

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

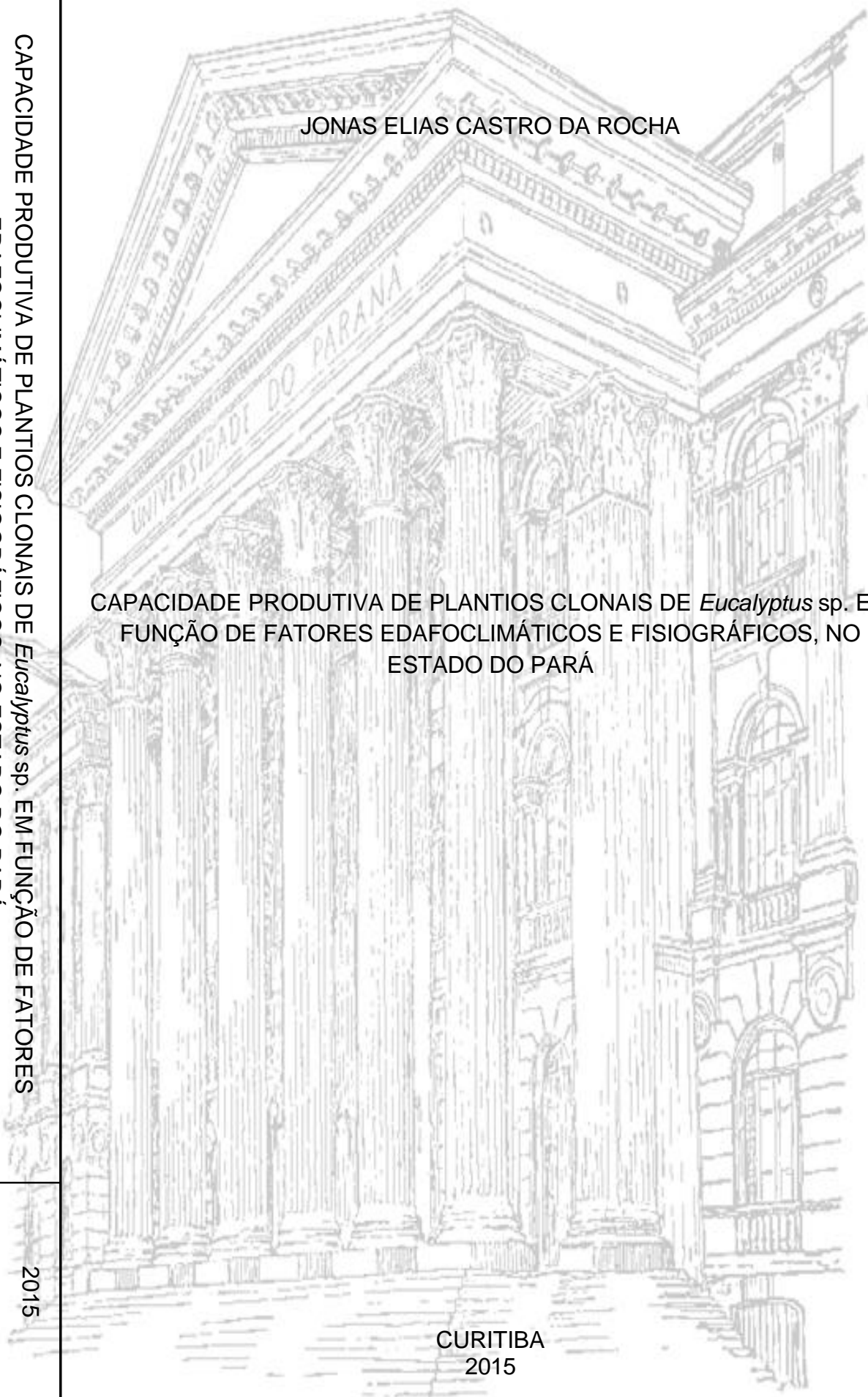
JONAS ELIAS CASTRO DA ROCHA

CAPACIDADE PRODUTIVA DE PLANTIOS CLONAIS DE *Eucalyptus* sp. EM  
FUNÇÃO DE FATORES EDAFOCLIMÁTICOS E FISIAGRÁFICOS, NO  
ESTADO DO PARÁ

CAPACIDADE PRODUTIVA DE PLANTIOS CLONAIS DE *Eucalyptus* sp. EM FUNÇÃO DE FATORES  
EDAFOCLIMÁTICOS E FISIAGRÁFICOS, NO ESTADO DO PARÁ

2015

CURITIBA  
2015



JONAS ELIAS CASTRO DA ROCHA

CAPACIDADE PRODUTIVA DE PLANTIOS CLONAIS DE *Eucalyptus* sp. EM  
FUNÇÃO DE FATORES EDAFOCLIMÁTICOS E FISIOGRAFICOS, NO  
ESTADO DO PARÁ

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Especialização em Gestão Florestal no curso de Pós-graduação em Gestão Florestal, Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Marcos André Piedade Gama

CURITIBA  
2015

## DEDICATÓRIA

*À Deus e a minha família, bem como a todos aqueles que de certa forma colaboraram para a concretização desse sonho.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade na realização deste curso.

Ao Professor Marcos André Piedade Gama pelas orientações, estímulo, paciência e acima de tudo pela confiança.

Aos coordenadores e professores dos cursos de pós-graduação da UFPR, pelo esforço em propósito de torná-la cada vez melhor.

Aos meus queridos familiares: Benedito Castro, Benedita Castro, Maria Luiza, Nayana Castro, Nádia Costa, Joel Castro, Sandro Benício, Denilson Castro, Pietro Costa, Raquel Celine, Débora Castro, Vinícius Magno, que sempre estiveram do meu lado.

Em especial, à minha esposa Cristina Shizuka Kameyama Castro, pelo amor e companheirismo a mim dedicado.

**AGRADEÇO!**

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi ajustar um modelo de regressão que estime o incremento médio anual em volume ao sétimo ano através da definição de fatores edáficos, climáticos e pela análise de componentes principais, em plantios clonais de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na mesorregião sudeste do Estado do Pará. Para isso foram coletados dados de atributos edáficos, climáticos e fisiográficos, os quais foram submetidos à análise multivariada de componente principal para identificar as variáveis mais significativas no ajuste do modelo de regressão. Para tal, utilizaram-se dados de 50 parcelas com dimensões de 24 x 24 m coletados no ano de 2011. Após a análise dos componentes principais e correlação das variáveis com os fatores dos componentes considerou-se viável o ajuste da equação de regressão para estimar o incremento médio anual em volume para o sétimo ano de plantios clonais de híbridos no sudeste paraense.

Palavras-chave: Análise de componente principal. Atributos do solo. Reflorestamento.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 -</b>	Localização do Município de Dom Eliseu, Nordeste do Estado do Pará.....	15
<b>Figura 2 -</b>	Localização das parcelas experimentais.....	17
<b>Figura 3 -</b>	Variância dos componentes principais dos atributos edáficos, climáticos e fisiográficos de plantios clonais de híbridos de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> na mesorregião sudeste do Estado do Pará.....	19
<b>Figura 4 -</b>	Escore dos atributos fisiográficos, climáticos, edáficos e dendrométricos dos dois primeiros componentes CPs.....	21
<b>Figura 5 -</b>	Comparação entre os valores reais dos IMA7 e os estimados pela regressão.....	23

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 -</b>	Variáveis avaliadas na pesquisa.....	15
<b>Tabela 2 -</b>	<i>Loadings</i> das características analisadas com as componentes principais (CPs), na mesorregião sudeste do Pará.....	20
<b>Tabela 3 -</b>	Resumo da Regressão para estimativa do IMA7 para plantios de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> , na mesorregião sudeste do Estado do Pará.....	22

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVO</b> .....	3
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	4
3.1 HÍBRIDO <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> .....	4
3.2 REFLORESTAMENTO COM <i>Eucalyptus</i> .....	5
3.3 MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO EM FLORESTAS PLANTADAS ...	6
3.4 PRODUTIVIDADE FLORESTAL .....	10
3.5 ANÁLISE MULTIVARIADA DE DADOS .....	11
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	14
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	14
4.2 PROGRAMA DE ADUBAÇÃO .....	15
4.3 VARIÁVEIS AVALIADAS.....	15
4.4 MENSURAÇÃO DAS VARIÁVEIS .....	16
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	17
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	18
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	24
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	25

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil as espécies do gênero *Eucalyptus* têm sido extensivamente utilizadas em plantios florestais, por diversas razões, seja pela grande plasticidade das espécies devido à diversidade de espécie adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas, pela elevada produção de sementes e facilidade de propagação vegetativa, pelas características silviculturais desejáveis como rápido crescimento, produtividade e boa forma do fuste, em função do melhoramento genético e ao manejo, e pela adequação aos mais diferentes usos industriais com ampla aceitação no mercado (MORA ; GARCIA, 2000).

