



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Tafarel Rodrigues Paula

**CRESCIMENTO DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* EM DOIS
SÍTIOS FLORESTAIS**

Prof. Dr. PAULO SÉRGIO DOS SANTOS LELES

Orientador

SEROPÉDICA, RJ

Janeiro – 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Tafarel Rodrigues Paula

**CRESCIMENTO DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* EM DOIS
SÍTIOS FLORESTAIS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SEROPÉDICA - RJ

Janeiro – 2014

**CRESCIMENTO DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* EM DOIS SÍTIOS
FLORESTAIS**

TAFAREL RODRIGUES PAULA

Comissão Examinadora:

Monografia aprovada em 31 de janeiro de 2014

Prof. Paulo Sérgio dos Santos Leles
UFRRJ / IF / DS
Orientador

Prof. Emanuel José Gomes de Araújo
UFRRJ / IF / DS
Membro

Prof. Eduardo Vinicius da Silva
UFRRJ / IF / DS
Membro

DEDICO:

*Aos meus queridos pais, Zé Bira e
Maria Aparecida, pela dedicação
de suas vidas aos filhos.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela pessoa que sou.

Aos meus pais, Zé Bira e Maria Aparecida, por terem me motivado a estudar e me oferecido condições.

Ao meu irmão Fábio pelos ensinamentos durante a vida e a minha irmã Julia pelo carinho.

Ao meu cunhado Elio e a minha cunhada Nice pela convivência de muitos anos.

Agradeço a minha namorada Victória por sua doçura, e por estar sempre do meu lado, mesmo que distante. Inspirando-me a lutar para realizar meus sonhos e vencer.

A UFRRJ pela oportunidade do Curso de Engenharia Florestal e pelas grandes emoções.

A Cerâmica Vulcão Ltda por disponibilizar a área e o apoio para a realização deste trabalho.

Ao Professor Paulo Sérgio dos Santos Leles, pela orientação e confiança depositada durante todo curso de graduação.

Ao Professor Emanuel José Gomes de Araújo, pelos ensinamentos e pelo estímulo na área de modelagem, e pela atenção constante e contribuição na elaboração deste trabalho.

A toda equipe do Laboratório de Pesquisas e Estudos em Reflorestamento (LAPER), inclusive os que já se formaram e hoje são excelentes profissionais, pela colaboração neste trabalho e pela convivência. Em especial ao Dereck, que me ajudou muito com sua força para cavar raízes.

Aos moradores e ex-moradores do alojamento 332, pela convivência durante os anos da graduação.

Aos moradores, ex-moradores e agregados do alojamento 412, pela amizade construída durante esses anos. Agradeço em especial ao Alan (Acosta), a Jean (Pandora) e a Pedro (Boi), por todas as conversas e trocas de experiência.

A todos os amigos da Casa Verde. Em especial ao Gabriel, Gerhard e João Flavio pela amizade.

A todos os colegas da Turma 2009-II, em especial a Caroline, Fabrizia, Thaís, Thyanne e Victor que pela forte convivência se tornaram grandes amigos.

Aos Amigos Alysson e Paulo César pela experiência passada.

Ao Professor Eduardo Vinicius da Silva, por fazer parte da banca examinadora.

As amigas Tamíres e Raíza pela amizade e pelas matérias emprestadas.

A todas outras pessoas não citadas aqui, mas que direta ou indiretamente auxiliaram na concretização desse trabalho. A todos vocês, meu muito obrigado.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar o crescimento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, em dois sítios florestais no Município de Queimados RJ, até a idade de cinco anos de idade. Com base nas características de topografia do povoamento de eucalipto implantado no espaçamento 2 x 2 m, foram escolhidos dois sítios para marcação de parcelas permanentes de seis linhas com nove covas de plantio, em cada sítio, caracterizados como os sítio de encosta e sítio de topo de morro. As mensurações foram realizadas a partir do primeiro ano do povoamento com medições de altura de todas as árvores das parcelas. A partir do segundo foram medidos além das alturas, a circunferência a 1,30 m do solo (CAP) de todas as árvores. Também após as medições de altura e CAP, determinou-se, anualmente, a biomassa de quatro árvores, em cada sítio. As curvas de crescimento de diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e de altura, em função da idade, foram construídas por meio de regressões não-lineares e testadas se havia diferenças através do teste de identidade de modelo não-lineares. Foram determinadas equações de volume e biomassa, com valores observados destas variáveis obtidos a partir de 32 árvores cubadas e pesadas ao longo dos quatro anos de amostragem, utilizando-se modelo de Schumacher e Hall. Não foi possível ajustar uma curva de crescimento em altura e em DAP, em função da idade, para as plantas dos dois sítios. Foi possível realizar bons ajustes de crescimento em volume, biomassa de madeira e de casca em função de DAP e altura. De modo geral, constatou-se que as plantas de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* do sítio do topo de morro apresentaram crescimento significativamente superior as plantas do sítio da encosta.

Palavras-chaves: Capacidade produtiva, Eucalipto, Modelagem e Biomassa

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate and compare the growth of *Eucalyptus urophylla* x *e. grandis*, in two places in the municipality of forest Burned RJ, until the age of five years old. Based on the characteristics of topography of the settlement of eucalyptus implanted in 2 x 2 m spacing, two sites were chosen for marking of permanent plots of six lines with nine holes in each planting site, characterized as the site of slope and site top of Hill. The measurements were carried out from the first year of the settlement with height measurements of all the trees of the parcels. From the second were measured in addition to the heights, the circumference the 1.30 m above the ground (CAP) of all trees. Also after the measurements of height and CAP, determined annually, the biomass of four trees, everywhere. The growth curves of the 1.30 m diameter (dbh), height, and age, were built through non-linear regressions and tested if there were differences across the identity test of non-linear model. Volume equations were determined and biomass, with observed values of these variables obtained from 32 cubed trees and heavy over the four years of sampling, using model of Schumacher and Hall. It has not been possible to adjust a growth curve in height and DBH, depending on age, for the plants of the two places. It was possible to make good adjustments of volume growth, biomass wood and bark in function of dbh and height. In General, it was found that the plants of *Eucalyptus urophylla* x *e. grandis* of the site from the top of Hill showed significantly higher growth plants the hillside.

Keywords: Productive capacity, eucalyptus, modeling and biomass

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| LISTA DE FIGURAS | viii |
| LISTA DE TABELAS | x |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVO | 1 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA | 2 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DE SÍTIO | 2 |
| 3.2 CRESCIMENTO DE EUCALYPTUS | 3 |
| 3.3 IDENTIDADE MODELOS..... | 4 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 5 |
| 4.1 ÁREA DE ESTUDO E HISTÓRICO DE FORMAÇÃO DO POVOAMENTO. | 5 |
| 4.2 EXPERIMENTO | 6 |
| 4.3 MENSURAÇÃO DOS DADOS | 8 |
| 4.4 ANÁLISE DOS DADOS | 9 |
| 4.4.1. Identidade de modelo | 10 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 11 |
| 5.1 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA | 11 |
| 5.2 CRESCIMENTO EM DAP E ALTURA | 12 |
| 5.3 VOLUME | 15 |
| 5.4 BIOMASSA | 18 |
| 6. CONCLUSÃO | 24 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 25 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| <p>Figura 1: Imagem da área utilizada para formação do povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i>, com sítios marcados e georefenciados. Sítio 1 (lat. -22° 44' 55" long. -43° 36' 59") e sítio 2 (lat. -22° 42' 52" long. -43° 36' 55"), na Cerâmica Vulcão Ltda, Município de Queimados, RJ</p> | 7 |
| <p>Figura 2: Distribuição dos erros em porcentagem, dos modelos de relação hipsométrica, para <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> nas duas idades, em dois sítios florestais no município de Queimados-RJ</p> | 12 |
| <p>Figura 3: Distribuição de erro percentual em função da idade, para o modelo Chapman e Richards ajustado para altura e diâmetro de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> em dois sítios florestais no município de Queimados-RJ</p> | 13 |
| <p>Figura 4: Curvas de crescimento em diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> para diferentes idades, com base nas equações provenientes do modelo Chapman e Richards, para dois sítios florestais no município de Queimados-RJ</p> | 14 |
| <p>Figura 5: Curvas de crescimento em altura de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> para diferentes idades, com base nas equações provenientes do modelo Chapman e Richards, para dois sítios florestais no município de Queimados - RJ</p> | 15 |
| <p>Figura 6: Distribuição dos erros em porcentagem, para a estimativa do volume com (a) e sem casca (b) de árvores em povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i>, no município de Queimados-RJ</p> | 16 |
| <p>Figura 7: Volume médio com casca por árvore ($m^3.árvore^{-1}$) de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados - RJ. As barras indicam intervalo de confiança ($P < 0,05$).....</p> | 17 |
| <p>Figura 8: Volume médio sem casca por árvore ($m^3.árvore^{-1}$) de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados - RJ. As barras indicam intervalo de confiança ($P < 0,05$).....</p> | 17 |
| <p>Figura 9: Distribuição gráfica dos resíduos para estimar biomassa de componentes das árvores em povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> no município de Queimados-RJ</p> | 19 |
| <p>Figura 10: Biomassa média de madeira por árvore de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados - RJ. As barras indicam intervalo de confiança ($P < 0,05$)</p> | 21 |
| <p>Figura 11: Biomassa média de casca por árvore de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados-RJ. As barras indicam intervalo de confiança ($P < 0,05$)</p> | 21 |

| | |
|--|----|
| Figura 12: Biomassa média de galhos por árvore de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados-RJ. As barras indicam intervalo de confiança ($P < 0,05$) | 22 |
| Figura 13: Biomassa média de folhas por árvore de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados-RJ. As barras indicam intervalo de confiança ($P < 0,05$) | 23 |
| Figura 14: Biomassa média de raiz pivotante por árvore ($m^3 \cdot \text{árvore}^{-1}$) de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados - RJ. As barras indicam intervalo de confiança ($P < 0,05$) | 23 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Esquema da análise para execução do teste proposto por Bates e Watts (1988) sobre a igualdade de parâmetros em modelos de regressão não-linear. | 5 |
| Tabela 2: Análise química composta do solo em dois sítios destinados ao plantio de eucalipto, da propriedade da Cerâmica vulcão Ltda, em Queimados-RJ | 5 |
| Tabela 3: Caracterização dos sítios na área do povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> na Cerâmica Vulcão Ltda, Município de Queimados, RJ | 7 |
| Tabela 4: Características dos sítios em povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , em área da Cerâmica Vulcão Ltda, Município de Queimados, RJ | 8 |
| Tabela 5: Análises químicas dos dois sítios de um povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , aos 28 meses após o plantio, em área da Cerâmica Vulcão Ltda, Município de Queimados, RJ | 8 |
| Tabela 6: Coeficientes ajustados e estatísticas de precisão , para equações provenientes do modelo de relação hipsométrica de Trorey, ajustado para <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , para duas idades em dois sítios florestais no município de Queimados-RJ | 11 |
| Tabela 7: Coeficientes ajustados e estatísticas de precisão , para equações provenientes do modelo Chapman e Richards ajustado para crescimento diâmetro e altura de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , em função da idade em dois sítios florestais, no município de Queimados-RJ | 13 |
| Tabela 8: Coeficientes ajustados e estatísticas de precisão , provenientes do modelo volumétrico de Schumacher e Hall ajustado, para estimativa do volume com e sem casca (m ³ /árvore) em povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , no município de Queimados-RJ | 16 |
| Tabela 9: Coeficientes ajustados e estatísticas de precisão , para equações comuns (independente do local e da idade), provenientes do modelo de Schumacher e Hall ajustado, para estimativa da biomassa (kg/árvore) de componentes das árvores de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. grandis</i> , no município de Queimados-RJ | 18 |

1. INTRODUÇÃO

Dados do anuário estatístico ABRAF 2013 informam que em 2012, a área do território brasileiro ocupada por plantios de eucalipto era de 5.102.030 hectares, o que representa 76,6 % da área de plantações florestais no Brasil. As áreas de eucalipto no Brasil vão desde pequenos povoamentos, de pequenos produtores rurais, a extensas áreas das grandes empresas florestais, alocados nos mais diversos sítios.

