, para Ilha Anchieta é em decorrência da área de referência utilizada, diferentes nos dois cálculos, RA da Ilha Comprida e RA da Ilha Anchieta para análise dos locais em conjunto e individualmente, respectivamente.

**Quadro 17.** Valores de IQS obtidos para todos os locais em conjunto e para os locais individualmente.

		Todas	Todas <sup>(1)</sup>	Indiv.	Indiv. <sup>(1)</sup>	r
Comprida	RA	1,0	0,6	1,0	0,7	1,00
	RB	0,9	0,5	0,9	0,6	
	RSV	1,5	0,9	1,5	1,0	
Anchieta	RA	1,4	0,8	1,0	0,7	0,61
	RB	1,7	1,0	1,4	1,0	
	RSV	1,4	0,8	1,3	0,9	
Cardoso	RA	1,0	0,6	1,0	0,7	0,99
	RB	0,7	0,4	0,8	0,6	
	RSV	1,3	0,7	1,4	1,0	
Juréia-Itatins	RA	0,7	0,4	1,0	0,6	0,97
	RB	1,1	0,6	1,7	1,0	
	RSV	0,9	0,6	1,3	0,8	

RA; restinga alta. RB; restinga baixa. RSV; restinga sem vegetação. Todas; valores de IQS para locais em conjunto. Indiv.; valores de IQS para locais individualmente. Todas<sup>(1)</sup>; valores de Todas na escala de 0-1. Indiv.<sup>(1)</sup>; valores de Indiv. na escala 0-1. r; valor de correlação entre dados de Todas e Individuais.

Quando se analisou os locais individualmente teve-se como fitofisionomia de referência a RA de cada local. Desta forma, na Ilha Anchieta o valor de saturação por bases da RSV foi cinco vezes maior que o valor do local de referência (RA, Ilha Anchieta), e o valor de saturação por alumínio foi três vezes mais baixo (Quadro 10), promovendo uma diferenciação percentual mais elevada do índice entre RA e RSV, com relação à análise conjunta de todas as áreas, que não apresentou grande diferença devido ao local de referencia (RA, Ilha Comprida).

### 3.2 MODELO ADITIVO PONDERADO (MAP)

Os solos das três fitofisionomias, dos quatro locais estudados (Quadro 18), apresentaram valores de soma de bases muito baixos, conseqüentemente saturação por bases muito baixas (inferiores a 15%). Valores observados por Gomes et al. (2007a) para a Ilha do Cardoso, e Sato (2007) em seis locais ao longo do litoral paulista (norte/sul) também indicaram solos de fertilidade muito baixas, com baixo potencial de fornecer nutrientes às plantas.

Os valores encontrados para saturação por alumínio em todas as áreas foram elevados, além do fato de valores baixos de saturação por bases indicarem que a CTC do solo está praticamente ocupada por alumínio. Os teores de cálcio observados nas áreas com vegetação (RA e RB) foram muito baixos, enquanto nas áreas sem vegetação (RSV) foram médios. Baixos teores de cálcio e elevados teores de alumínio podem resultar em retardamento, restrição ou insucesso no desenvolvimento do sistema radicular.

Quanto à disponibilidade de água do solo nas planícies costeiras do litoral paulista, os balanços hídricos divulgados pela Embrapa (2003) com base em dados históricos de 30 anos, cujas

fontes foram o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e o Departamento de água e esgoto (DAE), não indicam déficit hídrico, apesar de estes solos serem constituídos por teores de argila da ordem de 2%.

**Quadro 18.** Valores médios (0-10cm) observados para os indicadores químicos, físicos e microbiológicos em solos sob floresta de restinga alta, baixa e de solo de restinga sem vegetação nas quatro localidades de estudo.

	P res	M.O.	Ca	SB	V	m	Actinomicetos	Bactérias	Fungos	Densidade	Argila
	mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>	mmol/dm <sup>3</sup>	-----	%	-----	10 <sup>5</sup> UFC.g <sup>-1</sup>	10 <sup>5</sup> UFC.g <sup>-1</sup>	10 <sup>4</sup> UFC.g <sup>-1</sup>	kg/dm <sup>3</sup>	%
<b>Ilha Anchieta</b>											
RA	11	49	2	4	3	87	4,4	5,6	1,9	1,04	2
RB	20	55	2	9	5	70	6,7	3,3	1,8	1,12	2
RSV	7	23	6	8	15	54	2,7	3,9	22,8	1,35	2
<b>Ilha Cardoso</b>											
RA	8	43	1	5	10	69	7,2	4,5	0,5	0,74	2
RB	3	28	2	3	5	78	8,2	8,1	0,7	1,27	2
RSV	1	18	2	4	17	55	12,9	5,2	20,7	1,16	2
<b>Ilha Comprida</b>											
RA	7	30	4	9	12	60	9,9	5,4	0,6	1,03	2
RB	4	29	4	9	17	49	6,7	5,0	0,5	1,00	2
RSV	3	15	7	10	35	22	6,6	5,6	9,9	1,19	2
<b>Juréia-Itatins</b>											
RA	4	15	1	3	9	73	6,4	6,5	0,4	1,04	2
RB	3	20	1	4	8	67	12,9	11,4	0,8	1,12	2
RSV	1	8	1	3	9	83	10,7	11,4	7,9	1,35	2

RA; restinga alta. RB; restinga baixa. RSV; restinga sem vegetação.

Desta forma, as funções do solo que podem resultar em maiores limitações ao desenvolvimento das florestas de restinga são a sua capacidade de disponibilizar nutriente e de promover o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Os indicadores selecionados correlacionados à função do solo “promover o desenvolvimento radicular” foram: 1- saturação por alumínio (m), 2- teor de cálcio e 3- teor de fósforo. Para a função “disponibilizar nutrientes” foram: 1- matéria orgânica, 2- soma de bases (SB), 3- saturação por bases (V), 4- saturação por alumínio (m), 5- população microbiana (PM), importantes na decomposição da matéria orgânica e disponibilização de nutrientes. Este último indicador terá um sub-nível composto por população de actinomicetos, bactérias e fungos.

Com relação aos pesos das funções, foram atribuídos valores semelhantes, mas com superioridade para a disponibilização de nutrientes, que é a função mais abrangente. Desta forma ficaram determinados 60 e 40% para “disponibilizar nutrientes” (DN) e “promover o desenvolvimento radicular” (PDR), respectivamente (Quadro 19).

Os pesos dos indicadores relativos à função PDR (Ca, m e P) foram divididos de acordo com sua importância no ambiente, ficando 40% para “Ca” e 40% para “m”, pois representam grande limitação à função e 20% para “P”, que apresentou valores médios a elevados na profundidade de 0 a 10cm.

Os pesos dos indicadores relativos à função DN (M.O., SB, V%, m e PM), também seguiram o mesmo critério (influência), onde a população de microorganismos e saturação por alumínio receberam o peso de 10% (cada), sendo que para PM foi devido ao potencial de disponibilizar nutrientes nestes solos. Para os demais indicadores atribuiu-se 80% do valor da função, distribuídos com 30% para M.O., 25% para SB e 25% para V. A M.O. recebeu o peso maior por representar a retenção de nutrientes, em vista do teor de argila do solo ser de cerca de 2%, sendo o peso restante dividido igualmente entre V, valor índice de fertilidade, e SB, somatória dos cátions no complexo de troca.

**Quadro 19.** Estrutura do modelo com as funções, os indicadores, os pesos relativos e os limites críticos.

Função do Solo	A	Indicadores	B	Indicadores 2º	C	Peso	Limite Crítico	Unidades
Promover Des. Radicular	0,4	Ca	0,4			0,16	4	mmol/dm <sup>3</sup>
		m	0,4			0,16	40	%
		P <sub>res</sub>	0,2			0,08	6	mg/dm <sup>3</sup>
			1,0					
Disponibilizar Nutrientes	0,6	MO	0,3			0,18	25	g/dm <sup>3</sup>
		SB	0,25			0,15	30	mmol/dm <sup>3</sup>
		V	0,25			0,15	40	%
		m	0,1			0,06	40	%
		Pop. Micro.	0,1	Actinomiceto	0,33	0,02	8,88 x 10 <sup>5</sup>	UFC.g <sup>-1</sup>
				Bactéria	0,33	0,02	7 x 10 <sup>5</sup>	UFC.g <sup>-1</sup>
				Fungo	0,33	0,02	1,14 x 10 <sup>4</sup>	UFC.g <sup>-1</sup>
	1,0		1,0		1,0	1,0		

A: Peso das funções. B: Peso dos indicadores. C: Peso dos indicadores nível 2º. Peso: peso dos indicadores no modelo.

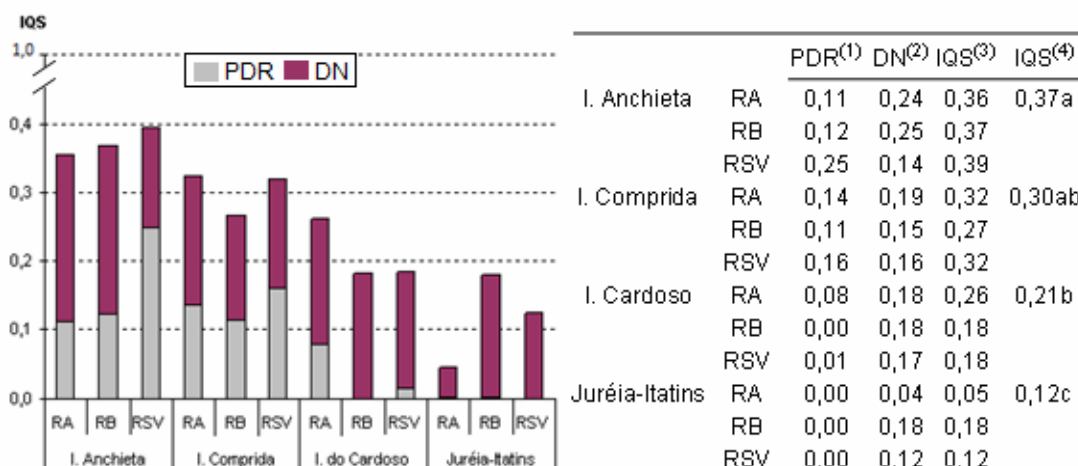
Definidas as funções e indicadores com seus respectivos pesos, e a partir de limites críticos (Quadro 8), construíram-se as curvas para cada indicador (Apêndice 2, Gráfico 1). Assim, a partir da equação de Wymore (1993) foram determinados os valores de IQS para as fitofisionomias dos locais estudados (Apêndice 2, Tabelas de 1 a 4).

