



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE
ECOSSISTEMAS
CURSO DE MESTRADO

CAPACIDADE PRODUTIVA E QUALIDADE DE SÍTIOS
CULTIVADOS COM EUCALIPTO EM ARGISSOLOS DE
TABULEIRO NO LITORAL NORTE DA BAHIA

MARCELO CARVALHO DE MIRANDA

CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
ABRIL – 2012

**CAPACIDADE PRODUTIVA E QUALIDADE DE SÍTIOS
CULTIVADOS COM EUCALIPTO EM ARGISSOLOS DE
TABULEIRO NO LITORAL NORTE DA BAHIA**

MARCELO CARVALHO DE MIRANDA

Engenheiro Florestal

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1980

Dissertação submetida ao Colegiado do Curso do Programa de Pós-graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas, área de concentração Manejo e Qualidade de Ecossistemas.

ORIENTADOR: PROF. DR. OLDAIR DEL'ARCO VINHAS COSTA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
MESTRADO EM SOLOS E QUALIDADE DE ECOSSISTEMAS
CRUZ DAS ALMAS – BAHIA – 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

M672

Miranda, Marcelo Carvalho de.

Capacidade produtiva e qualidade de sítios cultivados com eucalipto em argissolos de tabuleiro no Litoral Norte da Bahia / Marcelo Carvalho de Miranda._ Cruz das Alamas, BA, 2012.

121f.; il.

Orientador: Oldair Del'Arco Vinhas Costa.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1.Eucalipto. 2.Florestas. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
SOLOS E QUALIDADE DE ECOSISTEMAS

COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MARCELO CARVALHO DE MIRANDA

Oldair Del'Arco V. Costa

Prof. Dr. Oldair Del'Arco Vinhas Costa
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB
(ORIENTADOR)

Júlio César Lima Neves

Prof. Dr. Júlio César Lima Neves
Universidade Federal de Viçosa – UFV

Luciano da Silva Souza

Dr. Luciano Silva Souza – Embrapa/ CNPMF

Dissertação homologada pelo Colegiado de Curso de Mestrado em Solos e
Qualidade de Ecossistemas em, conferindo o Grau de
Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas em

.....

Dedicatória

Dedico esse trabalho a todos os brasileiros e profissionais que trabalham com os recursos naturais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela permissão divina de progredir-se pelo estudo;

Agradeço ao reitor e professor Paulo Gabriel Soledade Nacif pelo empenho em consolidar a UFRB e esse curso de mestrado;

Agradeço ao professor Jorge Antonio Gonzaga dos Santos, da UFRB, pela recepção;

Agradeço ao professor Oldair Del'Arco Vinhas da Costa, da UFRB, pela orientação;

Agradeço aos professores Luciano da Souza Silva e Thomas Vicent Gloaguen, ambos da UFRB, pelas ajudas e esclarecimentos;

Agradeço aos professores Anacleto Ranulfo dos Santos, Francisco de Souza Fadigas, Jacira Teixeira Castro, José Fernandes de Melo Filho e Sivanildo da Silva Borges, todos da UFRB, pelos ensinamentos;

Agradeço aos professores Joelito de Oliveira Rezende, da UFRB, e Júlio César Lima Neves, da UFV, pelos ensinamentos e exemplos de vida;

Agradeço às professoras Cláudia Márcia Gomes e Rozimar de Campos Pereira, ambas da UFRB, pelos convites para aproximação com a UFRB;

Agradeço a meus pais Sérgio Mesquita de Miranda e Marizália Carvalho de Miranda por me conceberem e prepararem para essa vida;

Agradeço a minha esposa Regina Helena Oliveira de Aguiar Miranda pela paciência e tolerância com meu tempo dedicado aos estudos;

Agradeço a meus filhos Leonardo Jessouroun de Miranda, Flávia Jessouroun de Miranda e Ricardo de Miranda pelo carinho e apoio;

Agradeço a José dos Santos Viana, Diretor da Cia de Ferro Ligas da Bahia Ferbasa pela amizade, ajuda e participação;

Agradeço ao amigo Hailton Mello da Silva, professor da UFBA, pelo exemplo e estímulo;

Agradeço aos funcionários da Flora Nativa Projetos Ltda., Ivanice Cerruci, Danívio Batista Carvalho de Vasconcelos e Leandro Silva de Jesus.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

| | |
|------------------|---|
| 3PG | modelo de princípios fisiológicos na estimativa do crescimento; |
| AF | areia fina; |
| AG | areia grossa; |
| Al | acidez trocável; |
| Al% | saturação por alumínio; |
| Al ³⁺ | alumínio; |
| AM | areia média; |
| AMF | areia muito fina; |
| AMG | areia muito grossa; |
| ANAVA | análise de variância; |
| AT | areia total; |
| B | valor crítico; |
| B ₁ | limite base inferior; |
| B ₂ | limite base superior; |
| B ₃ | ótimo; |
| C | croma; |
| Ca | cálcio trocável; |
| CAD | capacidade de água disponível |
| Cia | Companhia; |
| ConPegaj | consistência molhada pegajosidade; |
| ConPlast | consistência molhada plasticidade; |
| ConSeco | consistência do solo seco; |
| ConÚmido | consistência úmido; |
| CRU | curva de retenção de umidade; |
| CTC | capacidade de troca catiônica; |

| | |
|----------------|--|
| CV | coeficiente de variação; |
| D | Floresta Ombrófila Densa; |
| DAP | diâmetro à altura do peito; |
| Dp | densidade da partícula; |
| Ds | densidade do solo; |
| e.g. | em latim <i>exempli gratia</i> , em português por exemplo; |
| EAQS | Estrutura para avaliação da qualidade do solo; |
| Fn | floresta natural; |
| H | matiz; |
| H+Al | acidez potencial; |
| H ₀ | hipótese nula; |
| Hd | altura média das árvores dominantes; |
| I | idades das medições das parcelas do inventário florestal; |
| IMA | incremento médio anual; |
| IMAp | incremento médio anual potencia; |
| IQS | índice de qualidade do solo; |
| Iref | idade de referência; |
| IV | índice de avermelhamento; |
| K | potássio trocável; |
| KCl | cloreto de potássio; |
| L | limite inferior; |
| MDS | conjunto mínimo de dados; |
| Mg | magnésio trocável; |
| MO | matéria orgânica |
| MPa | mega Pascal; |
| N | nitrogênio; |

| | |
|-----------------------|---|
| Na | sódio trocável; |
| Na% | saturação por sódio. |
| NPK | fertilizante composto por nitrogênio, fósforo e potássio; |
| P | fósforo; |
| pH | potencial hidrogeniônico; |
| pH_H ₂ O | pH em água; |
| pH_KCl | pH em cloreto de potássio; |
| PorosMa | macroporos; |
| PorosMi | microporos; |
| PorosTot | porosidade total; |
| <i>PP_f</i> | pontuação padronizada da função; |
| <i>PP_i</i> | pontuação padronizada do indicador; |
| <i>PP_w</i> | pontuação padronizada do indicador com os pesos; |
| QS | qualidade do solo; |
| <i>R</i> | coeficiente de correlação; |
| Re | reflorestamento de eucalipto; |
| Rp | resistência do solo à penetração; |
| Rp_0,033 | resistência do solo à penetração na pressão 0,033 MPa; |
| Rp_0,1 | resistência do solo à penetração na pressão 0,1 MPa; |
| Rpr | razão da produtividade; |
| S | inclinação da tangente à curva da pontuação padronizada; |
| SB | soma de bases trocáveis; |
| SI | índice de sítio; |
| SiBCS | Sistema Brasileiro de Classificação de Solos; |
| SO | Contato Savana/Floresta Ombrófila; |
| S _{yx} | erro padrão da estimativa; |

| | |
|----------|---|
| Tb | argila de atividade baixa; |
| U | limite superior; |
| UCRP | umidade crítica de resistência à penetração; |
| UFBA | Universidade Federal da Bahia; |
| UFRB | Universidade Federal do Recôncavo da Bahia; |
| UFRRJ | Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; |
| UFV | Universidade Federal de Viçosa; |
| Ug | umidade gravimétrica; |
| Ug_0,01 | umidade gravimétrica na pressão 0,01 MPa; |
| Ug_0,033 | umidade gravimétrica na pressão 0,033 MPa; |
| Ug_0,1 | umidade gravimétrica na pressão 0,1 MPa; |
| Ug_0,3 | umidade gravimétrica na pressão 0,3 MPa; |
| Ug_0,5 | umidade gravimétrica na pressão 0,5 MPa; |
| Ug_1,5 | umidade gravimétrica na pressão 1,5 MPa; |
| V | valor; |
| V% | saturação por bases trocáveis; |
| W_f | peso da função; |
| W_i | peso do indicador. |
| x | valor medido do indicador; |
| X | variável independente; |
| Y | variável dependente; |

LISTA DE UNIDADES

| | |
|-------------------|--------------------|
| % | porcentagem; |
| cm | centímetro; |
| cm ³ | centímetro cúbico; |
| cmol _c | centimol de carga; |
| DD | grau decimal; |
| g | grama; |
| ha | hectare; |
| kg | quilo; |
| m | metro; |
| M | molar; |
| mm | milímetro |
| m ² | metro quadrado; |
| m ³ | metro cúbico; |
| mg | miligrama; |
| °C | graus Celsius. |