Devido à grande diversidade de áreas e ambientes onde as espécies de eucaliptos são cultivadas, é de fundamental importância o conhecimento da qualidade dos sítios florestais. Miguel et al. (2011) comentam que devido a preocupação com o gerenciamento florestal, empresas do setor vem buscando maior conhecimento do potencial de seus povoamentos, tanto presente como futuro, no tocante ao crescimento e produção. Assim, a determinação da qualidade dos sítios florestais vem se tornando atividade fundamental para o estudo do crescimento, pois este interfere diretamente na produção, devido ao uso dos recursos do meio, aliado as boas práticas silviculturais. Segundo Patino Valera (1986), a qualidade de sítio é definida como a capacidade que uma área tem para o crescimento das árvores ou produção de madeira.

De acordo com Caldeira et al. (1996), a qualidade de sítio é dinâmica e, frequentemente, ao longo do tempo alguns fatores do mesmo podem ser influenciados pelo silvicultor. Segundo Stape et al. (2010), o crescimento das árvores é governado por fatores genéticos, pelas condições do meio e as técnicas silviculturais adotadas. O fator genético é de origem hereditária, pode ser sanado pela aquisição de sementes ou mudas de melhor qualidade genética, pelas condições do meio pela atuação direta no sítio florestal e pelas técnicas com vistas a oferecer as condições necessárias ao crescimento satisfatório das plantas que estão sendo cultivadas.

Existem alguns fatores que influenciam na qualidade de sítio que não podem ser modificados pelo silvicultor, como o clima e o relevo. Por essa razão, para a correta escolha da(s) espécie(s) potencial(i)s para a composição de povoamentos florestais, os fatores clima e relevo devem ser sempre observados. Destaque especial deve ser dado ao relevo, Spurr e Barnes (1980), afirmam que variações locais no relevo podem levar ao surgimento de ecótipos com exigências de água e nutrientes, diferenciados entre si.

Entre os métodos para avaliar a qualidade de sítio em relação a produção florestal, encontra-se os parâmetros de crescimento e produção das árvores como DAP, altura e biomassa, de modo a estabelecer relações matemáticas entre o crescimento e produção e as características intrínsecas dos sítios como classe de solo, textura, posição do relevo e clima. No entanto, segundo Miguel et al. (2011), estes estudos envolvendo classificação de sítios e modelagem do crescimento e produção ainda são pouco realizados no Brasil, devido algumas variáveis envolvidas serem de difícil mensuração, como a biomassa de raízes.

2. OBJETIVO

Avaliar e comparar o crescimento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em dois sítios florestais no Município de Queimados, Estado do Rio de Janeiro.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Caracterização de Sítio

Sítio florestal é definido por Menezes (2005) como a interação e a soma dos fatores edáficos, climáticos, topográficos e biológicos que afetam a produção florestal. O conhecimento da qualidade do sítio é de fundamental importância para eleger os melhores sítios para a formação do povoamento florestal e realizar tratos culturais que possam melhorar o sítio a fim de obter produtividade satisfatória.

Vários são os métodos que possibilitam avaliar a capacidade produtiva ou qualidade de um sítio florestal tais como: os baseados em fatores edáficos, topográficos e climáticos, estimativas baseadas na vegetação rasteira e, ainda, estimativas baseadas na resposta em termos de crescimento das árvores. Neste último método, incluem-se as comparações com registros históricos, volume produzido no sítio em questão, área basal, altura média das árvores do povoamento ou ainda altura das árvores dominantes, dentre outros métodos possíveis (MACHADO et al. 1997).

Devido à grande diversidade de sítios onde são realizados plantios de eucalipto no Brasil, é de suma importância o entendimento da influência das propriedades edáficas no crescimento desta cultura.

Segundo Corrêa Neto et al. (2007), conhecer as variações ambientais em uma área, principalmente quanto ao clima e relevo, é importante já que esses não são manejáveis exigindo que se estabeleça uma relação de convivência com os mesmos. Balieiro et al. (2008) referem-se ao relevo como determinante da produtividade de plantios florestais, imprimindo condições diferenciadas para a formação do solo e nas condições de drenagem, além do fato de atuarem na disponibilidade de recursos necessários ao crescimento das árvores. De acordo com Cook (1962) citado por Lourenço (1996), o relevo pode ser considerado uma das mais importantes propriedades físicas do meio, interferindo diretamente nas propriedades do solo, alterando os regimes de escoamento superficial, infiltração e evaporação, que são fundamentais para o crescimento das plantas.

Em determinada toposequência, o relevo normalmente influencia os processos erosivos do solo, com isso altera a concentração dos nutrientes e conseqüentemente a qualidade dos sítios, ocasionando, segundo Abel (2012), taxas de crescimentos diferenciadas das espécies florestais. Resultados encontrados por Balieiro et al. (2008), mostraram fertilidades diferenciadas de amostras de solo ao longo de uma toposequência, situada em povoamento de *Eucalyptus urophylla*, localizado no Município de Seropédica. Ghidin et al. (2006) ressaltam que o relevo atua principalmente na distribuição da umidade na paisagem, fazendo com que ocorra diferenças na temperatura dos solos devido a diferenças de 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. Paula et al. (2012) estudando o efeito da topografia no crescimento de *Eucalyptus urophylla* aos 4 anos após o plantio no município de Seropédica - RJ, observaram maior crescimento em área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$), na unidade amostral do terço médio, em relação ao terço superior e inferior. Estes autores atribuem ao maior teor de silte e argila do solo do terço médio, o que parece que foi benéfico ao crescimento do eucalipto. Corrêa Neto et al. (2007), estudando o crescimento de *Eucalyptus urophylla* aos 2 anos após o plantio em uma sequência topográfica em Seropédica - RJ, verificaram maior crescimento nos terços superior e inferior. Abel (2012), estudando o crescimento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, em uma sequência topográfica em Além Paraíba, MG, observou diferenças significativas de crescimento a favor da unidade amostral do terço superior, em comparação com terço médio e inferior da encosta.

Comparando estes três trabalhos, constata-se que, para uma mesma região, além do relevo outros fatores interferem no crescimento das plantas de eucalipto.

Segundo Reis et al. (1985) a qualidade do sítio afeta a alocação de biomassa entre os componentes das árvores. Entre os componentes afetados encontra-se o crescimento radicular, que de acordo com Gonçalves e Mello (2000) é influenciado por propriedades físicas do solo, como textura, umidade, porosidade e temperatura. Mello e Gonçalves (2008) afirmam que a quantificação da biomassa radicular é de grande relevância para a compreensão das relações fonte / dreno na árvore.

A alocação de biomassa para as raízes varia de sítio para sítio. De acordo com Larcher (2000), as raízes são importantes na absorção de água e nutrientes do solo, e são local da síntese de reguladores de crescimento da planta, em geral do grupo das citocininas. Tais reguladores atingem os pontos de crescimento da parte aérea, tornando esses tecidos mais fortes em aquisição de reservas demandadas no crescimento das plantas.

Lourenço (1996) afirma que o sistema radicular é de maior importância no processo de absorção de nutrientes pouco móveis no solo como o fósforo, o que deve ocasionar as diferenças de níveis adequados deste nutriente para culturas de ciclo curto e longo. Em trabalho realizado Reis et al. (1985) sobre alocação de biomassa entre os componentes em plantas de *Eucalyptus grandis* com sete anos de idade, os autores observaram que o sistema radicular representou de 14% da biomassa para o sítio de melhor qualidade e de 32 % para o sítio de pior qualidade. Isso foi explicado pela necessidade das plantas em desenvolver um sistema radicular que lhe permita explorar maior área do solo em sítios onde a quantidade de nutrientes é menor.

Witschoreck et al. (2003) citam que relativamente poucos estudos são realizados com sistema radicular do eucalipto, sendo a grande maioria dos realizados apenas para o sistema de sustentação, que é constituído pelas raízes grossas. Segundo estes autores, a falta de estudos esta relacionada com a grande demanda de tempo e mão-de-obra, o que recai em pesquisas caras e que nem sempre as entidades de pesquisa estão aptas a custear.

3.2. Crescimento de *Eucalyptus*

Atualmente as espécies de eucaliptos são as mais cultivadas no Brasil, em virtude de seu crescimento rápido em relação às essências nativas, boa qualidade da madeira e por apresentar potencial de usos múltiplos (VILAS BÔAS et al., 2012). O gênero *Eucalyptus* possui espécies de grande precocidade, que em povoamentos bem conduzidos, podem apresentar produtividades próximas a $50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (ABRAF, 2013), sendo a produtividade média no Brasil, ano base de 2013, de $40,1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (ABRAF, 2013).

A previsão de crescimento de uma floresta é a condição básica em qualquer processo de planejamento racional. Segundo Couto e Bastos (1986), devido à importância econômica e social das espécies do gênero *Eucalyptus* plantadas no Brasil, sistemas de previsão baseados em curvas de crescimento, apresentam ampla aplicação, auxiliando aqueles que necessitam tomar decisões eficientes sobre uso dos recursos naturais renováveis. Segundo estes autores, a necessidade de projetar volume de madeira de *Eucalyptus* já era manifestada por Heinsdijk (1965), que apresentou tabelas de crescimento e rendimento baseadas em dados obtidos em diversas regiões do Brasil. Porém, apenas no fim da década de 70 uma proposta de um sistema de equações lineares simultâneas foi apresentada por Ferreira (1978), que por se tratar de um método simples e eficiente, começou a ser utilizado por algumas empresas florestais, e atualmente é bastante utilizado.

Algumas pesquisas realizadas para avaliar o crescimento das espécies de *Eucalyptus* mostram que para uma mesma espécie, o crescimento variado de acordo com o sítio. Vilas Bôas et al. (2009) afirmam que nestas pesquisas são utilizados como parâmetro de avaliação a sobrevivência, altura, o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e o volume com casca. Estes autores, avaliando o desempenho de *Corymbia citriodora*, *C. maculata* e de sete espécies do gênero *Eucalyptus* implantadas na Estação Experimental de Marília, estado de São Paulo, observaram maiores taxas de sobrevivência para *E. microcorys*, *C. maculata*, *E. paniculata*, *C. citriodora* e *E. urophylla*. Constataram também que, as espécies *Eucalyptus saligna*, *E. robusta* e *E. urophylla*, apresentaram maior crescimento em DAP, e o menor crescimento foi para as espécies *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus paniculata*, que não diferiram entre si, mas apresentaram diferenças significativas entre as espécies com maiores valores. Em relação ao crescimento em altura Vilas Bôas et al. (2009) observou crescimento ligeiramente superior das espécies *E. urophylla*, *E. robusta*, *E. saligna* e *E. grandis*, em relação às demais espécies, que não diferiram entre si. *C. citriodora*, *E. paniculata*, *E. microcorys* e *C. maculata* apresentaram desempenho ligeiramente inferior, sem diferir entre si.

Outra forma de se entender o crescimento de espécies de *Eucalyptus* é segundo Mello e Gonçalves (2008) através da quantificação da biomassa da parte aérea e do sistema radicular e utilizando-se de equações de regressão para as avaliações. Estes mesmos autores, citando Zianis e Mencuccini (2004) explicam que a eficácia das equações de regressão depende da espécie, idade e qualidade do sítio. Reis et al. (1985), enfatizaram sobre a importância da inclusão da variável idade para a estimativa da parte aérea e do sistema radicular.

3.3. Identidade Modelos

Em análise de regressão, com muita frequência deseja-se saber se um conjunto de g equações ajustadas são idênticas, ou seja, se o fenômeno em estudo pode ser representado por uma única equação (REGAZZI e SILVA, 2004).

Modelos de regressão linear têm aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento, isso devido à facilidade de sua utilização para descrever o relacionamento aproximado de entre variáveis. Porém, Regazzi e Silva (2004) afirmam que o verdadeiro relacionamento entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes pode ser descrito por um modelo não-linear, determinado com base em conhecimentos teóricos do problema tratado, fazendo com que modelos lineares não sejam apropriados em inúmeras situações. A modelagem de crescimento é um exemplo de situações em que modelos não-lineares podem ser ajustados para melhor explicar o processo de crescimento.

Para comparar modelos de regressão não-linear, um teste assintótico baseado na razão de verossimilhança foi apresentado por Bates e Watts (1988). Como no caso de modelos lineares, com aproximação dada pela estatística F .

$$F_0 = \frac{(S_p - S_f)/v_e}{S_f/v_f} \sim F(v_e; v_f)$$

Tabela 1: Esquema da análise para execução do teste proposto por Bates e Watts (1988) sobre a igualdade de parâmetros em modelos de regressão não-linear

| Causas de variação | GL | SQ | QM | F ₀ |
|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| Parâmetros extras | $V_e = P_f - P_p$ | $S_e = S_p - S_f$ | $S_e = S_e / V_e$ | S_e^2 / S_f^2 |
| Modelo completo | $V_f = N - P_f$ | S_f | $S_f^2 = S_f / V_f$ | |
| Modelo reduzido | $V_p = N - P_p$ | S_p | | |

S = Soma de quadrados residuais, ν = Números de graus de liberdade, P = Número de parâmetros e N = Número total de observações.
Subscritos: f = modelo completo, p = modelo reduzido, e = extra.