No Figura 23 estão apresentados os valores de IQS e os valores para as funções que compõe o IQS, de maneira a facilitar a visualização da influencia de cada função selecionada para o valor de IQS em cada localidade e, desta forma, poder caracterizar a qualidade do solo destas regiões. Assim, pode-se inferir que as quatro localidades dividem-se em dois grupos. O primeiro composto pelas localidades de Ilha Anchieta e Ilha Comprida, e o segundo pela Ilha do Cardoso e Estação Ecológica de Juréia-Itatins.



No primeiro grupo (Ilha Anchieta e Ilha Comprida) ocorre um equilíbrio entre os valores obtidos para PDR e DN, dentro de cada área (RA, RB e RSV) em suas contribuições para o IQS final. No segundo (Ilha do Cardoso e Estação Ecológica de Juréia-Itatins) ocorre uma maior contribuição da função DN, onde a função PDR foi praticamente nula (0 e 0.01) para as fitofisionomias nestas duas localidades. Desta forma, para Ilha do Cardoso e Estação Ecológica Juréia-Itatins, a função PDR foi a que menos contribuiu, ou praticamente não contribuiu no valor do IQS, diferentemente dos resultados obtidos por Melo Filho et al. (2007), em um Latossolo Amarelo coeso argissólico (LAX) dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural, onde, dentre as funções utilizadas por ele, a função suprimento de nutrientes foi a mais limitante. Esses autores utilizaram resultados de análises na profundidade de 40 a 60 cm e limites críticos da camada de 0-20cm.

**Figura 23.** Resultados obtidos de IQS para as quatro localidades e nas três áreas (RA, RB e RSV).



RA: floresta de restinga alta. RB: floresta de restinga baixa. RSV: restinga sem vegetação. PDR: Promover desenvolvimento radicular. DN: Disponibilidade de nutrientes. IQS<sup>(3)</sup>: Valor de índice de qualidade do solo para cada localidade. IQS<sup>(4)</sup>: Valor médio de índice de qualidade do solo para cada localidade, letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Admitindo-se os valores de IQS encontrados para cada fitofisionomia, RA/RB/RSV (IQS<sup>3</sup>), como repetições de cada local, Ilha Anchieta/Ilha Comprida/Ilha do Cardoso/Juréia-Itatins, obteve-se valores de qualidade do solo (Figura 23) para as localidades (IQS<sup>4</sup>). A Ilha Anchieta e a Ilha Comprida mostraram-se superiores estatisticamente. A Estação Ecológica de Juréia-Itatins apresentou o menor índice, e Ilha do Cardoso e Ilha Comprida não diferiram significativamente. Contudo, mesmo tendo valores índices estatisticamente diferentes, todos os valores obtidos (Figura 23) estão em uma faixa muito baixa de qualidade (IQS<sup>4</sup> = 12 a 37%), mostrando o baixo potencial de produção destes solos, e conseqüentemente a baixa capacidade de promover a regeneração de uma vegetação sem auxílio externo. Mostrando aparente incoerência das exuberantes vegetações que o sobrepõe (RA e RB) com os baixos valores de IQS, onde a manutenção destas vegetações,

relativa à parte nutrição mineral, está sendo provida praticamente pela deposição de biomassa vegetal a partir da própria vegetação, uma vez que no solo não existe estoque suficiente para tanto, caracterizando um ciclo fechado de nutrientes.

Em vista dos valores de saturação por alumínio serem elevados para todos os locais e desta forma contribuir negativamente com os valores da função PDR, o diferencial entre os dois grupos foi em função dos valores obtidos para fósforo e cálcio, onde no segundo grupo (Ilha do Cardoso e Estação Ecológica Juréia-Itatins) estão em quantidades bem baixas, principalmente na última.

Embora os locais tenham vegetações bem diferenciadas, os valores obtidos para IQS (Figura 23) foram baixos para todas as áreas de estudo, sempre abaixo de 40% de qualidade. Pode-se inferir, portanto, que o fator decisivo para a diferenciação das fitofisionomias não foi decorrente do solo. O tempo que cada fitofisionomia teve para se desenvolver deve ser o principal responsável pelo estágio atual da vegetação, onde a Ilha Anchieta, com maior período de desenvolvimento, aproximadamente 70 anos (SATO, 2007), obteve o maior valor.

Tais valores de IQS, tanto para RA, RB e RSV dão uma explicação quantitativa quanto à afirmação da restinga ser edáfica. Ou seja, as condições de baixa fertilidade natural do solo sob restinga, indicam que ele exerce o controle sobre o desenvolvimento vegetal por propiciar as condições limitantes de disponibilidade de nutrientes para as plantas, já que a elevada precipitação e inexistência de déficit hídrico, mesmo em um solo tão arenoso, fazem com que a vegetação seja mais dependente da natureza do solo do que do clima. Ao longo do tempo, o papel decisivo para o crescimento da vegetação e para a evolução de RB para RA será exercido pela ciclagem de nutrientes, que evitará que os nutrientes atinjam o perfil do solo e sejam lixiviados, nas condições de cerca de apenas 2% de argila e precipitação anual superior a 2.000 mm.

Cabe ressaltar que as áreas sem vegetação localizam-se ao lado das áreas de floresta de restinga, sem que a vegetação consiga se instalar ao longo do tempo. Isto demonstra a baixa resiliência do ecossistema restinga, indicando a necessidade de alternativas de manejo para a revegetação, principalmente no período de implantação, na ausência da ciclagem de nutrientes. A ciclagem pode explicar o menor valor de IQS para DN ( $DN < PDR$ ) em relação a RA e RB (Figura 23). Na Estação Ecológica de Juréia-Itatins, provavelmente por uma antropização mais agressiva, a contribuição da função PDR foi praticamente nula para todas as áreas (RA, RB e RSV).

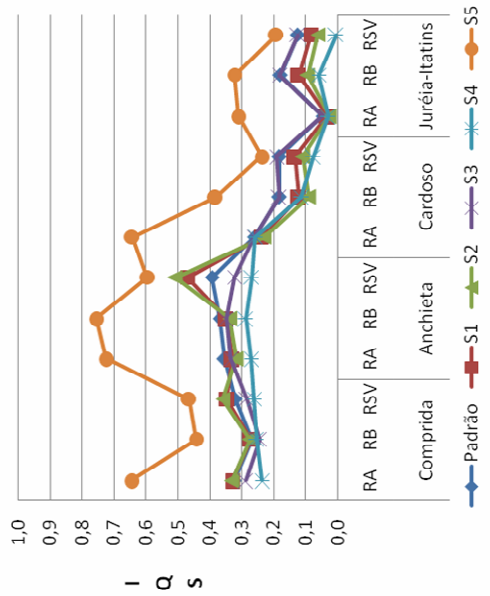
O manejo da fertilidade de solos degradados de restinga deve atender primariamente à elevação da capacidade de reter nutrientes, assim como a disponibilização permanente de nutrientes nos primeiros anos da implantação da vegetação. O aporte de matéria orgânica é fundamental para o sucesso das fases iniciais mais complexas, já que se trata de uma fonte importante de nitrogênio e de micronutrientes que imprime um regime mais lento e gradual de sua disponibilização. A cinética

mais lenta de liberação de nutrientes também pode ser conseguida pelo uso de rochas que se solubilizam mais vagarosamente, como fosfatos naturais, calcário, para fornecimento de cálcio e magnésio e correção da acidez do solo (pH, H+ Al, Al e saturação por Al), e alternativas de pó de rocha potássica. O uso de leguminosas sempre será uma alternativa adequada para o suprimento de nitrogênio e produção da matéria orgânica no início da revegetação.

Quanto à utilização do MAP faz-se necessário alguns questionamentos em relação à influência dos valores de IQS obtidos quando o modelo for empregado por diferentes técnicos. Certamente não se deve esperar grandes mudanças quanto às funções escolhidas, uma vez que é condição essencial o conhecimento do ambiente a ser avaliado para viabilizar a própria aplicação do modelo. Desta forma, seria mais pertinente supor a variação dos pesos determinados para as funções, ou a variação dos pesos dos indicadores dentro de cada função. Assim, foram realizadas cinco simulações, cujos resultados estão expressos na Figura 24. No primeiro caso, invertendo os pesos das funções, ou seja, 0.6 para PDR e 0.4 para DN em todas as áreas estudadas e nas três fitofisionomias, obteve-se, comparativamente ao modelo base (Quadro 19), valores de IQS praticamente iguais (diferença de 0 a 1%) para três índices, enquanto que para os outros demais índices a variação foi de apenas 2 a 6 %. No segundo caso, aumentando a diferença de pesos, 0.7 para PDR e 0.3 para DN, a variação dos índices se deu na faixa de 0 a 4%. Na terceira simulação, foram modificados os pesos dos indicadores da função PDR, teor de cálcio e saturação por alumínio, para 0.2 e 0.6, respectivamente. Neste caso, ocorreram diferenças na faixa de 0 a 15%, sendo três índices praticamente iguais (0 a 1%), um índice com variação de 15% e os demais na faixa de 2 a 6%. Em uma quarta simulação onde foram retirados os indicadores microbiológicos e seu valor percentual foi somado à saturação por alumínio, dentro da mesma função, obteve-se valores de IQS com variação praticamente nula (0 a 1%) para dois índices, um índice com variação de 20% e os demais com variação na faixa de 2 a 9%.