LISTA DE QUADROS

| | | |
|-------------|---|----|
| Quadro 1 – | Informações sobre fertilização do solo | 13 |
| Quadro 2 – | Valores numéricos do índice de avermelhamento do solo..... | 16 |
| Quadro 3 – | Valores numéricos para estrutura do solo | 16 |
| Quadro 4 – | Valores numéricos para consistência do solo..... | 17 |
| Quadro 5 – | Variáveis aplicadas para modelo 3PG..... | 20 |
| Quadro 6 – | Valores dos principais parâmetros do modelo 3PG após parametrização e calibração efetuadas por Borges (2009) | 21 |
| Quadro 7 – | Sítios identificados pelas classes de solo | 29 |
| Quadro 8 – | Características morfológicas de perfis de Argissolos em área de tabuleiro no Litoral Norte da Bahia | 30 |
| Quadro 9 – | Características físicas de perfis de Argissolos em área de tabuleiro no Litoral Norte da Bahia | 32 |
| Quadro 10 – | Características químicas de perfis de Argissolos em área de tabuleiro no Litoral Norte da Bahia | 44 |
| Quadro 11 – | Resultados dendrométricos do inventário florestal de <i>Eucalyptus grandis x urophylla</i> nos sítios estudados | 48 |
| Quadro 12 – | Avaliação das médias de SI dos sítios estudados | 49 |
| Quadro 13 – | Avaliação das médias de IMA dos sítios estudados | 50 |
| Quadro 14 – | Avaliação das médias de Rpr dos sítios estudados..... | 52 |
| Quadro 15 – | Coeficientes de correlação dos atributos do solo com SI | 54 |

| | |
|--|----|
| Quadro 16 – Verificação de independência entre os atributos do solo significativos para o modelo solo-sítio de SI | 55 |
| Quadro 17 – Coeficientes de correlação dos atributos do solo com IMA | 56 |
| Quadro 18 – Verificação de independência entre os atributos do solo significativos para o modelo solo-sítio de IMA | 57 |
| Quadro 19 – Coeficientes de correlação dos atributos do solo com Rpr | 59 |
| Quadro 20 – Verificação de independência entre os atributos do solo significativos para o modelo solo-sítio de Rpr | 60 |
| Quadro 21 – Atributos do solo utilizados nos modelo solo-sítio | 61 |
| Quadro 22 – Avaliação estatística entre os modelos solo-sítio | 63 |
| Quadro 23 – Indicadores da qualidade do solo selecionados para compor o conjunto mínimo de dados (MDS) e seus pesos calculados pela razão entre a média do indicador e o somatório das médias dos indicadores da função..... | 66 |
| Quadro 24 – Indicadores para transformação em pontuação padronizada, com os comportamentos das curvas, os valores dos limites críticos (inferior, base, ótimo e superior) e os valores da inclinação das tangentes às curvas | 67 |
| Quadro 25 – Resultados da pontuação padronizada do indicador com os pesos (PP_w), da pontuação padronizada da função (PP_f) e do IQS, por sítios, na camada (geral) com profundidade de 0–0,4 m | 69 |
| Quadro 26 – Resultados da pontuação padronizada do indicador com os pesos (PP_w), da pontuação padronizada da função (PP_f) e do IQS, por sítios, na camada (1) com profundidade de 0–0,1 m | 75 |

| | |
|--|-----|
| Quadro 27 – Resultados da pontuação padronizada do indicador com os pesos (PP_w), da pontuação padronizada da função (PP_f) e do IQS, por sítios, na camada (2) com profundidade de 0,1–0,2 m..... | 76 |
| Quadro 28 – Resultados da pontuação padronizada do indicador com os pesos (PP_w), da pontuação padronizada da função (PP_f) e do IQS, por sítios, na camada (3) com profundidade de 0,2–0,4 m..... | 77 |
| Quadro 29 – Capacidades produtivas estimadas pelos modelos do método solo-sítio para os sítios com uso de floresta natural..... | 78 |
| Quadro 30 – Resultados das análises dos atributos granulometria, porosidade e densidade nas camadas | 93 |
| Quadro 31 – Resultados das análises dos atributos cor, estrutura e consistência nas camadas | 96 |
| Quadro 32 – Resultados das análises dos atributos umidade gravimétrica e resistência do solo à penetração nas camadas | 99 |
| Quadro 33 – Resultados das análises dos atributos químicos nas camadas | 101 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 1 – | Localização da área de estudo | 9 |
| Figura 2 – | Estrutura para avaliação da qualidade do solo (EAQS)..... | 23 |
| Figura 3 – | Tipos de curvas para a transformação do indicador do solo na pontuação padronizada: mais-é-melhor; menos-é-melhor e ótimo .. | 25 |
| Figura 4 – | Curvas de retenção de umidade, nos horizontes A e B, de Argissolos em área de tabuleiro no Litoral Norte da Bahia | 41 |
| Figura 5 – | Curvas de resistência do solo à penetração, nos horizontes A e B, em Argissolos em área de tabuleiro no Litoral Norte da Bahia | 43 |
| Figura 6 – | Correlação entre as médias das variáveis dendrométricas, SI e IMA, equalizadas na idade de seis anos, em Argissolos no Litoral Norte da Bahia..... | 51 |
| Figura 7 – | Distribuição dos erros percentuais de SI, IMA e Rpr | 64 |
| Figura 8 – | Correlações dos indicadores de qualidade do solo com a capacidade produtiva: (a) SI e (b) IMA..... | 80 |

SUMÁRIO

| | Página |
|-------|---|
| 1 | INTRODUÇÃO 1 |
| 2 | MATERIAL E MÉTODOS..... 8 |
| 2.1 | ÁREA DE ESTUDO 8 |
| 2.2 | CARACTERIZAÇÃO DOS SÍTIOS..... 10 |
| 2.2.1 | CULTIVO DO EUCALIPTO 11 |
| 2.3 | AMOSTRAGEM E ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS . 13 |
| 2.3.1 | CONVERSÃO DE ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS EM VALORES NUMÉRICOS 15 |
| 2.4 | CAPACIDADE PRODUTIVA DOS SÍTIOS 17 |
| 2.5 | RELAÇÕES SOLO-SÍTIO 22 |
| 2.6 | QUALIDADE DO SOLO 23 |
| 2.6.1 | SELECÇÃO DOS INDICADORES..... 24 |
| 2.6.2 | PONTUAÇÃO PADRONIZADA 25 |
| 2.6.3 | ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO 27 |
| 2.7 | QUALIDADE DO SÍTIO..... 28 |
| 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO 29 |
| 3.1 | CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SOLOS..... 29 |
| 3.2 | CAPACIDADE PRODUTIVA DOS SÍTIOS 46 |
| 3.3 | RELAÇÕES SOLO-SÍTIO 53 |
| 3.4 | QUALIDADE DO SOLO 65 |
| 3.5 | QUALIDADE DOS SÍTIOS..... 78 |
| 4 | CONCLUSÕES..... 82 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83 |
| | ANEXO A – Resultados das análises dos atributos dos solos nas camadas..... 92 |

CAPACIDADE PRODUTIVA E QUALIDADE DE SÍTIOS CULTIVADOS COM EUCALIPTO EM ARGISSOLOS DE TABULEIRO NO LITORAL NORTE DA BAHIA

Autor: Marcelo Carvalho de Miranda

Orientador: Oldair Del'Arco Vinhas Costa

RESUMO: Esse estudo teve objetivo de caracterizar os solos mais representativos, avaliar a sustentabilidade da produção de sítios cultivados com eucalipto em área de tabuleiro, no Litoral Norte da Bahia, bem como, os impactos do manejo florestal sobre a qualidade desses sítios. Isto foi realizado para se obter subsídios que permitissem sugerir novas ações no manejo, e identificar indicadores de qualidade possivelmente utilizados para o monitoramento das áreas cultivadas. A área desse estudo, é propriedade da Cia de Ferro Ligas da Bahia Ferbasa, ocupa aproximadamente 1 190 ha de reflorestamento com eucalipto e está localizada no município de Entre Rios. Para esse trabalho foram selecionados cinco sítios ocupados com reflorestamento de eucalipto e três com vegetação natural primária do tipo floresta. Os sítios selecionados estavam nas mesmas condições de clima e fisiografia, sendo diferenciados basicamente pelos solos. As amostragens do solo de cada sítio foram realizadas em camadas, nas profundidades de 0–0,1 m, 0,1–0,2 m e 0,2–0,4 m, para analisar os atributos físicos e químicos. A capacidade produtiva foi representada pelas variáveis dendrométricas SI, IMA e Rpr. A avaliação da qualidade dos sítios florestais utilizou os métodos solo-sítio e IQS, comparando-se os resultados entre os sítios cultivados e os sítios naturais. Apesar da homogeneidade fisiográfica e climática se encontraram diferenças entre os Argissolos na área estudada. Bem como, houve diferença na QS entre os sítios cultivados com eucalipto há 35 anos e os sítios com floresta natural nas condições gerais. Foram sugeridos os indicadores MO, SB e CTC para o monitoramento da qualidade do solo e os indicadores Ug_{0,01} e PorosMi para se adicionarem à classificação dos sítios. Existem possibilidades potenciais para o aumento de produtividade nos sítios cultivados em Argissolo nos tabuleiros do Litoral Norte da Bahia, principalmente pelo manejo dos atributos químicos.

Palavras-chave: qualidade do solo; sítios florestais; sustentabilidade ambiental; solos coesos; produtividade florestal.

PRODUCTIVE CAPACITY AND SITES QUALITY CULTIVATED WITH EUCALYPT IN TABLELANDS ULTISOLS IN THE NORTH COAST OF THE BAHIA

Author: Marcelo Carvalho de Miranda

Adviser: Oldair Del'Arco Vinhas Costa

ABSTRACT: This study aimed to define the most representative soils, assessing the production sustainability of sites cultivated with eucalyptus in the tableland area, on the northern coast of Bahia, as well as the impacts of forest management on the quality of these sites. This was conducted to obtain data that would allow the suggestion new management actions and identify quality indicators possibly used to monitor the cultivated area. This study's area is owned by Cia Ferro Ligas da Bahia Ferbasa, which occupies approximately 1190 ha of reforestation with eucalyptus and is located in the town of Entre Rios. For this work we selected five sites occupied with eucalypt plantations and three sites covered with primary native vegetation, forest type. The selected sites were under the same climate and physiography conditions and are differentiated primarily by the soil. The soil sampling from each site were taken in layers at depths of 0 to 0.1 m, 0.1-0.2 m and 0.2-0.4 m, to analyze the physic and chemist attributes. The production capacity was represented by the dendrometric variables SI, IMA and Rpr. Forest sites quality evaluation used the methods soil-site and IQS, comparing the results between the cultivated sites and natural sites. Despite the physiographic and climatic homogeneity, differences were found between Ultisols in the study area. As well, there was difference in QS between sites planted with eucalyptus trees 35 years ago and the sites of natural forest in general. MO, SB and CTC indicators were suggested for monitoring soil quality, and Ug_0, 01, Rp_0, and PorosMi to add up to the classification of sites criteria. There are potential opportunities for increased productivity in Utisol sites cultivated in tablelands on the Northern Coast of Bahia, especially by the management of chemical attributes.

