



VIVIAN AMARAL MENESES

**EFEITO DA IDADE E SÍTIO NA DENSIDADE
BÁSICA E PRODUÇÃO DE MASSA SECA DE
MADEIRA EM CLONE DO *Eucalyptus urophylla***

LAVRAS – MG

2013

VIVIAN AMARAL MENESES

**EFEITO DA IDADE E DO SÍTIO NA DENSIDADE BÁSICA E
PRODUÇÃO DE MASSA SECA DE MADEIRA EM CLONE DO**

Eucalyptus urophylla

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Paulo Fernando Trugilho

LAVRAS – MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Meneses, Vivian Amaral.

Efeito da idade e sítio na densidade básica e produção de massa
seca de madeira em clone do *Eucalyptus urophylla* / Vivian Amaral
Meneses. – Lavras : UFLA, 2013.

110 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Paulo Fernando Trugilho.

Bibliografia.

1. Eucalipto - Madeira - Qualidade. 2. Modelagem. 3.
Biomassa. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.1

VIVIAN AMARAL MENESES

**EFEITO DA IDADE E DO SÍTIO NA DENSIDADE BÁSICA E
PRODUÇÃO DE MASSA SECA DE MADEIRA EM CLONE DO**

Eucalyptus urophylla

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 24 de setembro de 2013.

PhD. Natalino Calegario UFLA

Dr. Helio Garcia Leite UFV

Dr. Paulo Fernando Trugilho
Orientador

LAVRAS – MG

2013

À Deus e à Nossa Senhora.
Aos meus pais Aldamir e Gilvanda.
Ao meu irmão André.
Aos meus familiares.
Aos meus amigos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira pela oportunidade da concretização do mestrado.

À CAPES pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Ao professor Paulo Fernando Trugilho pelos conselhos, ensinamentos transmitidos, paciência, dedicação na orientação e por estar sempre presente, acompanhando todas as etapas da pesquisa, meus sinceros agradecimentos.

Aos professores Natalino Calegario e Helio Garcia Leite pelas críticas e enormes contribuições dadas ao trabalho.

A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira pelos ensinamentos passados e a todos os funcionários, em especial a Claret, Chica, Cris, Hernani e Wilson por sempre nos atender nas horas necessitadas.

À Gerdau Florestal S.A., em nome de Francisco Sérgio Gomes, pelo suporte técnico e pela concessão do material.

Aos graduandos João, Luiz, Filipe, Rebeca e Vinícius pelo auxílio na coleta de dados e a Claudinéia, Tayana e Maíra pelo suporte dado ao trabalho. A Selma pelo imenso apoio na condução do experimento, muito obrigada.

Aos amigos Ana Elisa, Elias, Geisi, Jeimy, Joyce, Luana, Raphael e Teo pela convivência, pelas horas de estudos, pelos momentos de descontração e aos demais colegas do curso. A dona Salete e a Flávia por terem me acolhido em Lavras e pelos momentos de boas conversas.

Às demais pessoas que aqui não foram citadas, mas que contribuíram direta ou indiretamente para a efetivação dessa conquista.

RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito da idade e do sítio sobre a densidade básica da madeira e a produção de massa seca, além do ajuste de modelos estatísticos para a predição dessas características. Também foi verificado se a posição longitudinal de amostragem no DAP pode ser utilizada como referência para estimar a densidade básica média da árvore. Utilizou-se o clone de híbrido do *Eucalyptus urophylla* (GG 100), nas idades de quatro, cinco, seis, sete, oito e nove anos, proveniente de áreas de propriedade da Gerdau Florestal S.A., nos seguintes locais (macrossítios): João Pinheiro, Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias, no Estado de Minas Gerais, Brasil. Foram derrubadas cinco árvores por sublocal (microsítios), totalizando em 485 árvores. Retiraram-se discos a 2%, 10%, 30%, 50% e 70% da altura comercial e um disco extra no DAP. A partir dos dados de inventário florestal da empresa foi obtido o índice de sítio e o incremento volumétrico por área. A produção de massa seca foi obtida multiplicando-se IMA pela densidade básica. Foram utilizados diferentes modelos lineares para a estimativa da densidade básica e massa seca em função das características de crescimento da árvore, idade e índice de sítio. Adotou-se como critérios para a seleção dos modelos ajustados a significância da regressão e dos seus coeficientes, coeficiente de determinação corrigido, erro padrão residual, coeficiente de variação e dispersão gráfica dos resíduos padronizados. Os resultados indicaram o efeito significativo da interação local x idade na densidade básica e nas características de crescimento. A densidade básica apresentou relação negativa com o índice de sítio, ocorrendo o contrário para as características de crescimento. A posição longitudinal de amostragem DAP foi recomendada para a estimativa da densidade básica média aos quatro, seis e sete anos para João Pinheiro, Montes Claros e Rio Pardo de Minas, respectivamente; aos cinco, seis e oito anos para Sul de Minas e a partir de sete anos para Três Marias. Para a predição da densidade básica média da árvore e da densidade básica no DAP em função das características de crescimento e índice de sítio foi sugerido o modelo ajustado aos seis anos para João Pinheiro. A estimativa da densidade básica média por local foi mais adequada somente em João Pinheiro e Montes Claros. Os modelos para a estimativa do incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica no DAP e o obtido pela densidade básica média foram propostos somente para João Pinheiro, Três Marias e Montes Claros, em geral, aos cinco, seis, sete e oito anos. Outros modelos, incluindo o efeito da interação entre as variáveis regressoras e os modelos não lineares também podem ser testados.

Palavras-chave: Eucalipto. Qualidade da madeira. Biomassa. Modelagem.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of age and site over wood basic density and dry mass production, in addition of adjusting statistical models for predicting these characteristics. We also verified if the longitudinal diameter at breast (DBH) sampling may be used as a reference to estimate the average basic density of the tree. A *Eucalyptus urophylla* (GG 100) hybrid clone of was used at the ages of four, five, six, seven, eight and nine years, derived from areas owned by Gerdau Florestal S.A. in the following locations (macro-sites): João Pinheiro, Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Southern Minas Gerais and Três Marias, in the state of Minas Gerais, Brazil. Five trees were felled in each sub-location (micro-sites), in a total of 485 sampled trees. Discs of 2%, 10%, 30%, 50% and 70% were removed at commercial height and one extra at DBH. Forest inventory data were used to obtain the site index and volumetric increment per area. The dry mass production was obtained by multiplying the basic density by MAI. We used different linear models in order to estimate the basic density and dry mass in regard to growth, age and site index characteristics. We adopted regression significance and its coefficients, corrected coefficients of determination, residual standard error, coefficient of variation and graphic dispersion of patronized residue as selection criteria for the adjusted models. The results showed significant effect of the site x age interaction in basic density and growth characteristics of the tree. Basic density presented a negative relation with the site index, occurring the opposite for the growth characteristics. The longitudinal position of the DBH sampling was recommended to estimate the average basic density at four, six and seven years of age at João Pinheiro, Montes Claros and Rio Pardo de Minas, respectively; five, six and eight years of age at Southern Minas Gerais; and seven years of age at Três Marias. For the prediction of the average basic density of the trees and the DBH basic density in regard to the growth characteristics and site index we suggested the model adjusted to six years of age at João Pinheiro. The average basic density per site estimative was most suitable only in João Pinheiro and Montes Claros. The Models to predict the average annual increment in dry mass at DBH and that obtained by average basic density were proposed only for João Pinheiro, Três Marias and Montes Claros, generally, at five, six, seven and eight years of age. Other models, including the effect of the interaction between regressive variables and nonlinear models may also be tested.

Keywords: Eucalyptus. Wood quality. Biomass. Modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Distribuição geográfica dos locais selecionados para o estudo no Estado de Minas Gerais	27
Figura 2	Relação funcional entre volume e idades de quatro, cinco e seis anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição de resíduos (B).....	47
Figura 3	Relação funcional entre volume e idades de quatro, cinco e seis anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B).....	48
Figura 4	Relação funcional entre densidade básica obtida na altura do DAP (DBDAP) e idade (A) em João Pinheiro, com a distribuição dos resíduos (B)	49
Figura 5	Relação funcional entre densidade básica obtida na altura do DAP (DBDAP) e idades de quatro, cinco e seis anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B).....	49
Figura 6	Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idade (A) em João Pinheiro, com a distribuição dos resíduos (B)	50
Figura 7	Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idades de quatro, cinco e seis anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)	50
Figura 8	Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idades de quatro, cinco e seis anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)	51
Figura 9	Relação funcional entre volume e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)	58

Figura 10	Relação funcional entre volume e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)	58
Figura 11	Relação funcional entre densidade básica obtida na altura do DAP (DBDAP) e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Rio Pardo de Minas, com a distribuição dos resíduos (B).....	59
Figura 12	Relação funcional entre densidade básica obtida na altura do DAP (DBDAP) e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B).....	59
Figura 13	Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Rio Pardo de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)	60
Figura 14	Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B).....	60
Figura 15	Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)	61
Figura 16	Relação entre densidade básica média (DBMED) e idades de cinco, seis e sete anos (A) em Montes Claros, com a distribuição dos resíduos (B).....	65
Figura 17	Relação entre densidade básica média (DBMED) e idades de cinco, seis e sete anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)	66
Figura 18	Relação entre volume e idade (A) em Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B).....	67

Figura 19	Valores médios de densidade básica obtida na altura do DAP (DBDAP) em Sul de Minas e Três Marias	70
Figura 20	Relação funcional entre densidade básica obtida na altura do DAP - DBDAP e idade (A) em Sul de Minas e Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)	71
Figura 21	Relação entre volume e idades de quatro, cinco, seis, sete e oito anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)	73
Figura 22	Relação funcional entre volume e idades de quatro, cinco, seis, sete e oito anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)	73
Figura 23	Relação entre densidade básica média (DBMED) e idades de quatro, cinco, seis, sete e oito anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)	74
Figura 24	Relação entre densidade básica média (DBMED) e idades de quatro, cinco, seis, sete e oito anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)	74
Figura 25	Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 20 para a estimativa da densidade básica média (DBMED) a partir da obtida na altura do DAP - DBDAP	78
Figura 26	Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 24 para a estimativa da densidade básica média - DBMED	83
Figura 27	Relação entre os valores ajustados da densidade básica média (DBMED) e os observados em João Pinheiro (A), Montes Claros (B), Rio Pardo de Minas (C), Sul de Minas (D), Três Marias (E) e equação geral (F)	88