Com tais simulações é possível afirmar que a variação esperada para os valores de IQS determinados por diferentes operadores não deverá ser substancial. Embora se possa pensar em subjetividade em alguma extensão quanto à escolha das funções e de seus pesos, bem como nas escolhas dos indicadores e seus pesos, lembramos que o MAP leva em consideração os limites críticos dos indicadores, que são obtidos em literatura especializada ou por profissional especializado, sendo, portanto, iguais ou semelhantes aos valores empregados por diferentes usuários do modelo.

Padrão	S1	≠	S2	≠	S3	≠	S4	≠	S5	≠
<b>Ilha Comprida</b>										
RA	0,32	0,33	0,00	0,33	0,00	0,29	0,04	0,24	0,09	0,65
RB	0,27	0,27	-0,01	0,28	0,00	0,24	0,03	0,25	0,02	0,44
RSV	0,32	0,35	-0,03	0,36	-0,01	0,28	0,06	0,26	0,09	0,47
<b>Ilha Anchieta</b>										
RA	0,36	0,33	0,03	0,32	0,01	0,33	0,00	0,27	0,06	0,73
RB	0,37	0,35	0,02	0,34	0,01	0,35	0,00	0,29	0,06	0,76
RSV	0,39	0,47	-0,08	0,51	-0,04	0,32	0,15	0,27	0,20	0,60
<b>Ilha do Cardoso</b>										
RA	0,26	0,24	0,02	0,23	0,01	0,26	-0,02	0,26	-0,02	0,64
RB	0,18	0,12	0,06	0,09	0,03	0,18	-0,06	0,11	0,01	0,38
RSV	0,18	0,13	0,05	0,11	0,02	0,19	-0,06	0,08	0,06	0,24
<b>Juréia-Itatins</b>										
RA	0,05	0,03	0,01	0,03	0,01	0,05	-0,01	0,03	0,00	0,31
RB	0,18	0,12	0,06	0,09	0,03	0,18	-0,06	0,06	0,06	0,32
RSV	0,12	0,08	0,04	0,06	0,02	0,12	-0,04	0,01	0,08	0,19



Padrão: modelo do trabalho, função PDR=0,4 e função DN=0,6 (conforme Quadro 19). S1: simulação com PDR=0,6 e DN=0,4. S2: simulação com PDR=0,7 e DN=0,3. S3: Simulação com Ca=0,2 e m=0,6 na função PDR. S4: Simulação sem os indicadores microbiológicos (Quadro 19). S5: Simulação com nova estrutura (Apêndice 2, Quadro 1). ≠: diferença do índice da simulação com o índice padrão.

**Figura 24.** Resultados gráficos e numéricos das simulações do modelo aditivo ponderado, e diferenças em relação ao índice padrão.

Por outro lado, deve-se também enfatizar que os valores de IQS obtidos não serão sempre iguais (semelhantes), independentemente das funções e indicadores escolhidos e seus respectivos pesos. A utilização de funções e/ou indicadores não condizentes com a realidade do ambiente em estudo irá acarretar em valores de IQS errôneos, que não retratam a qualidade do mesmo. De maneira a exemplificar esse fato, foi realizada uma quinta simulação (Figura 24), onde se manteve as mesmas funções do modelo padrão deste trabalho, PDR e DN, com pesos iguais (Apêndice 2, Quadro 1). Foram utilizados como indicadores para a função PDR a densidade e a textura, ambas com 50% (0.5) do valor da função, e para a função DN foram utilizados como indicadores o teor de fósforo e capacidade de troca de cátions, também com pesos de 50% (0.5). Os valores obtidos, comparativamente aos valores de IQS do modelo padrão deste trabalho, tiveram uma variação de 10 a 41%. Também seus resultados ficaram distribuídos em uma faixa bem mais ampla, de 0.19 a 0.76, diferentemente da faixa das quatro primeiras simulações e do modelo padrão, que ficaram na mesma faixa, de 0.03 a 0.49 para os valores para IQS. A maioria dos resultados obtidos nesta simulação foram valores superiores a 50% (0.5), indicando uma boa qualidade no solo. No entanto, isto demonstra que a escolha de indicadores não condizentes com a realidade resulta, conforme dito anteriormente, em valores de IQS equivocados, pois solos altamente arenosos (2% de argila), muito pobres em nutrientes ( $V < 25\%$ ) e elevada saturação por alumínio ( $m > 60\%$ ) não devem atingir índices elevados de IQS.

Ainda no campo das simulações, foram retirados os indicadores microbiológicos (quarta simulação) mantendo-se apenas os indicadores químicos. Mesmo com esta diferença estrutural na modelagem, obtiveram-se resultados bastante semelhantes, com cerca de 10% de variação nos IQS. Como resultado das simulações realizadas, excetuando aquela onde se utilizou parâmetros não realísticos propositalmente, os IQS obtidos sempre foram semelhantes entre si. Isto leva à análise das características dos solos estudados refletidas no caráter edáfico da vegetação, isto é, a pobreza de nutrientes, imposta pela textura extremamente arenosa, em conjunto a elevada precipitação sem déficit hídrico anual, coloca o solo sob restrição no limite inferior quanto à capacidade de se recuperar e/ou de produzir fitomassa, definindo sua baixa resiliência. Estas condições, à medida que a oferta de nutrientes, que está embutida na ciclagem, é perdida pela ausência da vegetação, define que o suprimento de nutrientes externos irá condicionar a revegetação.

Desta maneira, em vista das características físicas dos solos serem bastante homogêneas, baixos teores de argila e, conseqüentemente, sem inferir limitações quanto à compactação, e contribuindo pouco para armazenagem de nutrientes, das características microbiológicas serem em função do clima, também homogêneo neste ambiente, e das características químicas do solo, principalmente, a definição do IQS será dada por uma análise química de rotina de solo (Quadro

20), uma vez que o fator limitante mais importante para o desenvolvimento da restinga é a sua fertilidade. Neste caso, a determinação do IQS, conforme recomendado, estaria servindo prontamente ao critério de ser de fácil acesso e utilização para todos.

**Quadro 20.** Estrutura do modelo aditivo ponderado com indicadores químicos de análise de rotina.

Função do Solo	A	Indicadores	B	Peso	Limite Crítico	Unidades
Promover Des. Radicular	0,4	Ca	0,40	0,16	4	mmol/dm <sup>3</sup>
		m	0,40	0,16	40	%
		P <sub>res</sub>	0,20	0,08	6	mg/dm <sup>3</sup>
			1,0			
Disponibilizar Nutrientes	0,6	MO	0,30	0,18	25	g/dm <sup>3</sup>
		SB	0,25	0,15	30	mmol/dm <sup>3</sup>
		V	0,25	0,15	40	%
		m	0,20	0,12	40	%
	1,0		1,0	1,0		

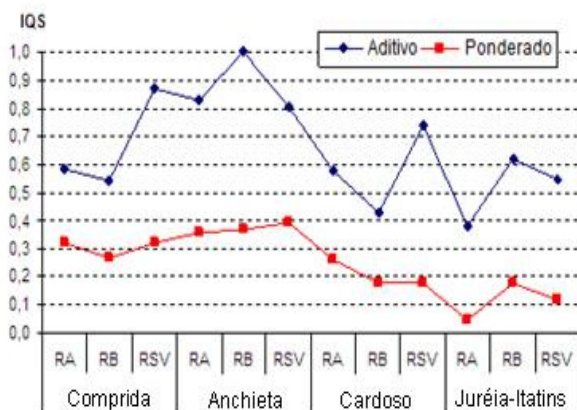
Onde “A” é o peso percentual da função: “B” é o peso percentual dos Indicadores: “Pesos” é o valor percentual do indicador no IQS.

### 3.3 COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS

Para facilitar a visualização, os valores de IQS obtidos pelo modelo aditivo (MA) foram transformados para uma escala de 0 a 1 (Figura 25), colocando-os em uma mesma ordem de grandeza. A correlação entre os valores de IQS obtidos pelo modelo MA e aditivo ponderado (MAP) foi de 76%.

Esta alta correlação entre os modelos demonstra, mesmo tendo como base de cálculo para o IQS princípios diferentes, e gerando valores com ordens de grandezas diferentes, que a relação entre os locais é mantida, sendo as respostas obtidas por ambos semelhantes.

No modelo aditivo, o IQS considera a contribuição interativa de todos os atributos do solo, fornecendo uma avaliação abrangente da qualidade do solo, mostrando-se útil para uma avaliação integrada da qualidade do solo e para estimar o efeito de tipos de manejos a que um solo é submetido. Segundo Araújo et al.(2007), o modelo aditivo auxilia na tarefa de discriminar a contribuição relativa de cada atributo no processo de modificação da qualidade do solo. Tendo em vista que o MA produz dados de forma comparativa a um local de referência em uma mesma época, ou de um mesmo local em épocas diferentes, ele quantifica as diferenças entre os locais, indicando quanto um é melhor que o outro percentualmente, ou se eles são semelhantes. Desta forma, para monitoramento de áreas em recuperação o MA é mais recomendável, em vista de sua praticidade, pois esta avaliação seria com relação à evolução da qualidade do solo (quantitativa) e conseqüentemente da vegetação que o sobrepõe. Assim, a comparação do mesmo local em épocas diferentes resultaria em um valor numérico da evolução do processo de regeneração.