Regazzi (2003) utilizando o teste da razão de verossimilhança conforme Rao (1973), apresentou em detalhes a aplicação desse teste em modelos de regressão não-linear, utilizando o teste da razão de verossimilhança com aproximação dada pela estatística qui-quadrado, para isso admitiu-se apenas um valor observado de Y para cada um de X .

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo e Histórico de formação do povoamento

A área de estudo pertencente à empresa Cerâmica Vulcão Ltda, localizada no Município de Queimados, Estado do Rio de Janeiro. “A área possui coordenadas centrais -22° 42’ 53.94” lat e -43° 36’ 57.36” long, com altitude média de 49 metros. A área compreende um reflorestamento com *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* de 8,1 hectares.

O clima da região de Queimados, RJ, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw (BRASIL, 1980), que significa tropical com chuvas de verão. Segundo os dados dos últimos 25 anos da estação meteorológica da PESAGRO-RJ, localizada em Seropédica, a mais próxima ao local de estudo, a precipitação média anual é de 1.280 mm com o período seco entre os meses de junho a setembro e excedentes hídricos em dezembro, janeiro e fevereiro. A temperatura média de fevereiro, que é o mês mais quente, é de 27,0 °C, a de julho, o mês mais frio é 20,6 °C e a temperatura média anual é de 23,7 °C. O tempo médio de insolação anual é de 2.527 horas, a média anual da evaporação é de 1.576 ml e a umidade relativa do ar é de 69,3%.

A vegetação anterior da área era uma pastagem de *Brachiaria* sp., com presença constante de gado. Antes do plantio, foram retiradas cinco amostras de solo na área de encosta e três na área de topo, na camada de 0-25 cm, constituindo, assim duas amostras simples, cujos resultados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2: Análise química do solo em dois sítios destinados ao plantio de eucalipto, da propriedade da Cerâmica vulcão Ltda, em Queimados-RJ

| Área | ¹ pH | ² P | ² K | ³ Ca ²⁺ | ³ Mg ²⁺ | ³ Al ³⁺ | ³ H+Al | C org |
|------------|--------------------|-------------------------|----------------|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------|
| | (H ₂ O) | --mg/dm ³ -- | | -----Cmol _c /dm ³ ----- | | | | % |
| Topo morro | 5,1 | 5 | 37 | 0,5 | 0,3 | 0,7 | 4,6 | 1,78 |
| Encosta | 5,1 | 1 | 27 | 0,4 | 0,2 | 0,9 | 4,5 | 1,70 |

¹pH em água, KCl e CaCl₂ – Relação 1:25; ²extrator Mehlich-1; ³extrator de KCl 1,0 N.

O plantio ocorreu em novembro de 2007, adotando-se o espaçamento de 2 x 2 m, com objetivo de produção de lenha para abastecer fornos de produção de tijolos da empresa Cerâmica Vulcão.

As mudas, produzidas a partir de sementes, foram adquiridas do viveiro florestal *Eucalyptus* sp., localizado em Roseira, Estado de São Paulo. As principais atividades realizadas na fase de implantação foram: alinhamento e marcação das covas em sentido longitudinal do terreno, coroamento (capina) com raio em torno de 50 cm e abertura das covas com dimensões de aproximadamente 25 x 25 x 25 cm. De acordo com a análise de fertilidade do solo, foram aplicados 150 gramas de N-P-K (04-31-04) por cova, o qual foi misturado à terra retirada das covas. Este adubo apresenta 18% P₂O₅ solúvel em ácido cítrico e 11% P₂O₅ solúvel em água e, também 22% de CaO, 0,3% de Zn e 0,1% de Cu. A terra retirada da cova com o adubo incorporado foi retornada às covas e após uma chuva foi feito o plantio.

Realizou-se o replantio das mudas entre 30 e 60 dias após o plantio, procurando manter a densidade planejada para o povoamento. No primeiro ano foram realizados três coroamentos, com raio entre 30 a 50 cm ao redor das plantas de eucalipto, aproximadamente 2, 4 e 7 meses após o plantio e juntamente com roçadas. Novos coroamentos foram realizados aos 12 e 15 meses após o plantio. A partir desta data o controle da braquiária foi realizado através da introdução de bovinos. Como adubação de cobertura em todas as plantas, foi aplicado aproximadamente 70 gramas de N-P-K (20-05-20) + 6% de S aos 4 meses após o plantio (março de 2008). Outra adubação com 100 gramas por planta do mesmo adubo, aos 12 meses (novembro de 2008).

O controle das formigas cortadeiras foi executado antes, durante e até dois anos após o plantio, usando iscas formicidas granuladas.

4.2. Experimento

A instalação do experimento ocorreu logo após a implantação do povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. Com base nas características de topografia e de posse da imagem da área, foram escolhidos em laboratório, dois sítios para marcação de parcelas permanentes de seis linhas com nove covas de plantio, somando 54 covas e área de 240 m². Cada sítio, foi caracterizado como os sítio 1 (encosta) e sítio 2 (topo de morro). No campo, com os pontos marcados no mapa, as parcelas foram georeferenciadas, sendo tomadas as coordenadas UTM do centro de cada sítio e alocadas na imagem apresentada na Figura 1. As práticas silviculturais adotadas nos dois sítios foram semelhantes, assim estas não foram determinantes das variações do crescimento das plantas entre os sítios.



Figura 1: Imagem da área utilizada para formação do povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, com sítios marcados e georeferenciados. Sítio 1 (lat. -22° 44' 55" long. -43° 36' 59") e sítio 2 (lat. -22° 42' 52" long. -43° 36' 55"), na Cerâmica Vulcão Ltda, Município de Queimados, RJ.

Os sítios de estudo foram selecionados em posições topográficas distintas, sendo o Sítio 1 no terço médio e o Sítio 2 no topo do morro. Aos 28 meses após o plantio, foi realizada a caracterização dos sítios, conforme apresentado na Tabela 3. As faces e as declividades foram caracterizadas com bússola e hipsômetro, respectivamente. Os dois sítios estão situados a 140 metros de distância um do outro.

Tabela 3: Caracterização dos sítios na área do povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* na Cerâmica Vulcão Ltda, Município de Queimados, RJ

| Sítio | Posição topográfica | Relevo local | Face | Declividade (%) |
|-------|---------------------|----------------|---------------|-----------------|
| 1 | Encosta | Suave ondulado | 340° Noroeste | 13,5 |
| 2 | Planalto | Plano | 0° Norte | 4,0 |

Fonte: Fonseca (2010).

Os perfis do solo foram descritos conforme Santos et al. (2005) e os solos foram classificados com orientação descrita no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2005). Na Tabela 4 é apresentada a classificação do solo dos dois sítios estudados e também as principais características físicas e na Tabela 5 as características químicas, por horizonte de solo, de acordo com Fonseca (2010).

Tabela 4: Características dos sítios em povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, em área da Cerâmica Vulcão Ltda, Município de Queimados, RJ

| Característica | Sítio 1 | Sítio 2 |
|-------------------------|-------------------|-------------------|
| Classificação | Latossolo Amarelo | Latossolo Amarelo |
| Textura do solo | Argilosa | Argilosa |
| Erosão | Laminar ligeira | Laminar ligeira |
| Prof. Horizonte Ap (cm) | 12 | 10 |
| Camada horiz. AB (cm) | 12 - 20 | 10 - 38 |
| Prof. Efetiva (cm) | 110 ⁺ | 100 ⁺ |

Fonte: Fonseca (2010).

Tabela 5: Análises químicas dos dois sítios de um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, aos 28 meses após o plantio, em área da Cerâmica Vulcão Ltda, Município de Queimados, RJ

| Horiz. | pH ¹ H ₂ O | P --- mg / dm ³ --- | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H + Al | CTC(T) | V | m |
|--|-------------------------------------|-----------------------------------|----|------------------|------------------|------------------|--------|--------|----|----|
| ----- Sítio 1 – Latossolo amarelo endoálico distrófico ----- | | | | | | | | | | |
| Ap | 5,1 | 1,9 | 44 | 0,6 | 0,5 | 0,9 | 5,1 | 5,67 | 21 | 43 |
| AB | 5,0 | 0,9 | 19 | 0,4 | 0,2 | 1,4 | 5,0 | 4,94 | 13 | 68 |
| BA | 4,7 | 0,6 | 9 | 0,3 | 0,1 | 1,5 | 4,7 | 4,38 | 10 | 78 |
| Bw | 4,6 | 0,7 | 6 | 0,1 | 0,1 | 1,5 | 4,6 | 4,35 | 5 | 87 |
| ----- Sítio 2 – Latossolo amarelo endoálico distrófico ----- | | | | | | | | | | |
| Ap | 5,0 | 3,5 | 85 | 0,7 | 1,0 | 0,5 | 4,79 | 6,71 | 29 | 21 |
| AB | 4,6 | 0,9 | 60 | 0,2 | 0,3 | 1,4 | 14,03 | 14,68 | 4 | 68 |
| Bw | 4,7 | 1,4 | 37 | 0,1 | 0,1 | 1,4 | 3,47 | 3,76 | 8 | 83 |

pH em água; P – K – Extrator Mehlich 1; Ca – Mg – Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L – pH 7,0; H + Al – extrator água quente; CTC (T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação de bases; m = índice de Saturação de Alumínio.

Fonte: Fonseca (2010).

4.3. Mensuração dos dados

A partir do primeiro ano do povoamento com medições de altura de todas as árvores das parcelas em cada sítio, utilizando vara dendrométrica. No segundo e terceiro ano foram medidas além das alturas, a circunferência a 1,30 m do solo (CAP) de todas as árvores com o auxílio de uma fita métrica. No quarto e quinto ano mensurou-se metade das alturas com hipsômetro Haga e todos os CAPs das árvores das parcelas.

A partir do segundo ano, após medições de altura e CAP, determinou-se, anualmente, a biomassa de quatro árvores, em cada sítio, sendo duas árvores de CAP mais próxima ao valor médio, uma árvore de CAP médio mais um desvio padrão e uma árvore de CAP médio menos um desvio padrão. Foi utilizado o método destrutivo, consistindo na derrubada das árvores e cubagem rigorosa para a determinação do volume, pelo método de Smalian, com

seções de 2 m de comprimento. Realizou-se a pesagem dos componentes madeira, casca, galhos, folhas, raízes laterais e raiz pivotante até 40 cm de profundidade. Na sequência, retirou-se amostras de cada componente para determinação da biomassa seca. 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.

Para a determinação das raízes laterais a metodologia utilizada foi a divisão da área útil (4m²) ocupada pela árvore, em quatro quadrantes de 1 x 1 m. Foram selecionados, ao acaso, dois quadrantes de solo para serem escavados até 40 centímetros de profundidade: um na posição superior e um na posição inferior do relevo em relação à árvore. À medida que o solo era escavado e retirado, as raízes finas dos quadrantes foram coletadas manualmente e em seguida pesadas. Aproveitando a escavação, a raiz pivotante foi retirada com profundidade de 40 cm e também pesada.

4.4. Modelagem

Primeiramente, foi preciso estimar as alturas das árvores em que essa variável não foi mensurada no quarto e no quinto, para todas as árvores. Para isso, utilizou-se os pares DAP-altura obtidos de algumas árvores e ajustou-se o modelo de relação hipsométrica proposto por Trorey (1929), (Modelo 1).

$$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 \quad \text{Modelo (1)}$$

As curvas de crescimento de DAP e de altura em função da idade foram construídas por meio do modelo de regressões não-lineares, proposto por Chapman e Richards (1949), (Modelo 2).

$$W_t = A \cdot (1 - b \cdot e^{-Kt})^{1/(1-m)} \quad \text{Modelo (2)}$$

onde: W_t é o tamanho da árvore no tempo t ; A é o valor assintótico que árvore pode atingir; K_t é a medida relativa da taxa de crescimento da árvore ou altura da curva; b é usualmente sem importância biológica, refletindo somente a escolha do tempo zero; m retrata o ponto de inflexão que corresponde ao ponto onde ocorre mudança no ritmo de crescimento.

A fim de verificar se uma única equação pode ser usada para estimar o crescimento em altura ou DAP das árvores dos dois sítios em função da idade, Aplico-se o teste de identidade de modelo não-lineares, proposto por Regazzi (2003) para testar a igualdade de modelos sigmóides.