Figura 28	Resíduos das equações da estimativa da densidade básica média (DBMED) em João Pinheiro (A), Montes Claros (B), Rio Pardo de Minas (C), Sul de Minas (D), Três Marias (E) e equação geral (F)	89
Figura 29	Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 20 para a estimativa da densidade básica na altura do DAP – DBDAP	93
Figura 30	Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 17 para a estimativa do incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na altura do DAP – IMSDBD	97
Figura 31	Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 20 para a estimativa do incremento médio anual em massa seca obtido pela da densidade básica média - IMSDBM	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características dos locais selecionados ²	28
Tabela 2	Número de árvores amostradas por idade e por local	30
Tabela 3	Modelos de regressão lineares testados para a estimativa de densidade básica	34
Tabela 4	Modelos de regressão lineares testados para a estimativa do incremento médio anual em massa seca.....	35
Tabela 5	Valores médios de densidade básica estimada na altura do DAP e densidade básica média.....	38
Tabela 6	Valores médios das características de crescimento das árvores e produção de massa seca por área.....	40
Tabela 7	Resumo da análise de variância para as características de crescimento e densidade básica em João Pinheiro, Sul de Minas e Três Marias.....	44
Tabela 8	Valores médios das características de crescimento e da densidade básica em João Pinheiro, Sul de Minas e Três Marias.....	46
Tabela 9	Resumo da análise de variância para as características de crescimento e densidade básica em Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias.....	53
Tabela 10	Valores médios das características de crescimento e da densidade básica em Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias.....	55
Tabela 11	Resumo da análise de variância para as características de crescimento e densidade básica em Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias	63

Tabela 12	Valores médios da densidade básica em Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias	64
Tabela 13	Valores médios das características de crescimento em Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias.....	67
Tabela 14	Resumo da análise de variância para as características de crescimento e densidade básica em Sul de Minas e Três Marias....	69
Tabela 15	Valores médios das características de crescimento e da densidade básica média em Sul de Minas e Três Marias	72
Tabela 16	Modelo de regressão linear simples entre a densidade básica média e a obtida no DAP.....	75
Tabela 17	Modelos de regressão ajustados para a estimativa da densidade básica média	81
Tabela 18	Modelos de regressão ajustados para a estimativa da densidade básica média por local.....	87
Tabela 19	Modelos de regressão lineares ajustados para a estimativa da densidade básica obtida na altura do DAP	91
Tabela 20	Modelos de regressão para a estimativa do incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na altura do DAP.....	96
Tabela 21	Modelos de regressão lineares para a estimativa do incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média.....	100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Densidade básica	17
2.2	Massa seca	19
2.3	Idade	21
2.4	Sítio	23
2.5	Considerações gerais	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	Material biológico	26
3.2	Seleção das árvores	30
3.3	Características de crescimento vegetativo	31
3.4	Amostragem na madeira	32
3.5	Densidade básica	32
3.6	Análise estatística	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Densidade básica	37
4.2	Características de crescimento	39
4.3	Efeito da idade, local e interação local x idade	43
4.3.1	João Pinheiro, Sul de Minas e Três Marias	43
4.3.2	Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias	52
4.3.3	Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias	61
4.3.4	Sul de Minas e Três Marias	68
4.4	Modelagem da densidade básica	75
4.5	Modelagem da massa seca	95
5	CONCLUSÃO	104
	REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* possui um papel relevante no setor florestal brasileiro, sobretudo por atender à demanda de diversos segmentos industriais, em que a madeira é matéria-prima para geração de energia, indústrias de celulose e papel, painéis e obtenção de diversos produtos nas serrarias. Além disso, é uma fonte de matéria-prima alternativa à utilização das espécies florestais nativas, ajudando na preservação ambiental.

Em virtude da importância dessa matéria-prima, em 2012, segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, ABRAF (2013), a área ocupada por plantios com espécies e clones de *Eucalyptus*, totalizou em 5.102.030 ha, sendo que, em âmbito estadual, Minas Gerais é o detentor da maior área com 1.438.971 ha. Em Minas Gerais, a maior parte da área plantada é para suprir as demandas das empresas siderúrgicas que utilizam o carvão vegetal visando à redução do minério de ferro e à obtenção do ferro gusa.

O carvão vegetal é um produto dependente das propriedades da madeira que lhe dá origem. Portanto, é essencial para os empreendimentos florestais, com enfoque no carvoejamento, a avaliação da qualidade da madeira e também do potencial das florestas energéticas em termos de produção volumétrica e de biomassa. Dentro desse contexto, várias características da madeira devem ser analisadas tais como a densidade básica, o teor de lignina, minerais, umidade, dentre outros visando a sua caracterização para essa finalidade.

A densidade básica influencia a qualidade do carvão vegetal produzido e o rendimento da carbonização. Além disso, é possível, a partir de sua determinação, a conversão do incremento volumétrico em massa seca, logo, deve ser avaliada quando se deseja conhecer a aptidão de uma espécie ou clone para fins energéticos. Igualmente, a estimativa de massa seca ou de biomassa, além de ser importante para produção de carvão vegetal, é fundamental para as

decisões no manejo florestal e para estudos de sequestro de carbono. É imprescindível sua estimativa a fim de permitir o conhecimento da quantidade de material a ser produzido por área.

Todavia, a densidade básica, o incremento volumétrico e a massa seca podem ter seus valores modificados por fatores como idade e sítio. Com o incremento da idade, ocorre um aumento da densidade básica e das características de crescimento. Entretanto, devido à seleção genética de materiais mais produtivos, há uma tendência de redução da rotação principalmente pelas empresas do setor siderúrgico. Este fato está relacionado ao aumento do diâmetro das toras, que dificulta a operação de transformação em carvão vegetal. O sítio influencia diretamente as características de crescimento da planta, na formação da madeira e, conseqüentemente, na densidade básica.

Dessa forma, há a necessidade de se investigar a variação da densidade básica e da produção de massa seca em diferentes idades e sítios, visando identificar os locais produtivos e a relação entre a produtividade e a idade da floresta. A análise dessa relação permitirá obter informação sobre a madeira de melhor qualidade para a finalidade desejada, além de auxiliar na tomada de decisão sobre a necessidade de possíveis intervenções nos povoamentos. Este fato contribui para um melhor planejamento da empresa florestal, reduzindo o desperdício dos recursos florestais e proporcionando a obtenção de mais lucros.

Nesse contexto, o trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da idade e do sítio sobre a densidade básica da madeira e a produção de massa seca de um clone de híbrido do *Eucalyptus urophylla*. Além disso, objetivou-se também verificar se a posição longitudinal de amostragem a 1,30 m de altura pode ser utilizada como ponto ótimo ou de referência para a estimativa da densidade básica média da árvore; estimar a densidade básica e a produção de massa seca em função das características de crescimento da árvore, índice de sítio e idade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A madeira, como material heterogêneo, apresenta variações nas suas propriedades, ocorrendo entre diferentes materiais genéticos, dentro de uma mesma árvore, idade e sítios. A densidade básica e a produção de massa seca de madeira sofrem variações devido a esses fatores, o que pode trazer consequências na produção e na qualidade do produto final. A variabilidade pode ser vantajosa quando ocorre entre espécies ou diferentes materiais genéticos, auxiliando na seleção, ou, ao ocorrer dentro de uma mesma espécie, pode ser um fator limitante para determinado tipo de uso da madeira.

2.1 Densidade básica

Segundo a Comisión Panamericana de Normas Técnicas, COPANT (1972), a densidade básica da madeira é a razão entre a massa absolutamente seca (madeira anidra) e o volume verde, determinado na umidade acima do ponto de saturação das fibras. A densidade básica é uma densidade aparente, a qual é obtida com a inclusão de volume dos poros (VITAL, 1984).

A densidade básica é uma das propriedades mais relevantes da madeira, sendo considerada como índice de qualidade. Isso porque a densidade básica está correlacionada com diversas outras propriedades da madeira, uma vez que seu valor é influenciado pelo comprimento das células, espessura da parede celular, diâmetro do lume e quantidade de elementos de vasos (PANSHIN; DE ZEEUW, 1964). Alguns componentes químicos também podem exercer influência no seu valor, como teores de holocelulose, de lignina e de extrativos (ONA et al., 1997; TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

Para fins práticos, a densidade básica pode ser indicadora do uso final de produtos madeireiros. A partir de sua determinação, é possível indicar a produtividade florestal por meio da estimativa de massa seca por área, sendo importante em termos de transporte e armazenamento (SILVA, 1984, citado por TRUGILHO et al., 1990). Acrescenta-se que ela é a propriedade mais relevante no que se refere à qualidade e rendimento dos produtos finais como celulose, produtos sólidos e produção de energia (ZOBEL; JETT, 1995).

Em programas de melhoramento genético, a densidade básica é uma variável que pode ser utilizada para a seleção de clones superiores. Rodrigues et al. (2008) encontraram 96% de herdabilidade para a densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus* spp., logo, a seleção de clones superiores permitirá ganhos genéticos expressivos. Resultado similar foi encontrado por Lima, Breese e Cahalan (2000) ao determinar a herdabilidade de clones, obtidos a partir de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla*, plantados em dois sítios. No entanto, quando analisada em quatro sítios, o valor encontrado foi de 64%.

Apesar de sua importância, a densidade básica pode assumir diferentes padrões de variação no fuste, o que limita a qualidade da madeira para determinado uso. As variações na madeira podem ocorrer entre árvores, dentro da própria árvore, isto é, variação no sentido longitudinal e radial, variações entre idades, sítios e áreas geográficas (ZOBEL; TALBERT, 1991).

De acordo com Downes et al. (1997), as diversas formas de amostragem utilizadas para a determinação das propriedades da madeira contribuem para limitar uma elaboração conclusiva sobre o padrão geral de variação. Os autores, analisando resultados existentes na literatura com espécies do gênero *Eucalyptus*, concluíram que a variação longitudinal da densidade básica, isto é, base em direção ao topo da árvore, pode aumentar, diminuir, ter um decréscimo inicial seguido de aumento ou não alterar com a altura da árvore. De modo

análogo, a variação radial pode em algumas espécies aumentar, aumentar com um decréscimo inicial ou diminuir a partir da medula em direção à casca.