Em um povoamento florestal as variáveis que mais influenciam no crescimento e na produção são a capacidade produtiva do sítio, densidade do plantio, a idade do povoamento Felde et al., (2010), bem como as características genéticas dos indivíduos. No âmbito da silvicultura, a capacidade produtiva de um local é definida como o potencial do sítio para a produção de madeira ou outros produtos, sob as condições ambientais existentes, tais como aspectos climáticos, fisiográficos e edáficos (LEITE et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2008).

Os principais fatores climáticos que afetam diretamente no desenvolvimento das árvores são a radiação solar, a disponibilidade de água e a temperatura. Entre os aspectos fisiográficos limitantes à produção pode-se citar a declividade do solo e altitude do terreno (MIRANDA, 2012). Além destes, o solo que também influencia de forma significativa a produção está relacionado ao armazenamento de água e ao fornecimento de água e nutrientes ao vegetal (MIRANDA, 2012).

A capacidade produtiva pode ser avaliada através de dois métodos, o direto e o indireto (BINOTI et al., 2012). O método direto mais utilizado para determinar a qualidade do sítio é o sistema de índice de sítio, este sistema relaciona a altura dominante em uma idade de referência (BINOTI et al., 2012; MENEZES, 2005; OLIVEIRA et al., 2008)

Entre os métodos indiretos, o mais utilizado é aquele que relaciona

as características de solo com a produção do sítio, o que estabelece relação entre as características físicas e químicas do solo com o desenvolvimento das árvores, através de equações matemáticas (MENEZES, 2005). Alguns estudos que relacionam os fatores edáficos e alguns fatores de formação do solo com a capacidade produtiva do sítio evidenciam que as propriedades físicas do solo e o relevo têm uma maior relação com a produção local, sendo os principais fatores determinantes para o crescimento das árvores os aspectos relacionados com as capacidades de retenção de nutrientes e de armazenamento da água no solo (GONÇALVES et al., 1990). No entanto considerando as propriedades químicas do solo, as que mais se correlacionam com o crescimento da maioria das espécies são: pH, conteúdo de matéria orgânica e, teores de fósforo disponível, nitrogênio total, potássio, cálcio e magnésio trocáveis, em ordem decrescente (GONÇALVES et al., 1990).

## 2 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi ajustar um modelo de regressão que estime o incremento médio anual em volume ao sétimo ano através da definição de fatores climáticos, fisiográficos e edáficos pela análise de componentes principais, em plantios clonais de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na Mesorregião Sudeste do Estado do Pará.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 HÍBRIDO *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

O eucalipto (*Eucalyptus* spp.) ocorre naturalmente na Austrália, Indonésia e ilhas próximas, tais como Flores, Alor e Wetar. O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae, com cerca de 600 espécies e sub-espécies, e apresenta uma ampla plasticidade e dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em diferentes situações edafoclimáticas, extrapolando aquelas das regiões de origem (BRASIL, 2009). Esse gênero é conhecido por sua grande variabilidade genética. São centenas de espécies com propriedades físicas e químicas tão diversas que fazem com que os eucaliptos sejam usados para as mais diversas finalidades (PEREIRA et al., 2000).

Geralmente, espécies de eucalipto apresentam rápido crescimento e madeira de média a alta densidade básica (RODIGHERI et al., 2001), além disso, apresentam vigor reconhecido, boa precocidade e adaptação a vários habitats, que o caracterizam como uma excelente opção para o reflorestamento (ALVES et al., 1994).

A introdução da espécie no Brasil foi feita há mais de um século, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro; os primeiros plantios sistemáticos foram feitos pelo Engenheiro-Silvicultor Dr. Edmundo Navarro de Andrade para atender à necessidade de madeira como fonte de energia para as locomotivas a vapor da Companhia Paulista de Estradas de Ferro (SOUZA, 1992). O auge de expansão do plantio de eucalipto ocorreu na década de 1960, quando houve a criação do Código Florestal e com a promulgação da lei de incentivo fiscal (SOUZA, 2002).

No Brasil, o eucalipto tem sido extensivamente utilizado em plantios florestais, graças às características de adaptação, rápido crescimento, produtividade, diversidade de espécies e por ter aplicação para diferentes finalidades (SILVEIRA, et al., 2001). Com espécies desse gênero, o Brasil vem desenvolvendo de modo eficiente as técnicas de viveiro, plantio e condução de florestas plantadas (CAIXETA, 2000).

Extensos plantios de eucalipto têm garantido o abastecimento de inúmeras indústrias consumidoras de matéria-prima florestal. O baixo custo e curto prazo de produção, em relação aos países de clima temperado e subtropical, ajudaram a colocar a indústria florestal brasileira no grupo das oportunidades de investimento de maior competitividade (RODRIGUEZ et al., 1997). As indústrias de papel e siderúrgicas formaram o alicerce de sua produção nos reflorestamentos de *Eucalyptus* spp. iniciados na década de 60. Com o passar do tempo, a madeira de eucalipto foi sendo destinada para outras finalidades, mas, principalmente, para produção de pasta celulósica (FERREIRA, 1992).

O *Eucalyptus urophylla* tem sido usado intensivamente em programas de melhoramento genético, principalmente de hibridação (REVISTA DA MADEIRA, 2001). O híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* é de grande interesse para o setor de celulose devido às características complementares como a qualidade tecnológica da madeira (*E. grandis*) e a resistência ao cancro (*E. urophylla*) (MURO-ABAD, 2003).

Com a evolução dos programas de melhoramento genético tradicional e da clonagem, atualmente estão sendo utilizados clones híbridos interespecíficos como: *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* e *E. urophylla* x *E. grandis*. Os materiais genéticos hibridizados apresentam maior “plasticidade” quanto à adaptação aos diferentes sítios florestais e, além disso, são mais produtivos e/ou apresentam melhores características da madeira (SILVEIRA et al., 2001).

Atualmente, grande número de reflorestamentos utiliza clones resultantes do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* (VALERI et al., 2001). Dentre as principais vantagens dos povoamentos clonais sobre os plantios por semente está a homogeneidade das plantações e facilidade de manejo silvicultural pré e pós-colheita (FERREIRA, 1992).

### 3.2 REFLORESTAMENTO COM *Eucalyptus*

Espécies do gênero *Eucalyptus* são atualmente as mais utilizadas em plantios florestais no Brasil, com cerca de 5.473.176 de hectares em áreas plantadas, representando 72,02 % do total dos plantios florestais do país (IBÁ,

2014). Nesse contexto é importante ressaltar que a área plantada desse gênero continua em processo de expansão, entretanto, em um ritmo menos acelerado. Essas espécies apresentam, geralmente, rápido crescimento, adaptação a variadas condições edafoclimáticas e sua madeira pode ser aproveitada para diversas finalidades, tais como produção de celulose, energia, bem como uso em serrarias (CARVALHO, 2010; ABRAF, 2011; CIB, 2008; SOUZA et al. 2004).

Para Juvenal & Matos (2002), o Brasil está entre os 10 países com maiores áreas de florestas plantadas do mundo, perfazendo um total de 6,4 milhões de hectares, considerando que, atualmente, 80% dessas florestas são pinus e eucalipto.

A demanda por madeira proveniente de florestas plantadas é cada vez maior, por esse motivo muitas empresas do setor têm procurado alternativas para aumentar sua produção, seja pela escolha de espécies florestais de rápido crescimento, pelo aumento da área plantada, ou ainda pelo aumento de produtividade nas áreas já utilizadas para reflorestamento (BRASIL, 2006).

Essas características do gênero *Eucalyptus* facilitaram a adaptação e os avanços em produtividade no Brasil. No entanto, para que o eucalipto continue sendo uma fonte viável de madeira de qualidade, estudos relacionados ao seu manejo tornam-se cada vez mais necessários, embora grandes avanços já tenham sido obtidos, principalmente nas áreas de melhoramento genético, técnicas de multiplicação clonal, mecanização e controle de qualidade das operações florestais entre outras (SANTANA; BARROS; NEVES, 2002).

Ainda, para Galeão et al. (2006), dentre as mesorregiões do Estado do Pará com maiores índices de projetos de reflorestamento aprovados está a região Nordeste, onde o município de Dom Eliseu atua efetivamente, quando em 1997 teve um número de 26 projetos de reflorestamento aprovado pelo IBAMA referentes a uma área de 823 ha que vem num contínuo crescimento.

### 3.3 MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO EM FLORESTAS PLANTADAS

A fertilidade do solo é um processo dinâmico que contribui para o planejamento de todas as etapas que seguirão a condução do povoamento vegetal. Com base em análise físico-químicas de solo se podem obter

informações importantes no âmbito do manejo a ser aplicado como: técnicas para o uso racional de corretivos e fertilizantes, conciliação da produtividade com os resultados econômicos e preservação do meio ambiente, a inter-relação entre os efeitos de fertilizantes e corretivos com as respostas do sistema solo/planta, promover uma melhor utilização de solos férteis e inférteis, além de, contribuir para a manutenção das principais funções do solo (LACLAU et al., 2010).