Para determinação das equações de volume e biomassa, os valores observados destas variáveis foram obtidos a partir das 32 árvores cubadas e pesadas ao longo dos quatro anos de amostragem. O modelo utilizado foi o proposto por Schumacher e Hall (1933), (Modelo 3). As variáveis dependentes, que nesse caso são o volume e a biomassa de cada árvore, foram modelados em função do DAP e da altura.

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \beta_2 \cdot \ln(H) \quad \text{Modelo (3)}$$

Posteriormente, com as equações ajustadas calculou-se em cada idade avaliada, os valores de volume e de biomassa de cada componente nos dois sítios, para cada árvore da parcela. Em seguida comparou-se a média de valores dos sítios por meio dos intervalos de confiança a 95% de probabilidade.

A precisão das equações ajustadas a partir dos modelos hipsométrico, volumétrico e crescimento, foi avaliada por meio do valor do coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), erro padrão residual em porcentagem ($S_{yx}\%$), significância dos coeficientes da regressão (β_0 , β_1 e β_2) a partir do teste t e da análise gráfica dos resíduos, com os valores de erros representados graficamente em função do DAP.

Para comparar a produção de biomassa de raízes finas entre os dois sítios e entre as idades avaliadas utilizou-se o teste t de amostras independentes ($P \leq 0,05$). Este teste foi utilizado também para comparar se existem diferenças significativas entre o biomassa de raízes laterais superior e inferior em relação a árvore.

4.4.1. Identidade de modelos

Para testar igualdade das equações de crescimento em diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e de altura, utilizou-se a estatística do teste de razão de verossimilhança apresentada na Equação 1.

$$L = \left(\frac{\hat{\alpha}_{\Omega}^2}{\hat{\alpha}_w^2} \right)^{n/2} \text{ Equação (1)}$$

Onde: L = valor da razão de máxima verossimilhança; $\hat{\alpha}_{\Omega}$ = estimativa de máxima verossimilhança de α^2 quando nenhuma restrição é feita no espaço paramétrico Ω ; $\hat{\alpha}_w$ = estimativa de máxima verossimilhança de α^2 quando restrições são impostas ao espaço paramétrico de Ω ; w subconjunto do espaço paramétrico Ω , onde $w^T \mathbf{U} w = \Omega$; n = número de observações de Ω .

Logaritimizando a Equação 1 e, em seguida multiplicando-se por (-1) obtém-se a Equação (2):

$$-2 \ln(L) = -n \cdot \ln \left(\frac{\hat{\alpha}_{\Omega}^2}{\hat{\alpha}_w^2} \right) \text{ Equação (2)}$$

Obtém-se para grandes amostras de tamanho n , a distribuição de $-2\ln(L)$ aproximadamente igual ao qui-quadrado (X^2_v) com v graus de liberdade, onde v é o número de parâmetros estimados em Ω menos o número de parâmetros w , conforme Regazzi (2003) citando Rao (1973), desta maneira pode se escrever a Equação 2 da seguinte forma:

$$-2 \ln(L) = -n \cdot \ln \left(\frac{\hat{\alpha}_{\Omega}^2}{\hat{\alpha}_w^2} \right) \rightarrow X^2_v$$

Então tem-se para cada hipótese de igualdade de modelos a serem testadas contra as suas hipóteses alternativas, as estatísticas do teste da razão de máxima verossimilhança que serão dadas pela Equação (3):

$$-n \ln(L) = -n \cdot \ln \left(\frac{SQR_{\Omega}^2}{SQR_w^2} \right) \text{ Equação (3)}$$

onde: SQR_{Ω} = soma de quadrados dos resíduos do modelo ajustado para o conjunto total dos dados Ω , também chamado de modelo reduzido; SQR_w = valor correspondente a soma dos quadrados dos resíduos de cada modelo ajustado para o subconjunto w , também chamado de modelo completo.

Desta forma, as hipóteses estabelecidas são: H_0 = o modelo reduzido ajustado para um conjunto $\{x\}$ de ambientes de produção é idêntico aos modelos completos para cada um dos ambientes pertencentes a $\{x\}$; H_1 = contrária a H_0 . Assim, se (X_v^2) calculado $\geq (X_v^2)$ tabelado, rejeita-se H_0 , ou seja, o modelo reduzido não é igual ao modelo completo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Relação hipsométrica

As equações para estimativa das alturas em função do diâmetro a 1,3 m da superfície do solo (DAP), apresentaram bons ajustes a partir do modelo de Trorey, evidenciadas pela significância dos coeficientes, erro padrão residual percentual relativamente baixo e alto valor de coeficiente de determinação ajustado. Apenas a equação ajustada para as condições do sítio 1 aos 5 anos de idade apresentou baixa precisão na estimativa da variável altura (Tabela 6). Embora a correlação altura / diâmetro não seja tão forte quanto a volume / diâmetro (SCOLFORO, 1998), o coeficiente de determinação ($R^2_{aj.}$) foi superior a 0,80 nas equações ajustadas para o sítio 1 e 2 aos 4 anos de idade e Sítio 2 na idade de 5 anos.

Tabela 6: Coeficientes ajustados e estatísticas de precisão, para equações provenientes do modelo de relação hipsométrica de Trorey, ajustado para *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, para duas idades em dois sítios florestais no município de Queimados-RJ

| Sítio | Idade | β_0 | β_1 | β_2 | $S_{yx}\%$ | $R^2_{ajus.}$ |
|-------|--------|------------------------|-----------|-------------|------------|---------------|
| 1 | 4 anos | 0,49070 ^{ns} | 1,90784* | - 0,04520 * | 8,1 | 0,89 |
| 2 | | -5,67354* | 3,04809 * | - 0,09074 * | 4,3 | 0,94 |
| 1 | 5 anos | -3,40755 ^{ns} | 3,38862 * | - 0,13455 * | 12,6 | 0,56 |
| 2 | | -3,44469 ^{ns} | 2,84604 * | - 0,08611 * | 3,8 | 0,94 |

^{ns} = não significativo e * significativo pelo teste t; $S_{yx}\%$ erro padrão de estimativa em porcentagem; $R^2_{ajus.}$ Coeficiente de determinação ajustado.

Constata-se, também pela Tabela 6, que a equação ajustada para o Sítio 2 aos 5 anos de idade, foi a que se mostrou mais precisa, pois foi a que apresentou menor valor de erro padrão em porcentagem ($S_{yx}\%$). Os valores erro padrão residual em porcentagem ($S_{yx}\%$) ficaram em torno de 10%, proporcionando estimativas precisas, quando comparados ao valor de $S_{yx}\%$ igual a 55% para o modelo de Trorey (1929) encontrados por Rocha et al. (2010), ajustando equações para um povoamento de *Eucalyptus urophylla*, no Planalto da Conquista na região Sudoeste da Bahia.

Analisando a Figura 4, nota-se que não houve a ocorrência de tendências na distribuição gráfica dos resíduos em função do DAP para modelo testado, sendo os erros bem distribuídos em torno da média e uniforme, exceto a distribuição gráfica dos resíduos da equação ajustada para sítio 1 aos 5 anos de idade, que possui tendência a subestimar as alturas das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. Isso é conferido pelos valores das estatísticas de precisão já apresentadas.

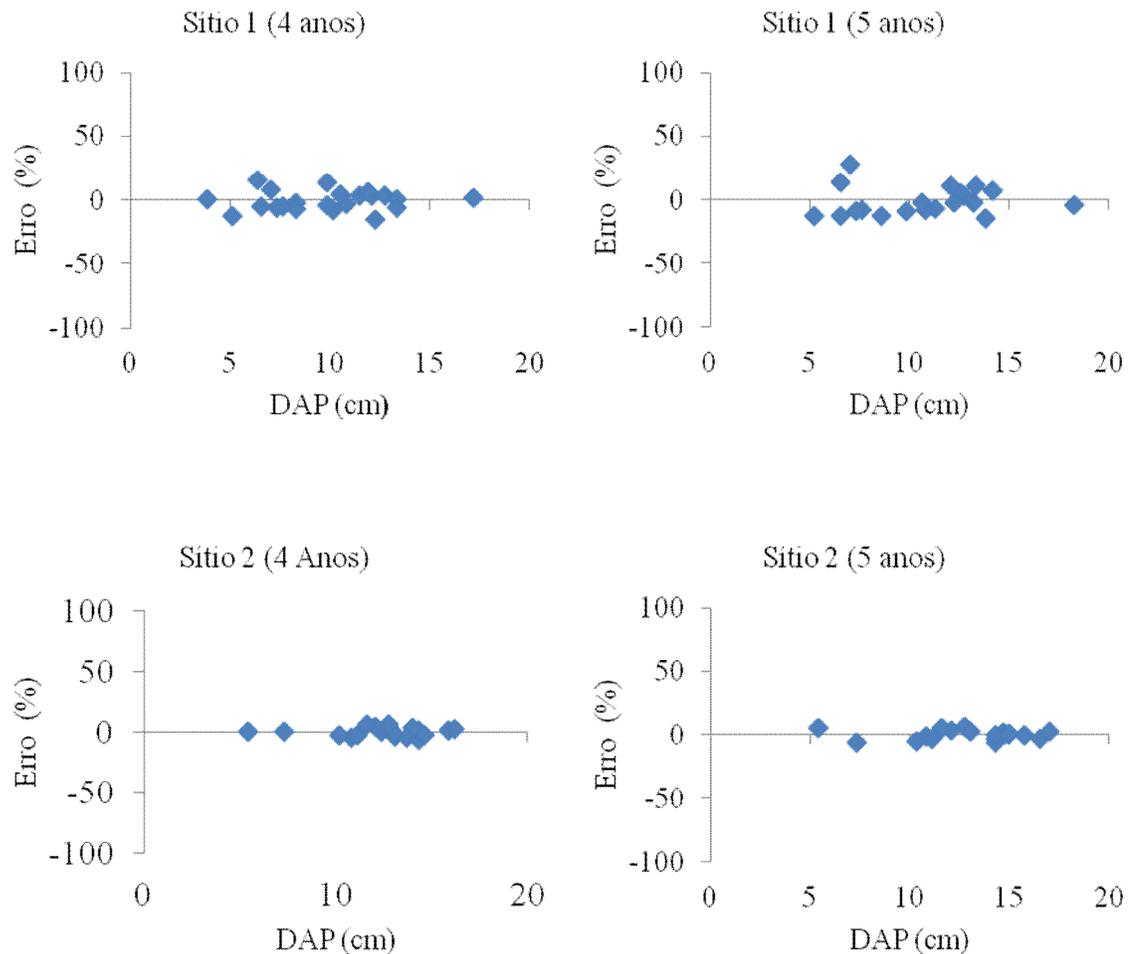


Figura 2: Distribuição dos erros em porcentagem, dos modelos de relação hipsométrica, para *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* nas duas idades, em dois sítios florestais no município de Queimados-RJ.

Os resultados da Tabela 5 e Figura 4 mostram que foi possível estimar a altura das árvores em função do DAP, com níveis satisfatórios de confiabilidade.

5.2. Crescimento em DAP e altura

Na Tabela 7 são apresentados os valores de coeficientes do modelo e estatísticas de precisão, para as equações ajustadas a partir do modelo de crescimento de Chapman e Richards. Verifica-se que o modelo não explicou bem o crescimento para a variável DAP, sendo apenas o coeficiente “A” significativo, indicando que o crescimento em ambos os sítios já atingiu seu valor máximo.

Em ambos os sítios, valores de R^2_{aj} foram baixos e erro padrão residual ($S_{yx}\%$) relativamente alto.

Tabela 7: Coeficientes ajustados e estatísticas de precisão, para equações provenientes do modelo Chapman e Richards ajustado para crescimento diâmetro e altura de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, em função da idade em dois sítios florestais, no município de Queimados-RJ

| Local | Variável | β_0 | β_1 | β_2 | S_{yx} % | $R^2_{ajus.}$ |
|---------|----------|-----------|-------------------------|-----------------------|------------|---------------|
| Sítio 1 | DAP | 10,6286* | 1,55547 ^{ns} | 21,0053 ^{ns} | 36,0 | 0,44 |
| Sítio 2 | DAP | 13,1741* | 1,06394 ^{ns} | 3,27647 ^{ns} | 22,4 | 0,35 |
| Sítio 1 | Altura | 19,7786* | 0,5133 ^{ns} | 2,47313* | 27,7 | 0,78 |
| Sítio 2 | Altura | 22,1461* | 0,3767742 ^{ns} | 1,0168 ^{ns} | 18,2 | 0,78 |

S_{yx} % erro padrão residual de estimativa em porcentagem; $R^2_{ajus.}$ Coeficiente de determinação ajustado.