A variação longitudinal pode limitar a obtenção de um ponto ótimo de amostragem que represente a densidade básica média da árvore. Para Foelkel, Mora e Menochelli (1990), um equívoco bastante comum na determinação é o de considerar o valor da densidade básica a 1,30 m de altura como o valor da densidade básica média para a árvore inteira, o que, segundo os autores, implica erros principalmente na estimativa da massa seca dos povoamentos florestais. Não obstante, alguns trabalhos apresentaram elevadas correlações entre a densidade básica a 1,30 m de altura e valores ponderados para a árvore inteira, como na pesquisa realizada por Raymond et al. (1997), citado por Downes et al. (1997), com *Eucalyptus regnans*, com nove anos. Os autores encontraram a correlação de 0,82, sendo recomendada que a amostragem em altura fixa para essa espécie, nas condições de estudo e idade, seja realizada a 1,30 m.

2.2 Massa seca

De acordo com Odum (1975), biomassa constitui na quantidade de matéria orgânica e pode ser expressa como massa seca, massa úmida e massa de carbono. A massa seca é o termo mais comumente atribuído à biomassa, a qual se refere a qualquer parte da árvore, inclusive o fuste, consoante com Campos e Leite (2009).

A estimativa de massa seca de madeira é imprescindível quando esta é destinada à produção energética, seja para lenha ou para carvão vegetal, fabricação de celulose e papel e chapas de fibras. Esta estimativa pode ser utilizada por diversas empresas do setor florestal com a finalidade de prever a quantidade de produtos a ser gerada, por material genético e por área (TRUGILHO, 2009).

Para a seleção de espécies com a qualidade desejável à conversão energética, a produção de massa seca é um parâmetro essencial. Em estudo realizado por Trugilho et al. (2001), que avaliaram sete clones de *E. grandis* e três de *Eucalyptus saligna*, aos sete anos, potenciais à produção de carvão vegetal, verificaram que a produção de massa seca foi um fator determinante para essa finalidade. Os autores sugeriram que as características de crescimento e a estimativa de massa seca passem a ser utilizadas nas pesquisas sobre a avaliação da qualidade da madeira, quando esta se destina ao uso energético.

Em programas de melhoramento genético de espécies florestais, a massa seca apresenta significativa relevância, principalmente, em virtude da elevada herdabilidade com a seleção do material genético. Botrel et al. (2007), em estudos com clones de *Eucalyptus*, obtidos a partir dos cruzamentos entre *Eucalyptus tereticornis* com *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus camaldulensis* com *E. grandis*, obtiveram, para essa característica, 83,50% e 27,58% para herdabilidade e ganho genético, respectivamente. Este resultado indica que a massa seca pode ser controlada geneticamente, possibilitando ganhos bem expressivos com a seleção.

Existem alguns procedimentos para a sua determinação, como a quantificação direta, obtida pela pesagem ou por meio da determinação da densidade básica e do incremento volumétrico, e a quantificação indireta, a partir do ajuste de modelos de regressão, lineares ou não lineares (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2006).

Zobel et al. (1960), citado por Rosot (1980), estimou o rendimento em massa seca de madeira de 21 povoamentos, em toneladas por acre, por meio de equação de regressão que possuía variáveis independentes como área basal, índice local e idade. Por sua vez, Santana (2009), avaliando o crescimento e a produção da madeira de um clone de *E. grandis* e *E. urophylla*, utilizou um modelo linear múltiplo para estimar a massa seca por árvore a partir de variáveis

como idade e centro da classe de diâmetro. A possibilidade de estimativas de modelos de regressão para a massa seca se deve à sua elevada correlação com as características de crescimento da árvore, como altura total e DAP, em concordância com resultados de pesquisa com clones de *Eucalyptus* realizada por Trugilho et al. (2001).

2.3 Idade

A idade é uma das principais variáveis responsáveis pelas alterações existentes na madeira. As variações nas propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira entre espécies são de magnitudes expressivas, no entanto, dentro de uma mesma espécie, elas ocorrem também em razão do efeito da idade, da genética e do ambiente (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

As variações na madeira produzidas em cada ano ocorrem em virtude da modificação do tecido cambial com a idade da árvore. Portanto, a madeira formada nos primeiros anos de vida difere da madeira produzida em anos posteriores (FERREIRA; KAGEYAMA, 1978).

Segundo Jankowsky (1979), a duração do período juvenil depende da espécie. No caso de algumas espécies do gênero *Eucalyptus*, essa fase pode ser superior há vinte anos.

Na fase juvenil, há crescente taxa de incorporação da biomassa, com rápido aumento da densidade e do comprimento da fibra até que a árvore atinja a fase adulta, em que os valores tendem a permanecer constantes (JANKOWSKY, 1979). A taxa de variação da massa seca, isto é, a taxa de incorporação da biomassa, sintetizada com a idade é caracterizada como ritmo de crescimento, o qual está em função das condições climáticas, edáficas e genéticas (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

A densidade básica, geralmente, eleva-se com o aumento da idade. Alguns estudos reportam este comportamento, dentre eles citam-se os trabalhos de Kumar et al. (2011), Lemenih e Bekele (2004) e Santana et al. (2012). Em conformidade com Foelkel et al. (1976), o aumento da espessura da parede celular e da proporção de lenho tardio com o envelhecimento da árvore, ocasiona o incremento da densidade básica. Além das alterações anatômicas, as modificações nas características químicas da madeira com a idade também podem resultar na variação dos valores da densidade básica.

Em pesquisa com *E. saligna*, nas idades de um, dois, três e quatro anos, Trugilho, Lima e Mendes (1996) constataram, apesar de o material ser jovem, que o aumento da densidade básica da madeira com a idade foi correlacionado com a redução dos teores de lignina e de extrativos e com o aumento do teor de holocelulose. Segundo os autores, o incremento da densidade básica também foi correlacionado significativamente com as características dimensionais das fibras, acompanhado pelo aumento do comprimento, da espessura e da largura das mesmas.

Da mesma forma, a produção de massa seca de madeira apresenta uma tendência de aumentar com o incremento da idade, conforme verificado por Santana et al. (2012), em estudo sobre o efeito da idade nas propriedades da madeira do clone de *E. urophylla* e *E. grandis*.

Apesar da existência das modificações na madeira com a idade da árvore, a definição da idade de corte de um povoamento tem sido com base na produção volumétrica, muitas vezes, sem considerar a qualidade da madeira produzida. Uma tendência das empresas, em especial aquelas relacionadas à produção de carvão vegetal, é a redução da idade de corte. Porém deve-se saber o quanto pode reduzi-la para não limitar a potencialidade da madeira para fins energéticos (OLIVEIRA et al., 2010).

Para Trugilho, Lima e Mendes (1996), a determinação da idade em que os valores das características da madeira se estabilizam e, por consequência, o momento em que a árvore passa para a fase adulta é importante para diversas áreas, como o melhoramento genético e a tecnologia de produtos florestais.

2.4 Sítio

Conforme definição de Spurr e Barnes (1980), sítio ou local é a soma de fatores ambientais, bióticos e edáficos que circundam as árvores em uma área florestal.

Em consonância com Clutter et al. (1983), a qualidade do sítio, ou capacidade produtiva do sítio, é definida como o potencial de produção de madeira para uma espécie em particular ou determinado tipo de formação florestal. A capacidade produtiva diz respeito à predição da quantidade de madeira, fibra ou biomassa que o local pode fornecer sob determinado regime de manejo (DAVIS et al., 2001).

O sítio pode ser classificado indiretamente por meio da avaliação de fatores topográficos e edafoclimáticos, vegetação indicadora, entre outros. No entanto, a capacidade produtiva do sítio é mais comumente determinada diretamente por meio de avaliação quantitativa denominada de índice de sítio ou índice local. Este índice é quantificado a partir de dados da altura dominante e co-dominante média das árvores em uma idade de referência, também denominada de idade índice ou idade base, que geralmente é próxima da idade de rotação da floresta. Em prática, o índice de sítio indica a expectativa do desenvolvimento em altura que o povoamento terá no índice determinado (CLUTTER, 1983). A classificação do local também pode ser indicada em classes, normalmente representada por numerais romanos, indicando sua

qualidade, por exemplo, o sítio de classe I é melhor do que o de classe II e assim sucessivamente (DAVIS; JOHNSON, 1987).

A capacidade produtiva do sítio é uma das causas das variações na formação da madeira. Desse modo, a qualidade da madeira pode estar relacionada com o crescimento das árvores. Locais considerados como bons podem favorecer a produção de madeira com características de árvores de rápido crescimento, enquanto que nos piores locais a madeira formada possui características de árvores de crescimento lento (LARSON et al., 2001). A velocidade de crescimento influencia a formação da madeira juvenil e adulta, as alterações nas dimensões das fibras e, conseqüentemente, a densidade básica. No entanto, alguns resultados disponíveis na literatura são divergentes em relação ao incremento da densidade básica quanto à capacidade produtiva do sítio.

Raymond e Muneri (2001), em trabalho com as espécies de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens*, aos cinco, sete e nove anos, observaram variação nos valores de densidade básica em função da qualidade de sítio, o qual foi classificado com base no tipo de solo, na altitude e no regime pluviométrico. Os autores observaram que os valores de densidade básica média das árvores, na mesma idade, nos locais de pior qualidade, foram maiores em comparação com locais de melhor qualidade. Para Vital (1984), elevados incrementos na taxa de crescimento originados por alterações no clima ou índice de sítio podem causar reduções na densidade básica.

De modo antagônico, Quilhó e Pereira (2001), em estudos com a madeira de *E. globulus*, aos 15 anos, constataram que no melhor local foi registrado maior valor de densidade básica, comparado com o sítio classificado como ruim, em classificação baseada nas características edafoclimáticas e dendrométricas. Neste trabalho, a densidade básica não foi correlacionada com o crescimento das árvores.

Segundo Downes et al. (1997), a variação existente entre árvores e dentro da própria árvore para o gênero *Eucalyptus* pode ser mais expressiva do que a variabilidade observada entre sítios.