Para Novais et al., (2007), a capacidade produtiva dos sistemas de uso do solo é consequência de uma boa funcionalidade do mesmo atrelada a presença de nutrientes. Fator este, que em ecossistemas nativos, é garantido pela ciclagem natural dos elementos químicos. Nesse contexto, a qualidade do solo é atribuída como sendo uma importante ferramenta para a avaliação da capacidade produtiva de seus sistemas de uso, onde são verificados: o teor de matéria orgânica, pH, saturação por alumínio, capacidade de troca cátions, disponibilidade de nutrientes e condutividade elétrica.

Para Raij (1991), do ponto de vista produtivo, a fertilidade do solo contribui significativamente para a utilização de quantidades adequadas de corretivos e fertilizantes que possam viabilizar uma melhor resposta da cultura manejada.

A qualidade final dos componentes de num sistema agrícola, seja vegetal ou animal, depende diretamente do manejo e da fertilidade do solo (DORAN & ZEISS, 2000).

A necessidade de obtenção de maiores produtividades agrícolas e florestais torna cada vez mais relevante os estudos concernentes à disponibilidade de nutrientes do solo para as plantas (LANA; NEVES, 1994).

Entre as várias alternativas existentes para elevar o índice de produtividade, destaca-se a fertilização mineral nos povoamentos florestais. Como fator de produção, o fertilizante tem grande participação no custo final do produto (CHICHORRO et al., 1994), entretanto, muitos aspectos estão relacionados ao seu emprego, como época, número de aplicações, local, quantidade e formulações. Uma vez que essas variáveis podem refletir na produção final (CHICHORRO et al., 1992), pois melhoram a eficiência desses produtos. A aplicação de fertilizantes é uma das técnicas mais efetivas para

acelerar o crescimento e elevar a produtividade de florestas plantadas na região tropical úmida (BARROS; COMERFORD, 2002).

A fertilização mineral dos solos é prática adotada para elevar a capacidade produtiva de áreas agrícolas e florestais, suprindo as deficiências minerais, ou, repondo parte dos nutrientes que foram subtraídos do sistema por lixiviação ou carreados com a biomassa (ANDRADE et al., 1994).

Os maiores aumentos de produtividade em plantios de *Eucalyptus* spp. no Brasil, em geral, são relativos à aplicação de P, seguidos de K. Há, contudo, situações em que a resposta a outros nutrientes, como Ca, S e B, é também considerável (BARROS; COMERFORD, 2002).

Em plantações comerciais, a aplicação de fertilizantes é generalizada e requer a adoção de critérios para definição da tecnologia de fertilização, isto é, quais nutrientes aplicar, em que doses, épocas e modo de localização em relação à planta. Apesar de o eucalipto estar sendo intensamente plantado no Brasil desde a década de 60, os estudos publicados sobre a fertilização de solos para o seu cultivo referem-se às condições dos estados de Minas Gerais e São Paulo (BARROS et al., 2000), sendo raros na região amazônica. A efetividade do uso de fertilizantes para elevar a produção varia com uma série de fatores, como sítio, espécie, tipo de preparo da área e do solo, competição com plantas daninhas, uso anterior do solo, aspectos relacionados à própria técnica de adubação, etc. (BARROS; COMERFORD, 2002).

Do ponto de vista nutricional, o melhor crescimento de um genótipo, num dado ambiente, pode ser decorrente da sua maior capacidade de absorção de nutrientes do solo, como também pela sua maior eficiência em utilizar os nutrientes absorvidos na produção de biomassa. O reconhecimento dessas características da planta permite a seleção de indivíduos com maior eficiência nutricional, o que significa não somente uma possível economia de fertilizantes, mas, principalmente, a manutenção da produtividade florestal do sítio por um maior período de tempo (GOMES, 1996).

A demanda de nutrientes pela planta depende da sua taxa de crescimento e da eficiência com que ela converte o nutriente absorvido em biomassa. Para um mesmo material genético, numa determinada região, há

uma relação relativamente estreita entre taxa de crescimento e acúmulo de nutrientes na biomassa (BARROS et al., 2000).

A sustentabilidade de um ecossistema florestal, entre outros fatores, está associada com a estabilidade do balanço de nutrientes a curto, médio e longo prazo. O emprego de técnicas de manejo que optem por plantas mais eficientes em utilizar nutrientes, que conservem ao máximo os resíduos das culturas no sítio, que realizem o mínimo possível de intervenções antrópicas e cujo ciclo de crescimento seja longo o suficiente para permitir a máxima eficiência da ciclagem de nutrientes levará à maior conservação do ecossistema de florestas plantadas (SANTANA et al., 2002).

Em solos com baixos teores de nutrientes em formas disponíveis e totais, como é o caso da maioria dos solos utilizados para o plantio de eucalipto no Brasil (FARIA, 2000; SILVEIRA, 2000), a exportação de elevadas quantidades de nutrientes pela colheita florestal ao longo das rotações pode levar à redução da capacidade produtiva do sítio. Por isso, há necessidade de um melhor entendimento do potencial produtivo dos vários sítios, particularmente naquilo que diz respeito às características nutricionais e seu efeito na sustentabilidade da produção florestal. Portanto, o conhecimento da taxa de exportação de nutrientes por diferentes genótipos constitui um requerimento essencial com vista à adoção de técnicas de conservação e de reposição de nutrientes ao ecossistema (SANTANA et al., 1999).

Para o adequado manejo nutricional de plantios florestais há a necessidade de se quantificar os vários fluxos de nutrientes no ecossistema e, para isso, é importante se realizar um balanço nutricional para que se possa conhecer a real necessidade de fertilização. Esse balanço pode ser realizado pela quantificação dos nutrientes existentes no solo e na biomassa vegetal durante o ciclo de cultivo das florestas (MELO et al., 1995), principalmente nos primeiros três anos quando se têm as maiores respostas à fertilização.

No caso das florestas, o ciclo de cultivo é bem mais longo que nas culturas agrícolas, o que proporciona maior demora na obtenção de resultados de pesquisas nutricionais. Apesar disso, Khanna e Ulrich (1984) relatam que utilizações intensivas bem sucedidas dos solos florestais dependem basicamente do manejo adequado dos nutrientes, o que envolve conhecimento

adequado da relação entre as características dos solos e os processos de suprimento nutricional.

A melhor forma de avaliar a fertilidade de um solo consiste na condução de um experimento de adubação, perfeitamente planejado para se obter o maior número possível de respostas. Experimentos de adubação são complexos e de execução cara. Muito importante é a generalização das informações obtidas para outras áreas. Para isto são usados conhecimentos de solos e plantas, principalmente a análise de solo e, em menor escala, a análise de folhas (RAIJ, 1981).

Em povoamentos de eucalipto existe a necessidade de adubações periódicas nos primeiros 30 meses do ciclo de corte, para manter a taxa de crescimento das árvores a níveis satisfatórios ou de uma adubação específica para correção de deficiências nutricionais. Para isso, devem-se diagnosticar quais os elementos do solo que se encontram abaixo dos níveis críticos dessa espécie (VALERI, 1996).

### 3.4 PRODUTIVIDADE FLORESTAL

A priori é importante ressaltar a diferença entre produção e produtividade, pois, mesmo ambas sendo intimamente relacionadas, existe diferenças conceituais que auxiliam na compreensão do tema. O termo produção reflete a quantidade física produzida de um determinado produto no processo de transformação dos fatores adquiridos, disponibilizando o mesmo ao mercado consumidor (SANTANA, 2005). Já produtividade, refere-se à relação entre a produção e a quantidade de fatores inerentes ao processo em específico período (TESSLER, 2004).

A abrangência do termo produtividade reflete o conjunto de atividades técnicas e operacionais pertinentes a todo processo produtivo, desde o planejamento para a produção de mudas até a colheita. É notório que o fator tempo está intimamente relacionado com a produtividade, principalmente no contexto econômico/ financeiro, assim, a escolha e o manejo de espécies florestais de rápido crescimento, como as do gênero *Eucalyptus*, é crescente como foco de empreendimentos florestais (MORA; BALLONI, 1988).

Gessel (1982) considera produtividade como a resposta de um conjunto de árvores aos fatores limitantes, como clima, relevo, espécie, solo, idade e manejo. Já para Balloni (1985), a produtividade florestal é a soma dos fatores bióticos e abióticos que interagem com os indivíduos arbóreos. Esses fatores são subdivididos em fixos, geralmente agregados ao clima (fotoperíodo, insolação, temperaturas, entre outros), e os fatores manejáveis, inerentes à silvicultura aplicada. Dentre os fatores considerados manejáveis, a fertilidade do solo é relevante para a obtenção de resultados satisfatórios quanto à produtividade, através da utilização de técnicas de fertilização adequadas para cada sítio florestal.

