

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**Influência da topografia e da fertilização fosfatada sobre o crescimento de  
*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis***

**Elton Luis da Silva Abel**

**2012**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA E DA FERTILIZAÇÃO FOSFATADA  
SOBRE O CRESCIMENTO DE *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis***

**ELTON LUIS DA SILVA ABEL**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Paulo Sérgio dos Santos Leles**

*e Coorientação do Professor*  
**Eduardo Vinícius da Silva**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

Seropédica, RJ  
Dezembro de 2012

634.99

A139i

T

Abel, Elton Luis da Silva, 1985-  
Influência da topografia e da  
fertilização fosfatada sobre o crescimento  
de *Eucalyptus urophylla* X *E. grandis* /  
Elton Luis da Silva Abel - 2012.  
34f. : il.

Orientador: Paulo Sérgio dos Santos  
Leles.

Dissertação (mestrado) - Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de  
Pós-Graduação em Ciências Ambientais e  
Florestais.

Bibliografia: f. 27-32.

1. Agrossilvicultura - Teses. 2.  
Fertilização das plantas - Teses. 3.  
Eucalipto - Crescimento - Teses. 4.  
*Eucalyptus grandis* - Crescimento - Teses.  
I. Leles, Paulo Sérgio dos Santos, 1966-.  
II. Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro. Curso de Pós-Graduação em  
Ciências Ambientais e Florestais. III.  
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E**  
**FLORESTAIS**

ELTON LUIS DA SILVA ABEL

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Ciências Ambientais e Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Conservação da Natureza.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27/09/2012

---

Paulo Sérgio dos Santos Leles Prof. Dr. UFRRJ  
Orientador

---

Márcio Rocha Francelino Prof. Dr. UFRRJ

---

Júlio Cesar Lima Neves Prof. Dr. UFV

**DEDICO**

*Aloísio Abel e Rosane da Silva Abel (meus pais)*  
*Roseli de Souza da Silva (minha madrinha)*

**OFEREÇO**

*Uyara Bráz Soares, minha companheira.*

## AGRADECIMENTOS

À DEUS por me conceder vida, saúde, coragem e por me permitir estar aqui.

À Nossa Senhora da Conceição Aparecida que, representando a mãe de DEUS, ilumina e abençoa minha caminhada, hoje e sempre.

Aos meus pais Aloísio Abel e Rosane da Silva Abel, por terem me gerado, educado e proporcionado toda base e ensinamento para ser um cidadão de bem.

À minha noiva Uyara Bráz Soares, por estar sempre ao meu lado, incentivando, encorajando, ajudando nos estudos e também por toda compreensão, carinho e atenção.

Aos meus irmãos Anderson e Cleiton, minha madrinha Roseli, minha avó Angela e a todos os familiares, por toda preocupação, torcida e orações dedicadas a mim.

A UFRRJ, por meio do PPGCAF pela oportunidade de participar deste excelente curso, com a presença e convivência com professores altamente capacitados.

À Fazenda Cachoeirão, que disponibilizou recursos e infra estrutura necessários para a realização deste trabalho, proporcionando momentos inesquecíveis de aprendizado com toda equipe do projeto.

Ao Prof. Paulo Sérgio dos Santos Leles por todo ensinamento, profissional e pessoal, e por me permitir fazer parte de uma grande família chamada LAPER.

Aos colegas do Laboratório de Estudos e Pesquisas em Reflorestamentos - LAPER, em especial os amigos Paulo César de Oliveira, Ciro, Dilson, Ronny, Felipinho, Norton e Pedro que ajudaram na implantação e, ou coleta dos dados.

Aos amigos de hoje e sempre, em especial os da UFRRJ, por estarem sempre presentes ajudando a tornar a caminhada mais agradável e divertida.

Ao Prof. Eduardo Vinícius da Silva, amigo novo que se dispôs a ajudar e participar da elaboração deste trabalho.

Aos professores Júlio Cesar Lima Neves e Márcio Rocha Francelino por aceitarem o convite para fazer parte da banca e se mostrarem dispostos a acrescentar ao trabalho.

À empresa Acácia Amarela, na pessoa do Alysson Canabrava, por toda compreensão e liberação para que fosse possível conciliar o curso com o trabalho.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Influência da topossequência no crescimento do eucalipto .....	2
2.2 Influência das características físicas e morfológicas do solo sobre o crescimento do eucalipto .....	4
2.3 Influência das características químicas do solo sobre o crescimento do eucalipto.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	7
3.1 Caracterização e histórico da área.....	7
3.2 Implantação do povoamento e do experimento .....	10
3.3 Característica morfológicas e físicas dos solos.....	12
3.4 Análise química dos perfis de solo .....	12
3.5 Crescimento das plantas.....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4.1 Classificação morfológica dos solos .....	13
4.2 Análise física.....	15
4.3 Análise química .....	16
4.4 Avaliações do crescimento .....	18
4.5 Biomassa e área de copa das plantas aos 18 meses .....	22
5. CONCLUSÕES .....	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	27
Anexo I - Descrição morfológica dos perfis de solo de área experimental em sistema silvipastoril na Fazenda Cachoeirão, em Além Paraíba, MG.....	33
Anexo II - Granulometria e classe textural dos solos, nas profundidades avaliadas, de área experimental em sistema silvipastoril na Fazenda Cachoeirão, em Além Paraíba, MG.....	34

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização geográfica do Município de Além Paraíba, no Estado de Minas Gerais, onde está localizada a Fazenda Cachoeirão. ....	7
Figura 2: Precipitação média e temperatura média mensal da região de Além Paraíba, dos anos de 2008 a 2011. ....	8
Figura 3: Precipitação média mensal da região de Além Paraíba, de uma série histórica de 50 anos . ....	8
Figura 4: Balanço hídrico do período de 2008 a 2011 em Além Paraíba – MG. ....	9
Figura 5: Desenho ilustrativo do arranjo espacial com covas de plantio de eucalipto, em sistema silvipastoril, na Fazenda Cachoeirão, Além Paraíba – MG. ....	10
Figura 6: Desenho ilustrativo da disposição do experimento em campo na vista de perfil da topossequência, em sistema silvipastoril, na Fazenda Cachoeirão, Além Paraíba – MG. ....	11
Figura 7: Fotografia ilustrativa do perfil do solo no topo de morro (local 1), em área de sistema silvipastoril da Fazenda Cachoeirão, Além Paraíba-MG. ....	14
Figura 8: Fotografia ilustrativa do perfil do solo no terço superior (local 2), em área de sistema silvipastoril da Fazenda Cachoeirão, Além Paraíba-MG. ....	14
Figura 9: Fotografia ilustrativa do perfil do solo no terço médio (local 3), em área de sistema silvipastoril da Fazenda Cachoeirão, Além Paraíba-MG. ....	15
Figura 10: Biomassa dos componentes de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> com aplicação de doses de N-P-K (04-31-04) por cova, em três posições topográficas, aos 18 meses após o plantio, em Além Paraíba - MG. ....	24
Figura 11: Área de copa e biomassa de matéria seca de componentes de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , aos 18 meses, sob doses crescentes de N-P-K (04-31-04) na adubação de covas, em Além Paraíba - MG. ....	25



## INDICE DE TABELAS

Tabela 1: Resultados de análise química do solo (0 – 30 cm) da área destinada à implantação do sistema silvipastoril na Fazenda Cachoeirão, Além Paraíba – MG.....	10
Tabela 2: Densidade do solo, volume total de poros e granulometria do solo (%), nas três posições topográficas estudadas, em área com sistema silvipastoril, na Fazenda Cachoeirão, em Além Paraíba, MG.....	15
Tabela 3: Análise química do solo para os horizontes descritos nos locais 1, 2 e 3, em área de sistema silvipastoril, na Fazenda Cachoeirão, em Além Paraíba, MG.....	17
Tabela 4: Resumo da análise de variância com o quadrado médio da análise de variância do crescimento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , em diferentes idades, em Além Paraíba – MG.....	19
Tabela 5: Valores médios de altura e de diâmetro a altura do peito (DAP) de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , em três posições topográficas, em diferentes idades, em Além Paraíba - MG.....	19
Tabela 6: Equações dos modelos melhor ajustados para a variável altura nas idades avaliadas, com dose recomendada e valor correspondente a dose recomendada, de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> em sistema silvipastoril, em Além Paraíba – MG.....	21
Tabela 7: Equações dos modelos melhor ajustados para a variável DAP nas idades avaliadas, com dose recomendada e valor correspondente a dose recomendada, de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> em sistema silvipastoril, em Além Paraíba – MG.....	22
Tabela 8: Resumo da análise de variância com o quadrado médio da análise de variância de área de copa e da biomassa de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , em Além Paraíba – MG.....	23
Tabela 9: Valores médios da biomassa de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , em cada posição topográfica, aos 18 meses após o plantio, em Além Paraíba - MG.....	23

## RESUMO

ABEL, E. L. S. **Influência da topografia e da fertilização fosfatada sobre o crescimento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis***. 2012. 34 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

O objetivo deste estudo foi avaliar o crescimento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em três posições topográficas em resposta a doses de adubação de plantio. O experimento foi instalado dentro de um plantio de eucalipto em sistema silvipastoril, em área da Fazenda Cachoeirão, em Além Paraíba – MG. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com parcelas subdivididas no espaço, as parcelas foram no topo do morro (local 1), no terço superior (local 2) e no terço médio da encosta (local 3), com alocação de cinco tratamentos de adubação de plantio. O tratamento 1 foi a testemunha (sem adubação) e os tratamentos 2, 3, 4 e 5 com 50, 100, 150 e 200 gramas de N-P-K (04-31-04) por cova, respectivamente. O local 1 foi a posição topográfica em que se registrou as maiores médias de crescimento e também maior produção de biomassa das plantas de eucalipto, o local 3 registrou as menores médias e o local 2 médias intermediárias. Nas posições topográficas 1 e 2, nas condições em que se apresenta este trabalho, a dose de adubo recomendada para se alcançar melhor crescimento das plantas de eucalipto é de aproximadamente 120 gramas de N-P-K (04-31-04) por cova. No terço médio, a dose mais indicada é no mínimo de 200 gramas por cova. É aconselhável que, em condições de relevo similar a do experimento, sejam feitas recomendações de adubação levando em consideração a posição ocupada na topossequência, devido a grande influência proporcionada por este gradiente no crescimento e resposta das plantas à adubação de plantio.

**Palavras-chave:** Sistema silvipastoril, Fertilização florestal e Topossequência.

## ABSTRACT

ABEL, E. L. S. **Influence of topography and phosphorous fertilization on growth of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*** 2012. 34 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Feral Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

The objective of this study was to evaluate the growth of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* in three different topographic positions with different planting fertilization doses. The experiment was installed in a eucalyptus plantation as a silvopastoral system, in area of Cachoeirão's farm in Além Paraíba – MG. It was used a randomized block design with plots divided in space, the plots were at the top of the hill (site 1), in the upper third (site 2) and in the middle third of the slope (site 3), with allocation of five treatments of planting fertilization. Treatment 1 was the control (no fertilization) and treatments 2, 3, 4 and 5 with 50, 100, 150 and 200 grams of NPK (04-31-04) per hole, respectively. The site 1 was the topographic position in which was registered the highest average growth and also higher biomass of eucalyptus trees, the site 3 recorded the lowest average and site 2, intermediate averages. In topographic positions 1 and 2, in the conditions that this work was conducted, the recommended dose of fertilizer to achieve better growth of eucalyptus trees is approximately 120 grams of NPK (04-31-04) per hole. In the middle third, the optimal dose is 200 grams per hole. It is advisable that in relief conditions similar to the ones of this experiment, fertilizer recommendations should be made taking into account the position in the toposequence, due to the great influence provided by this gradient on the growth and plant responses to planting fertilization.

**Key-words:** Silvopastoral system, Forest fertilization forest and Toposequence.

## 1. INTRODUÇÃO

Parte das áreas usadas para o plantio de eucalipto no Brasil são de baixos níveis de fertilidade e em geral pobres em fósforo. Considerando que a cultura do eucalipto é altamente exigente de P na fase inicial de crescimento (NOVAIS et al., 1982), a aplicação de adubos fosfatados tem sido essencial para o crescimento e obtenção de produtividades satisfatórias das plantações.

A soma e a interação dos fatores biológicos, edáficos, climáticos e topográficos definem o sítio florestal, que influencia a capacidade produtiva de uma floresta em uma determinada área (MENEZES, 2005). Quando trabalha com uma área relativamente pequena, o fator edáfico mostra-se como um estratificador natural do ambiente, proporcionando variações do solo ao longo da topossequência, basicamente em função do relevo, material de origem e disponibilidade de água. Os fatores climáticos e topográficos são considerados como não manejáveis, estabelecendo assim uma relação de convivência com os mesmos.

Uma das tarefas mais difíceis na determinação da qualidade do sítio é a escolha e a avaliação dos parâmetros de influência (MENEZES, 2005). Normalmente, as empresas do setor florestal utilizam duas técnicas: o levantamento de solos, que tem por objetivo a descrição das áreas e o mapeamento contínuo das terras em unidades taxonômicas de solos; e o inventário florestal, que permite a obtenção da produtividade ao final do ciclo de produção, no sentido de trabalhar com as variáveis edáficas e biológicas.

Recomendações de adubação são realizadas com base em análises de rotina, que expressam o teor dos nutrientes no solo. Contudo, somente a análise química dos solos não é capaz de prever a produtividade dos plantios, pois existem outros fatores que interagem na resposta das plantas e que devem ser levados em consideração na elaboração da recomendação de adubação, no sentido de somar informações para que essa seja mais adequada e ajustada às condições do local.

Silveira e Gava (2003) mencionaram que para se aumentar a eficiência da adubação fosfatada, é importante que algumas medidas sejam tomadas, tais como determinar a dose adequada e econômica em função do tipo de solo. Para saber se um determinado teor de fósforo disponível numa amostra de solo é adequado para o crescimento do eucalipto, Novais et al. (1990) consideram que pelo menos três informações devem estar disponíveis: a idade da planta em crescimento, a textura do solo e o extrator utilizado. O nível crítico de um elemento corresponde ao teor do mesmo no solo, abaixo do qual a taxa de crescimento ou a produção vegetal diminui significativamente, limitando a expressão do potencial genético da planta (ISMAEL, 1998).

Na seleção de atributos identificadores da fertilidade do solo é importante relacionar a reserva de nutrientes à caracterização do solo e aos dados sobre estrutura e granulometria (CORRÊA NETO, 2004). A recomendação de adubação pautada na interpretação de maior número de variáveis do ambiente permite melhor eficiência no uso dos fertilizantes minerais, tendo em vista que as interações do adubo com as características dos solos podem favorecer ou dificultar as respostas das plantas. Esta eficiência resultará num ganho econômico, através da diminuição dos custos com fertilizantes e também num ganho ecológico, pela otimização deste recurso finito e que demanda grande quantidade de energia para sua exploração.