Para a variável altura a equação ajustada foi mais precisa, com $R^2_{aj.}$ de 0,78 para os dois sítios. A equação ajustada para o sítio 2 foi a melhor, pois teve o menor erro padrão residual (18,2).

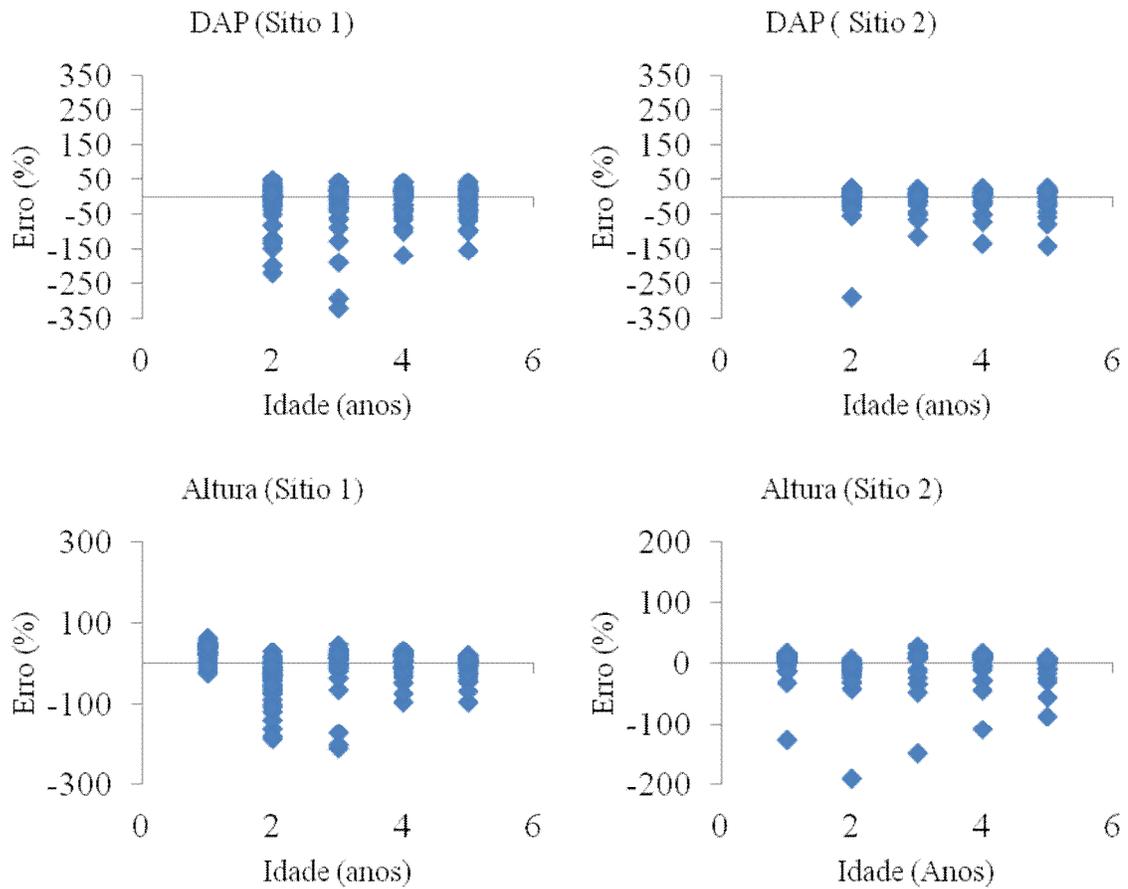


Figura 3: Distribuição gráfica dos erros em função da idade, para o modelo Chapman e Richards ajustado para altura e diâmetro de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em dois sítios florestais no município de Queimados-RJ.

Na Figura 3, observa-se que a distribuição gráfica dos resíduos é considerada insatisfatória, tanto para o DAP quanto para a altura, pois existe forte tendência das equações em superestimarem os valores de DAP e altura.

Pelas Figuras 4 e 5, constata-se que já aos dois anos de idade as árvores do sítio 2 apresentaram, em média, maior crescimento em DAP e altura, respectivamente, em relação as do sítio 1. De acordo com Paula et al. (2012) citando Spurr e Barnes (1980), as variações topográficas dentro de um mesmo estrato climático podem levar à formação de padrões de crescimento diferenciados. Observa-se pela Tabela 2 que o planalto, onde se localiza o sítio 2 é uma região de menor declividade. Resultados semelhantes em que as árvores de eucalipto do planalto apresentaram maior diâmetro e altura em relação às árvores das encostas, também foram encontrados por Abel (2012), que explicou tal fato devido à menor declividade do planalto favorecer maior infiltração de água no solo, o que pode ainda estar diretamente ligado à dinâmica dos nutrientes e disponibilidade desses às plantas. Além disso, no sítio do planalto o horizonte A é mais espesso (Tabela 4) e apresenta melhores níveis de potássio (Tabela 4), condições que normalmente favorecem o crescimento das plantas.

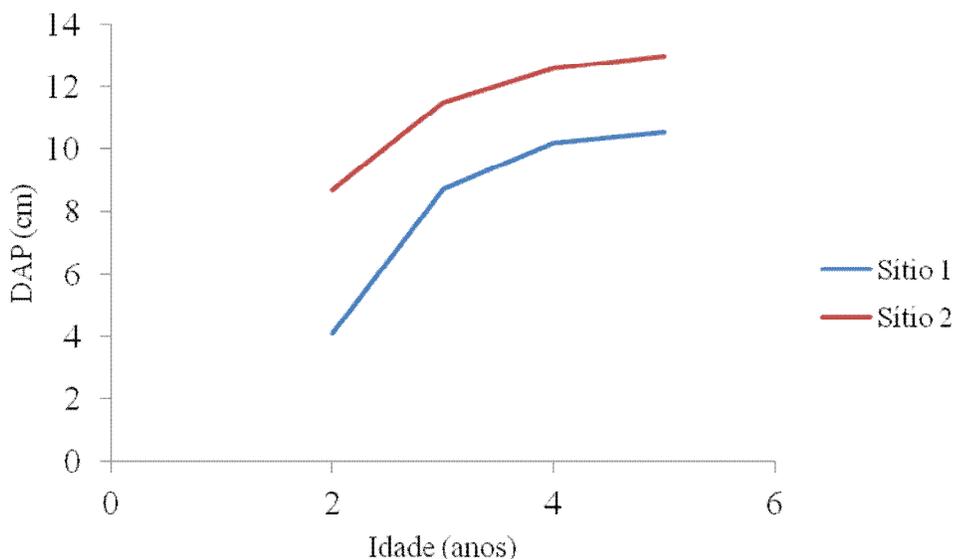


Figura 4: Curvas de crescimento em diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* para diferentes idades, com base nas equações provenientes do modelo Chapman e Richards, para dois sítios florestais no município de Queimados-RJ.

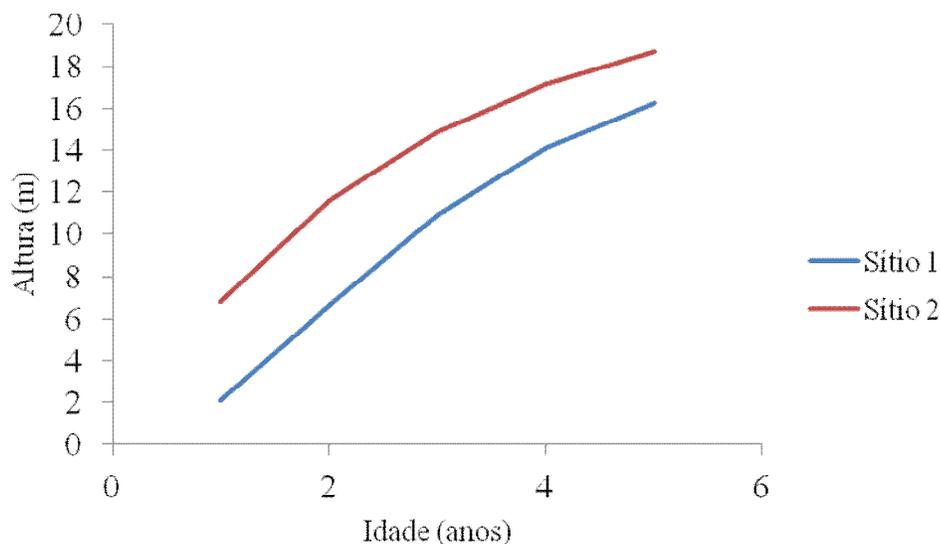


Figura 5: Curvas de crescimento em altura de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* com base nas equações provenientes do modelo Chapman e Richards, para dois sítios florestais no município de Queimados - RJ.

Observa-se pelas Figuras 4 e 5 que as diferenças do valor de DAP e altura média das plantas de eucalipto entre os sítios é maior na idade de 2 anos do que 5 anos. Isto ocorreu provavelmente devido aos 2 anos, idade que normalmente as plantas de eucalipto estão em fase intensa de crescimento e com isso alta demanda de recursos ambientais (GONÇALVES et al., 2000). Como no sítio 2 as condições, aparentemente são favoráveis, houve maior crescimento neste local. Aos 5 anos, devido o espaçamento de plantio ser de 2 x 2 m, provavelmente está ocorrendo competição entre as plantas e com isso as diferenças de crescimento entre as plantas nos dois sítios são menores.

A aplicação do teste de identidade de modelo mostrou que o crescimento em função da idade nos dois sítios não pode ser descrito com apenas uma equação, evidenciando que o crescimento das árvores *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* é estatisticamente diferente em cada sítio.

5.3 Volume

Os coeficientes das equações ajustadas para volume com e sem casca e as estatísticas de precisão estão apresentados na Tabela 8. Observa-se que todos os coeficientes das equações ajustadas foram significativos e os coeficientes de determinação ($R^2_{aj.}$) muito altos, isso possivelmente pode ser explicado pela melhor resposta da variável volume ao modelo de dupla entrada, que tem como variáveis independentes o DAP e a altura. Resultados superiores a 0,90 também foram alcançados por Boiago et al. (2007) ao estimar o volume de madeira Floresta Estadual de Assis-SP, verificaram que o modelo de Schumacher e Hall foi o que se ajustou, tanto para estimar o volume com casca e sem casca, atingindo valores de coeficientes de determinação próximos a 0,94. Isto condiz com Scolforo et al. (2004) mencionando que dos vários tipos de modelos volumétricos, o de Schumacher e Hall tem se destacado na estimativa do volume de árvores e de povoamentos florestais.

Tabela 8: Coeficientes ajustados e estatísticas de precisão, provenientes do modelo volumétrico de Schumacher e Hall ajustado, para estimativa do volume com e sem casca ($m^3/\text{árvore}$) em povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, no município de Queimados-RJ

| Variável | β_0 | β_1 | β_2 | $S_{yx}\%$ | $R^2_{\text{ajus.}}$ |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|----------------------|
| Volume com casca (m^3) | -11,1359* | 2,3066* | 1,0767* | 15,3 | 0,99 |
| Volume sem a casca (m^3) | -11,6057* | 2,4667* | 1,0410* | 15,7 | 0,99 |

* coeficientes significativos a 5%, pelo teste t; $S_{yx}\%$ = erro padrão residual de estimativa; $R^2_{\text{ajus.}}$ = Coeficiente de determinação ajustado.

Os valores do erro padrão residual em porcentagem ($S_{yx}\%$) foram próximos a 15%, não comprometendo o ajuste das equações. Equações selecionadas por Azevedo et al. (2011), para um povoamento de *Eucalyptus* sp., localizado na Floresta Nacional do Ibura - SE, apresentam para o mesmo modelo valores de $S_{yx}\%$ superiores a 25%.

Analisando-se a distribuição gráfica dos resíduos em função do DAP apresentados na Figura 6, constata-se que há distribuição coerente dos erros em torno do eixo das abscissas (linha zero), embora exista uma pequena tendência a superestimar o volume em ambos os casos (volume com e sem casca). No entanto, a ocorrência de pequenas tendências não inviabiliza a utilização da equação ajustada, uma vez que segundo Azevedo et al. (2011) a distribuição gráfica dos resíduos é de grande utilidade na escolha do modelo, mas não deve ser observada isoladamente, e sim aliado aos valores de $R^2_{\text{ajus.}}$ e do $S_{yx}\%$, de maneira a verificar o comportamento do modelo matemático, em toda a linha de regressão.