O crescimento dendrométrico de um povoamento florestal num determinado período é função de processos fisiológicos, que são dependentes a interação entre fatores biológicos e abióticos. Os fatores biológicos que são determinantes da produtividade florestal são: a variabilidade genética, a densidade do povoamento, a competição entre plantas e a intensidade de doenças e pragas. E os principais fatores abióticos que podem limitar a produtividade florestal são: o clima, a fisiografia e o solo. Quando os fatores climáticos e fisiográficos são estabilizados por ação de uniformização de estratos, as propriedades do solo se convertem no fator principal do ambiente físico, que tem uma relação relevante com o crescimento da árvore. Normalmente, as atividades florestais em pequena escala não alteram os fatores climáticos e fisiográficos, apenas os fatores edáficos (GONÇALVEZ et. al., 1990; RALSTON, 1964).

O desenvolvimento florestal, no contexto de produtividade, pode influenciar positiva ou negativamente aspectos ambientais, esses efeitos são chamados de externalidade positivas e negativas, respectivamente. Para tanto, o manejo dos sistemas de uso do solo é relevante para estabelecer um ponto de equilíbrio da economia sustentável (TESSLER, 2004; TIETENBERG, 2000).

### 3.5 ANÁLISE MULTIVARIADA DE DADOS

A utilização de técnicas multivariadas é dada em condições estatísticas onde muitas variáveis apresentam correlações significativas entre si, de forma que, o número de variáveis analisadas é proporcional à complexidade da

análise. Todavia, os procedimentos multivariados denotam um conjunto de técnicas que viabilizam a interpretação simultânea do comportamento das variáveis múltiplas (BARROSO et al, 2003; HAIR et al., 2005).

As técnicas de estatística multivariada têm o objetivo de simplificar o entendimento de fenômenos com elevados níveis de complexidade. Estas podem ser utilizadas com razão de construir índices ou identificar variáveis alternativas e grupos de elementos amostrais, analisar as relações de dependência das variáveis e comparar as populações (CARVALHO JUNIOR et al., 2008; VARELLA, 2008; HAIR et al., 2005).

A estatística multivariada tem sido utilizada largamente em estudos voltados para a ciência do solo, principalmente agrupando variáveis que podem apresentar limitações para a produtividade (ALVES et al, 2011; MELÉM JÚNIOR et al., 2008; BARETTA et al., 2008; FERREIRA, 2008; RIBEIRO, 2007; MOURA et al., 2006; GROBE, 2005).

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica de multivariadas que permite a redução do ambiente amostral por definir variáveis principais através de um reduzido número de combinações lineares, denominados componentes principais (CPs) não correlacionados, que expressam variabilidades semelhantes (MOITA NETO, 2008). Os CPs definidos na análise elucidam a variabilidade total dos dados originais e apresentam maior força quando maior for a correlação entre as variáveis originais (FERREIRA, 2008).

Os CPs apresentam características gráficas que constituem eixos cartesianos, de maneira a formar um plano bidimensional representando dois CPs, ou até mesmo tridimensional, com três. Neste procedimento, a variabilidade dos dados é coordenada a sentimento pelo manipulador do método. Entretanto, alguns preceitos básicos podem ser admitidos para definir o número de CPs, a saber: 1) embasado na escolha de componentes com autovalores maiores que a unidade ( $>1$ ), este valor também pode ser determinado pelo número de componentes que representem em torno de 70% da variância acumulada; 2) o outro preceito é escolher CPs que detenha no mínimo uma variável com "*loading*" (valor absoluto) acima de 0,70 (MOITA NETO, MOITA, 1998).

O procedimento matemático de definição da ACP viabiliza que o primeiro CP admitido represente a maior variação dentro do ambiente amostral, sendo responsável pelo maior discernimento das unidades de um determinado estudo. Os demais CPs explicarão de forma decrescente o restante da variação dos dados (FERREIRA, 2008). Assim, as baixas correlações serão condições-chaves para a exclusão de variáveis, na avaliação de componentes mais importantes sem perder informações relevantes no estudo.

Melém Júnior et al. (2008) utilizaram a análise de componentes principais para agrupar os solos do Estado do Amapá, a partir de resultados analíticos da fertilidade do solo. Neste estudo foram definidos como principais restrições para o aproveitamento agrícola dos solos do Estado do Amapá, a baixa disponibilidade de fósforo, acidez elevada, altos teores de alumínio trocável, baixa soma de bases e baixos valores para a saturação por bases.

Os atributos físicos, químicos e biológicos em solo sob diferentes sistemas de uso foram avaliados por Ribeiro (2007), através da ACP, sendo permitido a partir deste a diferenciação dos ambientes estudados, sugerindo que diferentes formas de manejos deverão ser adotadas para a obtenção de efeitos significativos nas propriedades do solo.

Com a ACP é possível obter variáveis ou conjunto de variáveis que retenham o máximo possível de informações nelas contidas que expliquem a maior parte da variabilidade total dos dados, revelando que tipo de relacionamento existe entre eles (MINGOTI, 2005; FERREIRA, 2008). É, portanto, uma técnica que se presta fundamentalmente como um passo intermediário nas investigações científicas exploratórias (MARTEL et al., 2003; ANDRADE et al., 2003; BERTOLINI et al., 2008).

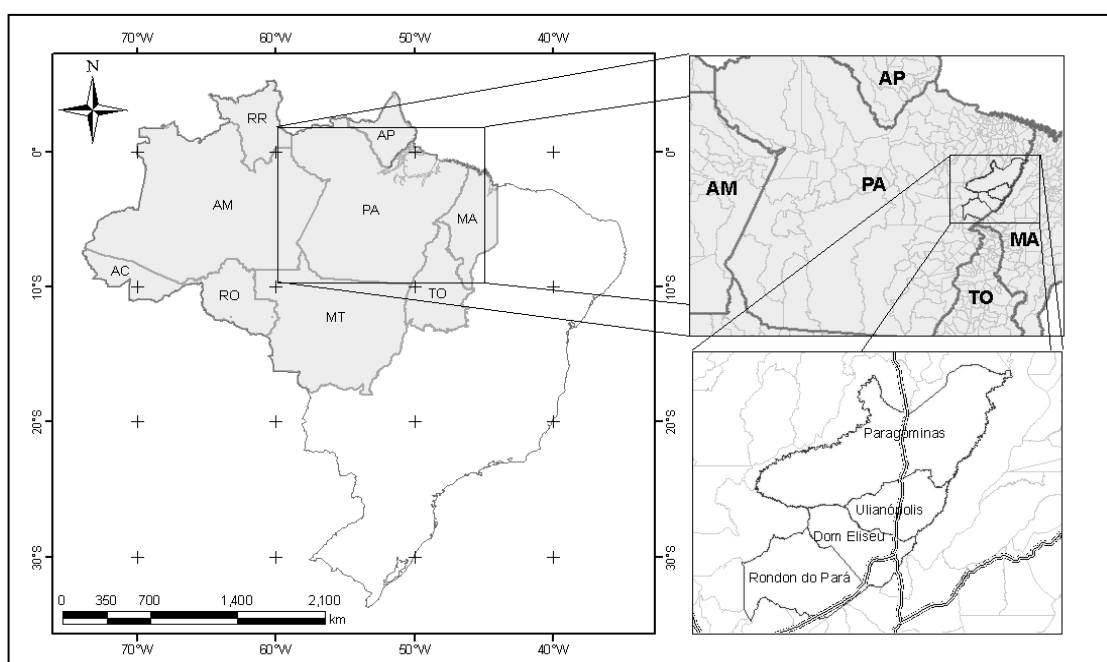
## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O trabalho foi conduzido em área de plantios comerciais de clones de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com espaçamento entre plantas de 3 m x 3 m, localizados nos municípios de Dom Eliseu, Ulianópolis e Paragominas, pertencentes à mesorregião sudeste do Estado do Pará (Figura 1).

A estrutura geológica é representada por sedimentos Cretácicos, da Formação Itapecuru, com predominância de arenitos vermelhos, caulínicos, argilitos e calcário margoso fossilífero, com sedimentação Terciária, que constitui a Formação Barreiras, a de maior importância econômica para o Município, pois nela estão contidos expressivos chapadões bauxilíferos, completando sua estruturação com os depósitos inconsolidados do Quaternário Sub-atual e Recente (IBGE, 2008).

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, com expressivo período de estiagem (SIPAM, 2009). A temperatura e a precipitação média anual são de 25° C e de 1638 mm, respectivamente (HIJMANS et al., 2005).