2.5 Considerações gerais

Os resultados existentes na literatura apontam que a influência da idade na densidade básica e massa seca de madeira estão consolidadas. No entanto, deve ser ressaltado que o efeito da capacidade produtiva do sítio pode provocar modificação na estabilidade da densidade básica da madeira com o aumento da idade do material genético.

Quanto ao efeito da capacidade produtiva do sítio sobre a densidade básica, os resultados das pesquisas são divergentes. Por outro lado, há de se considerar a variabilidade existente para as espécies do gênero *Eucalyptus*, o que pode influenciar no resultado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia consistiu nas etapas de seleção do material biológico, na avaliação das características de crescimento vegetativo, na amostragem da madeira, na determinação da densidade básica e estimativa de massa seca e na análise estatística, sendo detalhadas a seguir.

3.1 Material biológico

Foi utilizado o clone GG 100, híbrido natural obtido a partir do cruzamento do *E. urophylla*, aos quatro, cinco, seis, sete, oito e nove anos, proveniente de áreas de plantio comercial pertencentes ao grupo Gerda Florestal S.A. O espaçamento de plantio foi de 3,0 m x 3,0 m (9 m²/planta), com densidade de plantio de 1.111 plantas/ha. O clone GG 100 tem procedência no município de Itamarandiba, Minas Gerais, com origem em Flores, Indonésia.

As árvores foram oriundas de cinco locais (macrossítios), a saber: João Pinheiro, Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias, localizados no Estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1). As informações quanto à região de abrangência e as características edafoclimáticas dos locais selecionados estão apresentadas na Tabela 1.

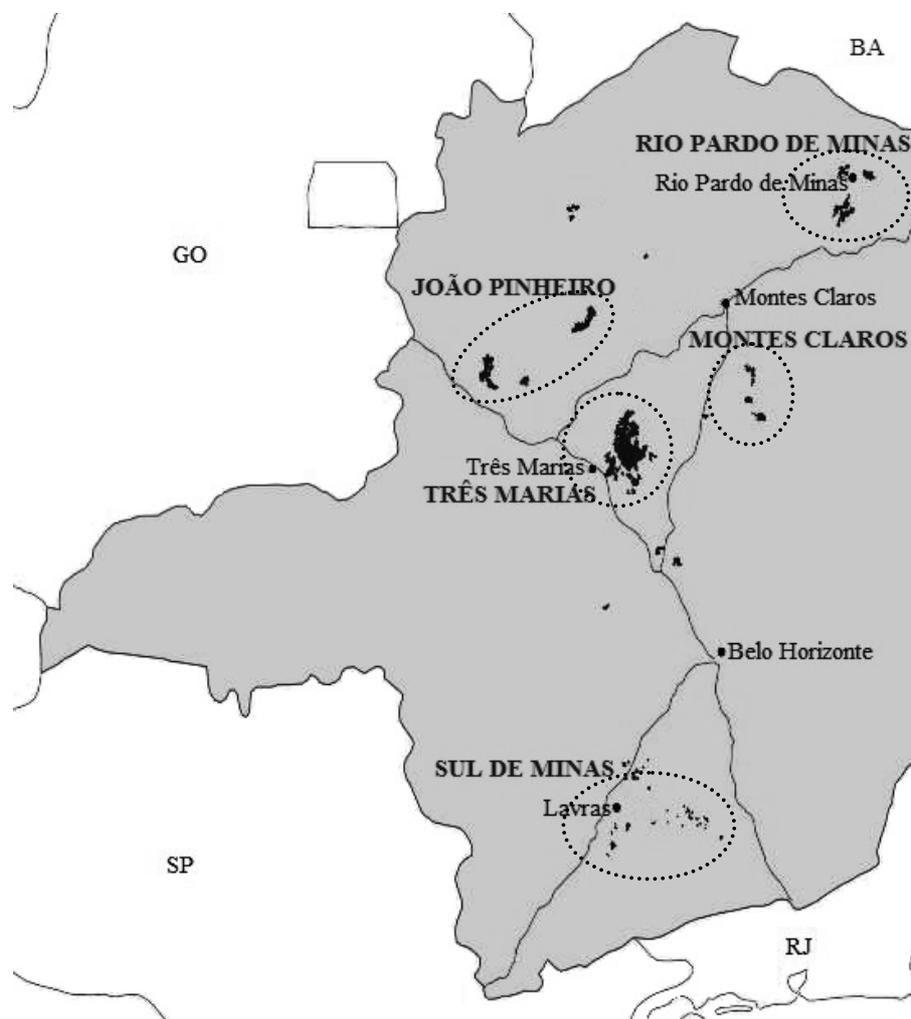


Figura 1 Distribuição geográfica dos locais selecionados para o estudo no Estado de Minas Gerais¹

¹ Comunicação pessoal. GOMES, Francisco. Disponível em: <francisco.gomes@gerdau.com.br>. Acesso em: 18 maio 2012

Tabela 1 Características dos locais selecionados²

Local	Latitude e longitude	Região de abrangência	Mesorregião ³	Tipo de solo	Tipo climático ⁴	Temp. (°C)	Ppt. (mm)	Alt. (m)
João Pinheiro	17°18'45''S 46°11'15''O	Buritizeiro e João Pinheiro	Norte de Minas e Noroeste de Minas	Latossolo vermelho-amarelo e neossolos	Aw (tropical chuvoso)	23	1190	644
Montes Claros	17°48'26''S 43°26'51''O	Entre e Bocaiuva e Diamantina	Norte de Minas e Jequitinhonha	Latossolos e podzólicos	Aw (úmido a semiárido)	23	1355	983
Rio Pardo de Minas	15°37'30''S 42°35'13''O	Rio Pardo de Minas	Norte de Minas	Latossolo vermelho-amarelo álico a distrófico	Aw e Cwb (tropical sazonal com inverno seco)	23	847	853
Sul de Minas	20°56'15''S 45°18'45''O	Madre de Deus de Minas, São Tiago, Oliveira, Santo Antônio do Amparo, São Bento do Abade e Três Corações	Campo das Vertentes, Oeste de Minas e Sul/Sudeste de Minas	Latossolos e podzólicos	Cwa e Cwb (temperado úmido com inverno seco)	18	1617	925

² Comunicação pessoal. GOMES, Francisco. Disponível em: francisco.gomes@gerdau.com.br . Acesso em: 18 maio 2012.

³ Classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

⁴ Classificação climática de Köppen

“Tabela 1, conclusão”

Local	Latitude e longitude	Região de abrangência	Mesorregião	Tipo de solo	Tipo climático	Temp. (°C)	Ppt. (mm)	Alt. (m)
Três Marias	17°58'39"S 44°55'06"O	Corinto, Lassence, Três Marias e Várzea da Palma	Central Mineira e Norte de Minas	Latossolo vermelho-amarelo álico e distrófico	Aw (tropical semiúmido)	23	1242	946

Temp. = Temperatura média anual; Ppt. = Precipitação total anual; Alt. = Altitude média.

Fonte: Agriempo (2013); Embrapa Informática Agropecuária (2013); Instituto de Geociências Aplicadas – IGA (2013); Miranda (2005); Sá Júnior et al. (2012)

3.2 Seleção das árvores

Dentro de cada local, foram selecionadas cinco árvores por sublocal (microsítio), que se diferenciou foi o sublocal entre a fazenda onde o plantio está inserido, o número do talhão e o número da parcela. A seleção das árvores foi baseada na aproximação do valor do diâmetro à altura do peito (DAP), a 1,30 m de altura, com o DAP médio da parcela amostrada, obtido no inventário florestal, ao mesmo tempo, evitou-se escolher as árvores próximas da bordadura do plantio. Em função das condições pré-estabelecidas e das informações repassadas pela Gerdau Florestal S.A., foram amostrados 97 sublocais, portanto 485 árvores foram selecionadas para a amostragem (Tabela 2). As árvores foram escolhidas em função da idade e do incremento médio anual volumétrico (IMA) do sublocal (microsítio).

Tabela 2 Número de árvores amostradas por idade e por local

Idade (anos)	João Pinheiro	Montes Claros	Rio Pardo de Minas	Sul de Minas	Três Marias	Total
4	25	-	-	35	20	80
5	20	25	10	30	30	115
6	10	10	25	35	20	100
7	-	10	25	35	30	100
8	-	-	15	20	30	65
9	-	-	-	-	25	25
Total	55	45	75	155	155	485

3.3 Características de crescimento vegetativo

As árvores amostradas foram derrubadas para a mensuração das alturas total e comercial, considerada até o diâmetro mínimo com casca de 4,0 cm. Foram também mensurados os diâmetros referentes à região do DAP. O volume total individual das árvores, fornecido pela Gerdau Florestal S.A., foi quantificado pelo produto do fator de forma, da altura total e da área seccional a 1,30 m.

O índice de sítio foi determinado de acordo com a equação 1.

$$S = \frac{\overline{\text{HDC}} \left(1 + \exp\left(\frac{32 - I}{11}\right) \right)}{1 + \exp\left(\frac{32 - I_{\text{ref}}}{11}\right)} + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que, S é o índice de sítio (m); $\overline{\text{HDC}}$ é a altura média dominante e co-dominante (m); I é a idade (meses); \exp = exponencial; I_{ref} é a idade de referência, nesse caso adotou-se a idade de 72 meses; 32 e 11 são os parâmetros ajustados; ε_i = variável erro.

A estimativa de incremento médio anual em massa seca foi obtido pela equação 2.

$$\text{IMS} = \text{IMA} \times \text{DB} \quad (2)$$

em que, IMS é a estimativa de incremento médio anual em massa seca (kg/ha.ano); IMA é o incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano) e DB é a densidade básica no DAP ou densidade básica média da árvore (kg/m³).

3.4 Amostragem na madeira

A amostragem longitudinal consistiu na remoção de discos de 2,5 cm de espessura a 2%, 10%, 30%, 50% e 70% da altura comercial, conforme a recomendação de Downes et al. (1997). Foi retirado também um disco extra na altura correspondente a 1,30 m de altura. Todos os discos foram identificados e devidamente acondicionados e encaminhados para o laboratório de Energia da Biomassa Florestal, do Departamento de Ciências Florestais, da Universidade Federal de Lavras.