Keywords: soil quality, forest sites, environmental sustainability, cohesive soils, forest productivity

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a sustentabilidade econômica e ambiental aumenta juntamente com a pressão sobre os recursos naturais, causada pelo crescente consumo de produtos pela população humana. Tradicionalmente, os produtos provenientes da atividade agropecuária ou florestal, de um modo geral no Brasil, ou mesmo na Bahia, ocupam as terras mais produtivas e nas melhores condições climáticas. A disponibilidade de terras nessas condições vem diminuindo consideravelmente e, conseqüentemente, as restrições econômicas, climáticas e conservacionistas têm aumentado. Nesse cenário, a sustentabilidade da produção é cada vez mais importante e a atividade florestal precisa manter ou melhorar a produtividade dos sítios ocupados.

A importância do eucalipto em relação aos produtos consumidos pela população humana está na fabricação de celulose, siderurgia à base de carvão vegetal, construção civil urbana e rural, móveis e utensílios, embalagens, produtos medicinais e alimentos, dentre outros. A área plantada ocupava em 2010 no Brasil 4,75 milhões ha, e na Bahia, 631,46 mil ha, terceira maior no ranking nacional, conforme Associação Brasileira de Produtores de Floresta Plantada (2011). Em relação às regiões predominantes com eucalipto na Bahia se destacaram, em 2008, a Extremo Sul com 454,13 mil ha (BAHIA, 2008) e a Litoral Norte se estima em 120 mil ha.

Na região do Litoral Norte da Bahia, o consumo predominante é para celulose e carvão vegetal. O plantio de eucalipto no Brasil iniciou em larga escala

a partir de 1966, por causa de uma política federal de incentivo fiscal para implantação de projetos de reflorestamento, com finalidade de atender ao crescimento da demanda industrial (BRASIL, 1966; BRASIL, 1974). Na região do Litoral Norte da Bahia, a aplicação desta política iniciou na década de 80, e foi finalizada em 1984, mas os projetos de reflorestamento continuaram e sendo o eucalipto predominantemente utilizado para a produção de celulose e carvão vegetal.

Nos projetos de reflorestamento, tanto nacionalmente quanto regionalmente, se utiliza o eucalipto pela vantagem silvicultural e econômica. Anteriormente ao período dos incentivos na região do Litoral Norte da Bahia, desde 1977 a Cia. de Ferro Ligas da Bahia Ferbasa planta eucalipto para suprimento do carvão vegetal consumido na siderurgia (CIA DE FERRO LIGAS DA BAHIA FERBASA, 2011a) e ocupa, para esta finalidade, aproximadamente 23,5 mil ha (GREGORIO, 2011). Naquela época, o plantio ocorreu em terras ainda cobertas por florestas naturais, mas a partir de 1993, com a proibição de supressão destas florestas no bioma da Mata Atlântica (BRASIL, 1993; BRASIL, 2006), os novos plantios passaram a ocorrer em terras anteriormente ocupadas por outras culturas.

A sustentabilidade da produção do eucalipto está diretamente relacionada com a produtividade. A produtividade florestal é resultado da integração de fatores do sítio, biológicos e manejo (BALLONI, 1985; DAVIS, 1966; GONÇALVES, 1990; MENEZES, 2005; MORA e BALLONI, 1988). Dentre os fatores do sítio ou abióticos que influenciam na produtividade estão o clima e a fisiografia, entendendo-se por fisiografia a declividade do relevo, posição na paisagem e altitude (SCOLFORO, 1997b). Os fatores do clima que afetam o crescimento das árvores são a radiação solar, a temperatura e a disponibilidade hídrica (SOUZA, RIBEIRO, *et al.*, 2006), e a fisiografia afeta, diretamente, a disponibilidade de água no solo. Ambos os fatores citados ocorrem em regiões de maior abrangência, podendo ser estratificados mais detalhadamente em subáreas mais homogêneas, mas não permitem modificações ou alterações pela ação humana, a não ser por suprimento de água por irrigações ou terraplenagem para terraços.

Completando os fatores do sítio que influenciam representativamente na produtividade está o solo, principalmente por suas funções relacionadas à fixação

e ao suprimento de água e nutrientes às plantas, condicionadas pelas propriedades físicas, químicas e biológicas dos mesmos. Alguns dos atributos do solo, tais como, cor, textura, estrutura, consistência, densidade da partícula e outras, são praticamente inalteráveis ou muito pouco alteradas, tanto pelo tempo quanto pelo manejo. Por outro lado outros atributos do solo podem ser alterados tanto pelo manejo quanto por agentes poluentes; dentre esses atributos que se alteram em algum grau de intensidade estão densidade do solo, porosidade, resistência do solo à penetração, drenagem, estrutura dos horizontes superficiais, conteúdo de matéria orgânica, teores de macro e micronutrientes, ocorrência e atividade de meso e microfauna.

A manutenção ou melhoria da produtividade dos sítios florestais depende do manejo das variáveis que influenciam na qualidade do sítio. O conceito de sítio foi definido pela Society American Foresters (1958) como uma área delimitada pelos seus fatores ecológicos combinados (bióticos, clima e solo) com referência à capacidade de produzir floresta ou outras vegetações. O sítio expressa a capacidade de uma determinada área de terra para produzir madeira ou outras vegetações (DAVIS, 1966), e a sua qualidade pode ser avaliada por diferentes métodos. O termo qualidade do sítio se refere à capacidade produtiva do sítio, expressa pelas variáveis dendrométricas do cultivo do eucalipto. Os aspectos gerais dos sítios florestais no Litoral Norte da Bahia são favoráveis ao cultivo do eucalipto, no que diz respeito ao solo, fisiografia e clima. Considerando-se que o clima e a fisiografia são relativamente uniformes numa larga extensão geográfica, os solos representam o fator de maior influência na qualidade dos sítios específicos (GONÇALVES, 1990).

Encontra-se na literatura basicamente dois métodos para a avaliação da capacidade produtiva ou qualidade do sítio florestal, o direto e o indireto (CARMEAN, 1975; DAVIS, 1966; GONÇALVES, 1990; MENEZES, 2005; SCOLFORO, 1997b). O método direto avalia o crescimento das árvores num determinado sítio, por meio de medições das variáveis dendrométricas, volume, área basal ou altura (CARMEAN, 1975; SPURR, 1952). O volume e a área basal apresentam limitações na utilização porque podem ser afetados por outros fatores, tais como espécie, densidade de povoamento, tratamentos culturais, práticas silviculturais, genótipos etc. (SCOLFORO, 1997b). O desenvolvimento da altura

das árvores dominantes em povoamentos equiâneos é pouco afetado pela densidade do povoamento e relativamente estável em várias intensidades de desbaste (SCOLFORO, 1997b). A classificação da qualidade dos sítios pelas curvas de índice de sítio é utilizada pela maioria dos métodos que se baseiam na altura (CARMEAN, 1975). O índice de sítio (SI) expressa a média das alturas das árvores dominantes numa idade de referência, preferencialmente próxima à idade de rotação da espécie (SCOLFORO, 1997b). A estimativa da qualidade do sítio pela medição das alturas é considerada o mais prático, eficiente e consistente indicador (SCOLFORO, 1997b). Os dados do inventário florestal, a partir de parcelas permanentes, permitem a construção das curvas de índice de sítio.

O método indireto mais utilizado é o solo-sítio que correlaciona o índice de sítio com aspectos do solo, fisiografia e clima (CARMEAN, 1975; GONÇALVES, 1990). Inicialmente, se alocam muitas parcelas pelos povoamentos florestais adultos que representem uma ampla variação de sítios, solo, fisiografia e clima encontrados em uma área florestal ou região. Em seguida, se estima o índice de sítio a partir das árvores dessas amostras utilizando-se as medições de altura e idade, ou mais recentemente técnicas de análise de tronco. Após isso, se correlaciona os índices de sítio com os atributos do solo, fisiografia e clima por meio de métodos de regressões múltiplas. Então, os resultados das equações podem ser utilizados para calcular tabelas de sítio-estimativa e gráficos de tendência para estimativas de campo para o índice de sítio. Considerando-se que o clima varia pouco em extensas áreas e que as principais características fisiográficas podem estar expressas nas classes de solo, o solo tem sido o fator de maior concentração de estudos para a estratificação dos sítios (CARMEAN, 1975).

A correlação da qualidade do sítio com o solo depende, na maioria das vezes, de atributos como profundidade, estrutura, textura e umidade do solo, que muitas vezes não são descritos nos levantamentos de solo; por isso, quanto mais criteriosa a classificação do solo, melhor será a correlação (DAVIS, 1966). Somente os atributos do solo são insuficientes para mensurar a qualidade dos sítios, sendo muito importantes os fatores indiretos e acumulativos vegetação, bióticos, climáticos e topográficos (DAVIS, 1966). Esse método é considerado válido quando há diferença no crescimento florestal e mais eficiente em regiões

de padrão pedogenético mais homogêneo (CARMO, RESENDE e SILVA, 1990), situação encontrada na área do presente estudo. O método apresenta limitações quando utiliza dados de solos com povoamentos florestais implantados há tempo suficiente para alterar as condições iniciais de nutrientes, sendo importante considerar o status inicial de nutrientes e as condições físico-hídricas de cada sítio, bem como o conteúdo de nutrientes imobilizados na biomassa nos diferentes estágios do povoamento (CARMO, RESENDE e SILVA, 1990), assim como devem ser consideradas as inter-relações entre os fatores do solo. Alguns autores encontraram limitações para aplicação desse método (BARROS, 1974); (CÁRDENAS, 1987; SANTANA, 1986) e outros consideram que os modelos matemáticos são válidos apenas em áreas representadas pelo sistema de amostragem, em função das variações de manejos do solo e da floresta (CARMO, RESENDE e SILVA, 1990).

A partir da década de 90, de acordo com levantamento de Vezzani e Mielniczuk (2009), muitos pesquisadores começaram a preocupar-se com os aspectos relacionados à qualidade do solo (QS), em função da verificação de altos níveis de degradação de recursos naturais e contaminação de ambientes, comprometendo tanto a sustentabilidade da produção agrícola quanto a saúde humana. Portanto, a sustentabilidade da capacidade de produção de sítios florestais ao longo do tempo necessita de monitoramento (BARROS e COMERFORD, 2002). Nambiar (1996) esclareceu que a avaliação da sustentabilidade de sítios florestais tropicais pode ser realizada pelos fatores abióticos do solo, água e nutrientes, porque são os que mais influenciam a sustentabilidade de um ecossistema. Além disso, Barros e Comerford (2002) descreveram que nem radiação solar e nem gás carbônico são fatores limitantes nos trópicos. Então, pode-se afirmar que a QS tem uma forte relação com a qualidade do sítio ao longo do tempo (MENEZES, 2005).