Devido à grande diversidade de sítios onde são realizados plantios de eucalipto, é de suma importância o entendimento da influência das propriedades edáficas no crescimento desta cultura. O presente trabalho foi conduzido em uma propriedade rural em Além Paraíba - MG e tem como objetivo verificar a influência de doses crescentes de N-P-K (04-31-04), em

três diferentes posições topográficas no crescimento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* consorciado com *Brachiaria brizantha* em sistema silvipastoril.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Influência da topossequência no crescimento do eucalipto

A capacidade produtiva expressa por uma árvore ou povoamento florestal em uma determinada área é influenciada principalmente por fatores climáticos, topográficos, edáficos e biológicos e segundo Prodan et al.(1997) a soma e a interação destes quatro fatores define a qualidade do sítio para uma determinada espécie.

Uma das tarefas mais difíceis é a escolha e a avaliação dos parâmetros que influenciam na determinação da qualidade do sítio, bem como o melhor método para sua quantificação (SCHNEIDER, 1993). Quando se define uma área de estudo no ambiente natural, na maioria das situações, os fatores clima e relevo não são manejáveis, pois são difíceis de serem modificados, mas exercem influência na produtividade da área. Estabelecendo-se assim uma relação de convivência (MENEZES, 2005).

Quando se trabalha com áreas menores, onde a variação climática é mínima, o fator solo pode se apresentar como o indicador da capacidade produtiva de um local, já que o mesmo é um estratificador natural do ambiente (CARMO et al., 1990). Juhász (2005), estudando a relação solo-água-vegetação em uma topossequência localizada na estação ecológica de Assis – SP, constatou que o relevo influencia os processos de formação dos solos. Cunha et al. (2005) destacaram que a variação dos tipos de solos, assim como a estabilidade geomórfica das superfícies, está estreitamente ligada ao tempo e ao relevo. Marques Júnior e Lepsch (2000), utilizando transeções (ou topossequências) nos estudos de solo-paisagem, relacionaram a variabilidade espacial de atributos dos solos com os compartimentos de relevo.

O termo “topossequência” refere-se a uma sequência de diferentes perfis de solo em função da declividade e da drenagem do terreno, sob um mesmo material de origem e clima. Conforme conceito de Bocquier (1973) in Juhász (2006) é uma sequência de diversos tipos de solos distribuídos de maneira regular e sistemática na paisagem em função da topografia.

As variações nos atributos do solo devem-se à vários fatores, dentre eles a posição do solo na paisagem, drenagem do terreno, processos de erosão e deposição e desenvolvimento da vegetação (CANTÓN et al., 2003). Rocha e Carvalho, (2003) citaram que o estudo do solo na vertente por meio de topossequência também tem apontado para a influência destes fatores atuando em conjunto no desenvolvimento das características e propriedades do solo.

A cor do solo é um atributo que ilustra bem estas variações, pois além de indicar diferentes fases do processo de oxidação ou condições de drenagem de uma vertente, pode ser relacionada diretamente a mineralogia e compostos químicos presentes no solo. Exemplo disso são os teores de Fe e matéria orgânica, que juntos interferem na cor do solo, em profundidade na topossequência (JUHÁSZ et al., 2006). Em geral, nos perfis do topo e do terço superior pode haver predomínio de hematita (óxido de Fe) como agente pigmentante. Já a jusante, outros compostos de baixa solubilidade como a goethita começam a se sobrepor à hematita, tornando as cores cada vez mais amarelas (JUHÁSZ, 2005).

Ghidin et al. (2006) estudando topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná, identificaram estrutura granular nas partes mais elevadas e blocos subangulares nas partes mais baixas das topossequências e concluíram que o relevo foi o fator

determinante na formação da estrutura, sendo este atributo influenciado também pela posição topográfica.

Ferreira et al. (1999) verificaram maior concentração de sílicas nas partes mais baixas das topossequências, proveniente do fluxo lateral e vertical da água pela ação da drenagem, aumentando, conseqüentemente, o teor de caulinita. No mesmo trabalho os autores observaram variação na percentagem de macroporos, que foi acentuada ao longo da topossequência, com redução do topo para a base.

Segundo Meireles (2012), a compartimentação das superfícies geomórficas em segmentos de vertente (topossequência) possibilitou melhor entendimento do modelo da paisagem e da distribuição dos solos. Este mesmo autor verificou diferenças significativas entre os teores das frações granulométricas (areia, silte e argila) para ambas as profundidades estudadas (horizontes superficiais e subsuperficiais), ao analisar as relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica.

Silva et al. (2001) constataram que a granulometria dos solos apresentou grande variação ao longo da encosta, ao estudar os efeitos do material de origem e da posição topográfica em uma topossequência da Baixada litorânea fluminense. Neste trabalho os perfis apresentaram, na seqüência, uma distribuição irregular na granulometria dos horizontes superficiais em relação à sua posição na vertente, na qual o material mais argiloso foi observado no terço médio da encosta.

A natureza e a intensidade dos processos pedogenéticos, que resultaram na variação dos solos observada na topossequência, foram fortemente influenciadas pela posição topográfica e pela própria disposição do material de origem dos solos (SILVA, 2001). De acordo Ghidin et al. (2006) as influências do relevo são determinantes na formação dos solos, pois este interfere no comportamento da água no solo e conseqüentemente na promoção de reações químicas e transporte de sólidos ou de materiais em solução.

O relevo é considerado um fator que modifica o efeito dos demais fatores de formação dos solos. Ghidin et al. (2006), destacam a distribuição da umidade na paisagem, as diferenças na temperatura dos solos causadas pela altitude e exposição ao sol, a intensidade dos processos de remoção de sólidos e solutos (erosão e lixiviação), a remoção e deposição de sedimentos e as variações no nível do lençol freático, como aspectos influenciados pelo relevo ou pela posição topográfica.

Para Silva (2001) o sentido e a intensidade do fluxo de água em uma encosta, que variam de acordo com a topografia e forma da superfície, são as principais causas da diferenciação dos solos ao longo de topossequências. No estudo de ciclos biogeoquímicos de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil e no Congo, Laclauet et al. (2010) citaram a influência da água na disponibilidade de nutrientes na solução do solo e a importância de se conhecer o funcionamento hídrico do solo para o desenvolvimento das plantas. Estes autores relatam também a ocorrência de perda de nutrientes influenciada pela drenagem e escoamento superficial, por conta de características do relevo.

A dinâmica “solo-planta”, estudada a partir da movimentação de água no perfil do solo é fundamental, pois a disponibilidade de água no solo é um dos fatores mais importantes para o crescimento da planta e a distribuição dos nutrientes no perfil do solo é largamente dependente da dinâmica da água no solo (SILVA, 2011). Segundo Stape et al. (2010) a água é o recurso “chave” para determinar os níveis de produção de plantações florestais no Brasil.

Borges (2012) em seu estudo de modelador edáfico para uso em modelo ecofisiológico e produtividade potencial de povoamentos de eucalipto, verificou que a produtividade potencial de eucalipto no Brasil foi influenciada quanto ao clima, principalmente pela precipitação pluviométrica e a distribuição de chuvas.

No caso de espécies do gênero eucalipto a experiência tem demonstrado que variáveis de solo e clima têm considerável influência na explicação do crescimento. Stape (2004) identificou significativa influência do aporte hídrico na produtividade de povoamentos de eucalipto implantados no Estado da Bahia.

Li et al. (2001) verificaram que a variabilidade da paisagem, associada com características topográficas, afetam o padrão espacial do movimento de água na superfície e subsuperfície do solo ao longo da paisagem, podendo também afetar a disponibilidade de nutrientes.

## **2.2 Influência das características físicas e morfológicas do solo sobre o crescimento do eucalipto**

O solo é formado a partir da influência direta das condições climáticas, do material de origem, da posição que ocupa no relevo e da relação com a maior ou menor infiltração e disponibilidade de água (SANTOS, 2010). É bastante estudado no intuito de estabelecer correlação com crescimento de espécies florestais e também é passível de ser manejado, pelo menos no tocante à nutrição.

Dentro de um mesmo estrato climático, variações locais de topografia podem levar ao crescimento diferenciado de uma mesma espécie cultivada, proporcionando diferenciadas condições de infiltração de água e de disponibilidade de nutrientes no solo (ORTIZ, 2006).

Cunha (2005) constatou que dados relacionados à declividade do terreno se mostraram uma importante ferramenta para definir e confirmar variações de atributos físicos, químicos e mineralógicos de amostras de solos. Tais variações influenciam diretamente no crescimento de espécies florestais.

Por meio de modelos de crescimento e de produção para *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais, Maestri (2003) selecionou as que mais se correlacionavam ao crescimento das árvores e concluiu que a limitação do crescimento pode ser atribuída às propriedades físicas e morfológicas do solo.

Mais especificamente, a porosidade do solo apresenta relação com o crescimento vegetal, proporcionando retenção de água e aeração do solo, condições estas necessárias para o crescimento das plantas (TOMÉ JUNIOR, 1997). Desta forma, solos profundos e com boas características físicas, possibilitam a utilização de uma maior área para a penetração das raízes (MELLO, 2007).

Christina (2011) constatou que a exploração do solo em profundidade contribui para a produção primária do eucalipto estabelecido em regiões com estação seca definida, promovendo acesso à água do subsolo.

Segundo CARMO et al. (1990) o estudo das características morfológicas de perfis do solo, fornece meios para avaliar a variação na produtividade do sítio dentro de um estrato climático e topográfico.

Estudando a influência de características do solo sobre a produtividade de eucalipto em solos de tabuleiro no norte do Espírito Santo, Grespan (1997) verificou que o aumento da percentagem de areia em superfície tem efeito benéfico sobre o crescimento do eucalipto, pelo fato de alguns dos solos de tabuleiro serem coesos e de mineralogia predominantemente caulínica. A areia, neste caso, atua sobre o arranjo da estrutura laminar da caulinita, modificando o aspecto maciço da estrutura, o que aumenta o espaço poroso, facilitando o crescimento radicular e, assim, a aquisição de água e nutrientes pelas plantas. O espaço poroso, incluindo sua distribuição por tamanho, influi efetivamente nos fenômenos de armazenamento e movimento de água e de gases, penetração das raízes, determinando a produtividade da cultura em geral (Lawrence, 1977). Além da estrutura, Thurler (1989)

considerou também a densidade de partículas e a textura do solo entre os diversos fatores de variação da porosidade e da distribuição de poros por tamanho.

O estudo da natureza física do solo é imprescindível, com ênfase particular ao estudo da permeabilidade, disponibilidade hídrica e impedimentos mecânicos à penetração radicular. Estes, segundo Coile (1952, in MENEZES, 2005) são influenciados principalmente pela textura, distribuição do espaço poroso, capacidade de armazenagem de água e mudanças no volume em função da umidade (devido aos processos de expansão-contração). Reschutzegger (2003) constatou, em solos da região Central do Uruguai, correlação negativa entre a produtividade de eucalipto e o teor de argila na camada de 20 a 40 cm, e considerou que esta e outras características podem representar medidas indiretas que afetam o crescimento.

Estudando a produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e o tipo de solo, Menezes (2005) observou que não se pode explicar de forma precisa a variação na produtividade dos sítios florestais por meio de poucos atributos, sendo que o tipo de solo com todos os seus atributos pode influenciar o crescimento das plantas, principalmente as perenes, que exploram maior volume de solo.

Entre os atributos edáficos relevantes para a produtividade florestal, aqueles que se relacionam com a aquisição de água e nutrientes pelas plantas ajudam a explicar a capacidade produtiva de um sítio (BARROS, 2000; RIGATTO et al., 2005).

Na Bacia do Rio Doce, em Minas Gerais, Souza et al. (2006) detectaram que a produtividade do eucalipto, medida pelo incremento médio mensal de madeira, estava diretamente relacionada com a precipitação. Segundo estes autores, em cada acréscimo de 100 mm no total precipitado de um ano para o outro, o aumento no incremento mensal foi, em média, de  $0,445 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ , enquanto a redução de 100 mm diminuiu esse incremento em  $0,64 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ . Rigatto et al. (2005) também encontraram correlações altas entre a altura de plantas de *Pinus taeda* e a água disponível em oito diferentes sítios florestais em área da Klabin no Paraná.

### **2.3 Influência das características químicas do solo sobre o crescimento do eucalipto**

Segundo Gonçalves et al. (2000) quanto maior a disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente fósforo, a tendência é de maior crescimento do sistema radicular. Este fato ocorre por existir interdependência entre o funcionamento do sistema radicular e o da parte aérea, de maneira que o rápido crescimento das raízes aumenta a absorção de nutrientes (MARENCO e LOPES, 2005). Concomitantemente, segundo estes autores, a parte aérea fornece carboidratos para as raízes, que podem ser usados como fonte de energia. Novais et al. (1986) e Barros et al. (2005) ressaltam que as espécies do gênero eucalipto apresentam nível crítico de fósforo relativamente alto nos primeiros meses da cultura, até o estágio de fechamento das copas, respondendo à adubação de plantio.

Segundo Araújo e Machado (2006), em solos com baixa disponibilidade de P disponível, as grandes culturas de interesse econômico necessitam de elevadas aplicações de fertilizante fosfatado para obtenção de adequadas produtividades, onde os ganhos na produção, que variam de acordo com a região onde se faz o cultivo, podem ir de 20 a 100%.

A necessidade de adubação decorre do fato de que nem sempre o solo é capaz de fornecer todos os nutrientes que as plantas precisam para crescimento adequado. Assim, as características e a quantidade de adubo dependerão das necessidades nutricionais da(s) espécie(s) florestal(s), da fertilidade do solo, da forma de reação dos adubos com o solo e da eficiência econômica do uso e da aplicação do adubo.



Segundo Gonçalves (1995) recomendações de adubação devem ser definidas em nível regional para as espécies e tipos de solo representativos, fatores passíveis de manejo, a fim de obter otimização dos retornos financeiros.

O conhecimento dos níveis críticos dos nutrientes no solo e nos tecidos vegetais possibilita recomendação mais precisa da adubação. Segundo Silva (2007), nível crítico corresponde ao teor do elemento na planta ou no solo abaixo do qual a taxa de crescimento ou a produção vegetal diminui significativamente, demonstrando a necessidade de adubação complementar.

Segundo Gonçalves (1995) as maiores respostas do eucalipto à adubação têm sido observadas no campo com maior frequência para os macronutrientes P, N, K, Ca e Mg e para os micronutrientes B e Zn, respectivamente, do eucalipto.