3.5 Densidade básica

Os discos foram seccionados em quatro cunhas, passando pela medula. Para a determinação da densidade básica, foram utilizadas duas cunhas opostas, sendo as restantes guardadas para uso posterior, caso necessário.

A densidade básica foi determinada pelo método de imersão em água, em conformidade com a norma NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT (2003). A densidade básica média por posição de amostragem longitudinal foi obtida por meio da média aritmética da densidade básica de duas cunhas opostas. Por sua vez, a densidade básica média da árvore foi considerada como a média aritmética dos valores de densidades obtidos em cada posição de amostragem longitudinal, desconsiderando a posição do DAP.

3.6 Análise estatística

A avaliação experimental foi realizada por meio do delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, com cinco repetições, conforme o modelo estatístico geral descrito na equação 3.

$$Y_{ijk} = \mu + S_{ik} + I_{jk} + (S \times I)_{ijk} + \varepsilon_{ijk} \quad (3)$$

em que, Y_{ijk} é o valor observado que recebeu o efeito do i -ésimo nível do fator sítio, o efeito do j -ésimo nível do fator idade, na k -ésima repetição; μ é a média geral; S_{ik} é o efeito do i -ésimo nível do fator local (macrossítio), efeito fixo; I_{jk} é o efeito do j -ésimo nível do fator idade, efeito fixo; $(S \times I)_{ijk}$ é o efeito da interação entre S_{ik} e I_{jk} , efeito aleatório; ε_{ijk} é o erro experimental, com a suposição de ter distribuição normal, independência e variância comum.

Para avaliar o efeito dos fatores principais (local e idade) e da interação, os locais foram agrupados em relação às idades de avaliação, uma vez que estas foram divergentes entre os mesmos. Dessa forma, foi possível analisar o efeito de três locais em três e quatro idades, quatro locais e três idades e dois locais e cinco idades.

Na avaliação do efeito do local, por ser uma variável qualitativa, foi utilizado o teste de Tukey, como teste de comparação múltipla de médias. Já no efeito da idade, que é uma variável quantitativa, utilizou-se a análise de regressão linear, para verificar a relação funcional existente entre a idade e as características analisadas, com exceção do IMA, incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na posição do DAP (IMSDBD) e o obtido pela densidade básica média (IMSDBM).

Foi realizada a regressão linear simples, em cada idade, para a estimativa da densidade básica média da árvore (DBMED) em função da

densidade básica estimada na altura do DAP (DBDAP), por idade considerada. Além disso, foram testados modelos lineares simples e múltiplos para a estimativa da DBDAP, DBMED, IMSDBD e IMSDBM, em relação às características de crescimento da árvore, ao índice de sítio e à idade (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3 Modelos de regressão lineares testados para a estimativa de densidade básica

Nome do modelo linear	Modelo de regressão linear
	<u>Por idade</u>
Simple	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 S_i + \varepsilon_i$
	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{IMAm}_i + \varepsilon_i$
Potencial	$\log Y_i = \log \beta_0 + \beta_1 \log S_i + \log \varepsilon_i$
	$\log Y_i = \log \beta_0 + \beta_1 \log \text{IMAm}_i + \log \varepsilon_i$
Polinomial de segundo grau (quadrático)	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 S_i + \beta_2 S_i^2 + \varepsilon_i$
	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{IMAm}_i + \beta_2 \text{IMAm}_i^2 + \varepsilon_i$
Raiz quadrada	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 S_i^{0.5} + \beta_2 S_i + \varepsilon_i$
	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{IMAm}_i^{0.5} + \beta_2 \text{IMAm}_i + \varepsilon_i$
Polinomial de terceiro grau (cúbico)	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 S_i + \beta_2 S_i^2 + \beta_3 S_i^3 + \varepsilon_i$
	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{IMAm}_i + \beta_2 \text{IMAm}_i^2 + \beta_3 \text{IMAm}_i^3 + \varepsilon_i$
Cúbico-raiz	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 S_i^{0.5} + \beta_2 S_i + \beta_3 S_i^{1.5} + \varepsilon_i$
	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{IMAm}_i^{0.5} + \beta_2 \text{IMAm}_i + \beta_3 \text{IMAm}_i^{1.5} + \varepsilon_i$
	<u>Por idade e equação geral</u>
Múltiplo	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{HT}_i + \beta_2 \text{IMAm}_i + \varepsilon_i$
Múltiplo	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP}_i + \beta_2 \text{HT}_i + \beta_3 \text{IMAm}_i + \varepsilon_i$
Múltiplo	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP}_i + \beta_2 \text{HT}_i + \beta_3 S_i + \varepsilon_i$
	<u>Equação geral</u>
Simple	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 I_i + \varepsilon_i$
Múltiplo	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 I_i + \beta_2 S_i + \varepsilon_i$
Múltiplo	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 I_i + \beta_2 \text{DAP}_i + \beta_3 \text{HT}_i + \varepsilon_i$
Múltiplo	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{IMAm}_i + \beta_2 \text{HT}_i + \varepsilon_i$

“Tabela 3, conclusão”

Nome do modelo linear	Modelo de regressão linear
	<u>Por local</u>
Múltiplo	$DBMED_i = \beta_0 + \beta_1 DBDAP_i + \beta_2 S_i + \beta_3 I_i + \varepsilon_i$
Múltiplo	$DBMED_i = \beta_0 + \beta_1 DBDAP_i + \beta_2 IMAm_i + \varepsilon_i$

Y_i = densidade básica estimada na altura do DAP ou densidade básica média da árvore (g/cm^3); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parâmetros dos modelos lineares a serem estimados; ε_i = variável erro; S_i = índice de sítio (m); $IMAm_i$ = média aritmética do incremento médio anual volumétrico ($m^3/ha.ano$); \log = logaritmo natural; HT_i = altura total (m); DAP_i = diâmetro a 1,30 m de altura (cm); I_i = idade (anos); $DBMED_i$ = densidade básica média (g/cm^3); $DBDAP_i$ = densidade básica estimada na altura do DAP (g/cm^3).

Tabela 4 Modelos de regressão lineares testados para a estimativa do incremento médio anual em massa seca

Nome do modelo linear	Modelo de regressão linear
	<u>Por idade</u>
Simple	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 S_i + \varepsilon_i$
Potencial	$\log Y_i = \log \beta_0 + \beta_1 \log S_i + \log \varepsilon_i$
Polinomial de segundo grau (quadrático)	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 S_i + \beta_2 S_i^2 + \varepsilon_i$
Raiz quadrada	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 S_i^{0.5} + \beta_2 S_i + \varepsilon_i$
Polinomial de terceiro grau (cúbico)	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 S_i + \beta_2 S_i^2 + \beta_3 S_i^3 + \varepsilon_i$
Cúbico-raiz	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 S_i^{0.5} + \beta_2 S_i + \beta_3 S_i^{1.5} + \varepsilon_i$
	<u>Por idade e equação geral</u>
Múltiplo	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i + \beta_2 HT_i + \varepsilon_i$
Múltiplo	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i + \beta_2 HT_i + \beta_3 S_i + \varepsilon_i$

Y_i = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na altura do DAP ou pela densidade básica média da árvore ($kg/ha.ano$); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parâmetros dos modelos lineares a serem estimados; ε_i = variável erro; S_i = índice de sítio (m); \log = logaritmo natural; DAP_i = diâmetro a 1,30 m de altura (cm); HT_i = altura total (m).

Utilizou-se também o teste de identidade de modelos lineares, conforme Regazzi (1993), para os modelos lineares simples na estimativa da DBMED a partir da DBDAP, além dos múltiplos, com diferentes variáveis regressoras, ajustados por idade. O teste foi aplicado com a finalidade de verificar se os

parâmetros do modelo ajustado por idade são idênticos aos ajustados para a equação geral, independente da idade.

A escolha do modelo de regressão linear foi realizada com base nos seguintes critérios: significância da regressão e dos seus coeficientes, coeficiente de determinação ajustado, erro padrão residual, coeficiente de variação do modelo e distribuição gráfica dos resíduos padronizados.

Para avaliar a significância da análise de variância do delineamento experimental adotado e da regressão foi utilizado o teste F, enquanto que para a significância dos parâmetros do modelo linear ajustado, empregou-se o teste t de Student, ambos a 5% de probabilidade.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no Sisvar e no SAEG.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do efeito da idade e do local sobre as características de crescimento e produção e a densidade básica da madeira, além da modelagem serão abordados a seguir.

4.1 Densidade básica

Os valores médios da densidade básica da madeira estão apresentados na Tabela 5. Os valores de DBDAP foram bem semelhantes aos da DBMED. Entretanto, as estimativas da DBDAP foram de magnitude menor em comparação com a DBMED, em todos os locais e idades. Esse resultado pode ser atribuído à diferença na quantidade de amostras necessárias para a determinação das densidades ou em virtude da variação longitudinal, visto que a posição de amostragem da DBDAP foi diferente da DBMED.

Tabela 5 Valores médios de densidade básica estimada na altura do DAP e densidade básica média

Sítio	Idade (anos)	DBDAP (g/cm ³)	CV(%)	DBMED (g/cm ³)	CV(%)
João Pinheiro	4	0,416	6,35	0,437	5,65
	5	0,428	6,31	0,438	4,30
	6	0,461	6,83	0,472	5,04
Montes Claros	5	0,476	4,48	0,491	2,42
	6	0,500	3,93	0,525	2,89
	7	0,490	1,95	0,517	1,62
Rio Pardo de Minas	5	0,450	6,39	0,476	2,90
	6	0,469	8,33	0,484	3,09
	7	0,473	4,96	0,489	6,43
	8	0,510	2,21	0,520	1,97
Sul de Minas	4	0,387	6,24	0,409	3,36
	5	0,437	11,79	0,457	8,41
	6	0,445	6,20	0,462	5,53
	7	0,425	3,94	0,449	3,53
	8	0,463	9,99	0,478	8,92
Três Marias	4	0,448	7,20	0,456	2,93
	5	0,454	4,48	0,469	3,54
	6	0,472	13,46	0,479	4,41
	7	0,472	5,75	0,491	4,60
	8	0,470	5,73	0,481	2,90
	9	0,519	5,03	0,524	5,67

DBDAP = densidade básica estimada na altura do DAP; DBMED = densidade básica média; CV = coeficiente de variação.