A QS foi definida por Larson e Pierce (1991) como a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites dos ecossistemas (e.g. limites das unidades de mapa de solos) e com os ambientes externos ao ecossistema (particularmente a qualidade do ar e da água). O conceito de QS se fortalece na medida em que a disponibilidade de recursos naturais é inversa ao crescimento da demanda mundial por estes recursos em função do crescimento da população humana.

Nesse cenário a preocupação com a sustentabilidade deve ser incorporada às práticas de manejo de florestas e do solo. Considerando que o sistema de manejo é sustentável somente quando a qualidade do solo é mantida ou melhorada, então a avaliação quantitativa das mudanças na qualidade do solo permite a medição da sustentabilidade do manejo (LARSON e PIERCE, 1994). Numa linha de avaliação semelhante às avaliações da qualidade do sítio que utilizam o índice de sítio, citado anteriormente, Karlen e Stott (1994) propuseram um índice quantitativo de qualidade do solo para servir como um indicador da capacidade do solo para a produção sustentável das culturas. De acordo com diversos autores, os conceitos de QS se relacionam com as avaliações de sistemas de manejo ao longo do tempo, por meio de um sistema de monitoramento estatístico de indicadores da qualidade (KARLEN e STOTT, 1994; LARSON e PIERCE, 1994; UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2001). Admite-se que os resultados desse monitoramento permitem indicar alterações no sistema de manejo em direção da sustentabilidade.

O método do índice de qualidade do solo (IQS), sugerido por Karlen e Stott (1994), tem sido utilizado para avaliar o efeito do manejo sobre o rendimento do eucalipto. Chaer (2001) estudou o efeito sobre a qualidade do solo com diferentes métodos de preparo de solo e concluiu que o modelo utilizado permitiu quantificar as mudanças na qualidade do solo resultantes do manejo. Menezes (2005) relacionou a produtividade média com os atributos do solo, pelo método solo-sítio, integrando-as mediante a classe taxonômica, e pelo IQS, concluindo que o IQS foi sensível aos sítios amostrados e às variações dos atributos do solo dentro da mesma unidade taxonômica, relacionando-se com a produtividade.

O cenário descrito para o desenvolvimento da atividade florestal no Litoral Norte da Bahia sugere a hipótese de ter havido degradação da qualidade dos solos cultivados com eucalipto há longo períodos.

Pelas razões expostas, o presente estudo teve os objetivos de caracterizar os solos mais representativos nas mesmas condições de clima, fisiografia e manejo, avaliar a sustentabilidade da produção em sítios cultivados com eucalipto em área de tabuleiro no Litoral Norte da Bahia, bem como os impactos do manejo florestal sobre a qualidade desses sítios. Isso foi realizado para sugerir novas ações no manejo e identificar indicadores de qualidade possíveis de serem

utilizados para o monitoramento das áreas cultivadas. Utilizaram-se os métodos solo-sítio e IQS, comparando-se os resultados entre os sítios cultivados e os sítios naturais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área desse estudo ocupa aproximadamente 1 190 ha de reflorestamento com eucalipto, nas fases de relevo plano a suave ondulado, e está localizada no Projeto Araticum, propriedade da Cia de Ferro Ligas da Bahia Ferbasa, Município de Entre Rios, região do Litoral Norte do Estado da Bahia, às margens da rodovia BR-101, km 73, entre as coordenadas geográficas 38° 10' 40,08" W; 12° 00' 52,92" S e 38° 07' 39,00" W; 11° 57' 46,44" S, com Datum WGS84 (Figura 1).

O clima da região descrito conforme Thornthwaite e Mather (1957) citado por Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (1999), é B1rA'a' (úmido) com índice hídrico entre 20 mm e 40 mm e pluviosidade média anual de 1 238 mm, e de acordo com Köppen (1928) é As', ou seja, clima quente com mês mais frio com temperatura superior a 18°C, mês mais seco com precipitação inferior a 60 mm e verão seco.

A fisiografia predominante é formada pela unidade geomorfológica de Tabuleiro, caracterizada por topos plano-tabulares, quase sempre limitados por ressaltos ou pequenas escarpas, predominando encostas côncavo-convexas, partes dissecadas compostas por sedimentos, com altitudes pouco acima de 200 m, relevo retalhado em interflúvios pequenos, de modo geral convexados (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2009).

A geologia da área, de acordo com Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (2011) e Carmo, Resende e Silva (1990), é representada pela unidade litoestratigráfica da Formação Barreiras, do Período Terciário, e apresenta sedimentos de cores creme, amareladas, avermelhadas, brancas e arroxeadas, com formação constituída por camadas arenosas e argilosas (com predomínio de caulinita) por vezes conglomeráticas e com espessura variável, podendo atingir 100 m em alguns casos. De acordo com Brasil (1981) o solo predominante na região é o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVA_d), caracterizado por Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) pela presença de horizonte

B textural, argila de atividade baixa, evolução avançada com ferralitização incompleta e saturação por bases trocáveis inferior a 50%.

A classificação da vegetação natural que ocorre na área do estudo é do tipo Floresta Ombrófila Densa (D) ou Contato Savana/Floresta Ombrófila (SO), de acordo com Brasil (1981) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1992). A seleção de uma paisagem com essas características se justifica pela representatividade dos fatores clima, relevo e solos para o cultivo do eucalipto na região.

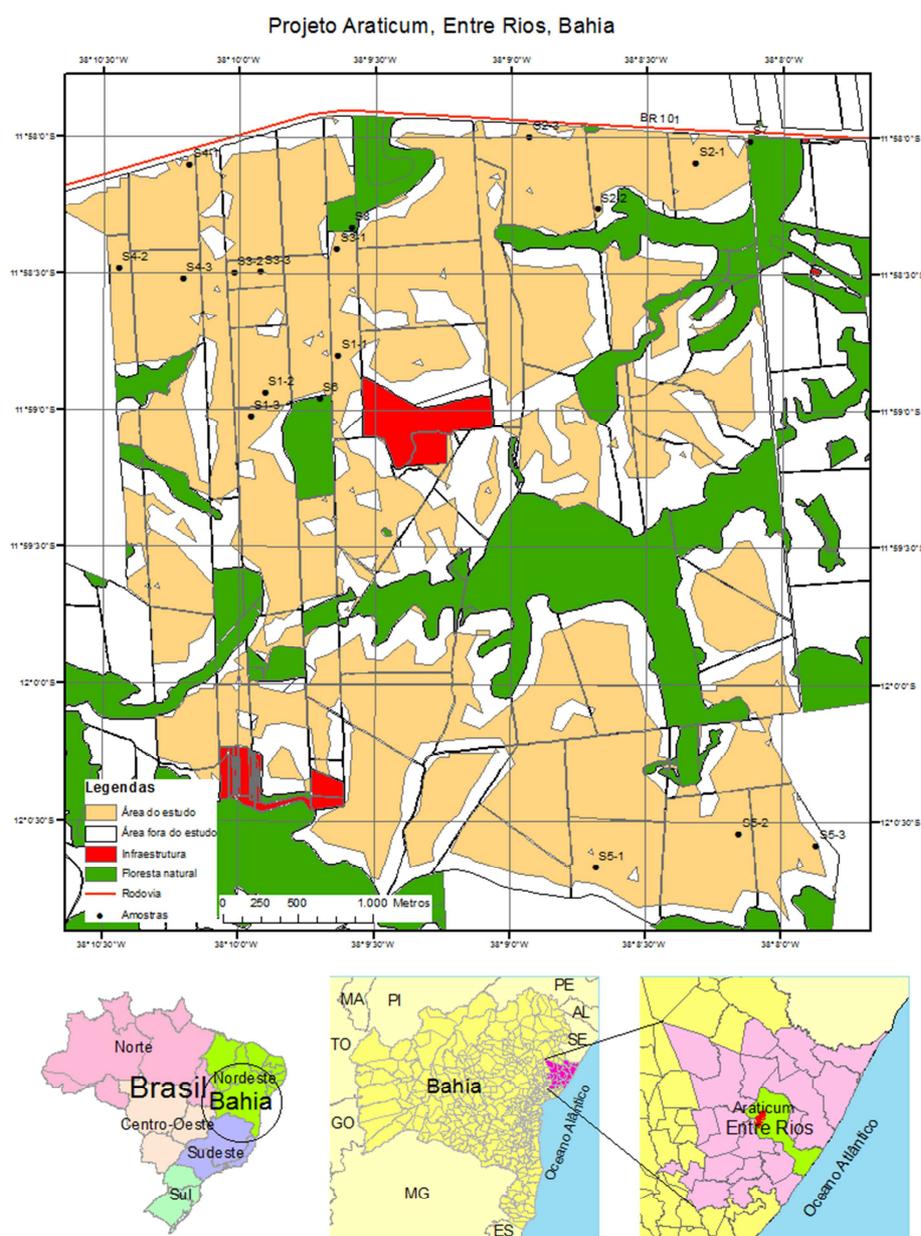


Figura 1 – Localização da área de estudo

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SÍTIOS

A seleção dos sítios para o estudo foi realizada primeiro pela identificação das possíveis diferenças entre os solos, percorrendo-se intensamente as áreas no campo. Observou-se nestas áreas, que mesmo nos relevos plano ou suave ondulado, haviam diferenças de cor e textura entre os solos presentes. Após a identificação das diferenças foram alocadas trincheiras para a descrição morfológica dos solos.

A caracterização morfológica dos perfis dos solos nas trincheiras visando a identificação preliminar das classes de solo seguiu o método de descrição e coleta de solo em campo, proposto por Santos, Lemos et al. (2005), considerando-se a representatividade das classes na área do estudo. Após isso, os solos foram caracterizados quimicamente e fisicamente (cor, textura, estrutura e consistência) e classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006).

Após a classificação dos solos se selecionaram oito sítios para esse estudo, sendo cinco ocupados com reflorestamento de eucalipto (Re) e três com vegetação natural primária do tipo floresta (Fn). Todos estavam nas mesmas condições de clima e fisiografia, relevo plano a suave ondulado, sendo diferenciados basicamente pelo solo. O uso da terra, Re e Fn, foi um fator secundário de seleção, utilizado para se comparar a qualidade dos sítios cultivados com a dos naturais.