Local	Veg.	MA	MA*	MAP
I. Comprida	RA	1,0	0,6	0,32
	RB	0,9	0,5	0,27
	RSV	1,5	0,9	0,32
I. Anchieta	RA	1,4	0,8	0,36
	RB	1,7	1,0	0,37
	RSV	1,4	0,8	0,39
I. Cardoso	RA	1,0	0,6	0,26
	RB	0,7	0,4	0,18
	RSV	1,3	0,7	0,18
Juréia-Itatins	RA	0,7	0,4	0,05
	RB	1,1	0,6	0,18
	RSV	0,9	0,6	0,12

MA: Modelo aditivo, MA\*: Valores do MA na escala de 0-1, MAP: Modelo aditivo ponderado, RA: Floresta alta, RB: floresta baixa e RSV: Floresta sem vegetação.

**Figura 25.** Valores de IQS obtidos pelos modelos MA e MAP nas quatro localidades estudadas, para todas as fitofisionomias.

O modelo aditivo ponderado por determinar o índice de qualidade do solo, tendo como base de cálculo os limites críticos dos indicadores, bem como a interação solo-planta na definição das principais funções influenciadoras do ambiente, expressa valores realísticos da qualidade, pois seus índices calculados representam o potencial do solo em produzir, sendo um valor não só quantitativo, mas também qualitativo. Dessa forma, é recomendável o uso do MAP para se monitorar e avaliar o desempenho do solo como influenciador, ou até mesmo como condicionante do crescimento da vegetação, pois gera informações sobre o potencial do solo com relação à produção de biomassa vegetal, importante para o desenvolvimento de práticas de manejo e de possibilidades de aprimorar a recuperação de áreas degradadas, bem como de áreas cultivadas. O MAP tem sido utilizado nesta última década em trabalhos de avaliação de práticas de manejo por vários autores (HUSSAIN et al, 1999; GLOVER et al, 2000; CHAER, 2001; SOUZA et al, 2003; MELO FILHO et al, 2007).

Assim, ambos contribuem para os processos de recuperação de áreas degradadas, desenvolvimento e avaliação de práticas de manejo, bem como seu monitoramento. Tendo em vista que ambos geram um índice quantitativo, estes podem avaliar a contribuição percentual de uma prática de manejo no processo de recuperação vegetal, tendo como referência um local sem esta prática. No entanto, só o modelo aditivo ponderado, por também ser um índice qualitativo, gera um índice realístico de qualidade com relação ao potencial do solo na produção de biomassa vegetal.

Contudo, para o ecossistema restinga, os valores encontrados pelo MAP, cujo resultado consiste em um valor numérico que representa o potencial do solo, mostraram que no gradiente de

sem vegetação (RSV), média regeneração (RB) e elevada regeneração (RA) foram semelhantes e que todos os locais e fitofisionomias estudadas estão em uma faixa de qualidade do solo muito baixa. Isso consolida, numericamente, conforme explicado anteriormente, a característica edáfica desta vegetação, pois depende mais da natureza do solo que do clima, cujos solos estão no limite inferior de potencial de produção, com quantidades muito baixas de nutrientes, com altos valores de saturação por alumínio e com acidez elevada, devido principalmente à sua textura altamente arenosa e por estar submetido a um regime hídrico de elevada precipitação e sem déficit hídrico, e, conseqüentemente, baixa resiliência.

Provavelmente, em decorrência destas características do solo desenvolveram-se mecanismos de adaptação como o ciclo de nutrientes fechado e de raízes sobre o solo, como uma manta, camada esta responsável pela gradual disponibilização de nutrientes oriundos da biomassa vegetal (serrapilheira), evitando perdas em decorrência do processo de lixiviação a que estes solos estão expostos. Assim, a qualidade destes solos não explica a exuberância das vegetações que o sobrepõe, como também não explicam o gradiente existente de RSV a RB e RA.

A explicação deste gradiente está no tempo de recuperação das fitofisionomias, conforme fica evidenciado na classificação do CONAMA (Nº417/2009): vegetação arbórea de restinga em estágio médio de regeneração e vegetação arbórea de restinga em estágio avançado de recuperação.

#### **4. CONCLUSÕES**

1 – Conforme o Modelo aditivo ponderado, os valores de IQS para os solos sob floresta de restinga são baixos e realísticos, demonstrando o pequeno potencial de produção de biomassa vegetal desses solos, bem como sua baixa resiliência.

2 – O modelo aditivo produz resultados quantitativos e o modelo aditivo ponderado resultados quantitativos e qualitativos sobre o solo.

3 – Os valores de IQS semelhantes para as áreas com e sem floresta de restinga dão a demonstração quantitativa de a restinga ser considerada edáfica.

4 – Para a determinação do IQS para solos sob vegetação de restinga o emprego de análise química de rotina foi adequado.

#### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Conforme demonstrado neste estudo, os solos sob floresta de restinga em estágio médio de regeneração (restinga baixa) e estágio elevado de regeneração (restinga alta) são de baixa fertilidade, com teores elevados de alumínio, baixa porcentagem de saturação por bases e altamente arenosos, sujeitos a constantes perdas nutricionais pela lixiviação, mediante as precipitações



constantes e sem déficit hídrico no decorrer do ano. Assim, esta vegetação provavelmente adquiri seu suprimento nutricional a partir da sua própria massa vegetal, em um ciclo de nutrientes fechado. Onde a manta de raízes sobre o solo faz com que a serrapilheira tenha uma decomposição mais lenta, resultando em uma lenta e gradual disponibilização de nutrientes para a vegetação.

Desta forma, de acordo com os resultados obtidos em conjunto com as observações dos próprios mecanismos desenvolvidos pela vegetação neste solo tão restritivo, onde o solo, em vista de, não possuir quantias satisfatórias, tanto nutricionais ( $\downarrow$  V%) como de armazenagem para nutrientes ( $\downarrow$  teor de argila), para a manutenção de uma vegetação tão exuberante, faz com que esta vegetação seja mais dependente (em função) das características do solo, do que do clima (vegetação edáfica), já que não existem limitações de temperatura, como também hídricas. Assim, esta vegetação provavelmente está sendo mantida por um ciclo de nutrientes fechado, onde a própria floresta via serrapilheira (ciclagem), promove o abastecimento nutricional, de maneira fracionada durante o ano.

As práticas de manejo para este ecossistema, desta forma, devem solucionar os dois principais entraves ao desenvolvimento da vegetação: aumentar a CTC e fornecer nutrientes, que devem estar associados a fontes de liberação lenta.

É importante lembrar, que estas práticas de manejo farão com que ocorra o desenvolvimento inicial da vegetação, contudo, não modificarão a textura do solo (extremamente arenoso – 2-4% de argila) e muito menos a intensa lixiviação em decorrência das elevadas precipitações existentes em conjunto com esta textura. Assim, a partir do momento em que este auxílio inicial (práticas de manejo) de recuperação desta vegetação sejam retirados, ou seja, no momento em que as plantas estejam estabelecidas, haverá um equilíbrio entre produção de massa vegetal e necessidade nutricional das próprias (ciclo fechado de nutrientes). O solo devido suas características, altamente arenoso, baixa capacidade de reter nutrientes e sujeitos a perdas constantes nutricionais (lixiviação), voltará a suas características originais de fertilidade, tornando-se um elemento altamente limitante e seletivo, onde, provavelmente qualquer planta, que venha a se estabelecer, e que não pertença a esse ecossistema, não estando adaptada a estas condições, desaparecerá. Isso fará com que o processo de recuperação, provavelmente seja um processo de regeneração.

### **Referências Bibliográficas**

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. 645-736pg. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 2007.