Verifica-se na Tabela 5, em geral, um aumento dos valores médios de densidade básica com o incremento da idade, o que era esperado. As variações na espessura das paredes das fibras e modificações nos componentes químicos, em virtude da transição entre a madeira juvenil e adulta, são responsáveis pelo

incremento da densidade básica com o aumento da idade. É possível observar também uma tendência de maior taxa de incremento da densidade básica nas árvores mais jovens.

Santana et al. (2012), estudando o efeito da idade sobre a densidade básica da madeira do clone GG 100, encontraram valores de 0,365 a 0,452 g/cm³, os quais foram crescentes nas idades de 34, 48, 61, 74 e 86 meses. Castro (2011) também observou aumento da densidade básica com a idade de diferentes materiais genéticos, entre eles o clone GG 100, cujos valores médios variaram de 0,450 a 0,520 g/cm³ aos três, quatro, cinco e sete anos. De modo geral, esses valores estão de acordo com os encontrados neste trabalho.

Com base nos resultados da densidade básica, o clone se caracteriza como de baixa densidade, o que compromete o seu potencial para a produção energética, exceto nas idades mais elevadas. Para isso, é desejável madeira mais densa, visto que proporcionará um carvão vegetal com maior densidade aparente. Entretanto, ressalta-se que outras características da madeira também exercem influência na qualidade do carvão produzido como, por exemplo, o teor de lignina.

4.2 Características de crescimento

Os valores médios das características de crescimento das árvores amostradas encontram-se na Tabela 6. Pode-se verificar, de modo geral, que Sul de Minas e Três Marias apresentaram maiores valores para todas as características de crescimento e produção de massa seca, mostrando que o clone plantado nesses locais apresentou melhor potencial para fins energéticos. É fundamental para essa finalidade que as árvores apresentem elevado incremento volumétrico e por consequência elevada produção de massa seca, uma vez que a produção de massa seca influencia a produção energética. Além dessa

informação, é necessária a avaliação da qualidade da madeira para a produção de carvão vegetal.

Tabela 6 Valores médios das características de crescimento das árvores e produção de massa seca por área

Idade	DAP	HT	S	Volume	IMA	IMSDBD	IMSDBM
<u>João Pinheiro</u>							
4	13,4	22,1	35,6	165,22	40,70	17228,42	18090,95
CV(%)	14,32	9,53	14,10	34,44	35,93	40,37	40,02
5	12,1	22,0	27,0	133,84	25,70	11027,01	11363,57
CV(%)	18,40	13,52	11,70	46,05	43,82	44,31	45,71
6	13,4	23,6	25,7	158,81	26,47	12299,27	12598,52
CV(%)	6,65	3,02	3,89	19,39	19,39	24,70	23,91
Média	13,0	22,3	30,7	152,64	32,66	14077,15	14646,01
CV(%)	15,30	10,52	19,44	36,74	43,20	44,96	45,58
<u>Montes Claros</u>							
5	14,2	24,1	28,2	209,05	40,59	19350,33	19897,68
CV(%)	14,66	9,35	6,98	37,81	36,25	36,49	35,62
6	13,0	22,5	25,3	149,25	26,00	13033,63	13685,26
CV(%)	8,49	1,79	1,31	18,82	19,70	21,16	20,89
7	14,6	26,4	26,4	238,80	35,50	17399,11	18344,79
CV(%)	3,30	1,12	0,20	10,58	14,26	14,80	14,72
Média	14,0	24,2	27,2	202,38	36,22	17513,01	18172,05
CV(%)	12,32	8,76	7,06	33,76	35,30	34,54	33,40
<u>Rio Pardo de Minas</u>							
5	13,7	22,2	27,1	150,92	27,69	12537,41	13228,29
CV(%)	6,59	2,25	2,10	16,32	16,32	20,99	18,20
6	13,2	23,3	24,7	182,33	30,07	14103,42	14677,25
CV(%)	19,94	18,64	13,13	48,12	49,25	50,26	50,17
7	13,9	25,7	26,5	214,07	30,26	14567,99	15180,79
CV(%)	18,59	19,46	9,34	46,89	48,48	51,64	52,39
8	14,8	26,6	27,7	232,97	30,33	15445,64	15783,26
CV(%)	10,78	6,96	5,29	29,41	28,36	28,24	28,72
Média	13,8	24,5	26,2	198,85	29,87	14317,92	14873,10
CV(%)	16,72	16,88	10,2	43,38	42,10	44,07	44,23

“Tabela 6, conclusão”

Idade	DAP	HT	S	Volume	IMA	IMSDBD	IMSDBM
<u>Sul de Minas</u>							
4	12,9	21,5	34,2	158,29	40,22	15436,37	16316,04
CV(%)	20,18	14,22	12,45	50,37	48,79	46,88	47,64
5	14,5	24,2	28,4	227,03	44,79	19075,27	20048,08
CV(%)	14,36	10,05	11,39	36,36	38,56	35,04	34,42
6	14,8	24,9	26,0	241,45	40,29	18314,89	19039,61
CV(%)	20,80	11,61	9,49	51,09	48,92	53,55	52,80
7	15,5	26,9	26,9	281,44	40,76	17425,58	18530,41
CV(%)	20,56	14,78	13,90	52,16	49,48	50,63	51,46
8	18,6	31,9	31,5	443,69	55,46	26020,42	26850,03
CV(%)	9,82	4,10	2,97	21,72	21,73	29,93	29,10
Média	15,0	25,4	29,2	255,00	43,21	18605,52	19512,61
CV(%)	21,17	17,0	19,79	54,13	43,91	46,76	46,37
<u>Três Marias</u>							
4	13,2	20,9	30,9	145,43	35,69	15753,37	16216,62
CV(%)	12,54	7,04	7,27	29,44	31,17	28,34	30,19
5	14,8	23,7	32,1	223,21	45,38	20872,12	21476,03
CV(%)	14,41	9,38	21,10	37,87	39,16	42,32	41,56
6	14,2	25,6	28,9	209,05	35,17	16498,16	16791,53
CV(%)	10,20	7,55	15,30	28,21	31,82	31,12	30,18
7	16,5	28,8	26,7	322,13	45,74	21614,03	22444,17
CV(%)	14,56	8,70	6,70	37,58	37,49	39,34	38,32
8	15,3	27,6	26,5	287,62	35,21	16876,26	17060,69
CV(%)	20,01	10,64	14,79	50,59	48,04	50,82	48,97
9	17,3	31,2	31,0	374,25	41,42	21386,15	21473,33
CV(%)	13,58	9,70	4,17	35,33	35,20	33,96	32,60
Média	15,3	26,5	29,6	267,32	40,28	19100,36	19525,31
CV(%)	17,01	15,31	14,74	48,40	39,64	41,25	40,47

Idade em anos; DAP = diâmetro a 1,30 m de altura (cm); HT = altura total (m); S = índice de sítio (m); Volume em m³/ha; IMA = incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); IMSDBD = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na posição do DAP (kg/ha.ano); IMSDBM = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média (kg/ha.ano); CV = coeficiente de variação.

Nota-se, na Tabela 6, que os valores médios, em especial dos incrementos volumétricos e em massas secas, variaram entre as idades, não apresentando o resultado esperado do aumento sucessivo desses valores com o envelhecimento das árvores para os locais de estudo considerados. Esse resultado pode estar relacionado à amostragem considerada, pois nas idades com maior número de árvores amostradas houve grande amplitude de IMA, interferindo na média.

Pela Tabela 6, percebe-se que as diferenças nos valores médios de volume e IMA entre as idades provocaram grande variação dos valores de incremento em massa seca, em que João Pinheiro e Montes Claros, aos cinco anos; Rio Pardo de Minas, aos seis anos; Sul de Minas, aos quatro, seis e sete anos; e Três Marias, aos cinco e oito anos, foram os locais que apresentaram as maiores variabilidades. A menor produção de massa seca ocorreu em João Pinheiro, especialmente nas idades de cinco e seis anos.

Pode-se observar também que os valores do incremento em massa seca estimados, utilizando-se a DBMED ou DBDAP, apresentaram grandes diferenças, aproximadamente 5%, como observado nas idades de quatro, em João Pinheiro, seis e sete, em Montes Claros, cinco, em Rio Pardo de Minas, quatro e cinco anos, em Sul de Minas (Tabela 6). Porém, as médias do IMSDBM foram sempre maiores que o IMSDBD, independente da idade e do local. Isso é atribuído ao resultado encontrado para as duas estimativas de densidade básica. Esse mesmo resultado também foi constatado por Trugilho (2009), ao comparar a massa seca de madeira obtida por diferentes estimativas da densidade básica de clones de *Eucalyptus*, em diversas idades.

Em relação ao índice de sítio, verifica-se que João Pinheiro, Sul de Minas e Três Marias apresentaram as maiores médias gerais, portanto sendo locais de melhor capacidade produtiva em comparação com Rio Pardo de Minas e Montes Claros (Tabela 6).

Em geral, os resultados obtidos para o DAP, volume e IMA, observados na Tabela 6, estão de acordo com os obtidos por Santana (2009), ao estudar o crescimento do clone GG 100, em diferentes idades e espaçamentos, plantado nos municípios Bom Sucesso, São Bento do Abade e Santo Antônio do Amparo, em Minas Gerais.

4.3 Efeito da idade, local e interação local x idade

A seguir serão apresentados os resultados da avaliação do efeito da idade, do local e da interação local x idade em relação ao agrupamento dos locais estabelecido em função das idades comuns.

4.3.1 João Pinheiro, Sul de Minas e Três Marias

O resumo da análise de variância para o delineamento experimental adotado está apresentado na Tabela 7. Verifica-se que o coeficiente de variação experimental do volume e do incremento volumétrico e em massa seca foi elevado quando comparado com o obtido para a densidade básica. A alta variabilidade existente para o volume e conseqüentemente para o incremento volumétrico e em massa seca explica esse resultado. O coeficiente de variação experimental do volume foi inferior ao encontrado por Santos et al. (2008), que obteve o valor de 73,94% em relação ao volume individual da árvore de *E. camaldulensis*, em estudo sobre a estimativa da variação genética para a densidade básica e caracteres silviculturais. Por outro lado, Botrel et al. (2007), trabalhando com vários clones de *Eucalyptus*, com 78 meses, em pesquisa sobre o ganho genético em propriedades físicas e mecânicas, encontrou na estimativa da massa seca por árvore o coeficiente de variação de 17,30%.