**Figura 1** - Localização do Município de Dom Eliseu, Nordeste do Estado do Pará.

## 4.2 PROGRAMA DE ADUBAÇÃO

O programa de adubação foi iniciado previamente ao plantio com a aplicação de 350 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural reativo na subsolagem. As demais adubações foram realizadas após o plantio da seguinte forma: aos cinco dias com 110 kg ha<sup>-1</sup> de 06-30-06 + 0,7 % Zn + 0,4 % Cu, aos 90 dias com 150 kg ha<sup>-1</sup> de 08-00-32 + 0,7 % B e aos doze meses com 150 kg ha<sup>-1</sup> de 00-00-54 + 0,7 % B.

## 4.3 VARIÁVEIS AVALIADAS

Foram avaliadas 25 variáveis por parcela, incluindo a produtividade volumétrica estimada para o sétimo ano, os atributos físicos e químicos do solo, os fatores climáticos e fisiográficos (Tabela 1).

Edáficas		Climáticas	Fisiográficas	Produtividade
Químicas	Físicas			
pH KCl	AR	PP	ALT	IMA7
pH H <sub>2</sub> O	SIL	URA		
M.O	ARG	EH		
P		DH		
K		T		
Ca		EVAP		
Δ pH				
Mg				
Al				
H+Al				
SB				
CTC				
V				
m				

**Tabela 1:** Variáveis avaliadas na pesquisa.

Onde: PP: precipitação pluviométrica (mm.ano<sup>-1</sup>); URA: umidade relativa do ar (mm.ano<sup>-1</sup>); EH: excedente hídrico (mm.ano<sup>-1</sup>); DH: deficiência hídrica (mm.ano<sup>-1</sup>); T: temperatura (°C); EVAP: evapotranspiração (mm.ano<sup>-1</sup>); AR: areia (%); ARG: argila (%); SIL: silte (%); M.O: matéria orgânica (g.dm<sup>-3</sup>); P: fósforo (mg.dm<sup>-3</sup>); K: potássio (Cmolc.dm<sup>-3</sup>); Ca: cálcio (Cmolc.dm<sup>-3</sup>); Δ pH: diferença de pH (un); Mg: magnésio (Cmolc.dm<sup>-3</sup>); Al: alumínio (Cmolc.dm<sup>-3</sup>); H+Al: acidez potencial (Cmolc.dm<sup>-3</sup>); SB: soma de bases (Cmolc.dm<sup>-3</sup>); CTC: capacidade de troca catiônica (Cmolc.dm<sup>-3</sup>); V: saturação por bases (%); m: saturação por alumínio (%); ALT: Altitude (m); IMA7: incremento médio anual em volume estimado para o sétimo ano (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano).

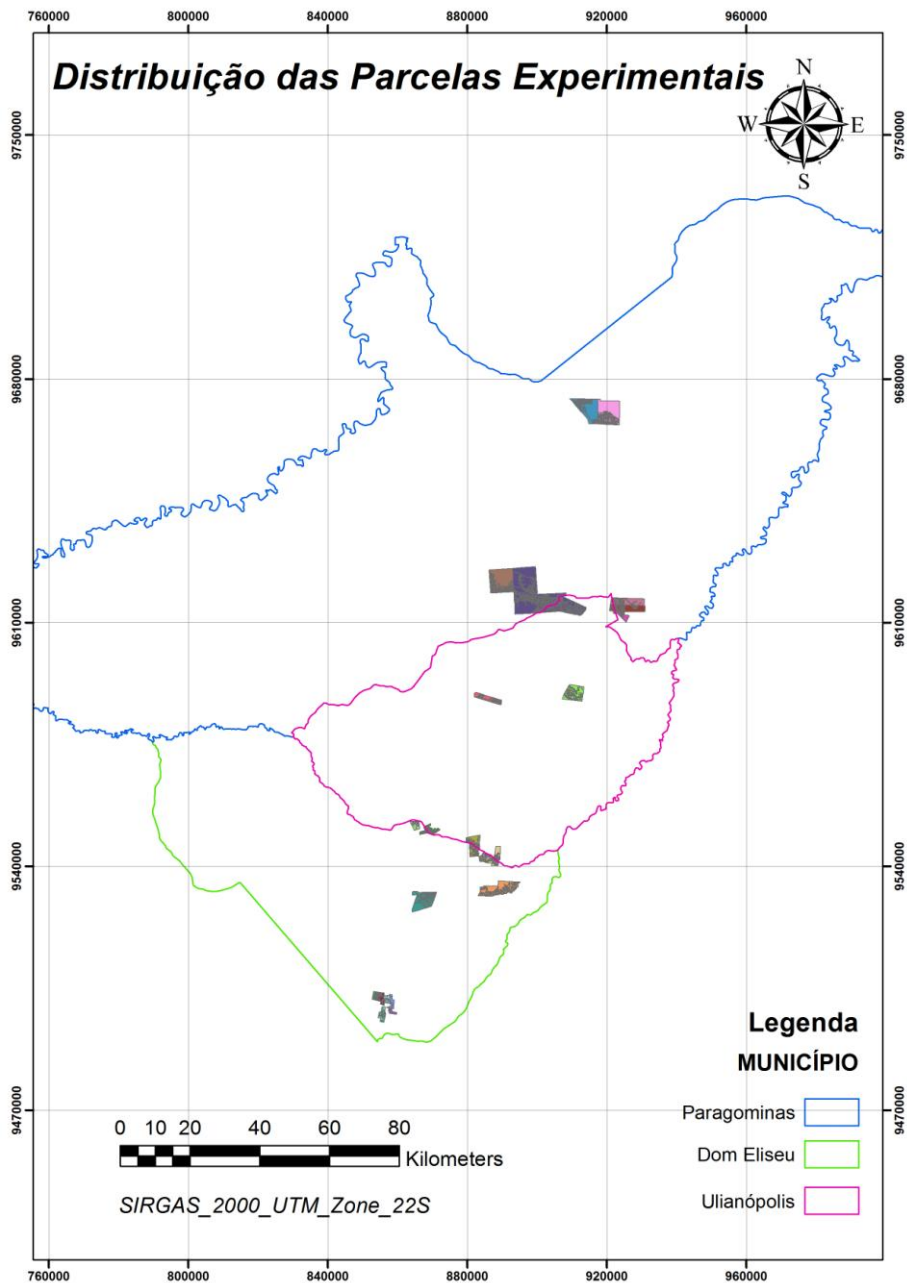
Os valores de incremento médio anual em volume estimada para o sétimo ano (IMA7) foram extraídos do inventário florestal contínuo em parcelas coincidentes com as parcelas experimentais.

Para obtenção das variáveis edáficas coletaram-se cinco amostras simples nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, com aproximadamente 500g de solo dentro das parcelas experimentais, num caminhar em “zig zag”, a fim de abranger toda área da parcela pela amostragem. Após a coleta as amostras foram enviadas ao laboratório da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e, posteriormente, secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de malha para se efetuar as análises químicas e físicas. Os procedimentos laboratoriais seguiram a metodologia descrita por EMBRAPA (1997).

As informações climáticas foram obtidas através de dados das estações meteorológicas da Agência Nacional de Águas (ANA) alocadas nos municípios. Os dados fisiográficos de altitude foram obtidos pelas projeções de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizados pela EMBRAPA.

#### 4.4 MENSURAÇÃO DAS VARIÁVEIS

As variáveis foram mensuradas no mês de março de 2011 em 50 parcelas com dimensões de 24 m x 24 m (576 m<sup>2</sup>) distribuídas aleatoriamente (Figura 2) em três classes de incremento médio anual em volume estimado para o sétimo ano (IMA7), a saber: Classe 1 = de 19 a 32 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup>.ano; Classe 2 = de 32,1 a 45 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup>.ano; e Classe 3 = de 45,1 a 57 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup>.ano.



**Figura 2 -** Localização das parcelas experimentais.

#### 4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

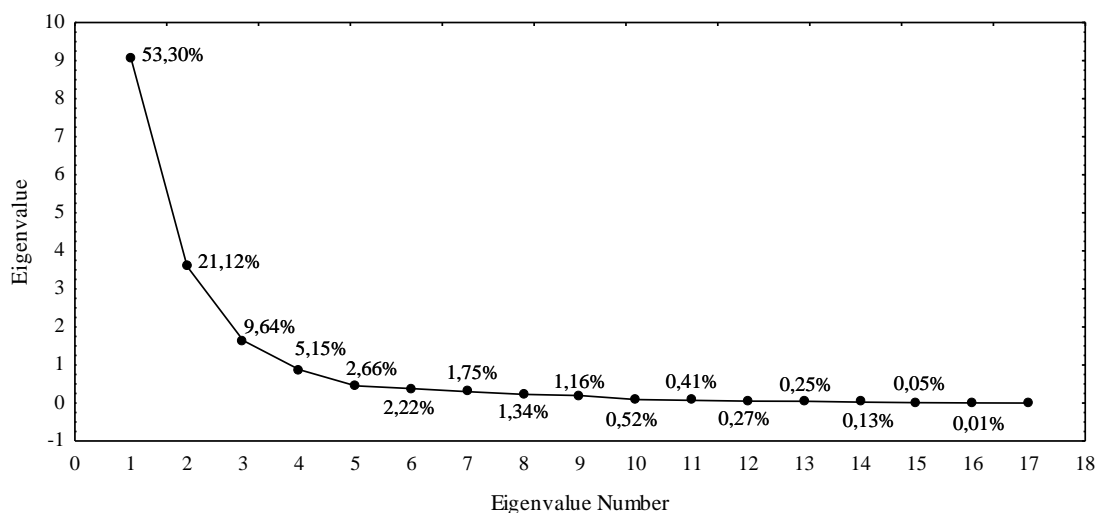
Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro Wilk a 5% de probabilidade, para verificação da normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias. Posteriormente, foram realizados o teste multivariado de análise de componentes principais (ACP), o ajustamento do modelo de regressão e o teste t para verificação da força da variável no modelo

ajustado. Para essas análises, utilizou-se o software estatístico Statistica versão 9.0 (STATSOFT, 2011).