- AB´SABER, A. N., Brasil: Paisagens de Exceção o litoral e o pantanal mato-grossense patrimônios básicos- Ateliê Editorial, 2006 –Cotia –SP.
- ARAÚJO, D. S. D.; LACERDA, L. D. de. A natureza das restingas. *Ciência Hoje*, 6:42-48, 1987.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J. e LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1099-1108, 2007.
- AUNE, J. B.; LAL, R. The tropical soil productivity calculator – a model for assessing effects of soil management on productivity. In: Lal, R.; Stewart, B.A. (Eds.), *Soil Management – Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality*. Adv. Soil Sci., Lewis Publishers, London, UK, 1997, pp. 499-520.
- BAHILL, T; SZIDAROVSKY, J. Mathematical Summary of Multicriterion Decision-Making Methods. Department of Systems and Industrial Engineering University of Arizona, Tucson, AZ. 2000. Disponível em: <http://www.sie.arizona.edu/sysengr/slides/> . Acesso em 25/04/2011.
- BONILHA, R. M. ; CASAGRANDE, J. C. ; SOARES, M. R. ; REIS-DUARTE, R.M. ; ZUMKELLER, D. S. . Distribuição do Sistema Radicular em Floresta de Restinga do Parque Estadual da Ilha Anchieta. In: FertBio 2010, Guarapari-ES. Anais da FertBio 2010.
- BOUMA J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science* 9, 177-213, 1989.
- BRADY, N.C. e WEIL, R.R. The nature and properties of soils. 13.ed. New Jersey, Upper Saddle River, Prentice Hall, 2002. 960p.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (Boletim Técnico 106).
- CARRASCO, P.G. Produção de mudas de espécies florestais de restinga, com base em estudos florísticos e fitossociológicos, visando a recuperação de áreas degradadas em Ilha Comprida – SP. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências-UNESP campus de Rio Claro-SP, 2003.
- CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, B.C.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D. e WATSON, C.A., eds. *Sustainable management of soil organic*. Wallingford, CAB International, 2001. p. 9-22.
- CASAGRANDE, J. C.; REIS-DUARTE, R. M.; SILVA, O .A.; BARBOSA, L. M. Limitações da Fertilidade do Solo para Desenvolvimento da Mata de Restinga do Parque Estadual da Ilha Anchieta (SP). In: XIV CONGRESSO DA SOCIEDADE DE BOTÂNICA DE SÃO PAULO. 2002. Rio Claro – São Paulo. 2002 (a). Resumos... Cd-rom. EBR-31.
- CASAGRANDE , J. C.; REIS-DUARTE, R. M.; SILVA, O. A.; BARBOSA, L.M. Desenvolvimento da Floresta de Restinga do Parque Estadual da Ilha Anchieta (SP) Influenciado pelo Teor de Alumínio do Solo: Avaliação Preliminar. In: 53º Congresso Nacional de Botânica. 2002 (b). Recife, Pernambuco. 2002. Resumos... p. 405.
- CASAGRANDE, J. C. Considerações sobre Recuperação da fertilidade do solo para áreas degradadas. In: Anais do Seminário Temático sobre Recuperação de Áreas Degradadas. 2003. São Paulo, SP. 2003.p. 92-93.
- CASAGRANDE, J. C. ; SOARES, M. R. Interação Solo-Planta: a importância da recuperação de solos degradados para reflorestamento heterogêneo. In: II Simpósio de Atualização em Recuperação de Áreas Degradadas, 2008, Mogi-Guaçu. Anais do II Simpósio de Atualização em Recuperação de Áreas Degradadas. São Paulo : Instituto de Botânica, 2008. p. 126-131.
- CASAGRANDE, J. C. ; SOARES, M. R. . Técnicas para recuperação de solos visando o reflorestamento em áreas degradadas. In: III Simpósio sobre Recuperação de Áreas Degradadas, 2009, São Paulo. Anais do III Simpósio sobre Recuperação de Áreas Degradadas. São Paulo : Instituto de Botânica, 2009. p. 225-234.
- CASAGRANDE, J.C.; SOARES, M.R.; BONILHA, R.M.; REIS-DUARTE, R.M.; ZUMKELLER, D.S.; GALVÃO-BUENO, M.S. Manejo da Fertilidade do Solo para Implantação de Floresta de Restinga. In: XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Guarapari/ES, 2010. Anais FertBio, 2010.
- CHAER, G.M. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. 2001. 90f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- CERQUEIRA, R. Biogeografia das Restingas. In: ESTEVES, FRANCISCO DE ASSIS & LACERDA, LUIS DUDRE (eds.) *Ecologia de Restingas e Lagoas Costeiras*. Rio de Janeiro: Nupem/ UFRJ. pp. 65-75. 2000.
- CLARK, F.E. Agar-plate method for total microbial count. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARK, F.E.; DINAUER, R.C. (eds.). *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. New York: Madison, 1965, p. 1460-1466.
- CONAMA - RESOLUÇÃO No 417, DE 26 DE JUNHO 2009. <http://www.areaseg.com/conama/2009/413-2009.pdf> : acesso em 04/08/2011.
- DEMING, W. E. (1990) - *Qualidade: A Revolução da Administração*. Marques - Saraiva. Rio de Janeiro.
- DEXTER, A.R.; Soil physical quality Part I: Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*. v. 120, n. 3/4. p.201 -214, jun., 2004.
- DORAN, J. W. e PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BZEDICEK, D. F. e STEWART, B. A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America 1994. p.3-21. (Special Publication, 35)

- DORAN, J. W. e ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. *Appl. Soil Ecol.*, 15:3-11, 2000.
- DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de Métodos de Análise do Solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Banco de dados climáticos do Brasil, 2003. <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/> : acesso em 22/06/2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2ªEd., 2006. 399p. <http://www.scribd.com/doc/20796155/03-SiBCS-2006-2a-edicao>. Acessado em: 09/11/2010.
- GLIESSMAN, S. R. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000.
- GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P. e ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agric. Ecosys. Environ.*, 80:29-45, 2000.
- GOMES, F.H.; VIDAL-TORRADO, P.; MACÍAS, F.; GHERARDI, B; PEREZ, X.L.O. Solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso (SP). I – Caracterização e Classificação. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1581-1589, 2007a.
- GUEDES-SILVA, D.C. Florística, Estrutura e Informações sobre a Regeneração natural de fragmentos de florestas de restinga no Município de Bertioga – SP. 2003. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Biologia Vegetal, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro –SP, 2003.
- HARDY, F. Some aspects of cocoa soil fertility in Trinidad. *Tropical Agriculture*, London. v. 13, p. 315-317, 1936.
- HENDERSON, G. S. Soil organic matter: a link between forest management and productivity. In: McFee, W. W.; Kelly, J. M. (Eds.). *Proceedings of the 8th North American Forest Soils. Conference on Carbon Forms and Functions in Forest Soils.* Soil Science Society of America., Madison, WI, 1995, pp. 419-435.
- HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; WANDER, M.M. e KARLEN, D.L. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in Southern Illinois. *Soil Till. Res.*, 50:237-249, 1999.
- JORDAN, C. F.; HERRERA, R. Tropical rain forests: are nutrients really critical? *American Naturalist*, Chicago, v. 117, p. 167-180, 1981.
- KARLEN, D. L. e STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. e STEWART, B. A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment.* Madison, SSSA, 1994. p.53-72. (Special, 35)
- KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F. e SCHUMAN, G. E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:4-10, 1997.
- LACERDA, L. D. & ESTEVES, F. A.. Restingas brasileiras: Quinze anos de estudos. pp. III – VII. In: ESTEVES, F. A. & LACERDA, L. D. (eds.) *Ecologia de Restingas e Lagoas Costeiras.* Rio de Janeiro: Nupem/ UFRJ. 394p. 2000.
- LAINÉ, P.; OURRY, A.; SALETTE, J. Effect of a localized supply of nitrate on NO<sub>3</sub>- uptake rate and growth of roots in *Lolium multiflorum* (Lam). *Plant Soil*, 202:61-67, 1998.
- LAL, R. e PIERCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R. e PIERCE, F.J., eds. *Soil management for sustainability.* Ankeny, Soil Water Conservation Society, 1991. p.1-5.
- LAL, R. World Cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. *Advances in Agronomy*, v.71, p.145-191, 2001.
- LAMPARELLI, C.C. Mapeamento dos ecossistemas costeiros do Estado de São Paulo. São Paulo, CETESB, 1998. 108p.
- LARSON, W. E.; PEIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bzedicek, D. F.; Stewart, B. A. *Defining soil quality for a sustainable environment.* Madison, WI, Soil Science Society of America, 1994, p. 37-52, (Special Publication, 35).
- LOPES, A. S. Solos sob cerrado – Características, propriedades e manejo. Instituto da Potassa e Fosfato e Instituto Internacional da Potassa. Piracicaba, 1984, 162p.
- MACHADO, M.I.C.S.; BRAUNER, J.L.; VIANNA, A.C.T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul, *Rev. Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 17: 331-336, 1993.
- MAGALHÃES, N. W.; Descubra o Lagamar, 2ªed- Editora Terragraph, 2003 São Paulo-SP.
- MARTINS, S.C. Caracterização dos solos e serrapilheira ao longo do gradiente altitudinal da Mata Atlântica, estado de São Paulo. 2010. 155p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- MELO FILHO, J. F. de; SOUZA A. L. V.; SOUZA L. da S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natura. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1599-1608, 2007.
- MELO, J. W. V.; NOVAIS, R. F.; Relação Solo-planta. In: *Fertilidade do Solo.* Sociedade Brasileira de Ciência do solo, IV:133-204, 2007.
- MENGUEL, K.; KIRKBY, E. A. *Principle of plant nutrition.* 4 ed. Bern: International Potash Institut, 1987. 687 p.