A vegetação natural nos sítios selecionados, classificada por Brasil (1981) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1992), é do tipo Floresta Ombrófila Densa (D) e Contato Savana/Floresta Ombrófila (SO). A vegetação do tipo D se caracteriza como fanerófitos¹, justamente pelas formas de vida macro e mesofanerófitos, além de lianas lenhosas e epífitos em abundância, com fitofisionomias de clima ombrófilo, ou seja, com elevadas temperaturas (médias de 25°C) e alta precipitação bem distribuída durante o ano (0 a 60 dias secos). A

¹ Fanerófitos: são plantas lenhosas com as gemas e brotos de crescimento protegidos por catafilos, situados acima de 0,25 m do solo. Apresentam-se com dois aspectos ecoedáficos: normal climático e raquítico oligotrófico, subdivididos, conforme suas alturas médias, em: macrofanerófitos, são plantas de alto porte, variando entre 30 e 50 m de altura e mesofanerófitos, são plantas de porte médio, variando entre 20 e 30 m de altura (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1992).

vegetação SO é uma vegetação de transição entre tipos de vegetação, no caso desse estudo em função das variações de solo. As espécies de Savana que ocorrem nesse tipo de vegetação são xeromorfas preferencialmente de clima estacional (mais ou menos seis meses seco), mas que também ocorrem em clima ombrófilo.

Na implantação do projeto de Re se ocupou quase que totalmente os solos potencialmente produtivos, com relevo plano a suave ondulado. Os remanescentes de Fn, na maior parte, estavam restritos às bordas do Tabuleiro e interflúvios, onde ocorrem solos diferentes dos cultivados. Por isso, foram selecionados sítios com Fn mais próximas dos solos cultivados. Assim, dois sítios estavam próximos à borda do Tabuleiro e um deles no centro do Tabuleiro, mas todos em relevo plano.

2.2.1 CULTIVO DO EUCALIPTO

O cultivo do eucalipto na área do estudo tem função de produzir biomassa para suprimento industrial siderúrgico de carvão vegetal. O projeto de reflorestamento foi implantado há 35 anos, em terra que estava originalmente coberta com floresta natural. Nesse período se estimou haver ocorrido de quatro a cinco rotações. As informações sobre o período de ocupação e o manejo foram obtidas pelo levantamento de documentos da Empresa e entrevistas com empregados e moradores. Inicialmente se plantou *Eucalyptus urophylla* e *E. pellita*, a partir de mudas de sementes, com espaçamento 3 x 3 m, preparo de solo com desmatamento, coivara e gradagem, fertilizações a base de NPK e tratos culturais tais como capina manual, roçada manual, rolo-faca e roçadeira mecanizada de arraste ou hidráulica. As rotações eram em intervalos de aproximadamente 7 anos, com desbrota de baixa intensidade e sem suprimentos nutricionais complementares pós-colheita. A partir do ano 2003 se iniciaram reformas dos plantios, aplicando-se novas tecnologias, principalmente aquelas relacionadas ao cultivo mínimo (GAVA, 2002; REIS e REIS, 1995; SANCHES, YONEZAWA e ZEN, 1995). Dentre estas tecnologias estão aplicação de herbicida pré-plantio, aplicação de calcário, fosfatagem a 0,6 m de profundidade, subsolagem na profundidade de 0,9 m, plantio de mudas clonais de híbridos,

principalmente *E. urograndis* (*grandis* x *urophylla*), fertilizações com NPK e micronutrientes e capina química pós-plantio.

Na Quadro 1 estão as informações sobre fertilização do solo, considerando-se o nível de referência no solo dos atributos matéria orgânica (MO) e argila para as recomendações de N, P e K, assim como o nível crítico dos elementos para incremento médio anual (IMA) potencial de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Na quarta e quinta coluna estão os teores médios dos elementos encontrados nas análises químicas nos sítios com floresta natural (Fn) e com reflorestamento de eucalipto (Re). Na sexta as recomendações para implantação segundo Barros, Neves e Novais (2000) e Ribeiro, Gontijo e Alvarez V. (1999) e na última as aplicações após a reforma de 2003, sendo que ambas as colunas apresentam os valores na unidade kg ha^{-1} ou o correspondente em mg kg^{-1} ou $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, a fim de permitir as comparações com o nível crítico e com os teores.

Em relação ao elemento P, tanto os teores em Fn quanto em Re estão abaixo do nível crítico, mas Re está superior a Fn e as aplicações foram superiores às recomendações, indicando que, mesmo com doses mais do que o dobro do recomendado, os teores de P em Re estavam abaixo do nível crítico. Os teores de K apresentaram resultados semelhantes, com exceção dos teores em Re que, mesmo com aplicações acima do dobro, estavam inferiores inclusive à Fn. No que se refere aos elementos Ca e Mg, ambos apresentaram teores acima do nível crítico, mas se observou uma redução do teor de Re em relação a Fn

Concluindo-se as informações sobre o cultivo, as rotações após as reformas eram previstas para 6 anos, mas têm ocorrido no mesmo intervalo anterior, ou seja, próximo aos 7 anos.

Quadro 1 – Informações sobre fertilização do solo

| Elemento ⁽¹⁾ | Nível ⁽²⁾ g kg ⁻¹ | Nível crítico ⁽³⁾ | Teores em Fn ⁽⁴⁾ | Teores em Re ⁽⁵⁾ | Recomendações para implantação ⁽⁶⁾ kg ha ⁻¹ | Aplicações na reforma ⁽⁷⁾ kg ha ⁻¹ |
|--|--|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|---|
| N | MO < 15 | - | - | - | 60 | 135 |
| P (mg kg ⁻¹) | Argila < 150 | 5,5 | 1,37 | 3,97 | 60 (30 mg kg ⁻¹) | 131 (65,5 mg kg ⁻¹) |
| K (cmol _c kg ⁻¹) | Argila < 150 | 0,25 | 0,05 | 0,03 | 50 (0,06 cmol _c kg ⁻¹) | 107 (0,14 cmol _c kg ⁻¹) |
| Ca (cmol _c kg ⁻¹) | | 0,8 | 1,6 | 1,1 | 238 (0,30 cmol _c kg ⁻¹) | 686 (0,86 cmol _c kg ⁻¹) |
| Mg (cmol _c kg ⁻¹) | | 0,2 | 0,6 | 0,5 | 160 (0,33 cmol _c kg ⁻¹) | 424 (0,88 cmol _c kg ⁻¹) |

(1) Amostragem de 0–0,2 m; extrator para P e K, Mehlich-1; extrator para Ca²⁺ e Mg²⁺, KCl 1 M;

(2) Nível do atributo de referência para recomendação;

(3) Nível crítico do elemento para IMA potencial de 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹;

(4) Teor médio do elemento na floresta natural (Fn) do estudo;

(5) Teor médio do elemento no reflorestamento de eucalipto (Re) do estudo;

(6) (BARROS, NEVES e NOVAIS, 2000); (RIBEIRO, GONTIJO e ALVAREZ V., 1999);

(7) Após 2003;

MO: matéria orgânica.

2.3 AMOSTRAGEM E ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS

Em cada sítio estudado foram alocadas três parcelas (repetições), nas quais se coletaram amostras em camadas específicas, nas profundidades de 0–0,1 m, 0,1–0,2 m e 0,2–0,4 m. O estudo nessas camadas se justifica pela importância delas para o manejo florestal. Em cada parcela foram coletadas amostras compostas, formadas a partir de nove amostras simples, coletadas seis nas entrelinhas e três na linha de plantio, totalizando 27 amostras para cada sítio. As parcelas do estudo coincidiram com as parcelas do inventário florestal.

Os atributos físicos dos solos, em número de sete, foram analisados em amostras deformadas e indeformadas. Nas amostras deformadas se analisaram granulometria para as frações areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina, areia total, silte e argila, conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997).

Coletaram-se amostras indeformadas em cilindros metálicos grandes (3,07 x 10⁻⁴ m³), nas camadas das parcelas, a fim de se determinar: densidade do solo (pelo método do anel volumétrico), densidade das partículas (pela diferença entre a densidade do solo e a porosidade total), macroporos e microporos (pelo método da mesa de tensão) e porosidade total (pela soma da macro e microporosidade), conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997). Também se coletaram amostras indeformadas em cilindros pequenos

($7,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3$), nos horizontes A e B dos perfis, com três repetições, para se determinar: umidade gravimétrica (U_g) obtida no aparelho extrator de Richards (1949), pelo método Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997) e resistência do solo à penetração (R_p) com penetrômetro de bancada.

Os resultados obtidos de U_g e R_p foram aplicados por analogia às camadas correspondentes. Os resultados do horizonte A foram aplicados à camada de 0–0,2 m, e do horizonte B à de 0,2–0,4 m. O atributo U_g foi analisado em umidades relativas nas pressões de 0,01 MPa, 0,033 MPa, 0,1 MPa e 1,5 MPa, sendo que a última pressão foi realizada em anel de borracha ao invés do cilindro metálico. O atributo R_p foi analisado nas pressões 0,033 MPa e 0,1 MPa.

A capacidade de água disponível (CAD) foi calculada pela diferença da U_g entre as pressões de 0,01 MPa e 1,5 MPa.

A curva de retenção de umidade (CRU), a uma determinada pressão, foi elaborada a partir do modelo de van Genuchten (1980),

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha h)^n]^m}$$

onde, θ_r é o conteúdo de umidade residual, θ_s é o conteúdo de umidade saturada, α , n e m são parâmetros empíricos de ajuste do modelo (CARDUCCI, OLIVEIRA, *et al.*, 2011), é entendido que h é positivo, e onde para o modelo de Mualen

$$m = 1 - 1/n.$$

O modelo de van Genuchten, acima, contém quatro parâmetros independentes (θ_r , θ_s , α , e n), os quais foram estimados a partir de dados de umidade observados.

Os parâmetros e as CRU dos horizontes A e B foram obtidos pela aplicação do software SWRC (NETO, NIELSEN, *et al.*, 2001).

Os atributos químicos analisados foram: pH em água, pH em KCl, ΔpH , matéria orgânica total, fósforo assimilável, bases trocáveis (Ca, Mg, K e Na), acidez trocável, acidez potencial, soma das bases trocáveis, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, saturação por alumínio e saturação por sódio, conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997).