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Na análise de componentes principais (ACP), a variância dada por cada componente principal é expressa pelos autovalores da matriz padronizada, de maneira que, o maior autovalor está associado ao primeiro componente principal (CP), o segundo maior autovalor ao segundo CP, e assim por diante, até que o menor autovalor esteja associado ao último CP, colocando os primeiros como os mais importantes. Sendo assim, os primeiros componentes principais gerados pela ACP explicam a maior parte da variância dos dados originais.

Os autovalores, as percentagens das variâncias associadas aos CPs gerados e as percentagens das variâncias acumuladas são apresentadas na Figura 3, na qual, o primeiro e o segundo componentes principais explicam 53,3 % e 21,2% da variação dos dados, respectivamente, totalizando, juntos, 74,5% da variação encontrada. A variância acumulada foi considerada satisfatória, quando comparada com os resultados encontrados por Carvalho Júnior et al., (2008) em pesquisa acerca de identificação de principais diferenças químicas e físicas de Argissolos da faixa atlântica brasileira, onde utilizaram os componentes principais que responderam por aproximadamente 70 % da variação dos dados.



**Figura 3.** Variância dos componentes principais dos atributos edáficos, climáticos e fisiográficos de plantios clonais de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na mesorregião sudeste do Estado do Pará.

Os autovalores, as percentagens das variâncias associadas aos componentes principais (CPs) gerados e as percentagens das variâncias acumuladas são apresentadas na Tabela 2 e na Figura 4. A importância dos CPs em cada variável é definida pela análise da correlação entre esses fatores, o que é viabilizada por meio dos *loadings* das variáveis calculadas pela análise de componentes principais, de maneira que, quanto maior o loading maior a correlação entre variável e CP associada (SANTOS, 2010).

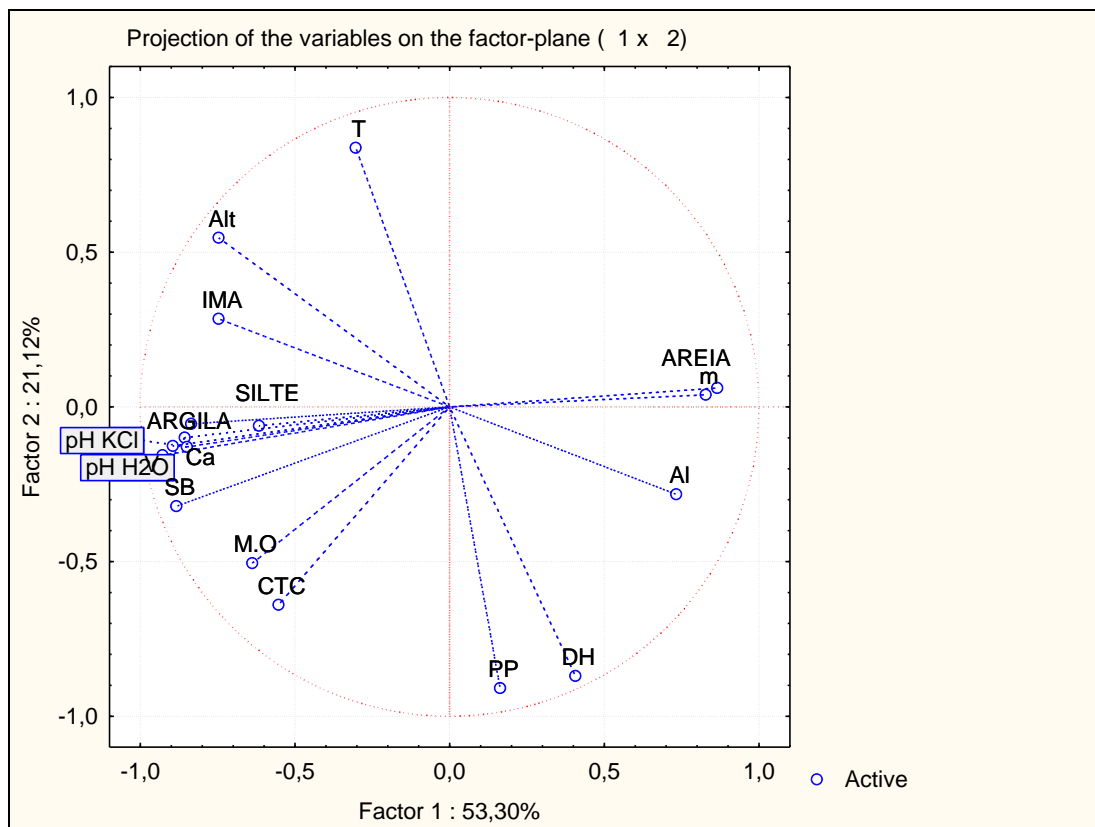
No CP1, as variáveis mais importantes foram as correspondentes aos fatores edáficos e fisiográficos, a saber, em ordem decrescente: Ca, V%, SB, Areia, pH H<sub>2</sub>O, pH KCl, Argila, m%, Altitude, IMA, Al, M.O e Silte. Já, no CP2 as variáveis climáticas e a CTC do solo foram as mais importantes, as quais são em ordem decrescente: precipitação pluviométrica, deficiência hídrica, temperatura do ar e CTC (Tabela 2).

Variáveis	CP1	CP2
IMA (m <sup>3</sup> .ha.ano <sup>-1</sup> )	-0,75*	0,28 ns
pH H2O	-0,86*	-0,10 ns
pH KCl	-0,85*	-0,13 ns
M.O (g dm <sup>3</sup> )	-0,64*	-0,50 ns
Ca (Cmol c dm <sup>3</sup> )	-0,93*	-0,16 ns
Al (Cmol c dm <sup>3</sup> )	0,73*	-0,28 ns
SB (Cmol c dm <sup>3</sup> )	-0,88*	-0,32 ns
CTC (Cmol c dm <sup>3</sup> )	-0,55 ns	-0,64*
V (%)	-0,90*	-0,13 ns
m (%)	0,83*	0,04 ns
SILTE	-0,62*	-0,06 ns
ARGILA	-0,84*	-0,06 ns
AREIA	0,87*	0,06 ns
Precipitação pluviométrica (mm/ano)	0,16 ns	-0,91*
Deficiência Hídrica (mm/ano)	0,41 ns	-0,87*
Temperatura do Ar (°C)	-0,30 ns	0,84*
Altitude	-0,75*	0,55 ns

**Tabela 2.** *Loadings* das características analisadas com as componentes principais (CPs), na mesorregião sudeste do Pará.

ns: correlação não significativa (igual ou superior a 60%); \*: correlação significativa (igual ou superior a 60%); IMA7: incremento médio anual em volume estimado para o sétimo ano; M.O: matéria orgânica; Ca: cálcio; Al: alumínio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; CP: componente principal.

Ao analisar a correlação das variáveis com as CPs pode-se definir a importância das CPs em cada variável. Essa verificação é viabilizada por meio dos *loadings* (pesos) das variáveis calculados pela ACP, de maneira que, quanto maior o *loading* da variável analisada maior será a correlação com a CP associada. O cálculo dos valores (*scores*) das variáveis pela ACP permite visualizar a localização gráfica de cada um deles (SANTOS, 2010). Os atributos climáticos, edáficos e fisiográficos que foram escolhidos para compor o modelo de regressão estão próximos ao círculo unitário (Figura 4), mostrando a influência dos componentes principais na análise, dessa forma, o IMA7 do híbrido pode estar relacionado diretamente com essas variáveis.



**Figura 4:** Escores dos atributos fisiográficos, climáticos, edáficos e dendrométricos dos dois primeiros componentes CPs.