- MIELNICZUK, J. A importância no estudo das raízes no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. Anais... Workshop sobre desenvolvimento do sistema radicular: Metodologias e Estudos de Casos. Embrapa, 1999, p 13-17.
- MOREIRA, F.M.S. e SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.
- NAMBIAR, E. K. S. Sustained productivity of forests as a continuing challenge to soil science. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 1997, 1629-1642.
- OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campo Grande: SBEA/UFPP, p. 1-35, 1997.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G.C. Evapotranspiração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- PHILLIPS, J.D. Development of texture contrast soils by combination of bioturbation and translocation. *Catena*, 70:92-104, 2007.
- PINTO, M. M. Fitossociologia e influência de fatores edáficos na estrutura da vegetação em áreas de mata atlântica na Ilha do Cardoso, Cananéia, SP. 1998. 112 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.
- PIRES, L.A. BRITTEZ, R.M. MARTEL, G. PEGANO, S.N. Produção, acúmulo e decomposição da serrapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. *Acta bot. bras.* 20(1): 173-184. 2006.
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo, Agronômica Ceres, Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo (BOLETIM 100). 2. ed. Ver. Atual. Instituto Agronômico/ Fundação IAC, 1997. 285p.
- REIS-DUARTE, R.M.; SILVA, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; BARBOSA, L. Fisionomias da floresta de restinga do Parque Estadual da Ilha Anchieta (SP) influenciadas pela fertilidade do solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 2002, Recife - PE Resumos ... 2002 (a) p.405.
- REIS-DUARTE, R. M.; CASAGRANDE, J. C.; SANTOS, D.; A.; SILVA, O. A.; BARBOSA, L. M. Fisionomias da Floresta de Restinga do Parque Estadual da Ilha Anchieta (SP), Brasil, Influenciadas por Fatores Edáficos. In: VIII CONGRESSO LATINOAMERICANO DE BOTÂNICA & II CONGRESSO COLOMBIANO DE BOTANICA. 2002. Cartagena de Índias, Colômbia. Resúmenes ... 2002 (b), p. 446.
- REIS-DUARTE, R.M.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, O. A.; BARBOSA, L.M.; SATO, C.A. Estágios Sucessionais da Vegetação da Floresta de Restinga da Praia das Palmas, Parque Estadual da Ilha Anchieta, Ubatuba, SP. In: 54º CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA – 3ª REUNIÃO AMAZÔNICA DE BOTÂNICA. 2003. Belém, Pará. Resumos ... 2003 (a) Cd-rom.
- REIS-DUARTE, R.M.; SILVA, O.A.; CASAGRANDE, J.C.; BARBOSA, L.M.; SATO, C.A. Ações Antrópicas e Naturais no Estabelecimento de uma Floresta Secundária na Restinga das Palmas, Parque Estadual da Ilha Anchieta, Ubatuba, SP. In: VI CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL. 2003. FORTALEZA - CE. Resumos... 2003 (b).
- REIS-DUARTE, R.M. Estrutura da floresta de restinga do Parque Estadual da Ilha Anchieta (SP): Bases para promover o enriquecimento com espécies arbóreas nativas em solos alterados. 2004. 230 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociência, Área de concentração: Biologia Vegetal. Rio Claro, 2004.
- REIS-DUARTE, R.M.; CASAGRANDE, J.C. A interação solo-vegetação na recuperação de áreas degradadas. In: Manual para recuperação de áreas degradadas do Estado de São Paulo. Instituto de Botânica de São Paulo, 2006, p.52-69.
- REUSS, J. O. Implications of the calcium-aluminum exchange system for the effect of acid precipitation on soils. *J. Environ. Qual.* 12, 1983, 591-595.
- RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F.J.; MONTENEGRO, A.A.A. Solos halomórficos no Brasil: ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável, 2003, p. 166-208.
- RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. Washington D.C. United States Salinity Laboratory. United States Department of Agriculture handbook, 1954. 160 p.
- RIZZINI, C.T. Tratado e Fitogeografia do Brasil: Aspectos Ecológicos, Sociológicos e Florísticos. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda. 1997. 747p.
- ROBINSON, D. Resource capture by localized root proliferation: why do plants bother? *Annals Botany*, 77:179-185, 1996.
- RODRIGUES, R.R. & CAMARGO, A. Recuperação de Áreas Degradadas em Restinga. In: WORKSHOP SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS DA SERRA DO MAR E FORMAÇÕES FLORESTAIS LITORÂNEAS, 2000, São Paulo (SP). Anais... p.89
- ROSSI, M. Fatores formadores da paisagem litorânea: A Bacia do Guaratuba, São Paulo-Brasil. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1999. 168p. (Tese de Doutorado).
- SAMPAIO, D.; SOUZA, V.C.; OLIVEIRA, A.A.; PAULA-SOUZA, J.; RODRIGUES, R.R. Árvores da Restinga. Editora Neotrópica LTDA. 2005. 227p.
- SANCHEZ, M.; PEDRONI, F.; LEITÃO FILHO, H.F.; CESAR, O. Composição florística de um trecho de floresta ripária na Mata Atlântica em Picinguaba, Ubatuba, SP. *R. Bras. Bot.*, 22:31-42, 1999.

- SANTANA, D. P. e BAHIA FILHO, A. C. Qualidade do solo: Uma visão holística. B. Inf. SBCS, 27:15-18, 2002.
- SATO, C. A. 2007. Caracterização da fertilidade do solo e da composição mineral de espécies arbóreas de restinga do litoral paulista. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – SP, Rio Claro, 2007.
- SCHAETZL, R. Lithologic discontinuities in some soils on drumlins theory, detection, and application. Soil Sci., 163:570-590, 1998.
- SCHOENHOLTZ, S.H.; MIEGROET, H. van; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. Forest Ecology and Management. V. 138, Issues 1-3, 2000, p. 335-356.
- SILVA, S. M., SOUZA, W. S., BRITZ, R. M. & GUIMARÃES, O. A. Levantamento Florístico da Ilha do Mel, Paranaguá, PR. II. Fanerógamas. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 40, 1993, Cuiabá (MT). Resumos... 1993. p.179.
- SILVA, L. G. da; MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.44, n.6, p.613-620, jun. 2009.
- SILVA, S.M. Diagnósticos das restingas do Brasil. In: WORKSHOP DE AVALIAÇÃO E AÇÕES PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE DA ZONA COSTEIRA E MARINHA, 1999, Porto Seguro. Anais eletrônicos. Porto Seguro, Fundação BIO RIO, 1999. [http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round7/round7/guias\\_r7/PERFURACAO\\_R7/refere/Restingas.pdf](http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round7/round7/guias_r7/PERFURACAO_R7/refere/Restingas.pdf). Acesso em:08/11/2010.
- SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A. Matéria Orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais, 2° Ed., Revisada e Atualizada, Porto Alegre, 26:495-520, 2008.
- SMYTH, A.J. e DUMANSKI, J. A framework for evaluating sustainable land management. Can. J. Soil Sci., 75:401-406, 1995.
- SOUZA, C.R. de G.; BENDAZOLI, A.; SUGIYAMA, M.; LOPES, E.A.; KIRIZAWA, M.A. Relação entre o meio físico e a biota no estudo da “restinga” do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 4., Curitiba, 1997. Anais. Curitiba, ABEQUA, 1997. P.367-372.
- SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D.; SOUZA, L. F. da S. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiros costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 29. 2003, Ribeirão Preto.
- STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. Soil and Plant Science. v.49, n.1, p. 1-24, feb. 1999.
- STEVENSON, F.J. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur and micronutrients. New York: John W. 1986. 380p.
- SUGIYAMA, M. 1993. Estudo de florestas na restinga da Ilha do Cardoso, Cananéia, SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, SP, 1993.
- SUGUIO, K. e MARTIN, L. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY, 1978, São Paulo. Anais... São Paulo, IGCB/IG-USP; SBG, 1978a. 55p. (Special Publication, 1)
- SUGUIO, K. Geologia Sedimentar. Editora Blucher, São Paulo. 400p, 2003.
- SUGUIO, K.; TESSLER, M. G. Planícies de Cordões Litorâneos Quaternários do Brasil: Origem e Nomenclatura. In: RESTINGAS: ORIGEM, ESTRUTURA, PROCESSOS, 1984, Niterói. Resumos... Niterói, 1984. p. 15-26.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATTER, J. R. The water balance. Centerton, New Jersey: Drexel Institute of Tecnology, 1955. 104p.
- TOLEDO, L.O.; PEREIRA, M.G. Dinâmica da deposição de serrapilheira: um estudo prolongado em florestas secundárias em área de mata Atlântica. Floresta e Ambiente, Seropédia, v. 11, p. 39-46, 2004.
- VAN VUUREN, M.M.I.; ROBINSON, D.; GRIFFITHS, B.S. Nutrient inflow and root proliferation during the exploitation of a temporally and spatially discrete source of nitrogen in soil. Plant Soil, 178:185-192, 1996.
- VEZZANI, F. M. ; MIELNICZUK, J. Uma Visão sobre qualidade do solo. In: R. Bras. Ci. Solo, 33:743-755, 2009.
- WAECHTER, J.L. Aspectos ecológicos da vegetação de restinga no Rio Grande do Sul, Brasil. Comunicações do Museu de Ciências da PUC-RS, série botânica 33:49-68, 1985.
- WANDER, M.M.; DRINKWATER, L.E. Fostering soil stewardship through soil quality assessment. Applied Soil Ecology. v. 15, n.1, p.61 - 73, aug. 2000.
- WILSON, M.J. The origins and formation of clay minerals in soils: Past, present and future perspectives. Clay Miner., 34:7-25, 1999.
- WYMORE, A. W. Model-based systems engineering: An introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design. Boca Raton, CRC Press, 1993, 710p.

## APÊNDICE 1

**Quadro 1.** Estrutura do Programa no Spring

Categoria	Modelo	Plano Informação	Atributo
CAT_Imagem	Imagem	3488_r	
	Imagem	3488_g	
	Imagem	3488_b	
	Imagem	3488_I	
	Imagem	3488_H	
	Imagem	3488_S	
CAT_Tematico	Temático	3488_Moldura	“Classes” Solos 0-10cm Solos 10-20cm Solos 20-30cm
Clas_raiz	Temático	3488	“Classes” Raiz
	Temático	Clas_raiz	Raiz 0_10 Raiz 10_20 Raiz 20_30

```

{
// =====
// DECLARAÇÕES
// =====
Imagem ima ("CAT_Imagem");
Tematico Raiz ("CAT_Tematico");
Tabela tab (Fatiamento);
// =====
// INSTANCIAMENTOS
// =====
// Recupere a variável do tipo Imagem.
ima = Recupere (Nome = "3488_I");
// OPERAÇÕES
// Crie a tabela com os valores acima definidos.
tab = Novo (CategoriaFim = "CAT_Tematico",
           [155,227] : "raiz",
           [228,254] : "raiz");
// Crie o PI Tematico de saída.
Raiz = Novo (Nome = "fatia_1", ResX=30, ResY=30, Escala=50000);
// =====
// =====
// Execute a operação de Fatiamento (Fatie)
//
Raiz = Fatie (Numerico(ima), tab);
}