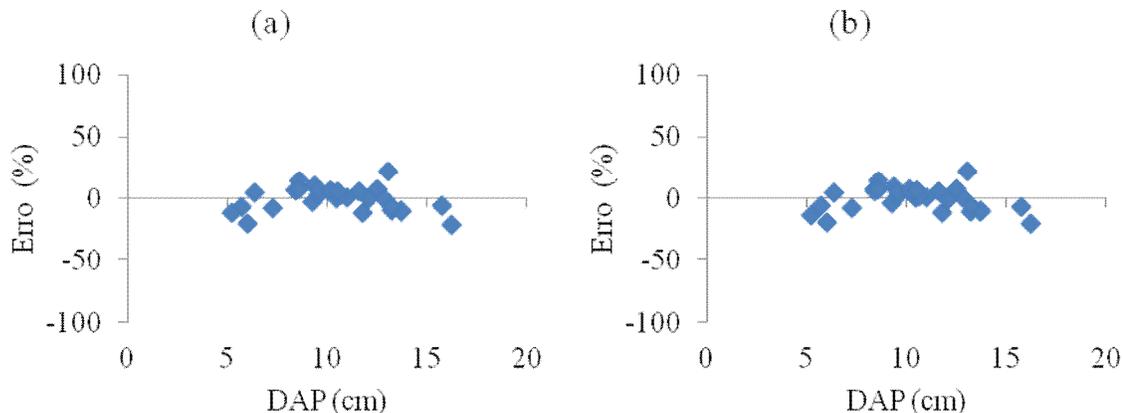


Figura 6: Distribuição dos erros em porcentagem, para a estimativa do volume com (a) e sem casca (b) de árvores em povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, no município de Queimados-RJ.

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os valores de volume com e sem casca respectivamente, e os intervalos de confiança a 95% de probabilidade, em cada idade avaliada e em cada sítio. Observa-se que o volume com e sem casca do sítio 2 foi estatisticamente superior aos volumes do sítio 1, em todas as idades.

O maior crescimento médio das árvores do sítio 2, que encontra-se em relevo plano (Tabela 3), ocorreu devido provavelmente a maior camada de horizonte A (Ap e AB) do sítio 2 (Tabela 4), que normalmente confere maior capacidade de umidade ao solo, e com isso

maior crescimento das plantas de eucalipto. Além disso, analisando a Tabela 5, observa-se que, em média, o solo do sítio apresenta níveis de fertilidade melhor, principalmente potássio, do que o do sítio 1. Laclau et al. (2009) mencionam que as plantas de eucalipto são altamente responsivas ao potássio, principalmente nas idades entre 1 e 2 anos após o plantio.

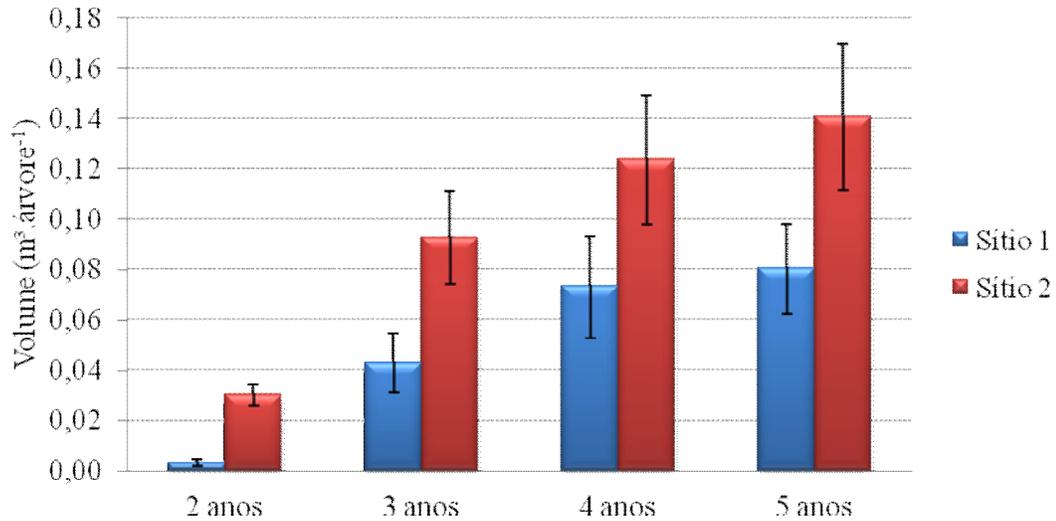


Figura 7: Volume médio com casca por árvore ($m^3.árvore^{-1}$) de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados - RJ. As barras indicam intervalo de confiança ($P < 0,05$).

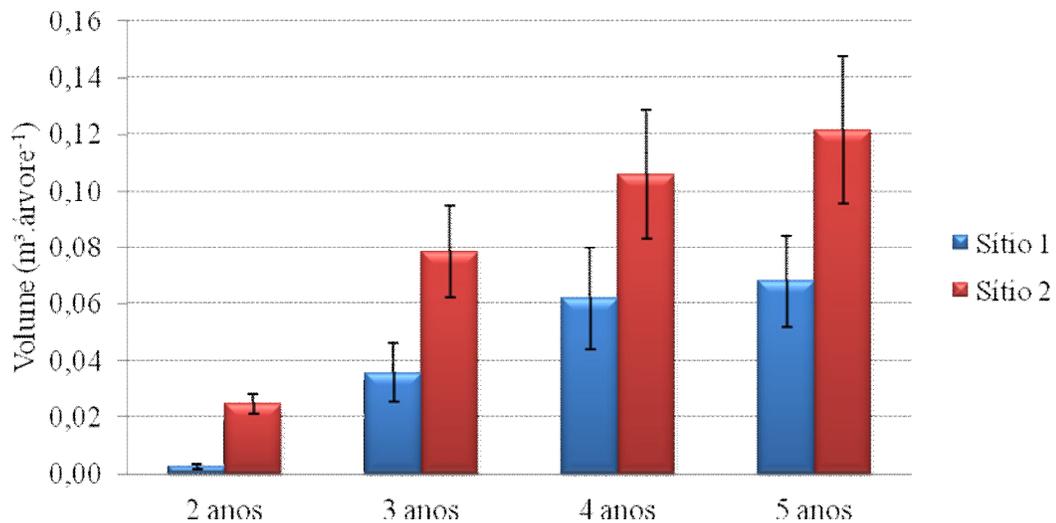


Figura 8: Volume médio sem casca por árvore ($m^3.árvore^{-1}$) de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados - RJ. As barras indicam intervalo de confiança ($P < 0,05$).

5.4. Biomassa

Os coeficientes das equações ajustadas para biomassa dos componentes das árvores (madeira, casca, galhos, folhas e raiz pivotante até 40 cm de profundidade) e as estatísticas de precisão estão apresentados na Tabela 9. Observa-se que o coeficiente β_1 que corresponde a variável DAP no modelo de Schumacher e Hall, foi significativo a 95% de probabilidade em todas as equações ajustadas. Mello e Gonçalves (2008) também obtiveram resultados satisfatórios de estimativas de biomassa de madeira, casca, folhas e raízes grossas quando utilizaram o DAP como variável independente em povoamentos de *Eucalyptus grandis* pertencentes à Companhia Suzano Papel e Celulose, no Estado de São Paulo. Observa-se, pela significância dos coeficientes, que a combinação do DAP e da altura como variáveis independentes, se demonstrou eficiente nas estimativas da biomassa de madeira e casca. Reis et al. (1985) também obtiveram estimativas satisfatórias para a biomassa do madeira e casca, utilizando a combinação DAP e altura em povoamentos de *Eucalyptus grandis* com idades entre 26 e 73 meses.

Para estimar a biomassa de galhos, folhas e raiz pivotante apenas o parâmetro relacionado ao DAP (β_1) do modelo de Schumacher e Hall ajustado mostrou significância. Resultados semelhantes foram encontrados por Mello e Gonçalves, (2008), em que a altura total não contribui significativamente para aumentar a eficácia do modelo para produção de biomassa.

Tabela 9: Coeficientes ajustados e estatísticas de precisão, para equações comuns (independente do local e da idade), provenientes do modelo de Schumacher e Hall ajustado, para estimativa da biomassa (kg/árvore) de componentes das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, no município de Queimados-RJ

| Componente | β_0 | β_1 | β_2 | $S_{yx}\%$ | $R^2_{ajus.}$ |
|----------------|-----------------------|-----------|-----------------------|------------|---------------|
| Madeira | -5,7688* | 2,4453* | 1,1869* | 24,67 | 0,96 |
| Casca | -7,7083* | 1,3059* | 2,1957* | 32,53 | 0,91 |
| Galhos | -0,1584 ^{ns} | 1,5115* | 0,7150 ^{ns} | 27,37 | 0,47 |
| Folhas | -2,9371* | 2,3665* | -0,8098 ^{ns} | 38,47 | 0,73 |
| Raiz Pivotante | -6,3124* | 1,7292* | 1,1893 ^{ns} | 34,60 | 0,84 |

*coeficientes significativos a 5% e ^{ns}coeficientes não significativo, pelo teste t; $S_{yx}\%$ = erro padrão de estimativa; $R^2_{ajus.}$ = coeficiente de determinação ajustado.

Os melhores valores de coeficiente de determinação ($R^2_{aj.}$), 0,96 e 0,91 foram alcançados pelas equações ajustadas para a estimativa de madeira e casca, respectivamente. Reis et al. (1985) e Mello e Gonçalves (2008), ao ajustar equações para biomassa de madeira e casca obtiveram valores de $R^2_{aj.}$ em torno de 0,99. Apenas para os galhos o $R^2_{aj.}$ ficou abaixo de 0,50. A menor precisão da equação ajustada para galhos provavelmente pode ser explicada pela dinâmica de desrama natural das árvores de eucalipto, principalmente no espaçamento de plantio utilizado, pois segundo Lima (2003), em espaçamentos reduzidos o processo de desrama natural normalmente é intenso, e com isso não há comportamento regular da produção de galhos em função da idade. Reis et al. (1985) argumentam que qualidades inferiores de ajustes são obtidas para os componentes da copa, uma vez que a biomassa de folhas e galhos é muito dependente da posição em que se encontram na copa.

O coeficiente de determinação ($R^2_{aj.}$) da equação ajustada para raiz pivotante foi de 0,84 sendo similar aos valores de 0,85 e 0,83 encontrados por Reis et al. (1985), evidenciando que existe boa relação entre a raiz pivotante e a parte aérea. Isto é esperado, pois árvores

maiores, normalmente apresentam maior peso de raízes de sustentação (Reis et al., 1985), que são as raízes pivotantes.

Analisando a Figura 9 constata-se que a distribuição gráfica dos resíduos foi bastante semelhante, para as equações que foram ajustadas. Esse resultado foi parcialmente contrário aos resultados obtidos por Mello e Gonçalves (2008), que ao ajustarem equações de biomassa, encontraram apenas distribuição homogênea de erro padrão percentual para madeira e distribuição tendenciosa para casca, raízes grossas e componentes da copa.