2.3.1 CONVERSÃO DE ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS EM VALORES NUMÉRICOS

Os atributos morfológicos obtidos pela descrição dos solos em campo, cor, estrutura e consistência (seco, úmido, molhado plasticidade e molhado pegajosidade) também foram aplicados por analogia às camadas dos solos, correspondentes a cada horizonte dos perfis para as parcelas alocadas em cada sítio. Estes atributos com características qualitativas foram convertidos em valores numéricos para possibilitar a inclusão desses dados nos modelos de avaliação de qualidade dos sítios e de qualidade dos solos.

A conversão da cor (matiz, croma e valor) utilizou o índice de avermelhamento (IV), segundo Torrent et al. (1980), que se calcula pela razão $IV = (H \times C)/V$, onde os valores numéricos para matiz (H) são 12,5 para 7,5R; 10 para 10R; 7,5 para 2,5YR; 5 para 5YR; 2,5 para 7,5YR e 0 para 10YR ou inferior e os valores numéricos de croma (C) e valor (V) correspondem aos valores da carta de Munsell, conforme USDA (2009). Os valores numéricos encontrados para IV estão na Quadro 2. A estrutura e consistência foram convertidas em valores numéricos de acordo com Menezes (2005) e ajustados para esse estudo, respectivamente conforme Quadro 3 e Quadro 4. Os valores de estrutura foram somados para haver um número único para cada amostra e os valores de consistência foram utilizados individualmente, totalizando-se seis atributos morfológicos avaliados.

Os resultados das análises dos 42 atributos (físicos, químicos e morfológicos) podem ser encontrados do Quadro 31 ao Quadro 34, do ANEXO A – Resultados das análises dos atributos dos solos nas camadas

Quadro 2 – Valores numéricos do índice de avermelhamento do solo

| Cores de Munsell | Nome da cores | Índice de avermelhamento |
|---|---|--------------------------|
| (10YR 2/1, úmido); (10YR 5/4, úmido); (10YR 4/3, úmido); (10YR 4/2, úmido); (9YR 5/4, úmido); (9YR 4/4, úmido); | preto; bruno-amarelado; bruno-amarelo-escuro; bruno-acinzentado-escuro; bruno-amarelado escuro; bruno-amarelado; bruno-amarelado-escuro | 0 |
| (7,5YR 7/4, úmido); | rosado | 1 |
| (7,5YR 4/3, úmido); | bruno | 2 |
| (5YR 4/4, úmido); | bruno-avermelhado | 5 |
| (5YR 4/6, úmido); (5YR 5/8, úmido); | vermelho-amarelado; vermelho-amarelado | 8 |

Quadro 3 – Valores numéricos para estrutura do solo

| Tipo | n | Grau | n | Tamanho | n | Forma | n |
|---------------|---|-------------------------|-----|------------------------------------|-----|---------------------|---|
| Grão simples | 0 | Sem estrutura | 0 | Sem estrutura | 0 | Sem estrutura | 0 |
| Maciça | 0 | | | | | | |
| Agregada | 1 | Fraca | 1 | Extremamente grande | 1 | Laminar | 1 |
| | | Fraca a moderada | 1,5 | Muito grande a extremamente grande | 1,5 | Colunar | 2 |
| | | Moderada | 2 | Muito grande | 2 | Prismática | 3 |
| | | Moderada a fraca | 2,5 | Grande a muito grande | 2,5 | Blocos subangulares | 4 |
| | | Forte | 3 | Grande | 3 | Blocos angulares | 5 |
| | | Média a grande | 3,5 | | 3,5 | Granular | 6 |
| | | Média | 4 | | 4 | | |
| | | Pequena a média | 4,5 | | 4,5 | | |
| | | Pequena | 5 | | 5 | | |
| | | Muito pequena a pequena | 5,5 | | 5,5 | | |
| Muito pequena | 6 | | 6 | | | | |

Quadro 4 – Valores numéricos para consistência do solo

| Seco | n | Úmido | n | Molhado | | | |
|--------------------------------|-----|----------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| | | | | Plasticidade | n | Pegajosa | n |
| Solta | 1 | Solta | 1 | Não plástica | 1 | Não pegajosa | 1 |
| Solta a macia | 1,5 | Solta a muito friável | 1,5 | Não plástica a ligeiramente plástico | 1,5 | Não pegajosa a ligeiramente pegajosa | 1,5 |
| Macia | 2 | Muito friável | 2 | Ligeiramente plástica | 2 | Ligeiramente pegajosa | 2 |
| Macia a ligeiramente dura | 2,5 | Muito friável a friável | 2,5 | Ligeiramente plástica a plástica | 2,5 | Ligeiramente pegajosa a pegajosa | 2,5 |
| Ligeiramente dura | 3 | Friável | 3 | Plástica | 3 | Pegajosa | 3 |
| Ligeiramente dura a dura | 3,5 | Friável a firme | 3,5 | Plástica a muito plástica | 3,5 | Pegajosa a muito pegajosa | 3,5 |
| Dura | 4 | Firme | 5 | Muito plástica | 4 | Muito pegajosa | 4 |
| Dura a muito dura | 4,5 | Firme a muito firme | 5,5 | | | | |
| Muito dura | 5 | Muito firme | 6 | | | | |
| Muito dura a extremamente dura | 5,5 | Muito firme a extremamente firme | 6,5 | | | | |
| Extremamente dura | 6 | Extremamente firme | 7 | | | | |

2.4 CAPACIDADE PRODUTIVA DOS SÍTIOS

A capacidade produtiva desse estudo foi quantificada por três variáveis dendrométricas, índice de sítio (SI), incremento médio anual (IMA) e razão da produtividade (Rpr). Rpr é a razão entre IMA e o incremento médio anual potencial (IMAp), que resulta um valor entre 0 a 1 e $\Delta Rpr\% = (1 - Rpr) \times 100$, conforme método proposto por Menezes (2005), ou seja representa o ganho de produtividade possível em percentual.

As informações sobre as variáveis dendrométricas para esse estudo procederam do inventário florestal realizado por Miranda (2011). Identificaram-se três parcelas (repetições) do inventário em cada sítio, com medições mais recentes, para as coletas de dados dendrométricos e de amostras do solo nas camadas.

O inventário florestal foi realizado na área do estudo desde 2002, com o mesmo método, alocando-se parcelas permanentes circulares, com área de 400 m², distribuídas casualmente; medindo-se na parcela o diâmetro à altura do peito (DAP)² de todas as árvores, com DAP igual ou superior a 0,06 m, a altura total das cinco primeiras árvores e a altura total das quatro árvores mais grossas (árvores dominantes). As árvores dominantes foram definidas pelo conceito de Assman, ou seja, altura média das 100 árvores mais grossas por hectare (SCOLFORO, 1997b). As alturas das demais árvores foram estimadas por equações hipsométricas elaboradas a partir de todas as árvores medidas.

O volume de cada parcela foi calculado pelo somatório dos volumes individuais de todas as árvores e o volume de cada árvore foi estimado por equações volumétricas elaboradas a partir da cubagem rigorosa. A cubagem rigorosa é o método para estimar o volume real da árvore (variável dependente) a partir da correlação com as variáveis independentes DAP e altura total (SCOLFORO, 1997a).

A cubagem rigorosa utilizou o método de Smalian para o cálculo dos volumes cilíndricos dos troncos parciais. Após as medições das árvores no inventário se estabeleceu o número de árvores que foram abatidas por classe de diâmetro para a cubagem. As medições das circunferências nas seções das árvores abatidas foram nas distâncias de 0,3 m, 0,7 m, 1,3 m, 2 m e a partir daí a cada 2 m até a circunferência mínima de 0,12 m considerada para o volume comercial. Os volumes das seções da ponta e da cepa da árvore foram calculados separados. O volume da cubagem rigorosa de uma árvore correspondeu à soma de todas as seções. Isto permitiu estimar o volume de uma árvore pelas variáveis independentes DAP e altura total.

Os dados do inventário florestal estavam armazenados num banco de dados do Microsoft Access 2010 (MICROSOFT CORPORATION, 2010a), possibilitando-se com isto utilizar as séries históricas das medições nas parcelas, inclusive as que tiveram suas árvores cortadas em período anterior ao estudo.

² DAP medido a 1,30 m acima do solo.

As informações dendrométricas utilizadas nesse estudo estavam em rotações e idades diferentes, por isto precisaram ser equalizadas para a idade de referência de 6 anos.

As estimativas de SI, para cada sítio, foram realizadas pelo modelo de Prodan (1), apresentado por Scolforo (1997b), no qual o valor de SI correspondeu à altura média das árvores dominantes (Hd) na idade de referência de seis anos e I_{ref} foi a idade de referência. Para isso, as curvas de SI foram estabelecidas a partir da correlação múltipla não linear das idades das medições das parcelas do inventário florestal (I) com Hd.

$$SI = \frac{I_{ref}^2}{a+b*I_{ref}+c*I_{ref}^2} \quad (1)$$

O IMA foi calculado pela equação (2), mas antes se equalizou a variável V_2 , para a idade de referência de seis anos, pelos modelos explícitos de produção e crescimento de densidade variável em volume e área basal, equações (3) e (4), de acordo com (CLUTTER, 1963; SCHUMACHER, 1939; SCOLFORO, 1998). Para isso, se utilizou os dados do inventário florestal nas diversas medições.

$$IMA = \frac{V_2}{6} \quad (2)$$

$$V_2 = \exp\left(a + b \times +c I_2^{-1} + d \ln(G_2)\right) \quad (3)$$

$$G_2 = \exp\left(\left(\frac{I_1}{I_2}\right) \times \ln(G_1) + \left(\frac{e}{d}\right) \times \left[1 - \left(\frac{I_1}{I_2}\right)\right] - \frac{f}{d} \times S \times \left[1 - \left(\frac{I_1}{I_2}\right)\right]\right) \quad (4)$$

IMA: incremento médio anual
($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$);

V₂: produção em volume na idade
presente I_2 ($m^3 ha^{-1}$);

G₁: área basal na idade I_1 (m^2);

G₂: área basal predita na idade I_2
(m^2);

I₁: idade inicial (anos);

I₂: idade de referência 6 anos;

SI: índice de sítio (m);

Ln: logaritmo natural;

a: constante;

b, c, d, e, f: variáveis.