Tabela 7 Resumo da análise de variância para as características de crescimento e densidade básica em João Pinheiro, Sul de Minas e Três Marias

FV	GL	Quadrado médio					
		Volume	IMA	IMSDBD	IMSDBM	DBDAP	DBMED
L	2	56173,51*	1462,15*	294858569,34*	308296454,58*	0,0268*	0,0159*
I	2	75745,07*	249,37 ^{ns}	55337400,85 ^{ns}	50796093,67 ^{ns}	0,0380*	0,0305*
L x I	4	18278,31*	1150,27*	248403246,61*	281845704,82*	0,0030*	0,0037*
Erro	216	6470,36	262,15	51792899,59	55453272,85	0,0013	0,0005
Média geral		191,02	38,83	16884,34	17550,51	0,435	0,451
CVe(%)		42,11	41,70	42,62	42,43	8,14	5,18

FV = fonte de variação; L = local; I = idade; GL = graus de liberdade; Volume em m³/ha; IMA = incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); IMSDBD = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na posição do DAP (kg/ha.ano); IMSDBM = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média (kg/ha.ano); DBDAP = densidade básica estimada na altura do DAP (g/cm³); DBMED = densidade básica média (g/cm³); CVe = coeficiente de variação experimental; * e ^{ns} = significativo e não significativo a 5% de probabilidade, respectivamente.

Pela Tabela 7, observa-se que o efeito da idade foi não significativo para IMA, IMSDBD e IMSDBM. O efeito da interação local x idade foi significativo para as características de crescimento avaliadas e a densidade básica. Interação significativa indica que existe dependência entre os fatores (local e idade) e, portanto, deve-se fazer o seu desdobramento e avaliar um efeito dentro do outro.

As médias das características de crescimento e da densidade básica, com o teste de comparação múltipla, considerando o desdobramento e a avaliação do efeito do local dentro de idade, estão apresentadas na Tabela 8. Verifica-se que os valores médios de todas as características, aos cinco anos, diferiram significativamente, sendo que João Pinheiro foi a região menos favorável ao crescimento. De modo geral, apesar de os índices de sítio serem semelhantes, os resultados encontrados estão relacionados com as diferenças edafoclimáticas entre as regiões, principalmente em relação ao índice pluviométrico, pois em João Pinheiro esse índice é menor comparado com Sul de Minas e Três Marias.

Tabela 8 Valores médios das características de crescimento e da densidade básica em João Pinheiro, Sul de Minas e Três Marias

Local	Idade (anos)	Volume (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha.ano)	IMSDBD (kg/ha.ano)	IMSDBM (kg/ha.ano)	DBDAP (g/cm ³)	DBMED (g/cm ³)
João Pinheiro	4	165,22	40,70	17228,42	18090,95	0,416b	0,437b
Sul de Minas	4	158,29	40,22	15436,37	16316,04	0,387a	0,409a
Três Marias	4	145,43	35,69	15753,37	16216,62	0,447c	0,456c
João Pinheiro	5	133,84a	25,70a	11027,01a	11363,57a	0,428a	0,438a
Sul de Minas	5	227,03b	44,79b	19075,27b	20048,08b	0,437ab	0,457b
Três Marias	5	223,21b	45,39b	20872,12b	21476,03b	0,454b	0,469b
João Pinheiro	6	158,81a	26,47	12299,27	12598,52	0,461ab	0,472b
Sul de Minas	6	241,45b	40,29	18314,89	19039,61	0,445a	0,462a
Três Marias	6	209,05ab	35,18	16498,16	16791,53	0,472b	0,479b

IMA = incremento médio anual volumétrico; IMSDBD = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na posição do DAP; IMSDBM = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média; DBDAP = densidade básica estimada na altura do DAP; DBMED = densidade básica média. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores encontrados para a produção em massa seca no Sul de Minas e Três Marias, apresentados na Tabela 8, foram bem semelhantes ao encontrado por Santos et al. (2012). Esses autores constataram que o elevado valor de massa seca foi acompanhado pelo maior IMA, ao estudar as propriedades da madeira de clones de *E. urophylla* em diferentes locais. Ainda foi verificado que no local com elevado índice pluviométrico a maior produção de massa seca foi também elevada.

Na Tabela 8, é possível observar que os menores valores médios de densidade básica, aos quatro e seis anos, foram obtidos em Sul de Minas. No entanto, aos cinco anos, João Pinheiro foi o local com menor densidade básica.

Lima, Breese e Cahalan (2000), estudando a interação genética e ambiental na densidade básica da madeira de cinco clones de *Eucalyptus*, aos oito anos, verificaram que a densidade básica média diferiu entre os sítios.

A relação funcional entre os valores médios de volume e idade, com a distribuição dos resíduos, considerando o desdobramento e a avaliação do efeito da idade dentro de Sul de Minas e de Três Marias, está mostrada nas Figuras 2 e 3, respectivamente. O efeito da idade sobre o volume não foi significativo em João Pinheiro.

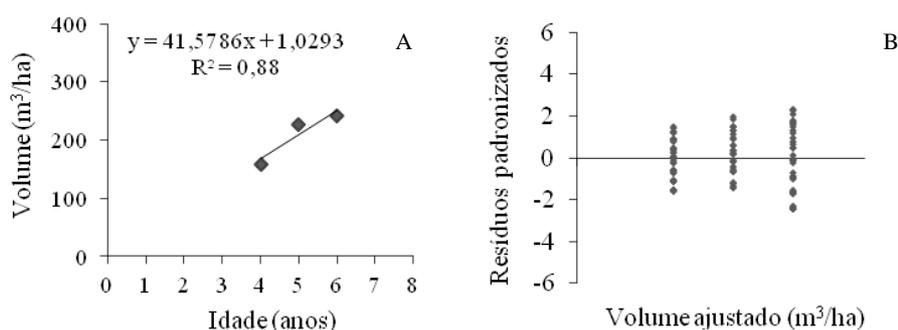


Figura 2 Relação funcional entre volume e idades de quatro, cinco e seis anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição de resíduos (B)

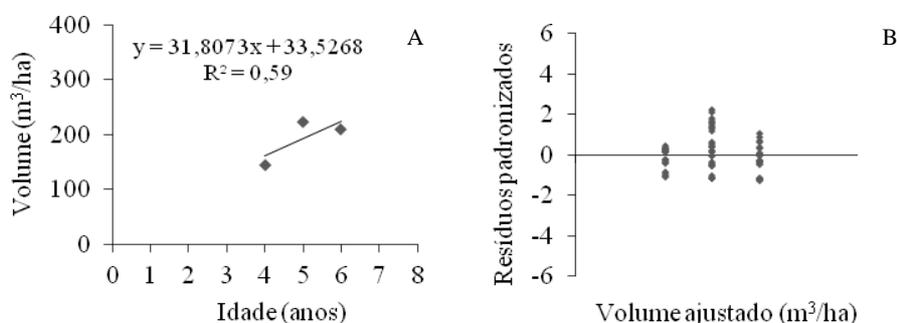


Figura 3 Relação funcional entre volume e idades de quatro, cinco e seis anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)

De modo geral, verifica-se maior taxa de incremento nas árvores mais jovens nos locais analisados. Nos dois locais, a relação funcional foi explicada por um modelo linear simples, em que no Sul de Minas foi obtido um melhor ajuste. Porém, analisando a distribuição dos resíduos nas Figuras 2 e 3, observa-se uma possível transgressão à suposição básica de homogeneidade de variâncias (homocedasticidade) dos modelos lineares no ajuste realizado. Os resíduos apresentaram uma tendenciosidade, em que a variância não foi constante. Esse fato era esperado, já que foi realizado um ajuste em função da idade.

Assim, a heterogeneidade ou heterocedasticidade deve ser corrigida, como em estudo realizado por Carvalho et al. (2011). Para isso, os autores rearranjaram o modelo sigmoidal logístico original por meio da decomposição dos parâmetros com a adição de co-variantes como índice de sítio e área basal, modelando a heterocedasticidade, na estimativa da produção volumétrica de povoamentos do híbrido obtido do cruzamento de *E. urophylla* e *E. camaldulensis*.

Ao avaliar o desdobramento e a avaliação do efeito da idade dentro de local, verificou-se que efeito da idade sobre a DBDAP foi não significativo apenas em Três Marias. Assim, nas Figuras 4 e 5, pode-se verificar a relação

funcional entre os valores médios da DBDAP e a idade em João Pinheiro e Sul de Minas, respectivamente. Enquanto que nas Figuras 6, 7 e 8 verifica-se a relação funcional entre os valores médios de DBMED e a idade em João Pinheiro, Sul de Minas e Três Marias, respectivamente.