Barros et al. (1981) testaram diferentes tratamentos com combinação de N-P-K, usando três doses de N (0, 16, e 32 g de N por cova); quatro doses de P (0,10, 40 e 60 g de  $P_2O_5$  por cova) e três doses de K (0, 16 e 32 g de  $K_2O$  por cova) no crescimento de *E. grandis*, na região de Bom Despacho – MG. Constataram, aos 4,5 anos após o plantio, que os menores valores médios de altura e volume foram observadas no tratamento testemunha e naquele com ausência de P na formulação. Verificaram também, que não houve diferenças estatísticas nos tratamentos com variações de N e K, evidenciando que o P foi o fator mais limitante e que para os outros dois nutrientes não ocorreram respostas das plantas, para estes autores, a região estudada apresenta solos de fertilidade mediana e boa precipitação ao longo do ano, o que resulta na baixa resposta das árvores à aplicação do N e do K.

Reis et al. (1985), avaliando o acúmulo de biomassa de *E. grandis* em uma sequência de idade, nos Municípios de Bom Despacho e Carbonita – MG, observaram rápido incremento inicial do caule nas idades de 15 meses em Bom Despacho (sítio mais produtivo) com  $275 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$  e 21 meses em Carbonita (sítio menos produtivo) com  $268 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ . Este crescimento se intensificou a partir destas idades e atingiram  $725$  e  $421 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ , em Bom Despacho e Carbonita, respectivamente, quando as plantas chegaram aos 26 e 32 meses. Os autores constataram que a diferença de crescimento entre os dois locais intensificou-se com o avanço da idade, em função da redução do efeito da fertilização já nos dois primeiros anos após o plantio. Constataram também, maior produção relativa de raízes em relação à parte aérea no sítio mais pobre, como forma de garantir maior eficiência na absorção de nutrientes.

Existem alguns trabalhos que encontraram baixa correlação entre o crescimento das árvores e o resultado da análise química do solo. Santos (2006) estudando parâmetros de análise de fatores edáficos no crescimento e produção em povoamento de *Araucaria angustifolia*, constatou baixa correlação entre a altura dominante e as variáveis químicas do solo na camada de 0 a 20 cm. Segundo o autor, este fato se deve, possivelmente, às variáveis químicas que indicam apenas as concentrações dos nutrientes que, teoricamente, estariam disponíveis para a planta em apenas um estrato do solo, não constituindo um indicador seguro da disponibilidade de nutrientes devido à grande profundidade das raízes.

Balieiro et. al. (2008) estudando fertilidade, quantidade de carbono do solo e uso da água pelo eucalipto em uma topossequência, verificaram que o relevo tem forte influência sobre os atributos químicos do solo, embora haja forte evidência de o crescimento do eucalipto se relacionar com a disponibilidade de água na paisagem e com o teor de P no solo. Porém, os resultados demonstraram que o crescimento do eucalipto não foi influenciado pelo aumento nas bases do solo, pois maiores valores de CAP (Circunferência a altura do peito) e altura foram encontrados nos terços médio e inferior, justamente onde os solos apresentaram menores teores de bases. Segundo os autores, o teor de P nas camadas superficiais deve estar

relacionado com os padrões de crescimento encontrados, mas possivelmente este padrão esteja mais relacionado com a dinâmica da água na paisagem.

Castro (2010) estudando a química e a mineralogia de solos cultivados com eucalipto, concluiu que os dados do incremento médio anual do eucalipto de 7 anos distinguiram 3 conjuntos de solos em função de seus atributos diferenciais, separando solos bem drenados ( $\text{IMA} \geq 46 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), solos com problemas de encharcamento ( $\text{IMA}$  de  $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e solos muito arenosos ( $\text{IMA}$  de  $38 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

Stape et al. (2004) avaliando os principais fatores edafoclimáticos (incluindo atributos químicos do solo), que controlam a produção e o uso dos recursos (água, nutrientes e luz) de 14 sítios de clones de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus urophylla*, verificaram que os atributos relacionados com a fertilidade do solo, a despeito do grande gradiente encontrado nos sítios, não se relacionaram diretamente com a produtividade das árvores.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização e histórico da área

O estudo foi desenvolvido em Além Paraíba, Estado de Minas Gerais, em área da Fazenda Cachoeirão (Figura 1) na faixa de latitude  $21^{\circ}55'$  e longitude  $42^{\circ}54'$ , com altitude média de 350 m. O município se insere na fração mineirada da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, região conhecida como Zona da Mata Mineira, fazendo divisa com o estado do Rio de Janeiro. O clima, segundo classificação climática de Köppen é Cwa, Subtropical, com período seco no inverno e temperatura média do mês mais quente acima de  $22^{\circ}\text{C}$ . A topografia da região é acidentada com relevo forte ondulado e montanhoso, os solos predominantes são do tipo LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (IBGE, 2012) e a cobertura vegetal natural é classificada como Floresta Estacional Semidecidual Submontana (VELOSO et al., 1991).

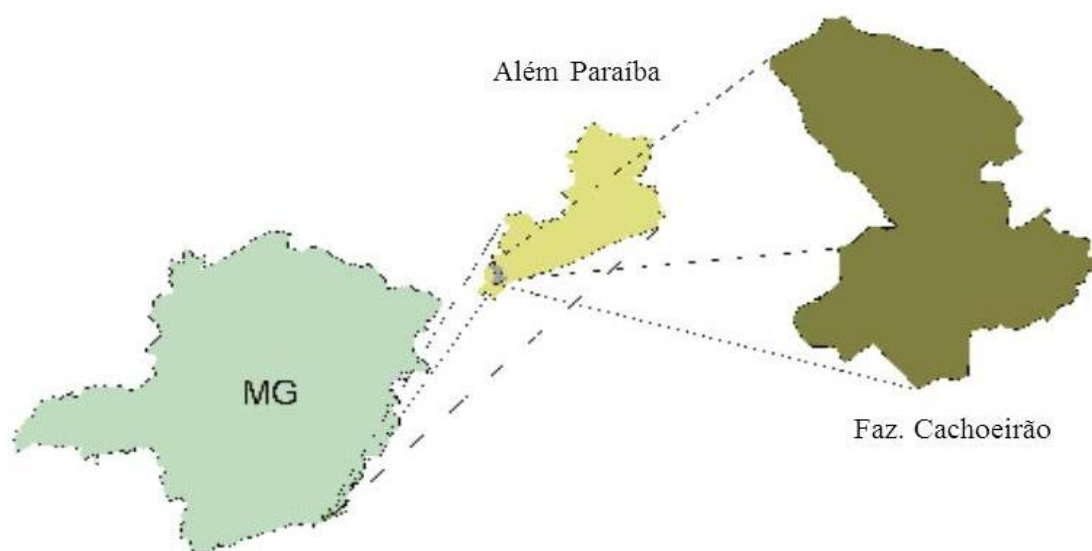


Figura 1: Localização geográfica do Município de Além Paraíba, no Estado de Minas Gerais, onde está localizada a Fazenda Cachoeirão.

Com base em informações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2012) analisou-se os dados de precipitação e de temperatura da região registrados nos anos de 2008 a 2011 (período da instalação do experimento até a última coleta de dados) que resultou no gráfico de distribuição anual da precipitação e da temperatura média mensal neste período (Figura 2). A precipitação média anual da região no período foi de 1.592 mm, com maior concentração de chuvas no período de outubro a março, com destaque para os meses de dezembro e janeiro. O período seco registrado de maio a setembro, época em que a média mensal de chuvas não ultrapassou 23 mm.

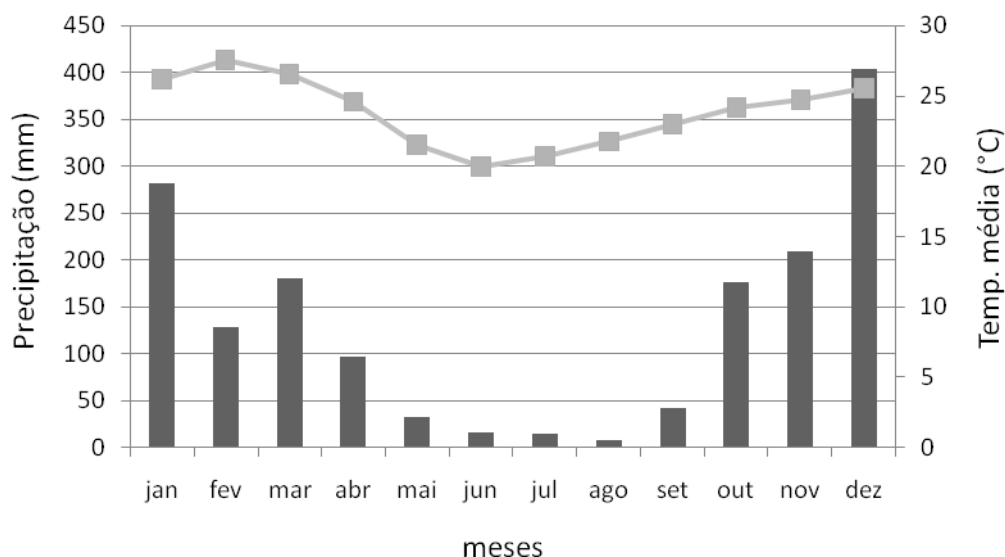


Figura 2: Precipitação média e temperatura média mensal da região de Além Paraíba, dos anos de 2008 a 2011.

A série histórica da região com base em dados dos últimos 50 anos (Figura 3) mostra uma precipitação média anual de 1.309 mm, pouco inferior que o registrado no período de 2008 a 2011. Percebe-se pela Figura 2 que o mês de fevereiro apresentou no período, precipitação diferente da média na série histórica (Figura 3), tal fato é devido ao veranico registrado para o mês em 2010, que exerceu forte influência na média do período em questão.

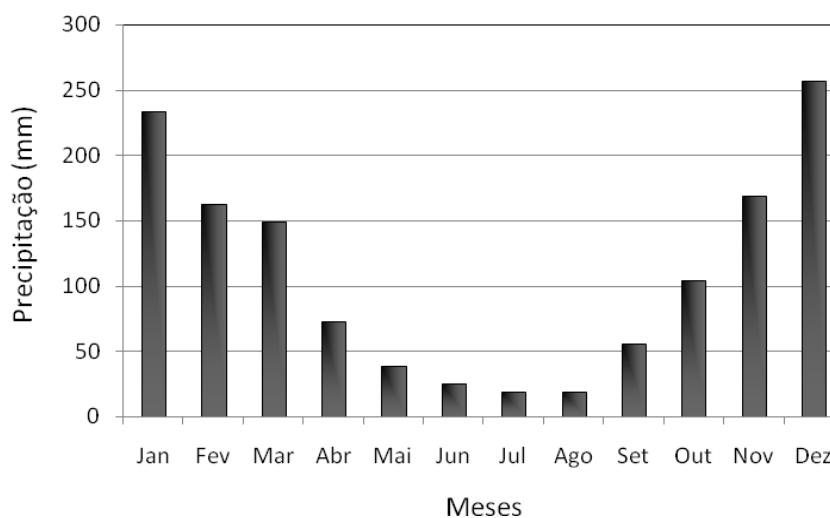


Figura 3: Precipitação média mensal da região de Além Paraíba, de uma série histórica dos últimos 50 anos.

De posse dos dados meteorológicos, foi calculado o balanço hídrico da região para o período (Figura 4), de acordo com metodologia proposta por Thornthwaite & Mather (1955), utilizando planilha eletrônica desenvolvida por Sentelhas et al. (1998) e capacidade de água disponível (CAD) no solo de 300 mm, decorrente da classe de solos de maior ocorrência na região segundo IBGE (2012), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO. Observa-se déficit hídrico a partir do mês de maio até o mês de setembro com maior acentuação nos meses de agosto e setembro. O baixo volume de água registrado no mês de fevereiro tanto para a precipitação quanto para o balanço hídrico é devido a ocorrência de veranico em 2010, que registrou precipitação de apenas 52 mm em fevereiro, algo atípico para o mês na região.

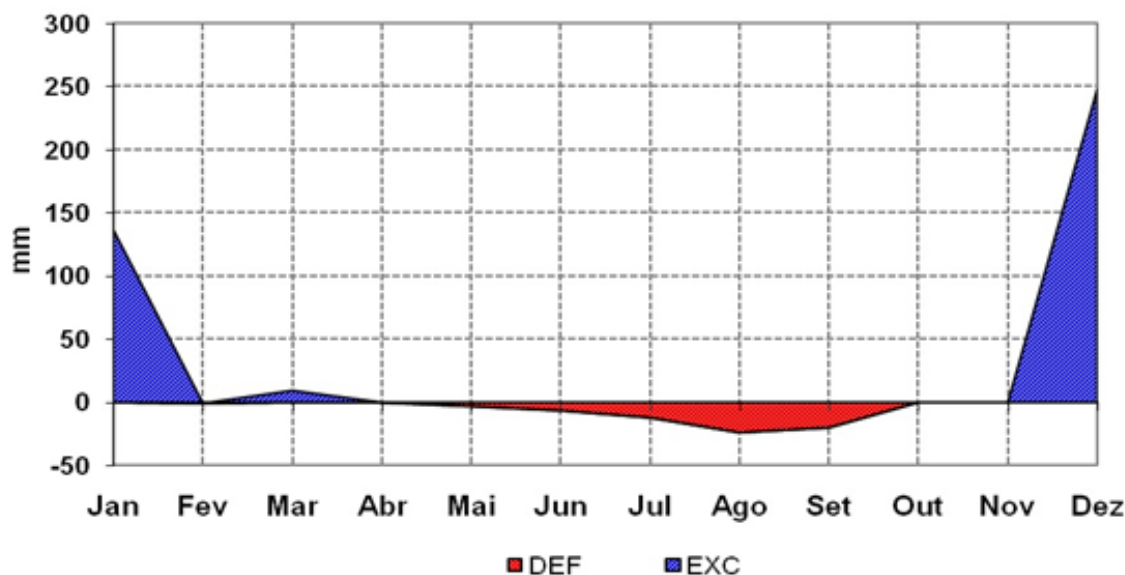


Figura 4: Balanço hídrico mensal do período de 2008 a 2011, em Além Paraíba – MG.

A principal atividade econômica da Fazenda Cachoeirão é gado de leite, com cultivo de *Brachiaria brizantha* (braquiária) e em 2007, o proprietário resolveu realizar plantio de eucalipto para consumo interno e venda de madeira. Assim, em dezembro de 2007 foi implantado um sistema silvipastoril em área de 5,8 hectares, com eucalipto em fileiras triplas, em área de pastagem com braquiária.