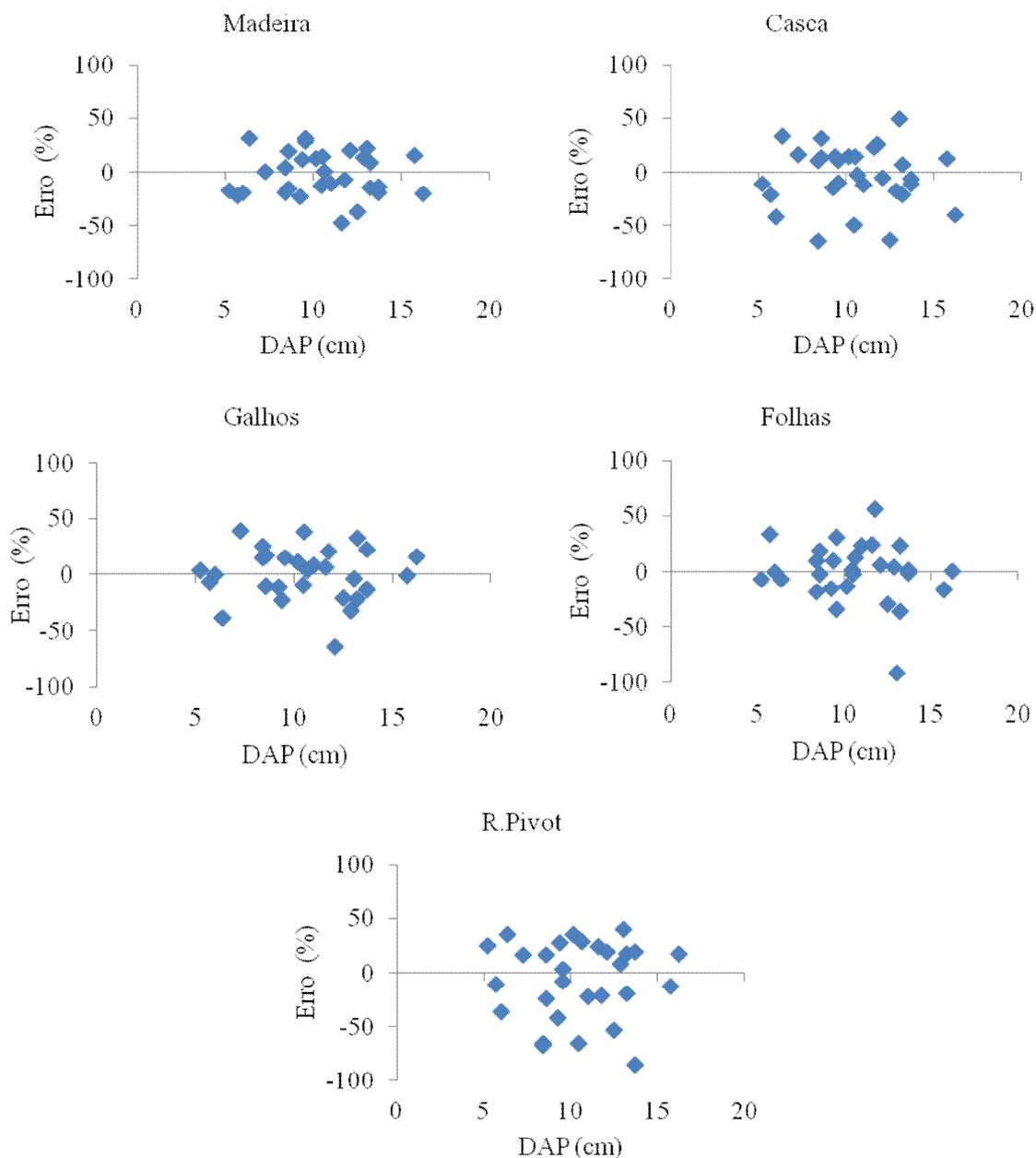


Figura 9: Distribuição gráfica dos resíduos para estimar biomassa de componentes das árvores em povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* no município de Queimados-RJ.

Observa-se pela Figura 10 os valores médios de biomassa de madeira, em $\text{kg}\cdot\text{árvore}^{-1}$, e os intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, em cada idade avaliada para cada sítio. Consta-se que, assim como o volume, a biomassa de madeira do sítio 2 foi significativamente superior que a do sítio 1, a partir do segundo ano do povoamento. Também, que a diferença de produção de madeira entre os dois sítios seguiu uma tendência a diminuir até o quarto ano, já no quinto ano ocorreu um novo aumento nesta diferença. Este comportamento é explicado por Schumacher e Caldeira (2004), que constataram em povoamentos *E. saligna*, localizados Guaíba-RS, que a biomassa acima do solo varia com a idade das árvores e com os sítios onde se encontram estabelecidas. Estas magnitudes de diferenças podem ser explicadas pelas variáveis climáticas, principalmente chuvas. Nos anos de menor precipitação e mal distribuição destas chuvas as árvores de eucalipto dos sítios de pior qualidade, no caso deste trabalho da encosta, há menor de retenção de água no solo e com isso, menor crescimento das plantas, pois segundo Stape et al. (2010) a água é o recurso “chave” para determinar os níveis de produção de plantações florestais no Brasil.

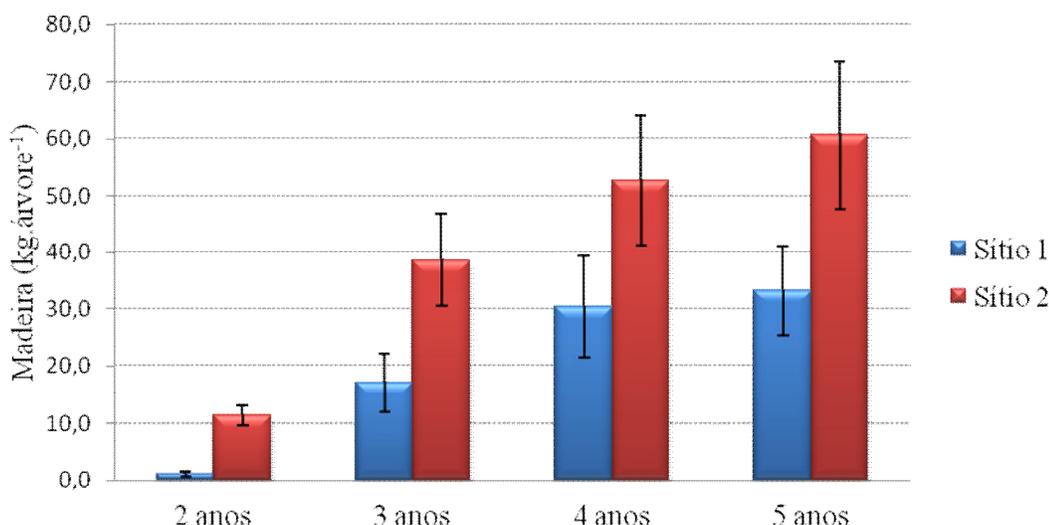


Figura 10: Biomassa média de madeira por árvore de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados - RJ. As barras indicam intervalo de confiança ($P < 0,05$).

Analisando a Figura 11, verifica-se que a biomassa de casca demonstrou o mesmo comportamento que a biomassa de madeira, sendo a biomassa de casca do sítio 2 superior a do sítio 1 em todos os anos de avaliação. Observando Figuras 10 e 11, constata-se que as árvores com maior produção de madeira, também apresentam maior produção de casca, conforme também relatado por Reis et al. (1985).

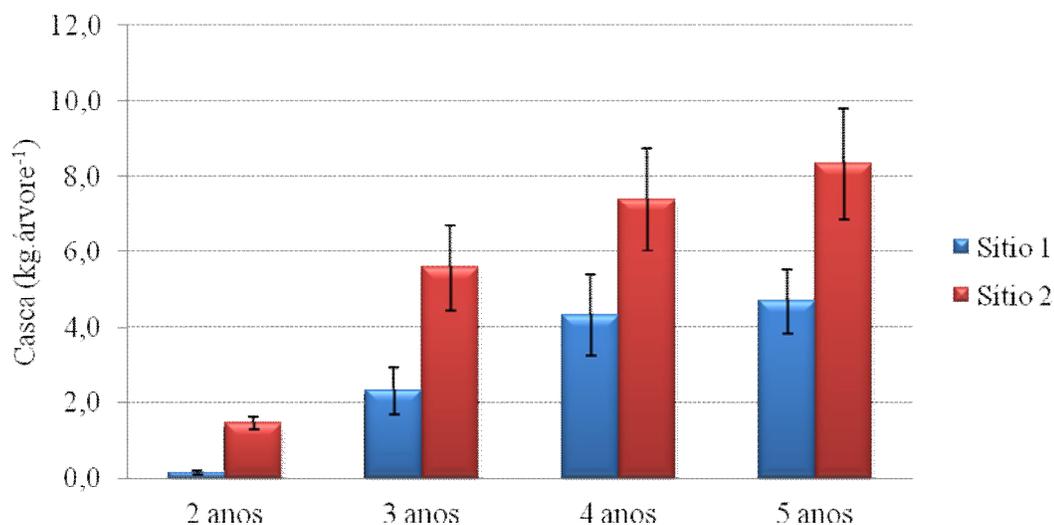


Figura 11: Biomassa média de casca por árvore de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados-RJ. As barras indicam intervalo de confiança ($P < 0,05$).

Observa-se pelas Figuras 12 e 13 que a biomassa média de galhos e folhas respectivamente, foi significativamente superior no sítio 2 em relação ao sítio 1 apenas no segundo e terceiro ano de idade do povoamento, sendo essa diferença muito pequena no terceiro ano. No quarto e quinto ano verifica-se pelos limites da barra de intervalo de confiança que não houve diferença significativa na biomassa de galhos e folhas dos dois sítios. Possivelmente a redução da diferença de biomassa foliar entre os sítios ocorreu devido a um decréscimo do incremento de biomassa do sítio 2. Em sítios de melhor qualidade, segundo Gonçalves et al. (2000) normalmente ocorre maior taxa de crescimento das árvores, fazendo com que a competição das árvores por fatores de crescimento se inicie mais cedo e reduzindo as taxas de crescimento. Reis et al. (1985) constataram decréscimos de biomassa foliar de *Eucalyptus grandis* a partir de 38 e 32 meses em dois sítios e argumentam que esses decréscimos ocorrem em virtude de desequilíbrios entre a produção e morte de folhas em consequência do aumento da competição, após o fechamento das copas das árvores de eucalipto.

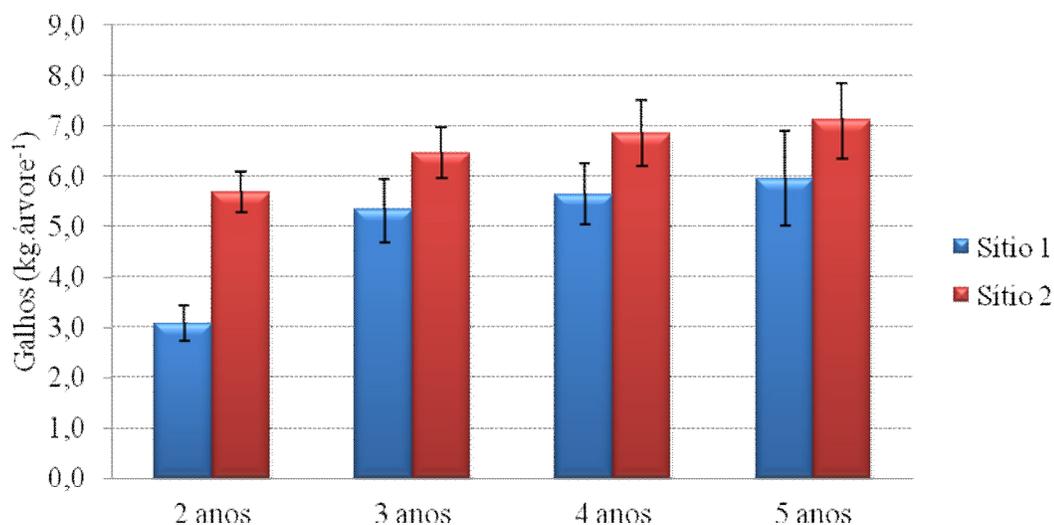


Figura 12: Biomassa média de galhos por árvore de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados-RJ. As barras indicam intervalo de confiança ($P < 0,05$).

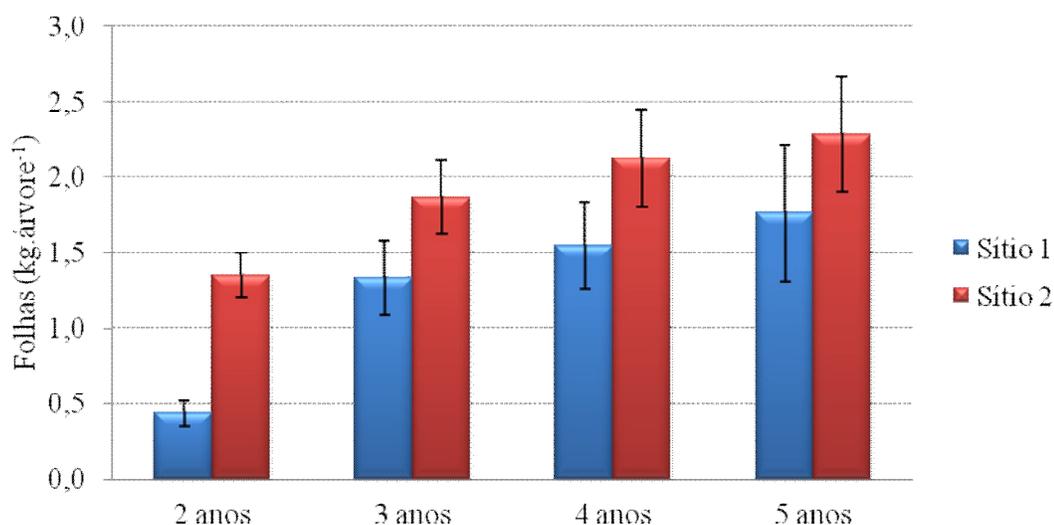


Figura 13: Biomassa média de folhas por árvore de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados-RJ. As barras indicam intervalo de confiança ($P < 0,05$).