A variável R_{pr} foi calculada pela equação (5). O IMA foi medido pelo inventário florestal e equalizado para a idade de seis anos e o IMA_p foi calculado pelo modelo 3PG (LANDSBERG e WARING, 1997). O 3PG é um modelo baseado em processos, que utiliza princípios fisiológicos para estimar a produtividade de povoamentos florestais equiâneos, e contempla, essencialmente, a quantidade de energia radiante que será absorvida pelo dossel, convertida em carboidratos e alocada nos diferentes componentes da árvore (LANDSBERG e WARING, 1997). Na Quadro 5 estão as variáveis aplicadas aos modelo para os sítios, S1 a S5, e o Quadro 6 se encontram os valores dos principais parâmetros para utilização do modelo 3PG após a parametrização e calibração efetuadas por Borges (2009). Para a capacidade de água disponível foi considerada a profundidade de 2 m para exploração do sistema radicular e os valores de água disponível e densidade do solo nas camadas de 0–0,2 m, 0,2–0,4 m e 0,4–2 m.

$$R_{pr} = \frac{IMA}{IMA_p} \quad (5)$$

R_{pr}: razão entre IMA e IMA_p;

IMA: incremento médio anual ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$);

IMA_p: incremento médio anual potencial ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$).

Quadro 5 – Variáveis aplicadas para modelo 3PG

| Variável | Sítios | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
| Latitude (DD) | -12,015 | -12,015 | -12,015 | -12,015 | -12,015 |
| Modulador de fertilidade | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Classe de textura de solo | sl | sl | sl | sl | sl |
| Máxima capacidade de água disponível (mm) | 121 | 137 | 106 | 221 | 75 |

sl: areia-franca

Quadro 6 – Valores dos principais parâmetros do modelo 3PG após parametrização e calibração efetuadas por Borges (2009)

| Parâmetro | Símbolo | Unidade | Borges (2009) |
|---|---------------|--------------------------------|---------------|
| Biomassa inicial de folhas | W_F | t/ha | 0,168 |
| Biomassa inicial de stem (galho+casca+lenho) | W_S | t/ha | 0,106 |
| Biomassa inicial de raiz | W_R | t/ha | 0,099 |
| Partição folha/stem para $D=0,2$ m | pFS2 | - | 1,64 |
| Partição folha/stem para $D=0,2$ m | pFS20 | - | 0,15 |
| Constante do relacionamento entre massa do stem vs DAP | stemConst | - | 0,020 |
| Potência do relacionamento entre massa do stem vs DAP | stemPower | - | 3,11 |
| Fração máxima da PPL para raízes | pRx | - | 0,5 |
| Fração mínima da PPL para raízes | pRn | - | 0,1 |
| Taxa de queda de "litter" para plantios em idade adulta | gammaFx | 1/mês | 0,07 |
| Taxa de queda de "litter" para $t=0$ | gammaF0 | 1/mês | 0,001 |
| Idade em que a taxa de queda de "litter" tem valor médio | tgammaF | Mês | 4 |
| Taxa média de ciclagem radicular | Rttover | 1/mês | 0,025 |
| Temperatura mínima para o crescimento | Tmin | °C | 8 |
| Temperatura ótima para o crescimento | Tpot | °C | 25 |
| Temperatura máxima para o crescimento | Tmax | °C | 40 |
| Valor de 'm' quando $FR=0$ | m0 | - | 0 |
| Valor de f_N quando $FR=0$ | fN0 | - | 0,5 |
| Potência de $(1 - FR)$, na expressão do f_N | fNn | - | 1 |
| Taxa de fertilidade do solo (FR) | FR | - | 0,9 |
| Parâmetro relacionado com disponibilidade de água no solo | Soil Class | - | C |
| Idade máxima do "stand" para computar a idade relativa | MaxAge | Ano | 9 |
| Potência da idade relativa na função para f_{age} | nAge | - | 4 |
| Idade relativa para dar $f_{age}=0,5$ | rAge | - | 0,95 |
| Área foliar específica para plantios em idade inicial | SLA0 | m ² /Kg | 13,74 |
| Área foliar específica para plantios em idade adulta | SLA1 | m ² /Kg | 7,56 |
| Idade na qual a área foliar específica = $\frac{1}{2}(\sigma_0 + \sigma_1)$ | tSLA | ano | 1,23 |
| Coeficiente de extinção da RFAA pelo dossel | K | - | 0,5 |
| Idade de fechamento do dossel | fullCanAge | Ano | 2 |
| Máxima proporção de chuva interceptada pelo dossel | MaxIntcptn | - | 0,15 |
| IAF em que a interceptação de água pelo dossel é máxima | LAImaxIntcptn | m ² /m ² | 3,33 |
| Eficiência quântica máxima do dossel | Alpha | - | 0,08 |
| Relação PPL/PPB | Y | - | 0,5 |
| Máxima condutância da camada limítrofe do dossel | MaxCond | m/s | 0,02 |
| IAF em que a condutância do dossel é máxima | LAlgcx | m ² /m ² | 3,33 |
| Define a resposta estomática ao déficit de pressão do vapor | CoeffCond | mbar ⁻¹ | 0,0324 |
| Condutância da camada limítrofe do dossel | BLcond | m/s | 0,2 |
| Massa de lenho máxima para cada 1 000 árvores ha ⁻¹ | wSx1000 | Kg/arv. | 300 |
| Fração de galho e casca para plantios em idade inicial | fracBB0 | - | 0,59 |
| Fração de galho e casca para plantios em idade adulta | fracBB1 | - | 0,19 |
| Idade na qual a fração de galhos e casca = $\frac{1}{2}(P_{BB0} + P_{BB1})$ | tBB | Ano | 2,17 |
| Densidade básica mínima – plantios em idade inicial | rhoMin | t/m ³ | 0,382 |
| Densidade básica máxima – plantios em idade adulta | rhoMax | t/m ³ | 0,505 |
| Idade na qual a densidade básica = $\frac{1}{2}(\rho_0 + \rho_1)$ | tRho | ano | 2,264 |
| Constante do relacionamento ente Altura vs DAP | aH | - | 0,67 |
| Potência do relacionamento ente Altura vs DAP | nHB | - | 1,27 |
| Constante do relacionamento entre Volume vs DAP | aV | - | 0,0256 |
| Potência do relacionamento entre Volume vs DAP | nVB | - | 3,22 |

2.5 RELAÇÕES SOLO-SÍTIO

A aplicação do método solo-sítio foi baseado na correlação dos atributos do solo que explicam significativamente a capacidade produtiva, utilizando-se regressões múltiplas, de acordo com Carmean (1975). O objetivo do método é estimar a capacidade produtiva de sítios sem informações dendrométricas, quando estão em condições semelhantes aos que deram origem aos modelos de regressão. Os atributos do solo são as variáveis independentes e a capacidade produtiva a variável dependente. Conforme explicado na introdução desse estudo, é importante que as parcelas dos povoamentos florestais adultos representem uma ampla variação de sítios. Então, o primeiro passo para aplicação do método foi testar a hipótese nula (H_0) pela análise de variância (ANAVA) para a variável dependente a 5% de probabilidade (FERREIRA, 1996; GOMES, 1978; SPIEGEL, 1993; UNDERWOOD, 1997). Quando H_0 foi rejeitada se aplicou o teste de Tukey a 5% para comparar todo e qualquer contraste entre duas médias da variável analisada.

A correlação dos atributos físicos, morfológicos e químicos do solo com as variáveis dependentes SI, IMA e Rpr foi analisada segundo a correlação de Pearson, a 5% de significância, por camada e geral. Os atributos do solo selecionados para testar os modelos foram aqueles que apresentaram os maiores coeficientes de correlação (R). Carmean (1975) salientou que muitas variáveis independentes podem não ser verdadeiramente independentes entre si, havendo correlação entre elas. A fim de se eliminar um possível efeito de redundância entre as variáveis independentes fez-se a matriz de correlação também entre os atributos selecionados, retirando-se aqueles que apresentaram coeficientes (R) acima de 0,7 entre si. Isto se justifica para prevenir o efeito de multicolinearidade com reflexos na magnitude e até mesmo nos sinais dos parâmetros da regressão. Também foi investigada a existência de possíveis resíduos atípicos e pontos de influência, assim como se analisaram graficamente os valores observados versus estimados e os resíduos. Após ultrapassar essas etapas foi analisado o valor do coeficiente de determinação R^2 e o erro padrão da média de cada modelo.

Os procedimentos estatísticos utilizaram o software Statgraphics Centurion XVI (STATPOINT TECHNOLOGIES, INC., 2011), para se estudar os modelos matemáticos mais adequados.

2.6 QUALIDADE DO SOLO

A avaliação da possível alteração da qualidade do solo em função do manejo nos sítios desse estudo utilizou o método desenvolvido por Karlen e Stott (1994) e atualizado por Andrews et al. (2004), que estabelece uma estrutura para avaliação da qualidade do solo (EAQS). A EAQS é composta pela meta do manejo, pelas funções do solo e pelo conjunto mínimo de dados (MDS). Larson e Pierce (1994) caracterizaram o MDS como um grupo de indicadores combinados que possa quantificar as dimensões inerentes e dinâmicas da qualidade do solo, assim como consideraram a utilização de funções de pedotransferências. Na Figura 2 pode observar-se a EAQS estabelecida para avaliação da qualidade do solo deste estudo.