A área, na ocasião da implantação, foi caracterizada como uma pastagem degradada, apresentando condições ruins de manejo da pastagem, com alguns pontos em que o solo estava exposto. Foram realizadas análises de rotina da fertilidade do solo em três posições topográficas na área destinada à implantação do sistema silvipastoril (Topo do morro, Terço superior e Terço médio). Para isso, em cada posição, foram retiradas quatro amostras simples com uso de enxadão na camada até 30 cm, as quais misturadas chegou-se a três amostras compostas, obtendo-se assim uma recomendação de adubação representativa para toda área (Tabela 1).

Tabela 1: Resultados de análise química do solo (0 – 30 cm) da área destinada à implantação do sistema silvipastoril na Fazenda Cachoeirão, Além Paraíba – MG

Posições topográficas	*1 pH H <sub>2</sub> O	*2 P - mgdm <sup>-3</sup>	*2 K -	*3 Ca <sup>2+</sup> -----	*3 Mg <sup>2+</sup> -----	*3 Al <sup>3+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CTC(t) -----	H+Al -----	V ---- % ----	m
Topo do morro	4,6	1,5	52	0,35	0,24	1,35	2,07	8,7	7,6	65,2
Terço superior	4,7	1,2	38	0,20	0,05	1,06	1,41	7,3	4,6	75,2
Terçomédio	4,8	0,9	28	0,47	0,17	0,67	1,38	6,4	10,0	48,6

\*1 pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5; \*2 Extrator Mehlich 1; \*3 Extrator: KCl - 1 molL<sup>-1</sup>; CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica efetiva; V = Índice de saturação de bases; m = Índice de saturação de sódio. H+Al, Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0.

### 3.2 Implantação do povoamento e do experimento

A implantação do povoamento de eucalipto em sistema silvipastoril foi realizada na primeira semana de dezembro de 2007, utilizando-se mudas de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. As mudas foram adquiridas de viveiro florestal em Bom Jesus de Itabapoana– RJ, de sementes obtidas no Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF, classificadas como APS (provenientes de Área de Produção de Sementes). O experimento foi instalado na época de implantação de todo povoamento de eucalipto.

Inicialmente foram feitas marcações em curva de nível utilizando uma mangueira de nível e estacas de bambu, posicionados em alguns pontos estratégicos do terreno, os quais foram rebatidos para o restante da área, determinando a alocação das fileiras triplas. Estas fileiras foram distanciadas 12 m entre si, com distância entre as linhas de 2 m e entre as plantas de 2 m (Figura 5), obtendo-se uma densidade média de plantio de 938 covas ha<sup>-1</sup>.

A marcação do local das covas foi realizada com uso de um enxadão e de um gabarito feito de bambu, com 2 metros de comprimento, obedecendo-se o espaçamento de plantio pré-definido e as orientações das curvas de nível.

Realizou-se o controle químico de plantas invasoras antes do plantio através da aplicação de glifosato, concentração de 1,25%, nas faixas de plantio e mais 1 m de largura para cada lado. Após alguns dias da aplicação do herbicida, foram abertas as covas, com dimensões de 25 x 25 x 25 cm.

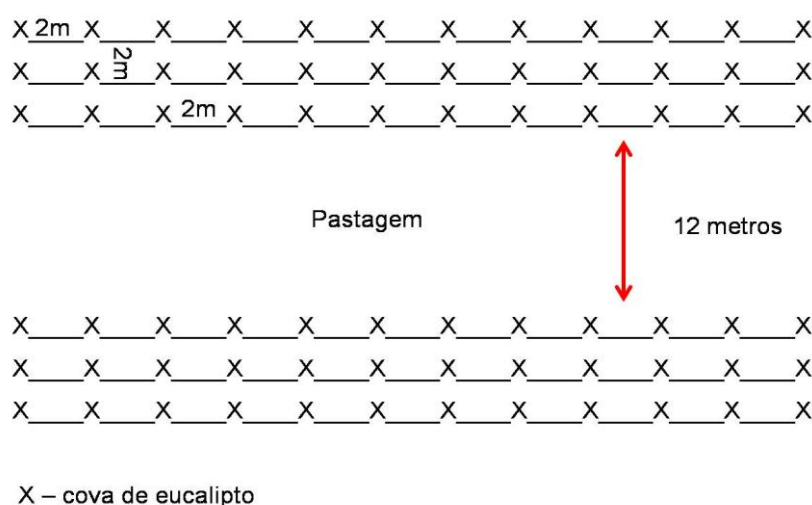


Figura 5: Desenho ilustrativo do arranjo espacial com covas de plantio de eucalipto, em sistema silvipastoril, na Fazenda Cachoeirão, Além Paraíba – MG.

O experimento foi instalado em três posições topográficas do terreno: topo do morro (local 1), terço superior (local 2) e terço médio da encosta (local 3), conforme ilustração da Figura 6. Não foi possível a instalação do experimento no terço inferior, devido não estar dentro do limite da área.

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso em arranjo experimental em parcelas subdivididas “no espaço”, sendo os locais como tratamentos das parcelas e as doses de adubação de plantio como tratamentos das subparcelas, constituindo, assim, 45 unidades experimentais. Cada unidade amostral foi formada por 3 fileiras de 3 covas de plantio (9 covas de plantio).

Os tratamentos em quatro doses crescentes de adubação (50, 100, 150 e 200g) de N-P-K (04-31-04) por cova, além da testemunha absoluta (sem adubação). Este adubo é composto por fosfato natural reativo (31% de  $P_2O_5$  total, sendo 11% solúvel em água e 18% solúvel em ácido cítrico), 22% de CaO, 0,1% de Cu e 0,3% de Zn. A aplicação foi realizada no momento do plantio, sendo misturado à terra da cova.

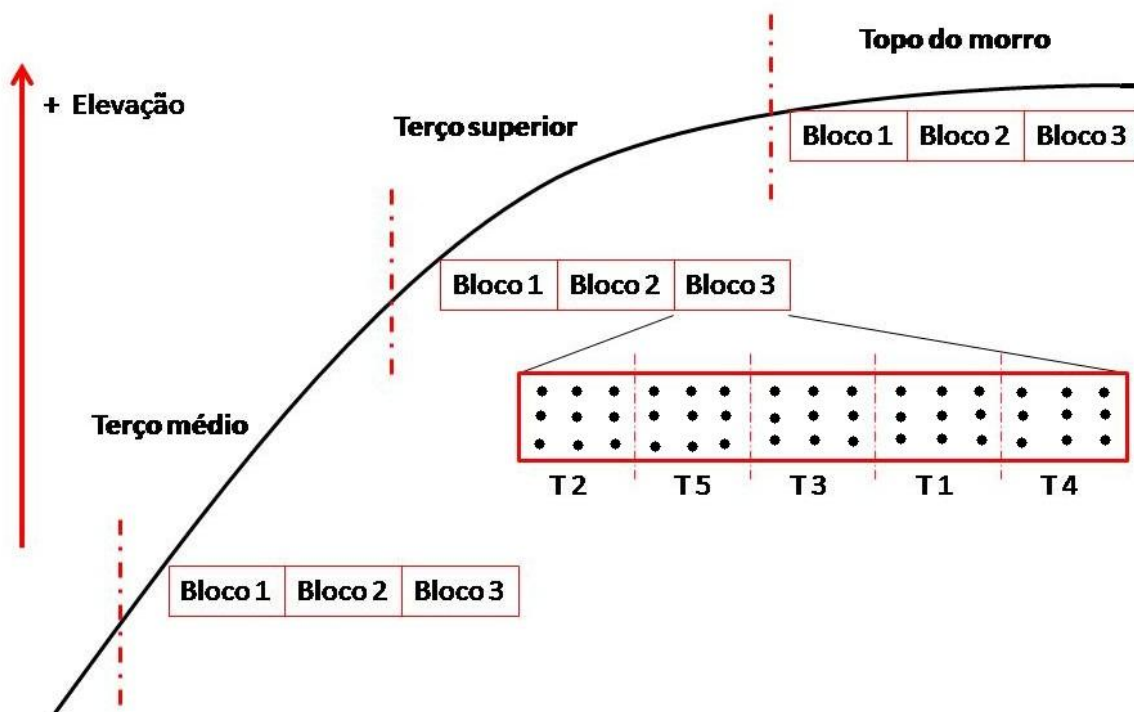


Figura 6: Desenho ilustrativo da disposição do experimento em campo na vista de perfil da topossequência, em sistema silvipastoril, na Fazenda Cachoeirão, Além Paraíba – MG.

O controle de formigas cortadeiras foi realizado antes e até seis meses após o plantio, com o uso de iscas granuladas.

Aos três meses após o plantio foi realizada a capina em torno das plantas, num raio de aproximadamente 40 cm. Em seguida, foi realizada a 1ª adubação de cobertura, com aplicação de 80 gramas de N-P-K (20-05-20) por planta. Aos seis meses após o plantio, realizou-se um novo coroamento e roçada de toda a área e a 2ª adubação de cobertura, aplicando 100 gramas de N-P-K (18-00-33) por planta.

A área foi liberada para o pastoreio de novilhos de gado de leite, aos 10 meses após o plantio, período esse em que a maioria das plantas de eucalipto apresentaram altura adequada (superior a 3,0 metros), evitando assim que o gado provocasse perdas decorrentes do pisoteio.

### 3.3 Característica morfológicas e físicas dos solos

Em cada posição topográfica do experimento, foi aberta trincheira de 150 cm de profundidade, denominada perfil, onde foi realizada a descrição morfológica dos solos. A classificação foi realizada até o quarto nível categórico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), pois segundo informações de Menezes (2005) a classificação do solo até o quarto nível categórico é indicativo de produtividade para o eucalipto.

Para avaliação das características físicas do solo, nas posições topográficas estudadas, foram realizadas coleta de 5 amostras, nas profundidades de 0 a 10, de 10 a 20 e de 20 a 40 cm, dentro da área ocupada pelo experimento. Estas amostras foram submetidas a análise física de granulometria (EMBRAPA, 1997), obtendo-se dados de textura em porcentagem de areia e argila e por diferença a de silte.

Para determinação da densidade aparente do solo foram realizadas coletas de 5 amostras indeformadas, por posição topográfica, nas profundidades de 0 a 10, de 10 a 20 e de 20 a 40 cm, utilizando-se o anel volumétrico de volume conhecido (Kopecky). No laboratório de física do solo da UFRRJ, estas amostras foram colocadas em estufa a 105 °C por 48 h e posteriormente pesadas em balança, com precisão de 2 casas decimais.

A densidade do solo foi calculada pela equação  $D_s = M_s / V_s$ , onde  $M_s$  = massa do solo seca em estufa, em gramas e  $V_s$  = volume do solo, em  $cm^3$ ).

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico por meio da relação entre a massa e o volume de solo seco, sendo utilizado um balão de 50 ml com 20 g de terra fina seca em estufa (TFSE), cujo volume foi completado com álcool etílico, obtendo-se o volume de solo pela diferença entre o volume do balão e o volume de álcool titulado (EMBRAPA, 1997).

O volume total de poros (VTP) foi calculado através da relação entre densidade do solo e densidade de partículas (EMBRAPA, 1979), pela equação  $VTP (\%) = (1 - (D_s/D_p)) \times 100$ .

A declividade do solo foi avaliada nas três posições topográficas do experimento, através do arvorímetro de Morokawa, realizando-se visadas em cinco trechos de cada posição topográfica para se obter uma média aritmética da declividade por posição topográfica.

Os dados de densidade do solo, volume total dos poros, porcentagem de argila e de areia foram submetidos à análise de variância ( $P < 0,05$ ) em função do local, da profundidade e da interação local x profundidade. Quando ocorreu significância, os dados foram submetidos ao teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

### 3.4 Análise química dos perfis de solo

Após identificação e a descrição dos horizontes, também foram retiradas amostras de solo e realizadas análises químicas de cada horizonte descrito, conforme métodos que constam em EMBRAPA (1997).

### 3.5 Crescimento das plantas

A avaliação da altura foi realizada aos 6, 18, 30 e 42 meses após o plantio, mediante vara graduada nas três primeiras avaliações e o hipsômetro aos 42 meses.

A circunferência a altura do peito (CAP) foi medida, juntamente com a altura, aos 18, 30 e 42 meses, com o uso de fita métrica e em laboratório os dados foram transformados em diâmetro a altura do peito (DAP), através da expressão:  $DAP = CAP / \pi$ .

A biomassa das árvores foi determinada aos 18 meses após o plantio. Para tanto, com base nos dados de crescimento deste período, foram selecionadas três árvores, com valores de altura e de DAP mais próximos do valor médio de cada subparcela, totalizando 15 árvores em cada posição topográfica. No campo, as árvores selecionadas foram identificadas. Mediu-se o diâmetro da copa, sendo feita a primeira medição paralela e a segunda perpendicular à linha de plantio. Com estas medidas foi possível estimar a área de copa, conforme adaptações da metodologia utilizada por Almeida (2003). Em seguida, as árvores foram abatidas ao nível da superfície do solo, sendo separadas em folhas, galhos e tronco, os quais foram pesados no campo. Na sequência, retirou-se amostras de cada componente para determinação da biomassa seca, sendo o tronco desmembrado em lenho e casca. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel para serem levadas para estufa a 65 °C, até atingir massa constante. Finalmente, as amostras de cada componente foram pesadas em balança de precisão, sendo os valores extrapolados para todo o experimento.

A biomassa de raízes (médias + grossas) foi determinada em apenas uma das árvores abatidas anteriormente em cada subparcela. Com uso de enxadão foram realizadas escavações em raio de aproximadamente 1,0 m ao redor do tronco da árvore até a profundidade de aproximadamente 50 cm. Todas as raízes foram separadas da terra mediante catação manual. Em seguida foram pesadas, e retiradas amostras para serem totalmente secas em estufa a 65 °C seguindo-se a quantificação da biomassa seca.

Os dados de todas as variáveis, exceto biomassa seca do sistema radicular devido não ter repetição, foram submetidos à análise de variância, adotando níveis de significância de 10% e posteriormente submetidos à análises de regressão. Foram testados modelos até o quarto grau e para cada variável foi selecionada a equação com base na significância dos coeficientes de regressão testados pelo teste t de Student. Para a realização das análises estatísticas foi utilizado o software SAEG – Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (RIBEIRO JÚNIOR, 2001).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Classificação morfológica dos solos**

O topo do morro (local 1) apresenta característica de solo bem desenvolvido com coloração amarelada e com avançado estágio de intemperização, sendo identificados horizonte diagnóstico superficial A moderado e subsuperficial B latossólico. Por suas características, o solo deste local (Figura 7) foi descrito como LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico (SBCS, 2006). Solos normalmente profundos, com boa drenagem e que geralmente apresentam baixa capacidade de troca catiônica (CTC). Segundo Lopes (1984) Latossolos normalmente apresentam propriedades físicas favoráveis e profundidade adequada ao cultivo de eucalipto. Os solos da posição topográfica topo de morro, normalmente apresentam maior desenvolvimento estrutural, boa retenção de umidade e facilidade à penetração das raízes, e por isso, maior crescimento das plantas (MENEZES 2005).