Até 40 centímetros de profundidade a média da biomassa de raiz pivotante em kg.árvore^{-1} , foi maior no sítio 2 em relação as do sítio 1 (Figura 14), colaborando com as informações de biomassa de madeira (Figura 10 e 11), que as árvores do sítio 2 apresentaram, em média, maior crescimento do que as do sítio 1. Houve redução na diferença de biomassa de raiz pivotante entre os sítios 1 e 2 ao longo dos anos até 4 anos de idade. No quinto ano de

idade a diferença de biomassa de raiz pivotante voltou a crescer. A biomassa média de raiz pivotante foi de 5,28 kg.árvore⁻¹ aos 5 anos para o sítio 2 e 3,20 kg.árvore⁻¹ para o sítio 1.

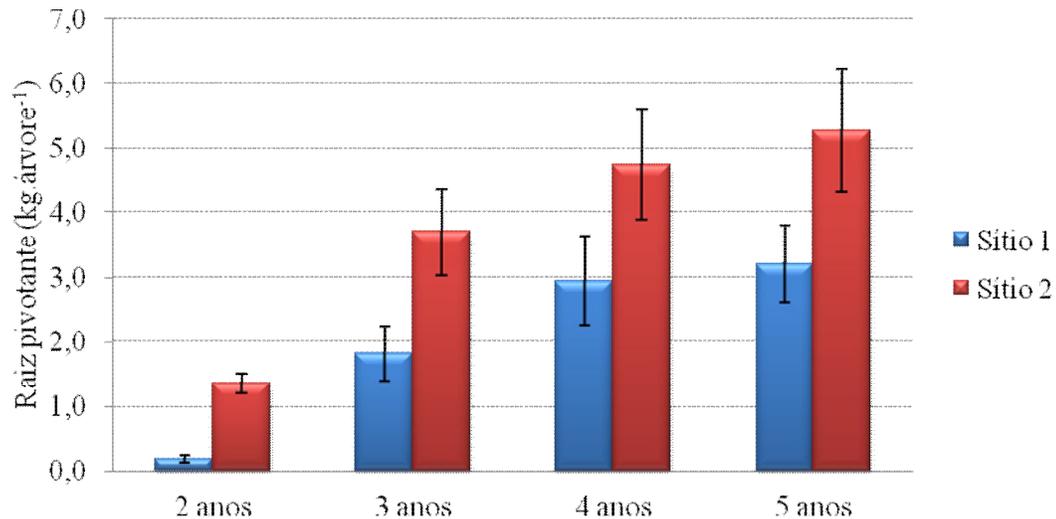


Figura 14: Biomassa média de raiz pivotante por árvore (m³.árvore⁻¹) de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* para diferentes idades, em dois sítios florestais no município de Queimados - RJ. As barras indicam intervalo de confiança (P < 0,05).

Leles et al. (2001), caracterizando a produção de matéria seca entre os componentes de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos aos 52 meses de idade na região de cerrado de Minas Gerais, encontraram valores de biomassa de raiz pivotante até 2 metros de profundidade variando de 51,4 kg.árvore⁻¹ em espaçamentos amplos de 9 x 9 metros a 3,3 kg.árvore⁻¹ em espaçamentos menores de 3 x 1 m para *E. camaldulensis*. Esses mesmos autores encontraram para *E. pellita*, valores de biomassa de raiz pivotante até 2 metros de profundidade variando de 49,5 kg.árvore⁻¹ em espaçamentos amplos de 9 x 9 metros a 3,5 kg.árvore⁻¹ em espaçamentos menores de 3 x 1 m. Os resultados deste último trabalho, indicam que a biomassa radicular de eucalipto varia com a espécie e com as técnicas silviculturais adotadas, como por exemplo o espaçamento de plantio. A biomassa de raiz pivotante do sítio 1, aos quatro anos após o plantio, teve valores próximos aos encontrados por Leles et al. (2001), em espaçamentos reduzidos.

A produção de biomassa de raiz pivotante é explicada por Reis et al. (1985), como sendo resultado de uma baixa competição das árvores. Estes autores afirmam que normalmente as espécies de eucalipto drenam grande parte de fotoassimilados para a produção de raiz. Neste trabalho, como os sítios estão muito próximos, em termos de distância, possivelmente a posição do relevo favoreceu o acúmulo de água no solo, reduzindo a competição das árvores, por isso a raiz pivotante apresenta maior peso no sítio 2, aliada a necessidade de raízes mais grossas, para sustentar o peso de árvores com maior parte aérea.

Em termos de biomassa das raízes laterais das árvores até a profundidade de 40 cm não foi possível ajuste do modelo de Schumacher e Hall em função do DAP e altura, nos dois sítios estudados. Constatou-se, pelo teste t de amostras independentes, que não existem diferenças significativas do peso por árvore destas raízes entre os dois sítios florestais. Dentro dos sítios, também não foram encontradas diferenças significativas entre as idades avaliadas.

A ausência de resposta é devido provavelmente ao pequeno peso das raízes laterais, pois o mais importante deste compartimento são os pelos absorventes que são os responsáveis pela absorção de água e de nutrientes pela planta.

Ao comparar a biomassa de raízes laterais da parte superior e inferior do terreno de todas as árvores amostradas, pelo teste t de amostras independentes, verificou-se que não existem diferenças significativas do peso por árvore. Este resultado evidencia que amostrando apenas $\frac{1}{4}$ da área útil de cada planta é possível inferir sobre o peso de raízes laterais com a mesma confiabilidade do que amostrando $\frac{1}{2}$ da área útil, economizando com isso recursos, principalmente o trabalho de campo.

6. CONCLUSÕES

Para o ambiente que foi conduzido o trabalho, o crescimento das árvores de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* diferiu entre os sítios, sendo que as árvores do planalto que possui 4% de declividade (sítio 2) apresentaram maior crescimento em relação as árvores da encosta que 13,5% de declividade (sítio 1) até os cinco anos de idade, evidenciando necessidades de tratamentos culturais diferenciados em cada sítio.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEL, E. L. S. **Crescimento de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em três posições topográficas, com diferentes doses de adubação de plantio.** 2012. 42f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF.** Brasília: ABRAF, 2013. 167p. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 10/01/2014.
- AZEVEDO, T. L., MELLO, A. A., FERREIRA, R. A., SANQUETTA, C. R., NAKAJIMA, N. Y. Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus sp.* localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Belém v.6, n. 1, p. 105-112, 2011.
- BALIEIRO, F. C., OLIVEIRA, W. C., PEREIRA, M. G., ANJOS, L. H. C., PICCOLO, M. C., JACCOUD, C. F. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa topossequencia em Seropédica, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.1, p.153-162, 2008.
- BOIAGO, R. M., GORENSTEIN, M. R., VILAS BÔAS, O., GOMES, J. E., MAX, J. C. M. Inventário dos povoamentos da Floresta Estadual de Assis. **Instituto Floresta Série Registro**, São Paulo, n. 31, p. 39-43, jul. 2007.
- CALDEIRA, M. V. W., TONINI, H., HOPPE, J. M., WALTZLAWICK, L. F., SELLE, G. L. Definição de sítio em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. na região de Encruzilhada do Sul, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n.1, 1996.
- CHAPMAN, H. H., MEYER, W. H. **Forest mensuration.** New York: McGraw-Hill, 522p, 1949.
- CORRÊA NETO, T. A., ANJOS, L. H. C., PEREIRA, M. G., AMORIM, H. B. 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.
- COUTO, H. T. Z., BASTOS, N. L. M. Curvas de crescimento em volume para *Eucalyptus* em 2ª rotação no estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.34, p. 15-21, 1986.
- FONSECA, R. W. S. **Caracterização do solo e relação com o crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, em Queimados – RJ.** 2010, 15f. Monografia (Conclusão de Curso de Engenharia Florestal) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- GONÇALVES, J. L. M., STAPE, J. L., BENEDTTI, V., FESSEL, J. L., GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: BENEDTTI, V., GONÇALVES, J. L. M. (Eds) **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: IPEFFAPESP, 2000. p. 219-267.
- GHIDIN, A. A., MELO, V. F., LIMA, V. C., COSTA, J. M. J. 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.

LACLAU, J. P., ALMEIDA, J. C. R., GONÇALVES, J. L. M., SAINT-ANDRE, L., SILVEIRA, M. V., RANGER, J., MOREIRA, R. M., NOUVELLON, Y. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus* plantations. **Tree Physiology**, Oxford, v. 29, p. 111-124, 2009.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.

LELES, P. S. S., REIS, G. G., REIS, M. G. F., MORAIS, E. J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 77-87, 2001.

LIMA, A. P. L. **Desrama artificial em clones de *Eucalyptus grandis* (Hill ex MAIDEN): efeito sobre o crescimento, a dinâmica de copa e o tempo de desrama**. 2003. 195f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa – Viçosa.

LOURENÇO, M. F. S. **Características limitantes do solo no Crescimento de *Eucalyptus dunnii* Maiden, em uma toposeqüência na região de Três Barras (SC)**. 1996. 140f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MACHADO, S. A., OLIVEIRA, E. B., CARPANEZZI, A. A., BARTOSZECK, A. C. P. S. Classificação de sítio para bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 35, p.21-37, 1997.

MELLO, S. L. M., GONÇALVES, J. L. M. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.1, p.101-111, 2008.

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

MIGUEL, E. P., ENCINAS, J. I., REZENDE, A. V., FERREIRA, J. C. S., AGUIAR, G. P. Classificação de sítios para plantios de *Eucalyptus urophylla* em Niquelândia, estado de Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, vol.7, n.12, p. 1-11, 2011.

OLIVEIRA, F. G. R. B., SOUSA, G. T. O., AZEVEDO, G. B., BARRETO, P. A. B. Desempenho de modelos hipsométricos para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Jaguaquara, Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 332-338, 2011.

PATINO VALERA, F. **Variação genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com o espaçamento**. 1986. 192f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Piracicaba.

PAULA, R. R., PEREIRA, M. G., AMORIM, H. B. Propriedades edáficas e desenvolvimento de eucalipto em topossequência na Flona Mário Xavier-RJ. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v.19, n.3, p.344-351, 2012.

REIS, M. G. F., KIMMINS, J. P., REZENDE, G. C., BARROS, N. F. Acúmulo de biomassa em uma 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.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelo de regressão não linear. In: SIMÓRIO DE ESTÁTISTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA – SEAGRO, 10.; REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA – RBRAS, 48., 2003, **Anais...** Lavras, p. 33-39, 2003.

REGAZZI, A. J., SILVA, C. H. O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Matemática Estatística**, São Paulo, v.22, n.3, p. 33-45, 2004.

ROCHA, T. B., CABACINHA, C. D., ALMEIDA, R. C; PAULA, A.; SANTOS, R. C. Avaliação de métodos de estimativa de volume para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Planalto da Conquista- BA. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.6, n.10, p. 1-10, 2010.

RUFINO, R. F., MIGUEL, E. P., SANTOS, G. A., SANTOS, T. E. B., SOUZA, F. Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucalipto conduzido sobre o sistema de rebrota. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.6, n.10, p. 1-10, 2010.

THOMAS, C., ANDRADE, C. M., SCHNEIDER, P. R., FINGER, C. A. J. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.3, p.319-327, 2006.

SCHUMACHER, F. X., HALL, F. S. Logarithmic expression of timber tree volume, **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

SCOLFORO, J. R. S., PÉREZ, J. F. M., MELLO, J. M., OLIVEIRA, A. D., CAMOLESI, J. F., BORGES, L. F. R., JÚNIOR, F. W. A. Estimativa de volume, peso seco, peso de óleo e quantidade de moirões para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC). Macleish). **Cerne**, Lavras, v.10, n.1, p.87-102, 2004.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. LAVRAS: UFLA/FAEPE, 1998. v. 1. 443 p.

STAPE, J. L., BINKLEY, D., RYAN, M. G., FONSECA, S., LOOS, R. A., TAKAHASH, E. N., SILVA, C. R., SILVA, S. R., HAKAMADA, R. E., FERREIRA, J. M. A., GAVA, J. L., LEITE, F. P. 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.

VILAS BÔAS, O., MAX, J. C. M., MELO, A. C. G. Crescimento comparativo de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* no município de Marília, SP. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v.21, n.1, p. 63-72, 2009.

WITSCHORECK, R., SCHUMACHER, M. V., CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.2, p.177-183, 2003.