```

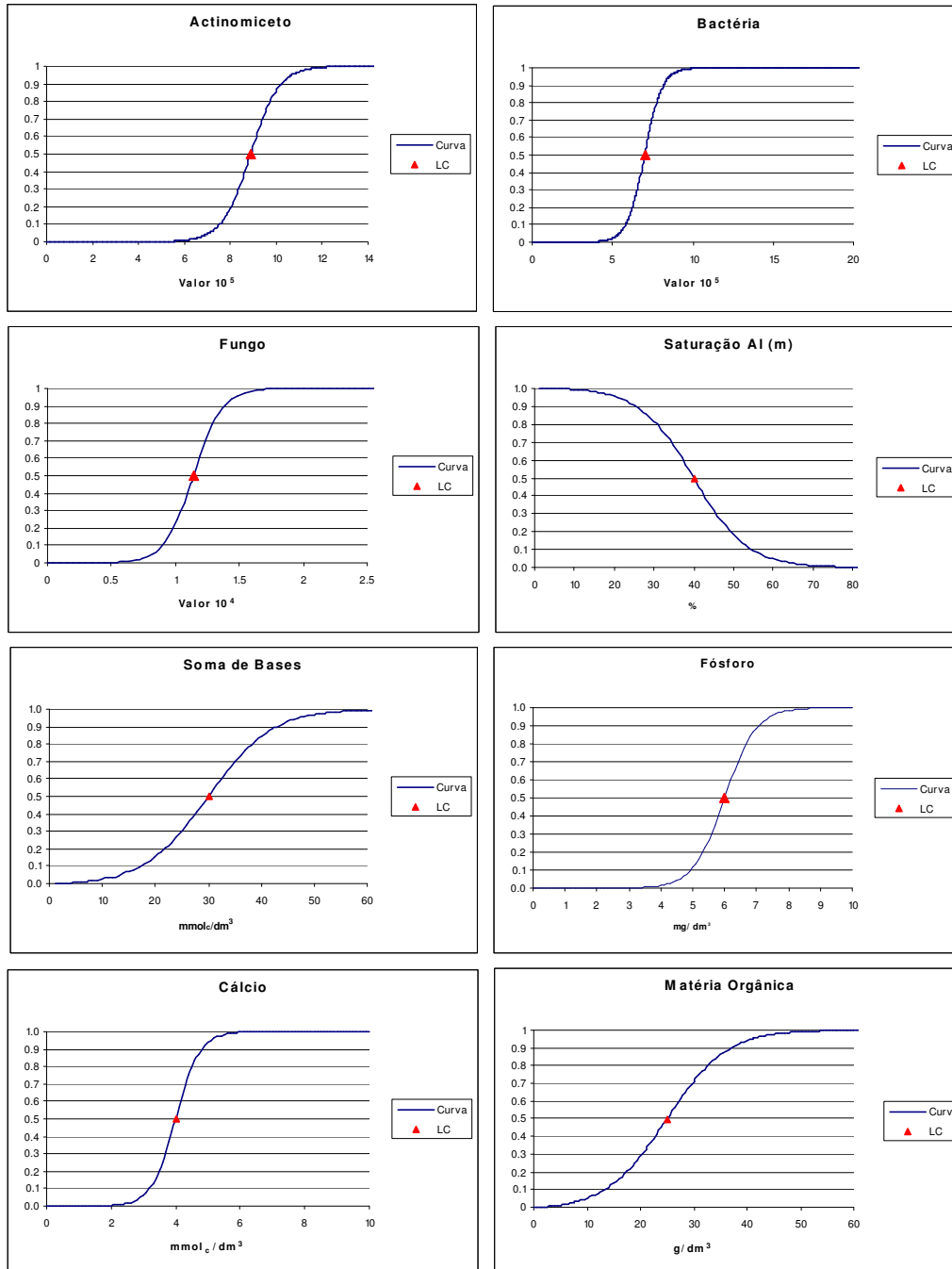
**Figura 1.** Programa: Classificação de Raízes

```
{
// Def variáveis e categorias
Tematico solo ("CAT_Tematico");
Tematico Raiz ("Clas_raiz");
Tematico soma ("Clas_raiz");
// Recuperação do dados
solo = Recupere (Nome = "3488_Moldura");
Raiz = Recupere (Nome = "3488");
// Criação de novo plano
soma = Novo(Nome = "Clas_raiz",ResX = 30, ResY = 30, Escala = 50000);
// Definição das relações e Operações
soma = Atribua (CategoriaFim = "Clas_raiz")
{
"Raiz 0_10" : (Raiz.Classe == "Raiz 0_10" ee solo.Classe == "raiz 0-10"),
"Raiz 10_20" : (Raiz.Classe == "Raiz 0_10" ee solo.Classe == "raiz 10-20"),
"Raiz 20_30" : (Raiz.Classe == "Raiz 0_10" ee solo.Classe == "raiz 20-30")
};
}
```

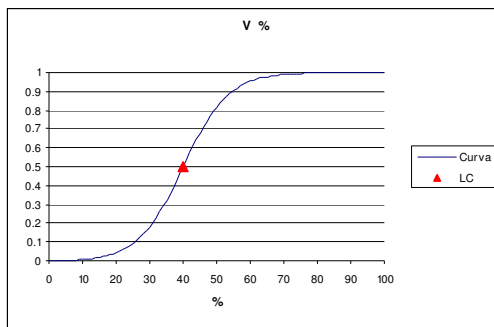
**Figura 2.** Programa: Relação Raiz/Profundidade

## APÊNDICE 2 – MODELO ADITIVO PONDERADO

**Gráfico 1.** Curvas montadas a partir da Equação de **Wymore** (1993) para os parâmetros utilizados no modelo.







**Tabela 1.** Cálculo do IQS para a Ilha Anchieta nas áreas de floresta de restinga alta, baixa e sem vegetação.

Floresta Restinga Alta; 0-10 cm										
A	Indicadores	B	Indicadores 2°	C	Lim. Crítico	Valor Obs.	Score	Valores do Índice		IQS
								Indicadores	Função	
Promover Des. Radicular	Ca	0,4			4	2	0,26	0,28	0,11	0,36
	m	0,4			40	87	0			
	P	0,2			6	11	0,88			
Disponibilizar Nutrientes	MO	0,30			25	49	0,99	0,41	0,24	
	SB	0,25			30	4	0			
	V	0,25			40	3	0			
	m	0,10			40	87	0,01			
	Pop. Micro	Actinomicetos	0,33	0,33	$8,88 \times 10^5$	$4,38 \times 10^5$	0,005			
		Bactérias	0,33	0,33	$7 \times 10^5$	$5,58 \times 10^5$	0,07			
		Fungos	0,33	0,33	$1,14 \times 10^4$	$1,86 \times 10^4$	1			
Floresta Restinga Baixa; 0-10 cm										
A	Indicadores	B	Indicadores 2°	C	Lim. Crítico	Valor Obs.	Score	Valores do Índice		IQS
								Indicadores	Função	
Promover Des. Radicular	Ca	0,40			4	2	0,26	0,31	0,12	0,37
	m	0,40			40	70	0,01			
	P	0,20			6	20	1			
Disponibilizar Nutrientes	MO	0,30			25	55	1	0,41	0,25	
	SB	0,25			30	9	0,02			
	V	0,25			40	5	0			
	m	0,10			40	70	0,01			
	Pop. Micro	Actinomicetos	0,33	0,33	$8,88 \times 10^5$	$6,7 \times 10^5$	0,03			
		Bactérias	0,33	0,33	$7 \times 10^5$	$3,3 \times 10^5$	0			
		Fungos	0,33	0,33	$1,14 \times 10^4$	$1,83 \times 10^4$	1			
Restinga sem Vegetação; 0-10 cm										
A	Indicadores	B	Indicadores 2°	C	Lim. Crítico	Valor Obs.	Score	Valores do Índice		IQS
								Indicadores	Função	
Promover Des. Radicular	Ca	0,40			4	6	1	0,62	0,25	0,39
	m	0,40			40	54	0,11			
	P	0,20			6	7	0,89			
Disponibilizar Nutrientes	MO	0,30			25	23	0,41	0,24	0,14	
	SB	0,25			30	8	0,01			
	V	0,25			40	15	0,02			
	m	0,10			40	54	0,11			
	Pop. Micro	Actinomicetos	0,33	0,33	$8,88 \times 10^5$	$2,7 \times 10^5$	0			
		Bactérias	0,33	0,33	$7 \times 10^5$	$2,9 \times 10^5$	0			
		Fungos	0,33	0,33	$1,14 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$	1			

Onde “A” é o peso percentual da função; “B” é o peso percentual dos Indicadores; “C” é o peso percentual dos Indicadores nível 2; “Score” é o valor lido na curva referente ao valor observado; “Valor Índice do Indicador” é o valor calculado para cada indicador; “Valor Índice da Função” é o valor calculado para cada função do solo e “IQS” é o índice de qualidade do solo calculado.