Meireles et al. (2012) estudando relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica, encontraram Latossolos relacionados à posição topográfica, definida pelos autores como topo, com topografia plana a levemente inclinada. Cunha et al. (2005) reforçam que esta posição permite a ocorrência de solos cronologicamente mais velhos, mais estáveis e mais homogêneos.



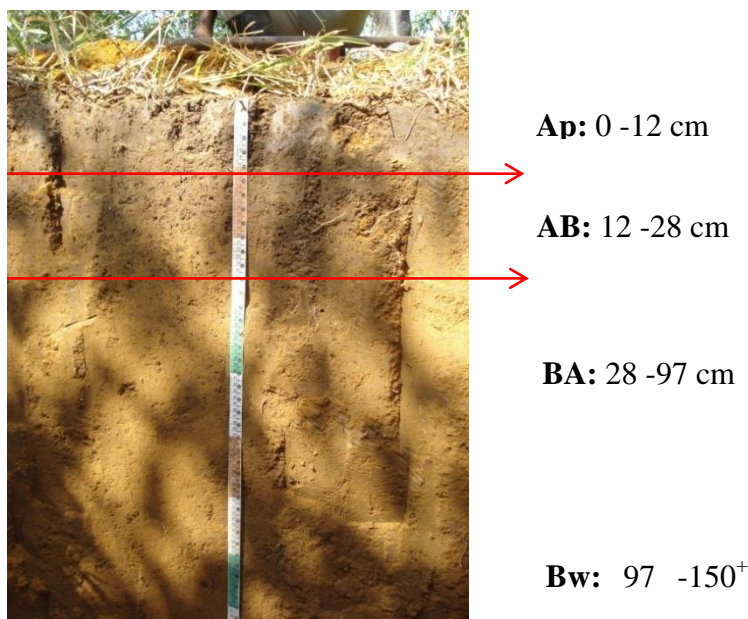


Figura 7: Fotografia ilustrativa do perfil do solo no topo de morro (local 1), em área de sistema silvipastoril da Fazenda Cachoeirão, Além Paraíba-MG.

Os horizontes diagnósticos encontrados no local 2 foram superficial A moderado e o subsuperficial B latossólico, sem apresentar gradiente textural B/A expressivo. Diante destas constatações, o solo foi caracterizado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico. De textura argilosa, são solos comumente profundos e bem drenados. O perfil do solo é apresentado na Figura 8.

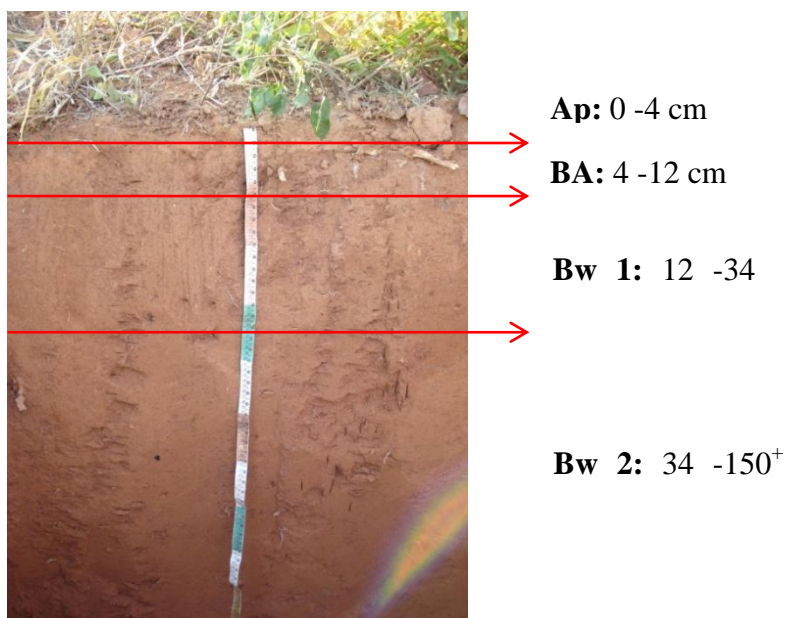


Figura 8: Fotografia ilustrativa do perfil do solo no terço superior (local 2), em área de sistema silvipastoril da Fazenda Cachoeirão, Além Paraíba-MG.

O perfil do local 3 apresentou os horizontes subsuperficiais com coloração avermelhada, sendo o horizonte superficial A classificado como moderado e o B subsuperficial como latossólico. O solo desta posição foi classificado como LATOSSOLO

VERMELHO-AMARELO Distrófico típico. O perfil do solo é apresentado na Figura 9. Este local devido a posição topográfica ocupada na paisagem, segundo Corrêa Neto (2007), normalmente possui maior potencial de escoamento de água na superfície e em movimento lateral no perfil.

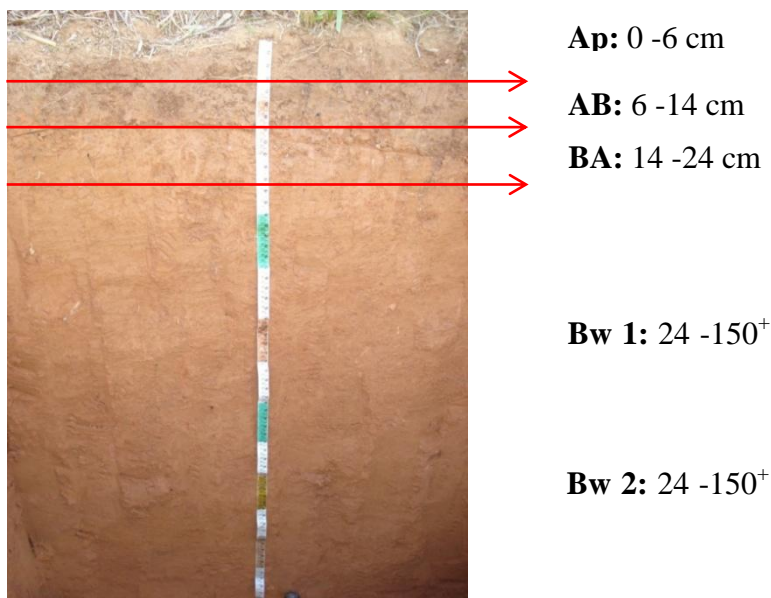


Figura 9: Fotografia ilustrativa do perfil do solo no terço médio (local 3), em área de sistema silvipastoril da Fazenda Cachoeirão, Além Paraíba-MG.

#### 4.2 Análise física

Pela análise de variância ( $p < 0,05$ ), constatou-se não haver diferenças significativas da porcentagem de argila e de areia dos solos das três posições e também entre as profundidades avaliadas. A classe textural dos solos das três posições topográficas estudadas foi definida como argilosa, apresentando mais de 40% de argila (EMBRAPA, 2006).

Em relação à densidade do solo (Ds), (Tabela 2) constata-se que o topo de morro apresentou densidade significativamente inferior ao terço médio, e o terço superior situação intermediária, mas todos valores de Ds estão em faixa considerada adequada.

Tabela 2: Densidade do solo (DS), volume total de poros (VTP) e granulometria do solo (%), nas três posições topográficas estudadas, em área com sistema silvipastoril, na Fazenda Cachoeirão, em Além Paraíba, MG

Posições topográficas	Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	VTP	Areia (%)		Silte (%)		Argila (%)	
			Média	DesvP	Média	DesvP	Média	DesvP
Topo de morro	0,90 b	65,17 a	42,37 a	5,40	4,48 a	0,86	53,15 a	9,50
Terço superior	0,92 ab	64,71 a	41,73 a	3,27	8,62 a	3,02	49,65 a	11,45
Terço médio	0,96 a	64,05 a	42,95 a	5,02	9,48 a	7,35	47,57 a	7,66

DesvP = Desvio Padrão.

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Maiores valores de densidade do solo, segundo Ribeiro et al.(2010) influenciam negativamente no transporte de nutrientes no solo, principalmente por meio de difusão, e consequentemente no crescimento das plantas de eucalipto. Pode-se inferir que o aumento da

densidade do solo reduz os efeitos da adubação de plantio, principalmente na magnitude de resposta do eucalipto à adubação fosfatada, tendo em vista a alta dependência deste elemento de deslocar no solo por meio do mecanismo de fluxo difusivo (NOVAIS e MELLO, 2007).

Estudando propriedades edáficas e desenvolvimento de eucalipto em topossequência no Município de Seropédica - RJ, Paula et al. (2012) constataram maiores valores de densidade do solo no terço médio ( $1,72 \text{ Mg.m}^{-3}$ ) e que isso é reflexo de processos erosivos que certamente favoreceu maior remoção do material do horizonte superficial, refletindo em menor crescimento das plantas.

Silva (2006) constatou que o aumento da densidade do solo reduziu a porosidade total, o fluxo difusivo de P, a infiltração da água e conseqüentemente o desenvolvimento radicular de mudas de eucalipto.

Em avaliações de campo, identificou-se que o topo do morro apresenta declividade suave ondulada (8%), o terço superior ondulada (19%) e o terço médio, forte ondulada (39%). De acordo com a descrição do relevo regional, estes dois últimos valores são característicos de um relevo ondulado e forte ondulado (IBGE, 2012). Meireles et al. (2012) afirmaram que diferenças visuais entre a posição de topo de morro e o terço superior da paisagem são, comumente, pouco perceptíveis ao se tentar precisar onde começa uma e termina a outra, sendo a declividade a principal ferramenta para esta divisão.

Segundo Juhász (2005) a declividade do terreno é uma característica importante na determinação da produtividade do sítio, a qual interfere diretamente no comportamento da água no solo, sendo essa de relativa facilidade de mensuração, a qual juntamente com a posição topográfica, exerce influência direta na infiltração da água no solo e também na manutenção da nutrição do solo. Assim, o topo do morro por apresentar menor declividade normalmente, ocorre menor erosão de sedimentos e maior infiltração de água, tendendo a ser mais favorável ao crescimento das plantas de eucalipto, como observado por Li et al. (2001), Lepsch (2002), Menezes (2005) e Fonseca (2011). Balieiro et al. (2008), estudando a fertilidade e uso da água pelo eucalipto numa topossequência em Seropédica - RJ, observaram evidências de que o crescimento do eucalipto tem relação direta com a disponibilidade de água no solo. Mencionaram ainda que o relevo e as condições físicas são determinantes para a capacidade de absorção e armazenamento de água do solo.

Gonçalves (1990) observou que as propriedades físicas dos solos, tais como VTP e Ds, se relacionam com mais freqüência à produtividade do que as propriedades químicas, principalmente aquelas relacionadas com a capacidade de retenção de umidade.

### **4.3 Análise química**

Com base em Novais et al. (1986) e Gonçalves (2000), pode-se constatar pela Tabela 3, que os solos das três posições topográficas estudadas apresentam um bom pH para a cultura do eucalipto ( $> 4,1$ ) em todas profundidades avaliadas. Devido a procedência das mudas usadas no plantio (sementes pouco melhoradas devido serem de APS) e também por conta da mão-de-obra não especializada em plantios florestais, a produtividade de  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  foi usada como base para comparação da qualidade dos locais estudados tomando a análise química como referência.

Com base nesta produtividade, o valor do P para implantação da cultura do eucalipto está muito abaixo do nível crítico indicado por Novais (1986), que é de  $60 \text{ mg dm}^{-3}$ , em todos os locais. Apesar das pequenas diferenças numéricas do valor de P aferido na análise química dos solos nas três diferentes posições topográficas, não permite inferir que P seja um diferencial para proporcionar melhores condições de crescimentos das árvores.

Tabela 3: Análise química do solo para os horizontes descritos nos locais 1, 2 e 3, em área de sistema silvipastoril, na Fazenda Cachoeirão, em Além Paraíba, MG

Hori- zontes	Prof. cm	pH H <sub>2</sub> O	P mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca <sup>+2</sup> ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg <sup>+2</sup> ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Al <sup>+3</sup> ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al	SB	CTC (t) -----	V %	MO dag kg <sup>-1</sup>	P-rem mg L <sup>-1</sup>
Local 1													
A	0 - 12	5,7	3,3	260	0,9	1,2	0	6,2	2,76	2,76	31	4,1	28,9
AB	12 - 28	5,1	1,7	121	0,1	0,2	1,5	7,1	0,61	2,11	8	2,5	21,6
BA	28 - 97	4,8	0,7	37	0	0	1,7	6,9	0,09	1,79	1	1,9	15,8
B	97-150	5,0	0,8	7	0,1	0	1	3,6	0,12	1,12	3	1,2	13,8
Local 2													
A	0 - 4	5,0	2	31	0,2	0,1	1,1	5,8	0,38	1,38	7	3,1	27,7
BA	4 - 12	4,8	1	18	0,1	0	1,3	5,9	0,24	1,44	4	2,3	23,7
B1	12 - 34	4,8	0,7	14	0	0	1,1	5,2	0,04	1,44	1	2,1	21
B2	34-150	5,2	0,5	8	0	0	0,8	3,8	0,02	0,82	1	1,4	16,3
Local 3													
A	0 - 6	4,6	3,9	50	0,3	0,1	1,4	7,7	0,53	1,93	6	3,9	27,9
AB	6 - 14	4,8	1,8	34	0,1	0	1,3	6,4	0,19	1,49	3	3,1	23
BA	14 - 24	4,9	0,7	14	0	0	1	4,9	0,04	1,04	1	2,2	19,3
B	24-150	5,5	0,7	4	0	0	0,1	2,8	0,01	0,11	0	1,2	12

pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5; (P e K) Extrator Mehlich 1; (Ca, Mg e Al) Extrator: KCl - 1 molL<sup>-1</sup>; (H + Al) Extrator: Acetato de cálcio 0,5 molL<sup>-1</sup> - pH 7,0; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC(t) = Capacidade de troca catiônica efetiva; V = Índice de saturação de bases; MO = Matéria Orgânica - Oxidação Na<sub>2</sub> Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N + H<sub>2</sub>SO<sub>2</sub> 10N; P-rem = Fósforo remanescente.

Para o local 1 os valores de K, Ca e Mg estão em níveis satisfatórios para a cultura do eucalipto, tanto para implantação quanto para manutenção, a uma profundidade de 28 cm (A + AB). Este solo apresenta horizontes superficiais mais espessos, maiores teores de cátions que refletem em um maior valor V do solo. Registrou-se também maior concentração de matéria orgânica e os maiores valores de CTC (t) para este solo em relação aos outros dois perfis, o que conseqüentemente, pode favorecer a produtividade da cultura do eucalipto no local, devido a contribuição nutricional e os benefícios proporcionados por tais características.