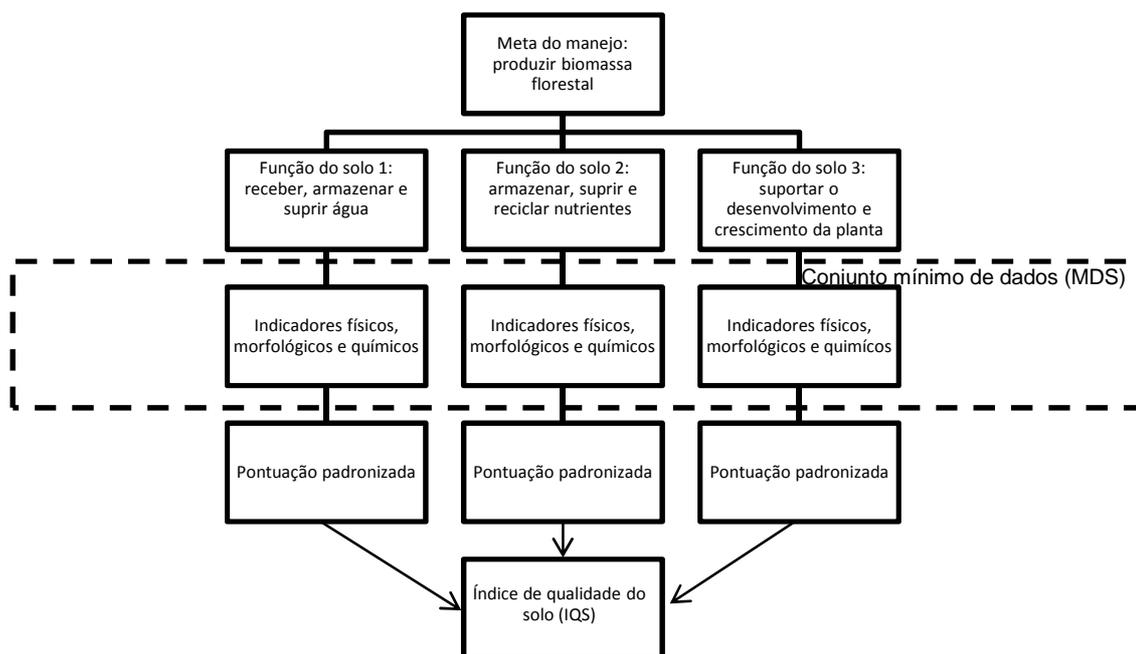


Figura 2 – Estrutura para avaliação da qualidade do solo (EAQS)

O retângulo no nível superior representa a meta do manejo que é a produção de biomassa florestal, tendo sido quantificada nesse estudo pela capacidade produtiva dos sítios com Re, ou seja, pelas variáveis dendrométricas SI e IMA. Os retângulos do segundo nível contêm as funções do solo consideradas relevantes para esse caso, seguindo-se sugestão de diferentes autores (ANDREWS, KARLEN e CAMBARDELLA, 2004; CHAER, 2001; KARLEN e STOTT, 1994; KARLEN, DITZER e ANDREWS, 2003; MENEZES, 2005; SOUZA, 2005), que são: 1) receber, armazenar e suprir água; 2) armazenar, suprir e reciclar nutrientes; e 3) suportar o desenvolvimento e crescimento da planta. A partir desse ponto a aplicação da EAQS para se determinar o MDS seguiu três etapas (KARLEN e STOTT, 1994): seleção de indicadores, transformação dos indicadores na pontuação padronizada e cálculo do índice de qualidade do solo.

2.6.1 SELECÇÃO DOS INDICADORES

Primeiramente foram selecionados, dentre os 42 atributos do solo desse estudo, os indicadores que melhor representavam as funções do solo (ANDREWS, KARLEN e CAMBARDELLA, 2004) e que, preferencialmente, se correlacionavam com a capacidade produtiva dos sítios. Em seguida, se correlacionaram esses indicadores com todos os demais atributos do solo, selecionando-se os que apresentaram coeficientes de correlação (R) significativos ao nível de 5%, tanto nas camadas específicas nas profundidades de 0–0,1 m, 0,1–0,2 m e 0,2–0,4 m, quanto na camada geral de profundidade 0–0,4 m.

O peso do indicador (W_i) foi proporcional aos valores de R em cada função, ou seja, representou a razão entre a média do coeficiente nas camadas e a soma destas médias em cada função. Os valores dos coeficientes de correlação para os indicadores representativos das funções foi igual a um.

O peso da função (W_f) foi estabelecido pela sua relevância com a meta do manejo.

As somas dos pesos dos indicadores e das funções totalizaram valores iguais a um.

2.6.2 PONTUAÇÃO PADRONIZADA

Após a seleção dos indicadores e atribuição dos pesos, os valores observados de cada indicador foram transformados em valores de 0 a 1, utilizando-se curvas de pontuação padronizada não lineares (ANDREWS, KARLEN e CAMBARDELLA, 2004; KARLEN e STOTT, 1994). Isto foi feito porque estes indicadores precisam ser combinados para formar o MDS e representar as funções do solo, mas apresentavam diferentes unidades e amplitudes. Então, essas curvas foram estabelecidas pela interpretação do comportamento do indicador em relação à função do solo, e pelos valores críticos dos indicadores na curva, que resultou em curvas de diferentes formas (e.g. mais-é-melhor, menos-é-melhor ou ótimo) (ver na Figura 3).

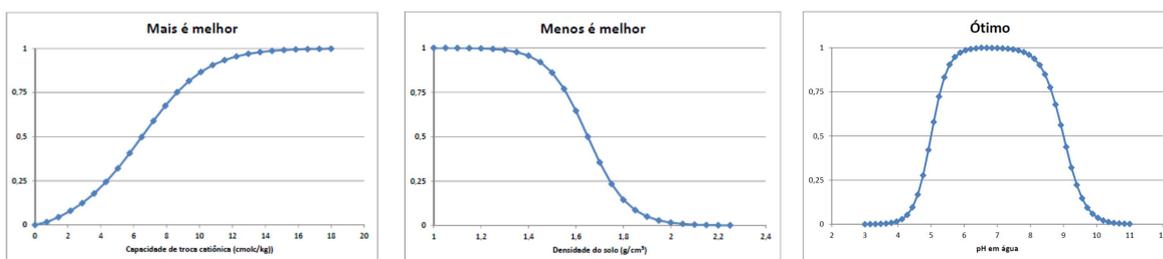


Figura 3 – Tipos de curvas para a transformação do indicador do solo na pontuação padronizada: mais-é-melhor; menos-é-melhor e ótimo

O cálculo da pontuação padronizada do indicador (PP_i) pelas curvas utilizou a equação (6) estabelecida por Wymore (1993),

$$PP_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{B-L}{x-L}\right)^{2S(B+x-2L)}} \quad (6)$$

onde B é o valor crítico ou limite base do indicador cuja pontuação padronizada é 0,5, L é o valor inicial ou limite inferior que o indicador pode expressar aceitando-se inclusive 0, x é o valor do indicador obtido na amostra e S é a inclinação da tangente da curva no ponto correspondente ao valor crítico ou limite base.

Tanto os valores de limite inferior (L) e o limite superior (U), quanto o comportamento das curvas foram estabelecidos por meio de opiniões de especialistas, bancos de dados específicos, publicações especializadas ou conhecimento específico, de acordo com Andrews, Karlen e Cambardella (2004) e Karlen e Stott (1994).

O cálculo da inclinação da tangente à curva (S) na linha base (B) utilizou a equação (7),

$$S = \frac{\text{Ln}\left(\frac{1}{PP_i} - 1\right)}{2(B+x-2L) \times \text{Ln}\left(\frac{B-L}{x-L}\right)} \quad (7)$$

onde as variáveis são as mesmas atribuídas para a equação (6).

Para o cálculo de S foi necessário utilizar o valor PP_i igual a 0,49995 (informação verbal)³. A variável x que é o valor do indicador obtido na amostra foi multiplicada pelo fator 0,99996 ou outro valor próximo que apresentasse o comportamento mais adequado da curva. O valor S para a curva mais-é-melhor tem sinal positivo e para a curva menos-é-melhor tem sinal negativo. A curva do ótimo é composta por duas partes, mais-é-melhor e menos-é-melhor, sendo calculado um valor S para a primeira com seu respectivo valor B_1 até o valor ótimo B_3 e outro valor S após B_3 com sinal negativo com seu respectivo valor B_2 . A visualização da curva foi possível a partir da construção de um gráfico de dispersão, com a variável independente x correspondendo aos valores intermediários entre L e U com intervalos suficientes para 25 valores e a variável dependente com valores estimados para PP_i .

O cálculo de S utilizou o software Microsoft Excel 2010 (MICROSOFT CORPORATION, 2010b).

³ Comunicação pessoal do professor Luciano da Silva Souza do Programa de Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em Cruz das Almas, Bahia, 2012.

2.6.3 ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO

Conhecido os valores de PP_i se aplicou os pesos dos indicadores e das funções obtendo-se a pontuação padronizada do indicador com os pesos (PP_w) pela equação (8),

$$PP_w = \frac{\sum(PP_i \times W_i \times W_f \times 10)}{n} \quad (8)$$

onde W_i é o peso do indicador, W_f é o peso da função e n é o número de parcelas. O índice i representa os indicadores de 1 a n e o índice f representa as funções de 1 até n . A multiplicação pelo número 10 foi sugerido por Andrews, Karlen e Cambardella (2004) para proporcionar um intervalo ente 0 e 10, ao invés de 0 a 1, pensando em facilitar a compreensão pelos usuários potenciais.

Os valores de PP_w foram calculados separadamente para cada camada e profundidade (1) 0–0,1 m, (2) 0,1–0,2 m, (3) 0,2–0,4 m, e (geral) 0–0,4 m, sendo que a camada (geral) foi calculada pela média ponderada das profundidades, equação (9).

$$PP_{w(0-0,4)} = \frac{PP_{w(0-0,1)} \times 10 + PP_{w(0,1-0,2)} \times 10 + PP_{w(0,2-0,4)} \times 20}{40} \quad (9)$$

O cálculo da pontuação padronizada da função PP_f , foi realizado pela equação (10), onde n era o número de parcelas,

$$PP_f = \frac{(\sum PP_w)}{n} \quad (10)$$

O cálculo do IQS para cada sítio foi realizado pela equação (11),

$$IQS = \frac{(\sum PP_f)}{n} \quad (11)$$

onde o índice de qualidade do solo (*IQS*) foi o somatório do produto da pontuação padronizada da função (PP_f) e n o número de parcelas

A comparação entre as médias do indicador pelo fator do sítio foi realizada pelo Teste de Fisher (ou LSD), teste de diferença mínima significativa, ao nível 10% de probabilidade.

2.7 QUALIDADE DO SÍTIO

Tradicionalmente o termo qualidade do sítio se refere à capacidade produtiva em função da combinação dos fatores físicos e fisiológicos numa localização geográfica específica e pode envolver uma classificação descritiva (SKOVSGAARD e VANCLAY, 2008). Ainda de acordo com Skovsgaard e Vanclay (2008), a produtividade do sítio se refere ao potencial de produção estimada de um sítio para um determinado genótipo e um regime de manejo especificado.

A abordagem sobre a qualidade do sítio, tratada nesse estudo, procurou incorporar um novo conceito, conciliando os resultados da capacidade produtiva com os da qualidade de solo.