**Tabela 2.** Cálculo do IQS para a Ilha do Cardoso nas áreas de restinga alta, baixa e sem vegetação.

Floresta Restinga Alta; 0-10 cm											
	A	Indicadores	B	Indicadores 2'	C	Lim. Crítico	Valor Obs.	Score	Valores do Índice		IQS
									Indicadores	Função	
Promover Des. Radicular	0,4	Ca	0,40			4	1	0	0,20	0,08	0,26
		m	0,40			40	69	0,01			
		P	0,20			6	8	0,98			
Disponibilizar Nutrientes	0,6	MO	0,30			25	43	0,97	0,30	0,18	
		SB	0,25			30	5	0			
		V	0,25			40	10	0,01			
		m	0,10			40	69	0,01			
		Pop. Micro	0,10	Actinomicetos	0,33	8,88 x 10 <sup>5</sup>	7,18 x 10 <sup>5</sup>	0,06			
				Bactérias	0,33	7 x 10 <sup>5</sup>	4,5 x 10 <sup>5</sup>	0,01			
				Fungos	0,33	1,14 x 10 <sup>4</sup>	0,54 x 10 <sup>4</sup>	0			
Floresta Restinga Baixa; 0-10 cm											
	A	Indicadores	B	Indicadores 2'	C	Lim. Crítico	Valor Obs.	Score	Valores do Índice		IQS
									Indicadores	Função	
Promover Des. Radicular	0,4	Ca	0,40			4	2	0	0,00	0,00	0,18
		m	0,40			40	78	0			
		P	0,20			6	3	0			
Disponibilizar Nutrientes	0,6	MO	0,30			25	28	0,63	0,30	0,18	
		SB	0,25			30	3	0			
		V	0,25			40	5	0			
		m	0,10			40	78	0			
		Pop. Micro	0,10	Actinomicetos	0,33	8,88 x 10 <sup>5</sup>	8,24 x 10 <sup>5</sup>	0,26			
				Bactérias	0,33	7 x 10 <sup>5</sup>	8,08 x 10 <sup>5</sup>	0,88			
				Fungos	0,33	1,14 x 10 <sup>4</sup>	0,65 x 10 <sup>4</sup>	0,01			
Restinga sem vegetação; 0-10 cm											
	A	Indicadores	B	Indicadores 2'	C	Lim. Crítico	Valor Obs.	Score	Valores do Índice		IQS
									Indicadores	Função	
Promover Des. Radicular	0,4	Ca	0,40			4	2	0	0,04	0,01	0,18
		m	0,40			40	55	0,09			
		P	0,20			6	1	0			
Disponibilizar Nutrientes	0,6	MO	0,30			25	18	0,22	0,28	0,17	
		SB	0,25			30	4	0			
		V	0,25			40	17	0,03			
		m	0,10			40	55	0,09			
		Pop. Micro	0,10	Actinomicetos	0,33	8,88 x 10 <sup>5</sup>	12,9 x 10 <sup>5</sup>	1			
				Bactérias	0,33	7 x 10 <sup>5</sup>	3,0 x 10 <sup>5</sup>	0			
				Fungos	0,33	1,14 x 10 <sup>4</sup>	2,1 x 10 <sup>4</sup>	1			

Onde "A" é o peso percentual da função; "B" é o peso percentual dos Indicadores; "C" é o peso percentual dos Indicadores nível 2; "Score" é o valor lido na curva referente ao valor observado; "Valor Índice do Indicador" é o valor calculado para cada indicador; "Valor Índice da Função" é o valor calculado para cada função do solo e "IQS" é o índice de qualidade do solo calculado.

**Tabela 3.** Cálculo do IQS para a Ilha Comprida nas áreas de floresta de restinga alta, baixa e sem vegetação.

Floresta Restinga Alta; 0-10 cm											
A	Indicadores	B	Indicadores 2*	C	Lim. Crítico	Valor Obs.	Score	Valores do Índice		IQS	
								Indicadores	Função		
Promover Des. Radicular	Ca	0,40			4	4	0,5	0,34	0,14	0,32	
	m	0,40			40	60	0,05				
	P	0,20			6	7	0,59				
Disponibilizar Nutrientes	MO	0,30			25	30	0,71	0,31	0,19		
	SB	0,25			30	9	0,02				
	V	0,25			40	12	0,01				
	m	0,10			40	60	0,05				
	Pop. Micro	Actinomicetos	0,33	8,88 x 10 <sup>5</sup>	9,88 x 10 <sup>5</sup>	0,84					
		Bactérias	0,33	7 x 10 <sup>5</sup>	5,38 x 10 <sup>5</sup>	0,05					
		Fungos	0,33	1,14 x 10 <sup>4</sup>	0,54 x 10 <sup>4</sup>	0					
Floresta Restinga Baixa; 0-10 cm											
A	Indicadores	B	Indicadores 2*	C	Lim. Crítico	Valor Obs.	Score	Valores do Índice		IQS	
								Indicadores	Função		
Promover Des. Radicular	Ca	0,40			4	4	0,5	0,28	0,11	0,27	
	m	0,40			40	49	0,21				
	P	0,20			6	3	0				
Disponibilizar Nutrientes	MO	0,30			25	31	0,75	0,26	0,15		
	SB	0,25			30	9	0,02				
	V	0,25			40	17					
	m	0,10			40	49	0,21				
	Pop. Micro	Actinomicetos	0,33	8,88 x 10 <sup>5</sup>	6,7 x 10 <sup>5</sup>	0,03					
		Bactérias	0,33	7 x 10 <sup>5</sup>	5,04 x 10 <sup>5</sup>	0,02					
		Fungos	0,33	1,14 x 10 <sup>4</sup>	0,49 x 10 <sup>4</sup>	0					
Restinga sem vegetação; 0-10 cm											
A	Indicadores	B	Indicadores 2*	C	Lim. Crítico	Valor Obs.	Score	Valores do Índice		IQS	
								Indicadores	Função		
Promover Des. Radicular	Ca	0,40			4	4	0,5	0,40	0,16	0,32	
	m	0,40			40	60	0,05				
	P	0,20			6	7	0,89				
Disponibilizar Nutrientes	MO	0,30			25	30	0,71	0,27	0,16		
	SB	0,25			30	9	0,02				
	V	0,25			40	12	0,01				
	m	0,10			40	60	0,05				
	Pop. Micro	Actinomicetos	0,33	8,88 x 10 <sup>5</sup>	6,6 x 10 <sup>5</sup>	0,02					
		Bactérias	0,33	7 x 10 <sup>5</sup>	6,3 x 10 <sup>5</sup>	0,21					
		Fungos	0,33	1,14 x 10 <sup>4</sup>	0,99 x 10 <sup>4</sup>	0,21					

Onde "A" é o peso percentual da função; "B" é o peso percentual dos Indicadores; "C" é o peso percentual dos Indicadores nível 2; "Score" é o valor lido na curva referente ao valor observado; "Valor Índice do Indicador" é o valor calculado para cada indicador; "Valor Índice da Função" é o valor calculado para cada função do solo e "IQS" é o índice de qualidade do solo calculado.

**Tabela 4.** Cálculo do IQS para a Estação Ecológica Jurúia-Itatins nas áreas de floresta de restinga alta, baixa e sem vegetação.

Floresta Restinga Alta; 0-10 cm												
	A	Indicadores	B	Indicadores 2'	C	Lim. Crítico	Valor Obs.	Score	Valores do Índice		IQS	
									Indicadores	Função		
Promover Des. Radicular	0,4	Ca	0,40			4	1	0			0,05	
		m	0,40			40	73	0,01	0,01	0,00		
		P	0,20			6	4	0,02				
Disponibilizar Nutrientes	0,6	MO	0,30			25	15	0,14			0,04	
		SB	0,25			30	3	0				
		V	0,25			40	9	0				
		m	0,10			40	73	0,01	0,07			
		Pop. Micro	0,10	Actinomicetos		0,33	$8,88 \times 10^5$	$6,4 \times 10^5$	0,02			
				Bactérias		0,33	$7 \times 10^5$	$6,46 \times 10^5$	0,27			
				Fungos		0,33	$1,14 \times 10^4$	$0,44 \times 10^4$	0			
Floresta Restinga Baixa; 0-10 cm												
	A	Indicadores	B	Indicadores 2'	C	Lim. Crítico	Valor Obs.	Score	Valores do Índice		IQS	
									Indicadores	Função		
Promover Des. Radicular	0,4	Ca	0,40			4	1	0			0,18	
		m	0,40			40	67	0,02	0,01	0,00		
		P	0,20			6	3	0				
Disponibilizar Nutrientes	0,6	MO	0,30			25	20	0,29			0,18	
		SB	0,25			30	4	0				
		V	0,25			40	8	0				
		m	0,10			40	67	0,02	0,29			
		Pop. Micro	0,10	Actinomicetos		0,33	$8,88 \times 10^5$	$12,9 \times 10^5$	1			
				Bactérias		0,33	$7 \times 10^5$	$11,36 \times 10^5$	1			
				Fungos		0,33	$1,14 \times 10^4$	$0,82 \times 10^4$	0,05			
Restinga sem vegetação; 0-10 cm												
	A	Indicadores	B	Indicadores 2'	C	Lim. Crítico	Valor Obs.	Score	Valores do Índice		IQS	
									Indicadores	Função		
Promover Des. Radicular	0,4	Ca	0,40			4	1	0			0,12	
		m	0,40			40	83	0	0,00	0,00		
		P	0,20			6	1	0				
Disponibilizar Nutrientes	0,6	MO	0,30			25	8	0,03			0,12	
		SB	0,25			30	3	0				
		V	0,25			40	9	0				
		m	0,10			40	83	0	0,21			
		Pop. Micro	0,10	Actinomicetos		0,33	$8,88 \times 10^5$	$10,7 \times 10^5$	0,95			
				Bactérias		0,33	$7 \times 10^5$	$16,3 \times 10^5$	1			
				Fungos		0,33	$1,14 \times 10^4$	$0,79 \times 10^4$	0,04			

Onde "A" é o peso percentual da função; "B" é o peso percentual dos Indicadores; "C" é o peso percentual dos Indicadores nível 2; "Score" é o valor lido na curva referente ao valor observado; "Valor Índice do Indicador" é o valor calculado para cada indicador; "Valor Índice da Função" é o valor calculado para cada função do solo e "IQS" é o índice de qualidade do solo calculado.

**Quadro 1.** Estrutura de modelo utilizada na quinta simulação do MAP.

Função do Solo	A	Indicadores	B	Pesos	Limite Crítico	Unidades
Promover Des. Radicular	0,5	Densidade	0,5	0,25	1,5	$\text{g/dm}^3$
		Textura	0,5	0,25	15	% argila
			1,00			
Disponibilizar Nutrientes	0,5	P	0,50	0,25	6	$\text{mg/dm}^3$
		CTC	0,50	0,25	50	%
			1,00	1,00		