Os valores de K no local 2, observando os 34 cm superficiais do solo representados no perfil pelo conjunto dos horizontes A, BA e B1, foram considerados em um nível satisfatório para a implantação de eucalipto, com base na produtividade citada anteriormente. Contudo em termo de manutenção do povoamento os níveis de K do solo desta posição não atendem a demanda da cultura, com nível crítico de 60 mg dm<sup>-3</sup>. Com relação ao Ca e Mg, considerando a mesma profundidade, os teores não são satisfatórios para implantação e manutenção da cultura do eucalipto, que segundo Novais (1986) são respectivamente de 0,2 e 0,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para o Ca e 0,05 e 0,13 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para o Mg.

O local 3 assim como o local 2, apresentou valores de K em nível satisfatório para implantação de eucalipto e abaixo no necessário para manutenção, considerando 24 cm de profundidade (A+AB+BA). Para Ca e Mg os teores encontrados foram bem similares aos encontrados no local 2. Segundo Barros (1990) a maioria das espécies florestais apresenta baixa exigência em Ca e Mg, porém em ocasiões de períodos de seca as plantas podem sofrer deficiência destes nutrientes, particularmente pela restrição do transporte dos mesmo por falta de água. Os valores de MO, V e CTC (t) encontrados nos locais 2 e 3 foram igualmente

bastante próximos, com ligeiro aumento da CTC e MO para o local 3. Desta forma pode-se inferir que as respostas de crescimento do eucalipto para estes dois lugares sejam bem semelhantes, em função das características químicas apresentadas, indicando uma tendência de menor capacidade destes solos de fornecer nutrientes às plantas, se comparados com o local 1 e o N-P-K utilizado foi principalmente para fornecer P.

Segundo Faria (2010), quando a topossequência é convertida em área de cultivo pode ocorrer perdas de nutrientes ao longo do declive em decorrência das práticas agrícolas usadas e sendo a área de implantação do povoamento cultivada com pastagem, provavelmente este fato tenha ocorrido para K, Ca e Mg nas posições topográficas 2 e 3, o que possivelmente explica maiores valores destes elementos no local 1 em detrimento aos demais. Tal resultado pode ter sido favorecido em função da decomposição da matéria orgânica oriunda da capina química efetuada nas faixas de plantio, somado a permanência de maiores teores no local 1 por conta deste possibilitar menor susceptibilidade a lixiviação.

A baixa concentração de matéria orgânica (MO) nos solos do local 2 e 3, principalmente devido à posição topográfica em que se encontra e ao horizonte superficial pouco espesso pode estar influenciando negativamente na disponibilidade de P da solução do solo, pois segundo Donagemma et al. (2008), com a remoção de parte da MO, há exposição de cargas positivas que adsorvem o fosfato, diminuindo assim sua concentração na solução de equilíbrio. Estabelecem ainda uma relação, de quanto maior a quantidade de MO, em geral menor é a adsorção de fosfatos e maior é o P-rem, diferença que não se mostrou tão expressiva entre os solos estudados devido a pouca diferença entre os teores de MO registrados.

A determinação do P-rem, segundo Junior et al. (2008) e Guaresch et al. (2012), auxilia na interpretação da disponibilidade de P e está estreitamente correlacionada com a capacidade máxima de adsorção do solo, possibilitando inferir sobre a capacidade tampão. Conforme o observado na Tabela 3, os teores de P-rem nas três posições topográficas são bem similares.

#### **4.4 Avaliações do crescimento**

A variável posição topográfica (local) influenciou significativamente o crescimento das plantas de eucalipto, tanto para altura quanto para diâmetro a altura do peito (DAP), mostrando efeito sobre as características dendrométricas das árvores. Com exceção da idade de 6 meses após o plantio, em todas as outras idades de avaliação a fonte de variação local se mostrou significativa (Tabela 4).

Em relação às doses de adubo aplicadas no plantio, houve diferenças significativas aos 18 e 30 meses tanto para altura quanto para DAP. Aos 6 e 42 meses as variáveis das árvores não responderam significativamente às doses de adubo. Na idade de 6 meses após o plantio esperava respostas do crescimento das plantas em função dos tratamentos aplicados nas subparcelas, considerando que a cultura do eucalipto é bastante exigente em P nas fases iniciais e que o adubo utilizado é principalmente fonte de P. Tal comportamento esperado foi encontrado em trabalhos com eucalipto (NOVAIS et al., 1982; VALERI, 1985; NOVAIS et al., 1990; BARROS et al., 2005) e também com outras espécies florestais (SCHUMACHER et al., 2003; VOGEL, et al., 2005; SOUZA et al., 2006). Porém, possivelmente em função da natureza do adubo utilizado neste experimento isso não ocorreu, pois grande parte da fonte de P na formulação utilizada é solúvel em ácido cítrico, demandando tempo e condições favoráveis para se disponibilizar para as plantas. Já aos 42 meses após o plantio, provavelmente, o efeito da ciclagem de nutrientes estaria interferindo muito mais

expressivamente do que o efeito das doses de adubo aplicadas no plantio. Supõe-se que por isso, nesta idade, somente a fonte de variação local se apresente significativa.

Tabela 4: Resumo da análise de variância com o quadrado médio da análise de variância do crescimento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, em diferentes idades, em Além Paraíba – MG

Fonte de Variação	GL	6 meses Altura	18 meses Altura	DAP	30 meses Altura	DAP	42 meses Altura	DAP
Bloco	2	0,07 <sup>ns</sup>	1,38 <sup>ns</sup>	1,94 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>	6,90 <sup>ns</sup>	8,75 <sup>ns</sup>
Local	2	2,98 <sup>ns</sup>	90,22**	33,54**	159,1**	142,6**	238,7**	188,5**
Erro A	4	1,72	1,94	0,61	0,81	0,73	11,76	2,32
Dose de adubo	4	0,10 <sup>ns</sup>	4,24*	5,32**	4,07*	10,63*	3,63 <sup>ns</sup>	7,86 <sup>ns</sup>
Local x Dose	8	0,34 <sup>o</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	1,92 <sup>o</sup>	3,54*	2,67 <sup>ns</sup>	5,70 <sup>ns</sup>	3,56 <sup>ns</sup>
Erro B	24	0,18	0,50	0,32	0,55	1,61	2,10	3,59
Coef. variação (%)		23,6	13,9	12,1	8,8	16,0	12,4	18,2

<sup>o</sup> significativo a 90% de probabilidade pelo teste F; \* significativo a 95% de probabilidade pelo teste F; \*\* significativo a 99% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F;

Ao avaliar a influência da interação dos tratamentos das parcelas (locais 1, 2 e 3) com as doses de adubação (subparcelas), observou efeitos significativos para altura aos 6 e 30 meses e DAP aos 18 meses após o plantio. Isto evidencia respostas diferenciadas de crescimento das plantas de eucalipto nas posições topográficas estudadas em função das doses de adubação de plantio usadas.

Barros et al. (2005) mencionaram que os ganhos de produção com a adubação variam de acordo com a região onde se realiza o cultivo, e podem atingir 20% ou até ser superior à 100% de resposta como aumento do crescimento. Corrêa Neto et al. (2007) avaliando atributos edafambientais e parâmetros dendrométricos de plantios de eucalipto na região de Seropédica-RJ observaram, diferenças significativas de crescimento das árvores de eucalipto entre os solos estudados nas diferentes posições topográficas de uma toposequência.

As maiores médias de crescimento das plantas de eucalipto registradas foram no local 1 (LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico) em todas as idades mensuradas, tanto para altura quanto para DAP (Tabelas 5). Este fato possivelmente se deve, por ser o topo do morro a posição de menor declividade e densidade do solo, características que favorecem maior infiltração de água no solo, estando intimamente ligadas à dinâmica dos nutrientes e disponibilidade desses às plantas (NOVAIS e MELLO, 2007).

Tabela 5: Valores médios de altura e de diâmetro a altura do peito (DAP) de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, em três posições topográficas, em diferentes idades, em Além Paraíba - MG

Posições topográficas	6 meses Altura (m)	18 meses Altura (m)	DAP (cm)	30 meses Altura (m)	DAP (cm)	42 meses Altura (m)	DAP (cm)
Topo do morro	2,3 a	7,9 a	6,4 a	11,5 a	10,9 a	15,4 a	13,6 a
Terço superior	1,6 b	4,2 b	4,3 b	8,8 b	8,1 b	12,2 b	11,0 b
Terço médio	1,5 b	3,2 c	3,5 c	5,0 c	4,8 c	7,3 c	6,3 c

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

As menores médias de crescimento encontradas foram registradas no local 3, (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico). Esta foi a posição que apresentou maior declividade e densidade do solo. Tal comportamento pode ser explicado devido à intensidade de infiltração da água neste local, influenciada tanto pela declividade quanto pela densidade do solo mais acentuada comparando com os demais locais. Foi onde os tratamentos de adubação foram mais responsivos. NOVAIS et al. (2007) afirmam que devido a forte dependência do fósforo de movimentar por difusão, com a água sendo veículo de transporte, as plantas podem apresentar sinais de deficiência deste elemento onde ocorre menos infiltração de água ou em condições de estresse hídrico, sendo necessárias doses maiores deste nutriente para obter respostas com a adubação.

No local 2 foram observados valores intermediários entre o local 1 e o local 3 de crescimento das plantas, tendo apresentado média de crescimento estatisticamente semelhante a do local 3 somente na idade de 6 meses após o plantio (Tabela 5).

As diferentes influências das variáveis ambientais e edáficas proporcionadas pelas diferentes posições topográficas do povoamento de eucalipto foram mais determinantes para o crescimento das árvores do que as doses de adubação, tendo em vista que o local 1 foi a posição topográfica que apresentou os maiores valores de crescimento das árvores, dentre as posições estudadas. Este fato se deve pela posição topográfica, em conjunto com o material originário e a profundidade, influenciar diretamente as relações da água e dos nutrientes no solo e conseqüentemente a produtividade florestal (LOUW e SCHOLE, 2006).

Paula et al. (2012) mencionam que as características químicas dos solos estudados, a princípio não estariam diferenciando os sítios quanto ao crescimento de *E. urophylla*, aos 4 anos após o plantio. Mencionam que os atributos relacionados à disponibilidade de água, com destaque para a posição topográfica, a textura e a densidade de solo, podem estar influenciado no desenvolvimento da cultura, podendo proporcionar condições diferenciadas, como o ocorrido neste trabalho.

Ribeiro et al. (2010) estudando a resposta do eucalipto ao aumento da densidade do solo, citam que a densidade exerce influência negativa no crescimento de plantas de eucalipto. Também por ser o local 3 o mais declivoso, a infiltração da água no solo é provavelmente desfavorecida, pois segundo Juhász et al. (2006) o comportamento físico-hídrico dos solos é influenciado pelas condições do relevo, ocorrendo maior escoamento superficial, com o aumento da declividade, podendo haver maior perda de solo no horizonte superficial, que é normalmente a parte do solo mais rica em nutrientes.

Menezes (2005) cita que a ação e interação dos fatores que se relacionam com a aquisição de água e nutrientes pelas plantas pode ser capaz de explicar a produtividade do solo de determinado local. Corrêa Neto (2004) estudando os atributos edafoclimáticos condicionadores da capacidade produtiva de plantio de eucalipto no Município de Seropédica-RJ registrou o menor valor de produtividade de madeira na posição topográfica denominada de terço médio. Este mesmo autor constatou que o solo nesta posição topográfica apresenta um maior fluxo de água por escoamento superficial e movimento lateral e por estas condições, o crescimento das plantas pode ser prejudicado, o que pode ter ocorrido neste trabalho.

Stape et al. (2004) estudando os principais fatores edafoclimáticos, em 14 sítios de clones de *Eucalyptus urophylla* e de *E. grandis*, que controlam a produção e o uso dos recursos (água, luz e nutrientes) separaram os sítios por produtividade em três categorias (alta, média e baixa) e atribuíram a diferença de 32% da produção líquida anual de biomassa entre os sítios à disponibilidade de água. Dada a grande influência da posição topográfica na dinâmica da água no solo, é interessante, mesmo em área considerada pequena como no caso

deste trabalho, que sejam usados tratos culturais diferenciados em função das diferentes posições.

No sentido de avaliar melhor o efeito das doses de adubo em cada local estudado, foi realizado desdobramento da interação Local x Dose em todas as idades, com isso pretende-se identificar qual a dose mais adequada para cada posição topográfica e a resposta das plantas de eucalipto. Na Tabela 6 são apresentados modelos de crescimento que melhor se ajustaram em cada posição topográfica, nas idades avaliadas, para a variável altura. Onde não houve ajuste adequado de equação, leva a inferir que as plantas não responderam a adubação e se optou por representar com a média da subparcela.

Tabela 6: Equações dos modelos melhor ajustados para a variável altura nas idades avaliadas, com dose recomendada e valor correspondente a dose recomendada, de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em sistema silvipastoril, em Além Paraíba – MG

Idade	Local	Equação	R <sup>2</sup>	Dose (g)	Valor (m)
6	1	$\hat{y} = 2,02 + 0,2051 \cdot \text{dose}^{1/2} - 0,01517 \cdot \text{dose}$	0,83	45	2,7
	2	$\hat{y} = 1,6$		0	1,6
	3	$\hat{y} = 1,349 - 0,0029 \cdot \text{dose} + 0,0000275 \cdot \text{dose}^2$	0,97	200	1,9
18	1	$\hat{y} = 6,53 + 0,0338 \cdot \text{dose} - 0,000137 \cdot \text{dose}^2$	0,95	123	8,6
	2	$\hat{y} = 3,446 + 0,02132 \cdot \text{dose} - 0,0000864 \cdot \text{dose}^2$	0,58	123	4,8
	3	$\hat{y} = 1 / (0,472 - 0,00128^{\text{dose}})$	0,96	200	4,6
30	1	$\hat{y} = 11,5$		0	11,5
	2	$\hat{y} = 8,8$		0	8,8
	3	$\hat{y} = 4,307 - 0,0237 \cdot \text{dose} + 0,000206 \cdot \text{dose}^2$	0,96	200	7,8
42	1	$\hat{y} = 14,48 + 0,02443 \cdot \text{dose} - 0,0001010 \cdot \text{dose}^2$	0,97	121	16,0
	2	$\hat{y} = 11,398 + 0,0310 \cdot \text{dose} - 0,000156 \cdot \text{dose}^2$	0,59	99	12,9
	3	$\hat{y} = 6,724 - 0,0278 \cdot \text{dose} + 0,000235 \cdot \text{dose}^2$	0,94	200	10,6

Para o local 1 a dose que apresentou maior resposta de crescimento em altura para as idades avaliadas foi de 123 g.cova<sup>-1</sup>, verificada aos 18 meses após o plantio, através de equação quadrática. Neste local, somente aos 30 meses após o plantio não foi possível ajuste de equação.