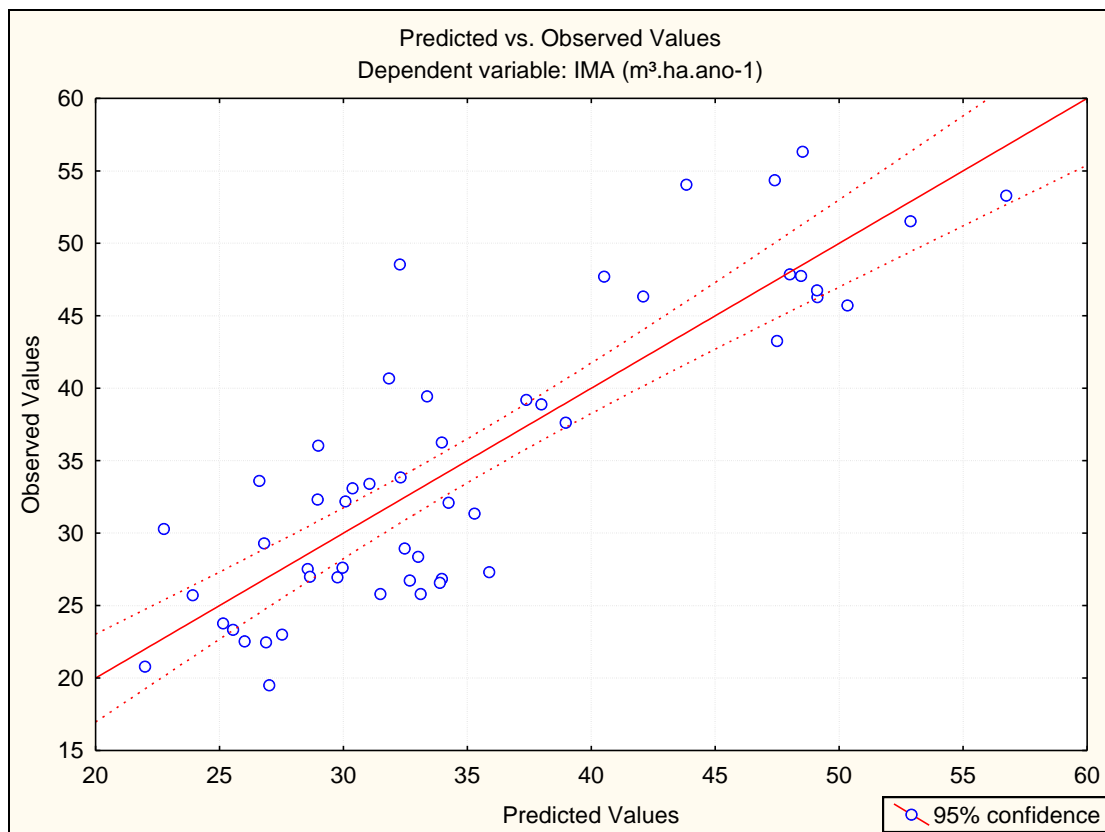
Após a definição dos componentes principais seguiu-se com o ajuste das equações de regressão, nas quais foram testadas as variáveis que apresentavam as maiores correlações com os fatores gerados pela análise de componentes principais. Assim, após aplicação do teste t (Tabela 3) para verificação da força das variáveis no modelo, obteve-se a equação abaixo:

$$\begin{aligned}
 IMA7 = & 657,8633 - 9,3516 * pH\ KCl + 3,6866 * Ca\ (cmolc\ dm^3) - \\
 & 1,2115 * CTC\ (cmolc\ dm^3) - 0,5690 * Argila\ (\%) - 0,6516 * \\
 & Areia\ (\%) - 16,8197 * Temperatura\ (^{\circ}C) + 0,0871 * Altitude\ (m)
 \end{aligned}$$

Fatores de Variação	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t	p-level
Intercept			657,8633	508,8175	1,29293	0,202941
pH KCl	-0,47471	0,242080	-9,3516	4,7689	-1,96097	0,056380
Ca (Cmol c dm <sup>3</sup> )	0,53695	0,273707	3,6866	1,8792	1,96179	0,056282
T (Cmol c dm <sup>3</sup> )	-0,21656	0,144188	-1,2115	0,8066	-1,50196	0,140417
Argila	-1,37649	0,525785	-0,5690	0,2174	-2,61797	0,012164
Areia	-1,75394	0,563061	-0,6516	0,2092	-3,11501	0,003270
Temperatura (°C)	-0,16319	0,152970	-16,8197	15,7661	-1,06683	0,292002
Altitude	0,57835	0,216345	0,0871	0,0326	2,67327	0,010573

**Tabela 3:** Resumo da Regressão para estimativa do IMA7 para plantios de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, na mesorregião sudeste do Estado do Pará.

Na figura 5 pode-se observar uma tendência linear para o ajuste dos dados, de forma que os valores reais tiveram uma distribuição de resíduos contínua sobre a reta média dos valores estimados, sendo esta, uma condição positiva para a precisão da equação. Entretanto, esse ajuste com a tendência linear é específica para as condições ambientais das áreas da pesquisa, uma vez que, pelo fato de os solos trabalhos serem derivados da formação barreiras, quanto maior a altitude do terreno, maior será o teor de argila do mesmo e, por conseguinte, maior também será a capacidade de trocar cátions.



**Figura 5:** Comparação entre os valores reais dos IMA7 e os estimados pela regressão.

## 6 CONCLUSÃO

Para as condições ambientais apresentadas no estudo, foi considerado viável o ajuste da equação de regressão para estimar o incremento médio anual em volume para o sétimo ano de plantios clonais de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na mesorregião sudeste do Estado do Pará, através da definição de fatores climáticos, fisiográficos e edáficos pela análise de componentes principais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, B. J. R.; SANTOS, J. C. F.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S., (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, (Embrapa-CNPAP. Documentos, 46) 1994, p. 409-449.

ANDRADE, A .M. de et al. Efeitos da fertilização mineral e da correção do solo na produção e na qualidade do carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.18, n. 1, p. 63 – 68, 1994.

BALLONI, E.A. Produtividade florestal. **Celulose e papel**, São Paulo, 1(3): 57-60, nov./dez. 1985.

BARETTA, D.; BARETTA, C.R.D.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Ed. especial, 2008.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L; NOVAIS, R. F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. 427p. p. 269-286.

BARROS, N.F. & COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS,N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.487-592.

BARROSO, P. A. V.; MOURA, G. E. D. D.; BRITO, L. K. F.; MARTINS, C. P.; MACEDO, C. E. C.; LOPES, D. B. & ALOUFA, M. A. I. Efeito do cultivo in vitro na presença de NaCl em plantas de abacaxizeiro na fase de aclimatização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.473-477, 2003.

BERTOLINI, E. V.; GAMERO, C. A.; SALATA, A. da C.; PIFFER, C. R.. Antecipação da adubação de semeadura do milho em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2355-2366, 2008.

BINOTI, Daniel Henrique Breda et al. Aplicação da Função Hiperbólica na Construção de Curvas de Índice De Local. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.4, p.741-746, 2012.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente – MMA; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA; Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA; Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. **Plano Nacional de Silvicultura com Espécies Nativas e Sistemas Agroflorestais** – PENSAF. Brasília, 2006.

CAIXETA, R. P. **Propriedades da madeira de Eucalyptus: classificação e seleção de genótipos utilizando marcador molecular e análise multivariada**. 2000. 89p. Dissertação (Mestrado) – UFLA, Lavras, 2000.

CARVALHO JÚNIOR, W. et al. **Análise multivariada de Argissolos da faixa atlântica brasileira**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, n.5, 2008.

CARVALHO, S. P. C. **Uma nova metodologia de avaliação do crescimento e da produção de Eucalyptus sp. Clonal para fins energéticos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras – Lavras: UFLA, 2010.

CHICHORRO, J. F. et al. Efeito do fertilizante na produtividade e economicidade do Eucalyptus grandis, no município de Martinho Campos – MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.18, n. 1, p. 33 – 44, 1994.

CHICHORRO; REZENDE, J. L. P. de; BARROS, N. F. de. Eficiência econômica da nutrição mineral na produção de biomassa de Eucalyptus grandis. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.16, n. 3, p. 287 – 300, 1992.

CIB - Conselho de Informações sobre Biotecnologia. **Guia do eucalipto. Oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. 20 p, 2008. cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural** [online], v.34(6), p. 1763-1771, 2004.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, Cambridge, v.15, p.3–11, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

FARIA, G. E. **Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica**. 2000. 49p. Dissertação (Mestrado) – UFV, Viçosa, 2000.

FELDE, João Luiz et al. **Curvas de índice de sítio para povoamentos de *Eucalyptus dunnii* na região central do Paraná** In: II SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL E XI SEMANA DE ESTUDOS FLORESTAIS, 2010, Irati/PR. **Anais...** Irati: Seminário de Atualização Florestal, ISSN: 2178-1214, 2010.

FERREIRA, G.M. **Atividade microbiana e agregação de um Latossolo vermelho distroférico em Campinas, SP, sob usos e manejos distintos**. Dissertação de Mestrado, 2008, IAC, Campinas, SP.