No local 2 somente aos 18 e 42 meses após o plantio foi possível ajuste de equação de crescimento, sendo que para os dois casos o melhor ajuste foi de equação quadrática, com dose de 123 g.cova<sup>-1</sup> de maior resposta no crescimento em altura.

A dose que apresentou as maiores respostas de crescimento em altura no local 3 por meio dos modelos foi de 200 g.cova<sup>-1</sup>, em todas as idades avaliadas. Com exceção da idade de 18 meses cuja equação melhor ajustada foi hiperbólica, nas demais idades foi quadrática e sem apresentar ponto de máxima. Isso quer dizer que com as doses utilizadas neste experimento não foi possível calcular, para o local 3, a dose que proporcionaria o máximo crescimento em altura das plantas de eucalipto.

Na Tabela 7 são apresentados modelos de crescimento que melhor se ajustaram em cada posição topográfica, nas idades avaliadas, para a variável DAP, seguindo as mesmas premissas citadas para a variável altura.



Tabela 7: Equações dos modelos melhor ajustados para a variável DAP nas idades avaliadas, com dose recomendada e valor correspondente a dose recomendada, de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em sistema silvipastoril, em Além Paraíba – MG

Idade	Local	Equação	R <sup>2</sup>	Dose (g)	Valor (cm)
18	1	$\hat{y} = 5,282 + 0,0222 \cdot \text{dose} - 0,0000773 \cdot \text{dose}^2$	0,97	144	6,9
	2	$\hat{y} = 3,37 + 0,0206 \cdot \text{dose} - 0,0000782 \cdot \text{dose}^2$	0,65	132	4,7
	3	$\hat{y} = 1 / (0,460 - 0,00135^{\text{dose}})$	0,96	200	5,8
30	1	$\hat{y} = 11,8$		0	11,8
	2	$\hat{y} = 8,1$		0	8,1
	3	$\hat{y} = 4,067 - 0,0247 \cdot \text{dose} + 0,000211 \cdot \text{dose}^2$	0,92	200	7,6
42	1	$\hat{y} = 13,6$		0	13,6
	2	$\hat{y} = 11,0$		0	11,0
	3	$\hat{y} = 5,921 - 0,0206 \cdot \text{dose} + 0,000182 \cdot \text{dose}^2$	0,82	200	9,1

Observa-se para DAP que somente na idade de 18 meses houve ajuste de equação para todas as posições topográficas, sendo a quadrática a melhor ajustada nos locais 1 e 2, apontando a dose de 144 e 132 g.cova<sup>-1</sup>, respectivamente, como de maior resposta ao crescimento em DAP; e no local 3 a equação de melhor ajuste foi a hiperbólica, com a dose de 200 g.cova<sup>-1</sup> sendo apontada como de maior resposta.

Nas idades de 30 e 42 meses somente houve ajuste de modelo para o local 3, sendo quadrática a equação de melhor ajuste, apontando a dose de 200 g.cova<sup>-1</sup> como a de maior resposta no crescimento em DAP das plantas de eucalipto.

O mesmo fato ocorrido para variável altura se repetiu com os dados da variável DAP, onde para o local 3 a dose de maior resposta foi de 200 g.cova<sup>-1</sup>, porém com os modelos indicando que seria preciso se testar doses mais elevadas de adubação neste local.

A condição mais ácida do local 3 (Tabela 3) em princípio leva à maior solubilização do fosfato natural e esta maior reatividade na condição mais ácida pode se traduzir em aumento efetivo da disponibilidade de fósforo, especialmente se tratando das características de alta tolerância do eucalipto às condições de solos ácidos, de acidificação de rizosfera causada pela planta.

#### 4.5 Biomassa e área de copa das plantas aos 18 meses

Definiu-se a idade de 18 meses do povoamento florestal para verificar, por meio da quantificação da biomassa, o efeito das posições topográficas e da adubação de plantio no crescimento das plantas, pois segundo Gonçalves et al. (1990) normalmente é nesta idade que as plantas de eucalipto apresentam elevada taxa de produção de biomassa e sofrem grande influência da disponibilidade de água e nutrientes no solo, estando mais susceptíveis a condições de estresse hídrico e deficiência nutricional.

Em termos de produção de biomassa da parte aérea, as plantas responderam de maneiras diferentes em cada posição estudada. Esta variável, por sua vez, apresentou-se mais sensível aos efeitos dos tratamentos aplicados quando comparada com as características dendrométricas. Segundo Menezes (2005) e Dias et al. (2008), a biomassa é um bom indicador da resposta da árvore ao ambiente em que ela cresce.

O local influenciou significativamente ( $p < 0,01$ ) na biomassa das árvores, para todas as variáveis mensuradas aos 18 meses após o plantio. Este resultado reforça os resultados descritos anteriormente, indicando que a posição topográfica é a principal responsável pelas

diferenças encontradas, como também observado nos trabalhos de Dias (2008), Balieiro (2008) e Corrêa Neto (2004) para a cultura do eucalipto.

Com relação às diferentes doses de adubo aplicadas, foram detectadas diferenças estatísticas na biomassa do tronco e da parte aérea (Tabela 8) e para interação local x dose somente a variável área de copa apresentou estatisticamente significativa.

Tabela 8: Resumo da análise de variância com o quadrado médio da análise de variância de área de copa e da biomassa de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, em Além Paraíba – MG

Fonte de Variação	GL	Área de Copa	Folhas	Tronco	Parte aérea
Bloco	2	0,85 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	1,52 <sup>ns</sup>
Local	2	48,7**	2,48**	20,73**	65,36**
Erro A	4	0,68	0,09	0,11	0,97
Dose de adubo	4	1,33 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>o</sup>	2,90 <sup>o</sup>
Local x dose	8	2,22**	0,04 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>
Erro B	24	0,74	0,09	0,17	0,50
Coef. variação (%)		22,6	44,6	31,5	26,5

<sup>o</sup> significativo a 90% de probabilidade pelo teste F; \* significativo a 95% de probabilidade pelo teste F; \*\* significativo a 99% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F;

Esperava-se resposta mais significativa dos tratamentos aplicados sobre a biomassa das árvores, pois segundo Araújo e Machado (2006), em solos com baixa disponibilidade de P, como o deste trabalho, as culturas de grande porte, necessitam de elevadas aplicações de fertilizante fosfatado para obtenção de adequadas produtividades. Além disso, segundo Novais et al. (1986) e Barros et al. (2005), as espécies do gênero eucalipto, dos primeiros meses de idade até o estágio de fechamento das copas, apresentam nível crítico de P relativamente alto, respondendo à adubação fosfatada de plantio.

Na Tabela 9 pode-se observar a comparação das médias de biomassa das plantas, separadas por partes, em cada uma das posições de estudo. Verifica-se que no topo do morro as maiores médias e no terço superior valores intermediários entre o terço médio e o topo, evidenciando maior potencial do topo do morro em favorecer o crescimento das plantas de eucalipto.

Tabela 9: Valores médios da biomassa de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, em cada posição topográfica, aos 18 meses após o plantio, em Além Paraíba - MG

Posições topográficas	Área de copa --- (m <sup>2</sup> ) ---	Folhas -----	Tronco (kg árvore <sup>-1</sup> )	Parte aérea -----	Raízes*
Topo do morro	5,84 a	1,15 a	2,65 a	5,05 a	1,13
Terço superior	3,03 b	0,59 b	0,82 b	1,86 b	0,56
Terço médio	2,49 b	0,37 b	0,46 c	1,13 c	0,33

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

\* não realizada análise estatística por amostrar apenas uma árvore média por unidade amostral (sem repetição).

Percebe-se que, assim como resultado encontrado com as características dendrométricas, também a biomassa seca das árvores foram consideravelmente influenciadas pelas posições topográficas em que foram plantadas na paisagem.

Ortiz et al. (2006) estudando as relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e relevo, ressaltam que variações permitem a divisão de áreas em subáreas, possibilitando o manejo de forma individualizada, diferenciada e localizada, implicando num maior nível de acurácia e eficiência do uso de fertilizantes, o que provavelmente é o caso deste trabalho.

Na figura 10 é apresentado o acúmulo médio de biomassa seca por compartimento das árvores, em cada posição topográfica para os 5 tratamentos. Os gráficos dos três locais foram alinhados e confeccionados com mesma escala, com intuito de facilitar a visualização das diferenças encontradas em cada posição topográfica. Percebe-se, aos 18 meses após o plantio, nitidamente a maior produção de biomassa, inclusive raízes, no topo de morro do que as plantas de eucalipto nos locais 2 e 3.

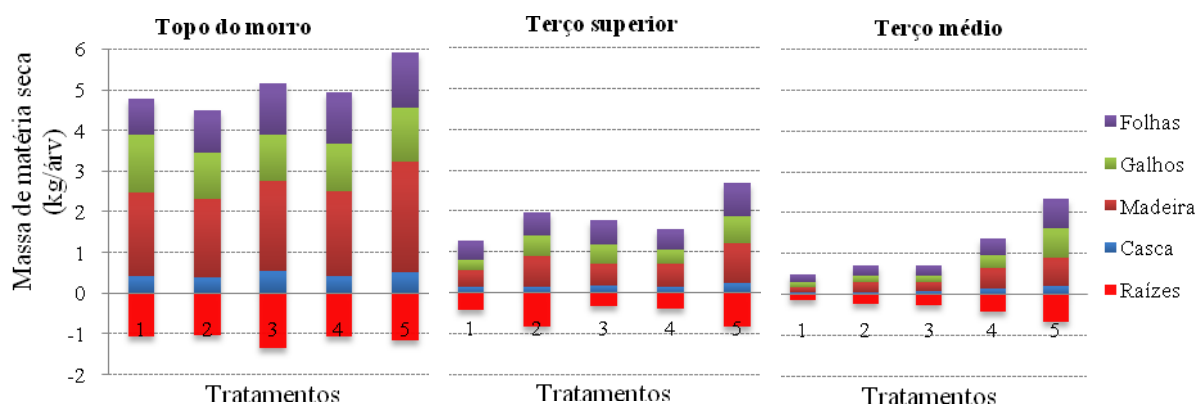


Figura 10: Biomassa dos componentes de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* com aplicação de doses de N-P-K (04-31-04) por cova, em três posições topográficas, aos 18 meses após o plantio, em Além Paraíba - MG.

A maior produção de área de copa e de folhas, segundo Gonçalves et al. (2000) normalmente na idade de 18 meses, é importante pois as plantas de eucalipto estão em franco crescimento da parte aérea e do sistema radicular, necessitando de nutrientes para poderem maximizar a produção de folhas. Há uma interdependência, segundo Christina et al. (2011), entre o funcionamento do sistema radicular e o da parte aérea, pois o rápido crescimento das raízes aumenta a absorção de sais minerais essenciais, concomitantemente, a parte aérea se desenvolve e fornece carboidratos para as raízes.

Observa-se interação das posições topográficas com as doses de adubo aplicadas somente para área de copa. Com objetivo de maior detalhamento da interação, foram realizadas análises de regressão com todas as variáveis em cada uma das posições topográficas.

Percebe-se pela Figura 11 que no local 2, não se obteve respostas significativamente consistentes ajustáveis aos modelos, das árvores de eucalipto às doses de adubo aplicadas em nenhuma das variáveis em questão. Deste modo, os valores apresentados para esta posição topográfica são referentes às médias dos valores observados de cada característica.

Para as variáveis de biomassa, com exceção da variável área de copa, foi possível ajustar modelos lineares como padrão de variação no local 1, indicando que nesta situação, possivelmente maiores doses de adubo proporcionarão maiores valores de biomassa.

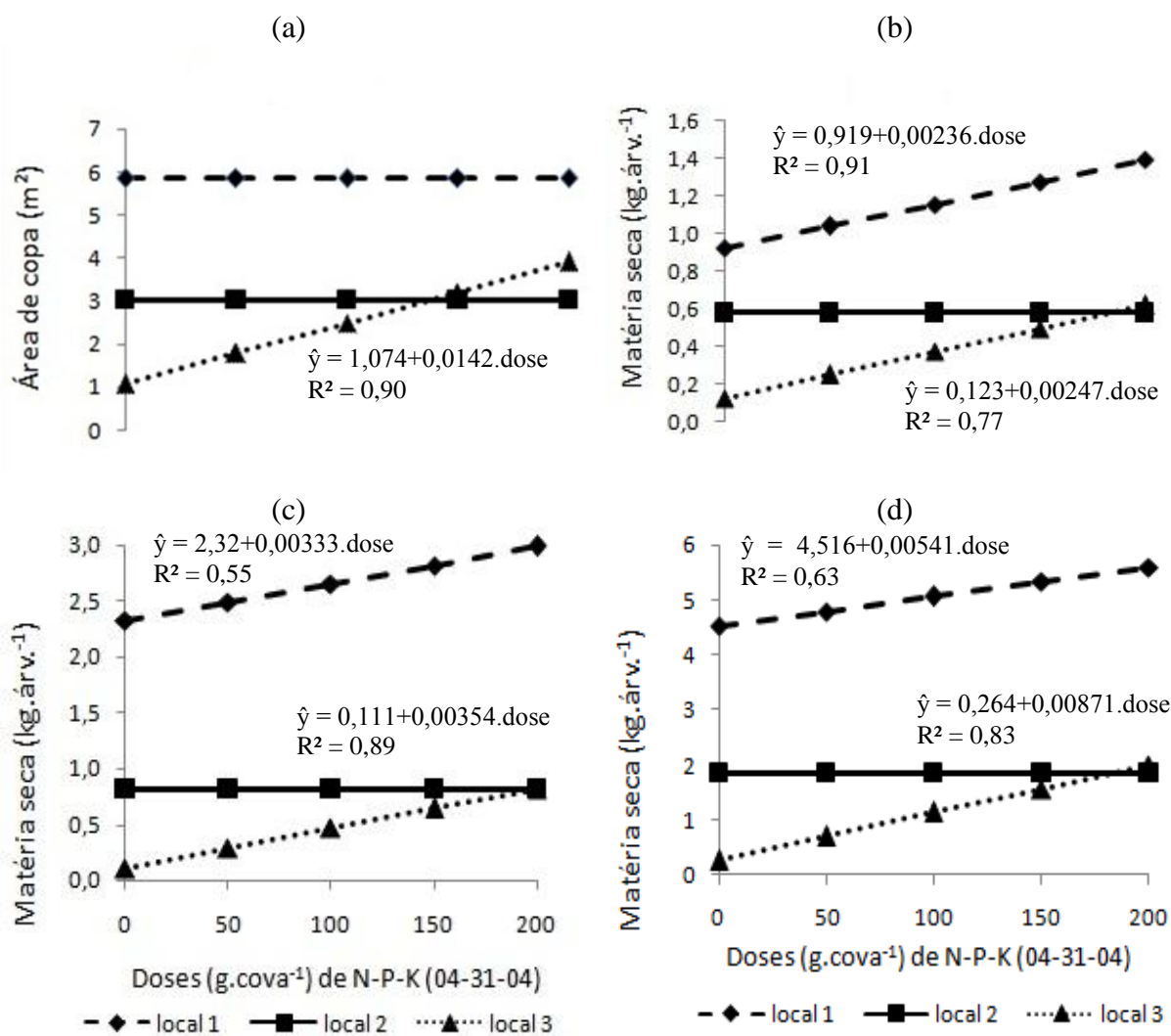


Figura 11: Área de copa (a) e biomassa de matéria seca de folhas (b), tronco (c) e parte aérea (d) de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, aos 18 meses, sob doses crescentes de N-P-K (04-31-04) na adubação de covas, em Além Paraíba - MG.

No local 3 os melhores ajustes de equação foram lineares, sendo que para as variáveis de biomassa a dose de 200 g.cova<sup>-1</sup> foi capaz de proporcionar valores iguais aos do local 2, apresentando uma resposta positiva em relação às doses de adubo aplicadas. Com relação a área de copa, pode-se verificar que a partir da dose de 150 g.cova<sup>-1</sup> os valores obtidos no local 3 superam os do local 2.

## 5. CONCLUSÕES

As posições topográficas exercem influências significativas no crescimento das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. No topo do morro foi onde registrou-se as maiores médias de altura e DAP das árvores, o terço superior apresentou crescimento médio intermediário entre o topo do morro e o terço médio.

As doses de adubo proporcionaram respostas diferentes no crescimento das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em cada posição topográfica. Para as condições que foram realizadas este trabalho, recomenda-se aplicação da dose em torno de 120 gramas por cova para o topo de morro e terço superior e de 200 gramas por cova no terço médio da encosta.

Em plantios de eucalipto na Zona da Mata de Minas Gerais, recomenda-se realizar análises do solo de acordo com a localização na topossequência e propor tratamentos culturais diferenciados para cada situação, levando em consideração sua posição na paisagem.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**. Brasília: ABRAF, 150p. 2012.

ALMEIDA, M. L. **Desrama artificial em clones de híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* com diferenças em arquitetura de copa**. 2003. 116p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ANDRADE NETO, D. S. **Crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, com diferentes doses e fontes de adubação de plantio em sistema silvipastoril, em Além Paraíba – MG**. 2009. 27p. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

AMS - Associação Mineira de Silvicultura.

Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br/>>; acesso em: agosto de 2012

BALIEIRO, F. C. et al. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa topossequência em Seropédica, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.1, p.153-162, 2008.

BARROS, N. F. et al. Produção de eucalipto em solos de cerrados em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. **Revista Árvore**. Viçosa, v.5, n.1, p.91-103, 1981.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVEZ, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. IPEF: Piracicaba, 2000. cap. 9, p.270-86.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. **Visão Agrícola**. Piracicaba, v.2, n.4, p. 76-79, 2005.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Editora Folha de Viçosa: Viçosa, 1990. cap. 4, p.127-186.

CANTÓN, Y.; SOLÉ-BENET, A.; LÁZARO, R. Soil geomorphology relations in gypsiferous materials of the Tabernas Desert (Almería, SE Spain). **Geoderma**, Amsterdam, v.115, n.2, p.193-222, 2003.

CARMO, D. N.; RESENDE, M.; SILVA, T. C. A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Editora Folha de Viçosa: Viçosa, 1990. cap. 5, p. 187-236.

CARVALHO, M. M; et al. Experiências com SSP's no Bioma Mata Atlântica na Região Sudeste. In: FERNANDES, E. N. et al. **Sistemas agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades**. EMBRAPA Gado de Leite: Juiz de Fora, 2007. cap. 6, p.105-136.

CASTRO, P. P. et al. Química e mineralogia de solos cultivados com Eucalipto (*Eucalyptus sp.*) **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.38, n.88, p.645-657, 2010.

CHRISTINA, M. et al. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. **ECOSPHERE**, v.2, n.27, 2011. Disponível em: <<http://www.esajournals.org/doi/pdf/10.1890/ES10-00158.1>>. Acesso em: agosto de 2012.

CORRÊA NETO, T. A. et al. Atributos edafoambientais e parâmetros dendrométricos de plantios de eucalipto em uma topossequência no campus da UFRRJ, Seropédica (RJ). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.17, n.1, p.43-51, 2007.

CORRÊA NETO, T. A. **Atributos edafoambientais condicionadores da capacidade produtiva de plantios de eucalipto no campus da UFRRJ**. 2004. 94p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2004.

DONAGEMMA, G. K. et al. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1785-1791, 2008.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** (2. ed.) Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 367p. 2006.

FARIA, A. F. G. et al. Influência do manejo do solo nas propriedades químicas e físicas em topossequência na Bacia do Rio Araguaia, Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.517-524, 2010.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.515-524, 1999.

GHIDIN, A. A. et al. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. II – relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p.307-319, 2006.

GONÇALVEZ, J. L. M. **Recomendações de adubação para *Eucalyptus* e *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica**. Piracicaba: USP, 23p., 1993. (Documentos Florestais, 15).

GONÇALVES J. L. M.; MIRANDA, S. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVEZ, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. IPEF: Piracicaba, 2000. cap. 8, p. 221-267.

GRESPLAN, S.L. **Produção e eficiência nutricional de clones de eucalipto no norte do Espírito Santo, e suas relações com características do solo**. 1997. 81p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

GUARESCH, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.909-920, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/solos/viewer.htm>>. Acesso em julho de 2012

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;  
Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em julho de 2012.

ISMAEL, J. J. et al. Níveis críticos de fósforo no solo e nas folhas para a implantação de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, em quatro tipos de solos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba n.54, p.29-40, dez. 1998.

JUNIOR, N. J. M. et al. Adsorção e fosforo remanescente em Latossolo Amarelo Distrófico do Cerrado do Amapá. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9, 2000, Brasília. **Anais...** Brasília: 2008.

JUHÁSZ, C. A. P. **Relação solo-agua-vegetação em uma topossequência localizada na Estação Ecológica de Assis – SP**. 2005. 110p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

JUHÁSZ, C. A. P. et al. Dinâmica físico-hídrica de uma topossequência de solos sob savana florestada (cerradão) em Assis - SP. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.30 p.401-412, 2006.

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

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 60p., 2002.

LI, H. et al. Cotton lint yield variability in a heterogeneous soil at a landscape scale. **Soil Tillage Research**, v.58, n.3/4, p.245-258, 2001.

LOPES, A. S. **Solos sob cerrado: características propriedades e manejo**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1984.

LOUW, J. H.; SCHOLEN, M. C. Site index functions using site descriptors for *Pinus patula* plantations in South Africa. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.225, p.94–103, 2006.

MAESTRI, R. **Modelo de crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais**. 2003. 143p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.



MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I. F. Depósitos superficiais neocenoicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. **Geociências**, São Paulo, v.19, n.2, p.90-106, 2000.

MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M.; GAVA, J. L. Pre- and post-harvest fine root growth in *Eucalyptus grandis* stands installed in sandy and loamy soils. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.246, p.186–195, 2007.

MENEZES, A. A. **Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo**. 2005. 110p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp. – Níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, v.10, n.1, p.105-111, 1986.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nutrição mineral do Eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Editora Folha de Viçosa: Viçosa, 1990. cap. 2, p.25-98.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: Novais, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa, 2007. p.134-204.

NOVAIS, R. F.; RÊGO, A. K.; GOMES, J. M.; Níveis críticos de fósforo para eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.6, n.1, p.29-37, 1982.

ORTIZ, J. L. et al. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.72, p.67-79, dez. 2006.

PAULA, R. R. et al. Propriedades edáficas e desenvolvimento de eucalipto em topossequência na Flona Mário Xavier-RJ. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 3, p.344-351, 2012.

PRODAN M. et al. **Mensura Forestal**. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 501p. 1997.

REIS, M.G. F. et al. Acúmulo de biomassa em sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v.9, n.2, p.149-162, 1985.

RESCHUTZEGGER, G. M. **Relação entre características edáficas e a produtividade de eucalipto na região central do Uruguai**. 2003. 106 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: Editora da UFV, 301p., 2001.

RIBEIRO, M. A. V. et al. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.1157-1164, 2010.

RIGATTO, P. A. DEDECEK, R.A.; MATTOS, J.L.M. Influência de atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.5, p.701-709, 2005.

ROCHA, L. C.; CARVALHO, V. L. M. Gênese e evolução dos solos na bacia do Córrego do Quebra, Gouveia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2003.

SANTOS, A. C. et al. Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros do médio vale do Paraíba do Sul, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.1297-1314, 2010.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 92p., 2005.

SANTOS, W. C. **Análise de características dendrométricas e fatores edáficos no crescimento e produção de um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2006. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná Curitiba, 2006.

SANTOS, W. C.; ROSOT, N. C.; ROSOT, M. A. D. Características edáficas relacionadas à produção de um povoamento de *Araucaria angustifolia*(Bert.) O. Kuntze. **Floresta**, Curitiba, v.40, n.1, p.37-48, jan./mar. 2010.

SCHNEIDER P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, 348 p., 1993.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R. **BHBRASIL: balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras**. Piracicaba: ESALQ, 7p. 1998.

SILVA, C. A.; RANGEL, O. J. P; BELIZÁRIO, M. H. Interação calagem-adubação e sua influência nos níveis críticos de P e crescimento do eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.73, p.63-72, dez. 2007.

SILVA, E. V. et al. Functional specialization of Eucalyptus fine roots: contrasting potential uptake rates for nitrogen, potassium and calcium tracers at varying soil depths. **Functional Ecology**, v.25, p.996-1006, 2011.

SILVA, M. B. et al. Estudo de topossequência da baixada litorânea fluminense: efeitos do material de origem e posição topográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.965-976, 2001.

SILVA, R. S.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.4, p.842-847, 2006a.

SILVA, R. S.; BARROS, N. F.; BOAS, J. E. B. V. Crescimento e nutrição de eucalipto em resposta à compactação de latossolos com diferentes umidades. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.30, p.759-768, 2006b.

SILVEIRA, R. L. V. A.; GAVA, J. L. Nutrição e adubação fosfatada em *Eucalyptus*. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2003. p.1-20.

SOUZA, M. J. H. et al. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.3, p.399-410, 2006.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of the use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.193, n.1/3, p.17-31, 2004.

STAPE, J. L. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.259, p.1684–1694, 2010.

TOMÉ JUNIOR A. **Manual de interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 247p.. 1997.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Publication in climatology. **Cencerton**, New Jersey, v.8, n.1, 1955.

THURLER, A. M. **Estimativa da macro e da microporosidade através da granulometria e densidades de partículas e do solo**. 1989. 66p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

VALERI, S. V. et al. Efeitos do fósforo e calcário dolomítico no desenvolvimento inicial de *Eucalyptus grandis* HILL ex MAIDEN plantado em um Regossolo. **Instituto de Pesquisas e Estudo Florestais**, Piracicaba, n.29, p.55-60, 1985.

VOGEL, H. L. M. et al. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15, n.2, p.199-206, 2005.

**Anexo I - Descrição morfológica dos perfis de solo de área experimental em sistema silvipastoril na Fazenda Cachoeirão, em Além Paraíba, MG**

Topo de morro (local 1)

Horizonte	Descrição morfológica
Ap	0 – 12 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/4, seco) e bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido); franco argilosa; moderada, média, granular; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
AB	12 – 28 cm, bruno-forte (7,5YR 5/6, seco) e bruno-forte (7,5YR 4/6, úmido); argilosa; moderada, média, granular; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
BA	28 – 97 cm, amarelo avermelhado (7,5YR 6/6); argiloarenosa; forte, pequena, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana difusa.
Bw	97 – 150+ cm, amarelo-brunado (10YR 6/8); argiloarenosa; forte, muito pequena, granular; macia, muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa.

Terço superior (local 2)

Horizonte	Descrição morfológica
Ap	0 – 4 cm, vermelho-claro (2,5YR 7/8, seco) e vermelho-claro (2,5YR 6/8, úmido); franco argilosa; fraca, pequena, granular; macia, friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
BA	4 – 12 cm, vermelho-claro (2,5YR 7/8, seco) e vermelho-claro (5YR 6/8, úmido); franco argilosa; moderada, média, granular; ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
Bw 1	12 – 34 cm, amarelo avermelhado (5YR 7/6); argilosa; moderada, pequena, blocos subangular cerosidade pouca e fraca; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição ondulada e difusa.
Bw 2	34 – 150 cm, amarelo avermelhado (5YR 7/8); argilosa; moderada, média, bloco subangular; ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa.

Terço médio (local 3)

Horizonte	Descrição morfológica
Ap	0 – 6 cm, bruno avermelhado (5YR 5/3, seco) e bruno avermelhado (5YR 4/3, úmido); argiloarenosa; moderada, média, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.
AB	6 – 14 cm, bruno avermelhado claro (5YR 6/4, seco) e vermelho amarelado (5YR 4/6, úmido); argilosa; moderada, média, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.
BA	14 – 24 cm, amarelo avermelhado (5YR 7/6); argilosa; moderada, pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
Bw 1	24 – 150+ cm, amarelo avermelhado (5YR 6/8); argilosa; moderada, pequena, blocos subangulares; muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa.

**Anexo II - Granulometria e classe textural dos solos, nas profundidades avaliadas, de área experimental em sistema silvipastoril na Fazenda Cachoeirão, em Além Paraíba, MG**

Solos	Profundidade cm	Argila	Areia	Silte	Classe textural
		%			
LATOSSOLO VERMELHO- AMARELO distrófico típico	0 - 10	53,3	42,8	3,9	Argilosa
	20 - 40	52,5	43,1	4,4	
	20 - 40	53,6	41,2	5,1	
NITOSSOLO VERMELHO distrófico típico	0 - 10	48,1	44,8	7,1	Argilosa
	20 - 40	50,9	38,9	10,1	
	20 - 40	49,9	41,4	8,6	
ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO distrófico típico	0 - 10	49,9	43,9	6,2	Argilosa
	20 - 40	43,7	46,5	9,8	
	20 - 40	49,1	38,5	12,4	