FERREIRA, G.M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **Boletim Técnico do IPEF**, Piracicaba, v. 45. p. 22-30, 1992.

GALEÃO, R. R.; CARVALHO, J. O. P de; YARED, J. A. G.; MARQUES, L. C. T.; COSTA FILHO, P. P. Diagnóstico de projetos de reposição florestal no Estado do Pará. **Revista de ciências agrárias**, Belém, n. 45, p. 101-120, 2006.

GESSEL, S.P. – Site evaluation in Forest production and management. In: REUNION DE TRABAJO: EVALUACION DE LA PRODUCTIVIDAD DE SITIOS FORESTALES, Valdivia, 1982. **Actas**. Valdivia, Facultad de Ciencias Forestales, 1982. p. 326-57.

GOMES, F. S. **Interação genótipo x ambiente e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake na Bacia do Rio Jari – Pará**. 1996. 87p. Dissertação (Mestrado) – UFV, Viçosa, 1996.

GONÇALVES, José Leonardo Moraes de et al. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no estado de São Paulo. **IPEF**, n.43/44, p.24-39, jan./dez.1990.

GROBE, J.R. **Aplicações da estatística multivariada na análise de resultados em experimentos com solos e animais**. 2005. 145f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2005.

HAIR, J.; ANDERSON, R.; TATHAM R. **Análise multivariada dos dados**. 5. ed. Porto Alegre:Bookman, 2005. 600p

HIJMANS, J.R. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, v. 25, p. 1965–1978, 2005.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2013**. 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. **IBGE lança o Mapa de Biomas do Brasil e o Mapa de Vegetação do Brasil, em comemoração ao Dia Mundial da Biodiversidade**. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acessado em: 15 de julho de 2008.

JUVENAL, T. L. & MATTOS, R. L. G. **O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 16, p. 3-30, 2002.

KHANNA, P.H. & ULRICH, B. Soil characteristics influencing nutrient supply in forest soil. In: BOWEN, G.D. & NAMBIAR, E.K.S. (Ed) **Nutrition of plantation forests**. London, Academic Press, 1984. p.79-118.

LACLAU, J. P. et al. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**. v. 259. 1771–1785 p. 2010.

LANA, M.C. & NEVES, J.C.L. Capacidade de suprimento de potássio em solos sob reflorestamento com eucalipto do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, 18:115-122, 1994.

LEITE, Helio et al. Classificação da Capacidade Produtiva de Povoamentos de Eucalipto Utilizando Diâmetro Dominante. **Silva Lus.**, Lisboa, v. 19, n. 2, 2011.

MARTEL, J.H.I.; FERRAUDO, A.S.; MÔRO, J.R.; D. PERECIN. Estatística multivariada na discriminação de raças amazônicas de pupunheiras (*Bactris gasipaes* Kunth) em Manaus (Brasil). **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 25(1), p. 115-118, 2003.

MELEM JÚNIOR, N.J.; FONSECA, I.C.B.; BRITO, O.R.; DECAENS, T.; CARNEIRO, M.M.; MATOS, M.F.A.; GUEDES, M.C.; QUEIROZ, J.A.L.; BARROSO, K.O. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. **Semina: Ciências Agrárias**, v.29, n.3, p.499-506, 2008.

MELO, V.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; NOVAIS, R.F. & FONTES, M.P.F. Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19:165-171, 1995.

MENEZES, A. A. **Produtividade do Eucalipto e Sua Relação Com a Qualidade e a Classe de Solo**. 2005. 98f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais/MG, 2005.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, p. 295, 2005.

MIRANDA, M. C. **Capacidade produtiva e qualidade de sítios cultivados com eucalipto em argissolos de tabuleiro no Litoral Norte da Bahia**. 2010. 121f. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas/BA, 2012.

MOITA NETO, J.M. **Estatística multivariada - Uma visão didática-metodológica. Filosofia da Ciência**. Disponível em: [http://criticanarede.com/cien\\_estatistica.html](http://criticanarede.com/cien_estatistica.html). Acesso em: 10 jan. 2008.

MOITA NETO, J.M.; MOITA G.C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 467-469, 1998.

MORA, A.L.; BALLONI, E.A.; **Produtividade Florestal**. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais. Circular Técnica. n. 164, 1988.

MOURA, M.C.S.; LOPES, A.N.C.; MOITA, G.C.; MOITA NETO, J.M. Estudo multivariado de solos urbanos da cidade de Teresina. **Química Nova**, v.29, n.3, p. 429-435, 2006.

MURO-ABAD, J. I. **Diversidade genética por marcadores moleculares e predição de ganhos em Eucalyptus spp.** 2003. 98p. Tese (Doutorado) – UFV, Viçosa, 2003.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, 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. 1017 p. Viçosa, MG. 2007.

OLIVEIRA, Marcio Leles Romarco de et al . Classificação da capacidade produtiva de povoamentos não desbastados de clones de eucalipto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília , v. 43, n. 11, Nov. 2008.

PEREIRA, M. R. R., SOUZA, G. S. F.; RODRIGUES, A. C. P.; MELHORANÇA FILHO, A. L.; KLAR, A. E. Análise de crescimento em clones de eucalipto submetidos a estresse hídrico. **Irriga**, v.15, n.1, p.98-110, 2010.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do Solo e Adubação.** Piracicaba, SP. Ed. Ceres, Potafos, 1991.

RAIJ, B. V. **Avaliação da fertilidade do solo.** Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

RALSTON, C.W. Evolution of forest site productivity. **International review of forest Research.** Washington, n.1. p. 171-201, 1964.

REVISTA DA MADEIRA. Espécies de eucalipto. Ed. Especial. Curitiba, PR, set. 2001, p. 16-22.

RIBEIRO, A. M. B. **Indicadores químicos e microbiológicos de qualidade do solo em ambientes naturais e antropizados do complexo vegetacional de Campo Maior – PI.** p.51,2007. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2007.

RODIGHERI, H. R.; PINTO, A. F.; OHLSON, J. C. **Custo de produção, produtividade e renda do eucalipto conduzido para uso múltiplo no norte pioneiro do estado do Paraná.** Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 20p. (Circular Técnica, 34).

RODRIGUEZ, L. C. E.; BUENO, A. R. S.; RODRÍGUEZ, F. Rotações de eucaliptos mais longas: análise volumétrica e econômica. **Scientia forestalis**, Piracicaba, n. 51, p. 56 – 65, jun. 1997.

SANTANA, A. C.; **Elementos de economia, agronegócio e desenvolvimento local**. Apostila didática. Belém, GTZ; TUD; UFRA, 2005. 206 p.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F. de; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do Estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.4, p.447-457, 2002.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Produção de biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n.56, p.155-169, 1999.

SANTOS, P. R. **Atributos do solo em função dos diferentes usos adotados em perímetro irrigado do Sertão de Pernambuco**. 2010. 112p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, 2010.

SILVEIRA, R. L. V. A.; ARAÚJO, E. F.; SOUZA, A. J. Avaliação do estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus* pelo método do nível crítico e DRIS, na região sul da Bahia. In: **Relatório de pesquisa da Bahia Sul Celulose**. Teixeira de Freitas, (BA) 82p. 2001.

SILVEIRA, R. L. V. de A. **Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva**. 2000. 169p. Tese (Doutorado – ESALq/USP, Piracicaba, 2000.

SIPAM. Sistema de Proteção da Amazônia. **Zoneamento climático do Estado do Pará**. Centro Técnico e Operacional de Belém- Pará: SIPAM, 30f. 2009.

SOUZA, M. A. M. de. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus***. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 72p. (Dissertação (Mestrado) – UFLA, 2002)

SOUZA, S. M. et al. Variabilidade genética e interação genótipo x ambiente envolvendo procedências de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, em diferentes regiões do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 16, n. 1, p. 1-17, 1992.

SOUZA, Z. M. de; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural** [online], v.34(6), p. 1763-1771, 2004.

STATSOFT, INC. **STATISTICA** (data analysis software system), Version 9.0.South America: Statsoft, 2011.

TESSLER, M.I.B. **O valor do dano ambiental**. Documento não publicado, 2004.

TIETENBERG, T.H. **Environmental and Natural Resource Economics**. Estados Unidos: Tom Tietenberg, 2000.42 p.

VALERI, S. V. et al. Recuperação de povoamento de *Eucalyptus urophylla* com aplicações de nitrogênio, potássio e calcário dolomítico. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 60, p. 53 – 71, dez. 2001.

VALERI, S. V. **Recuperação de povoamento de *Eucalyptus urophylla* com aplicações de nitrogênio, potássio e calcário dolomítico, em areias quartzosas**. 1996. 133p. Tese (Livre Docência) – FCAV/ UNESP, Jaboticabal, 1996.

VARELLA, C.A.A. **Análise de componentes principais**. 2008. 12f. Pós-Graduação em Agronomia- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008. Artigo não publicado.