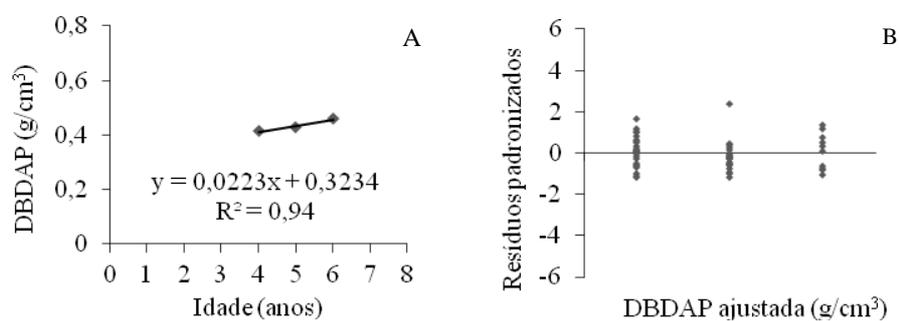


Figura 4 Relação funcional entre densidade básica obtida na altura do DAP (DBDAP) e idade (A) em João Pinheiro, com a distribuição dos resíduos (B)

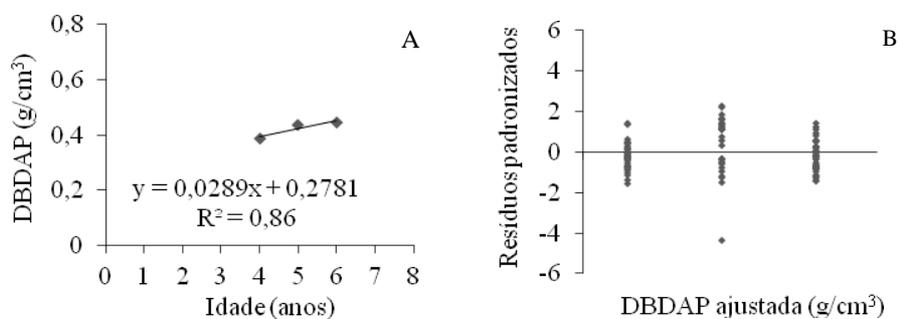


Figura 5 Relação funcional entre densidade básica obtida na altura do DAP (DBDAP) e idades de quatro, cinco e seis anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)

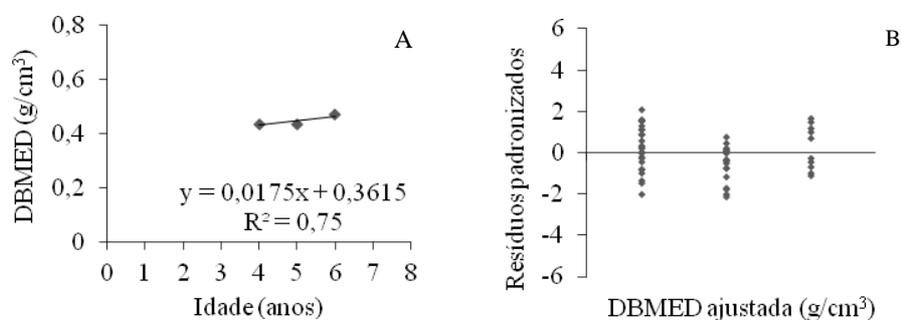


Figura 6 Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idade (A) em João Pinheiro, com a distribuição dos resíduos (B)

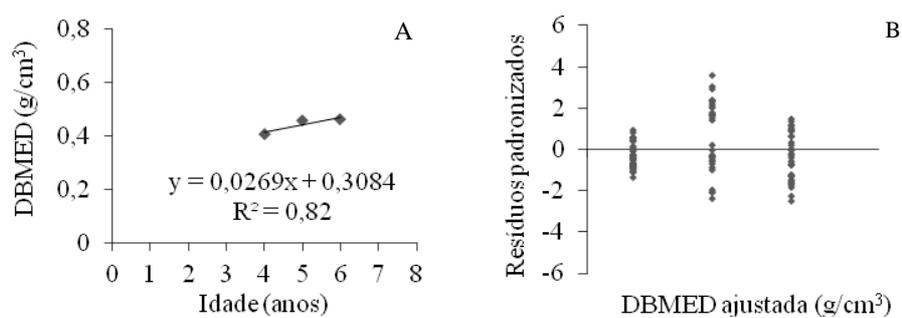


Figura 7 Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idades de quatro, cinco e seis anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)

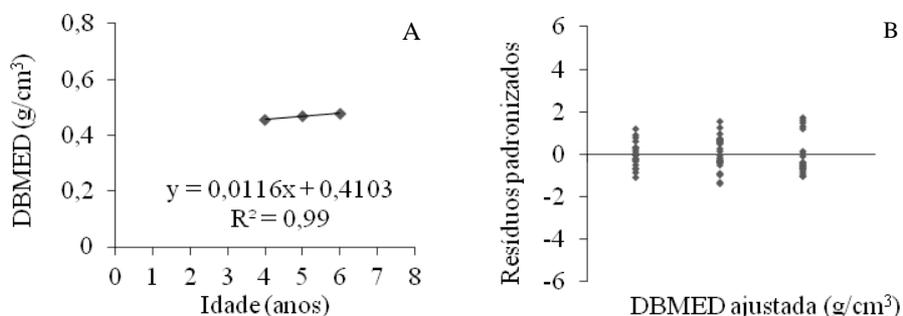


Figura 8 Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idades de quatro, cinco e seis anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)

Observa-se que a relação funcional foi explicada pelo modelo linear simples para as duas densidades, com elevados valores de coeficiente de determinação, indicando a qualidade do ajuste (Figuras 4, 5, 6, 7 e 8). No entanto, merece destaque o modelo ajustado para Três Marias, uma vez que foi obtido melhor ajuste e resíduos aleatoriamente distribuídos com ausência de observações discrepantes (*outliers*). A análise gráfica da distribuição dos resíduos revelou a presença de possíveis observações discrepantes para os demais modelos. Isso pode ter sido provavelmente originado pela presença, por exemplo, de nó na madeira, ou pela variação dentro do local. Essas observações discrepantes podem ter prejudicado a qualidade do ajuste e o comportamento dos resíduos.

Pode-se constatar também que, semelhante ao resultado para a DBDAP, a DBMED apresentou a tendência de aumentar com a idade do material genético.

Soares (2011), que estudou híbridos de *E. urophylla* e *E. grandis*, nas idades de três, quatro e cinco anos, verificou que a densidade básica da madeira aumentou em função da idade. A autora também encontrou um modelo linear

simples, com o ajuste de 99%, para explicar a relação funcional entre a densidade e a idade.

4.3.2 Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias

O resumo da análise de variância para o delineamento experimental adotado está apresentado na Tabela 9. Podem-se constatar os elevados valores do coeficiente de variação experimental para todas as características de crescimento, indicando a alta variabilidade. Para a densidade básica, os coeficientes de variação experimental foram baixos, evidenciando a homogeneidade para essa característica e a precisão do experimento. Observa-se também que o coeficiente obtido para a DBDAP foi inferior ao da DBMED.

Tabela 9 Resumo da análise de variância para as características de crescimento e densidade básica em Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias

FV	GL	Quadrado médio					
		Volume	IMA	IMSDBD	IMSDBM	DBDAP	DBMED
L	2	171531,30*	4834,52*	724251298,28*	783615590,50*	0,0349*	0,0261*
I	3	194946,62*	599,65 ^{ns}	114344586,41 ^{ns}	115130736,08 ^{ns}	0,0117*	0,0065*
L x I	6	61231,14*	780,72*	222089465,72*	236455461,07*	0,0026*	0,0024*
Erro	293	11720,60	267,80	62292918,91	65514271,33	0,0012	0,0006
Média geral		255,96	39,42	18125,45	18800,44	0,458	0,475
CVe(%)		42,30	41,51	43,54	43,05	7,46	5,18

FV = fonte de variação; L = local; I = idade; GL = graus de liberdade; Volume em m³/ha; IMA = incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); IMSDBD = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na posição do DAP (kg/ha.ano); IMSDBM = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média (kg/ha.ano); DBDAP = densidade básica estimada na altura do DAP (g/cm³); DBMED = densidade básica média (g/cm³); CVe = coeficiente de variação experimental; * e ^{ns} = significativo e não significativo a 5% de probabilidade, respectivamente.

Conforme os resultados da Tabela 9, o efeito da idade foi não significativo para IMA, IMSDBD e IMSDBM. Os efeitos do local e da interação local x idade foram significativos para as características de crescimento e para a densidade básica, portanto, necessitando de desdobramento para avaliar o efeito de um fator dentro do outro.

As médias das características de crescimento e da densidade básica, com o teste de comparação múltipla, considerando o desdobramento e a avaliação do efeito de local dentro de idade, estão na Tabela 10. Percebe-se, nas idades avaliadas, que Rio Pardo de Minas foi a região que apresentou os menores valores médios, para todas as características de crescimento, seguida do Sul de Minas para IMSBDB e IMSDBM, aos sete anos. Por outro lado, na idade de oito anos, Sul de Minas foi o local com as melhores condições de crescimento. A menor produção volumétrica e em massa seca observada em Rio Pardo de Minas deve-se ao baixo regime pluviométrico dessa região, caracterizando-se como um local de menor capacidade produtiva, em virtude do menor valor médio do índice de sítio. Esse resultado está em conformidade com o obtido por Ferraz (1993), que constatou a correlação positiva entre biomassa seca de diversas espécies de *Eucalyptus*, aos nove anos, e o índice pluviométrico.

Tabela 10 Valores médios das características de crescimento e da densidade básica em Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias

Sítio	Idade (anos)	Volume (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha.ano)	IMSDBD (kg/ha.ano)	IMSDBM (kg/ha.ano)	DBDAP (g/cm ³)	DBMED (g/cm ³)
Rio Pardo de Minas	5	150,92	27,70a	12537,41a	13228,29a	0,450	0,477b
Sul de Minas	5	227,03	44,79b	19075,27b	20048,08b	0,437	0,457a
Três Marias	5	223,21	45,39b	20872,12b	21476,03b	0,454	0,469ab
Rio Pardo de Minas	6	182,33	30,08	14103,41	14677,25	0,469b	0,484b
Sul de Minas	6	241,45	40,29	18314,89	19039,61	0,445a	0,462a
Três Marias	6	209,05	35,18	16498,16	16791,53	0,472b	0,479b
Rio Pardo de Minas	7	214,07a	30,26a	14567,99a	15180,79a	0,473b	0,489b
Sul de Minas	7	281,44b	40,76b	17425,58ab	18530,41ab	0,425a	0,449a
Três Marias	7	322,13b	45,74b	21614,03b	22444,17b	0,472b	0,491b
Rio Pardo de Minas	8	232,97a	30,33a	15445,65a	15783,26a	0,509b	0,520b
Sul de Minas	8	443,69b	55,46b	26020,42b	26850,03b	0,463a	0,478a
Três Marias	8	287,62a	35,21a	16876,26a	17060,69a	0,470a	0,481a

IMA = incremento médio anual volumétrico; IMSDBD = incremento médio anual em massa seca estimado pela densidade básica na posição do DAP; IMSDBM = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média; DBDAP = densidade básica estimada na altura do DAP; DBMED = densidade básica média. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ainda, é possível observar que os resultados do teste de comparação múltipla para o volume e IMA, em geral, foram semelhantes aos do IMSDBD e do IMSDBM (Tabela 10). Isso evidencia que o incremento volumétrico interferiu diretamente sobre a produção de massa seca, o que era esperado.

Para a densidade básica, nota-se, na Tabela 10, que os resultados do teste de comparação múltipla da DBDAP e da DBMED foram semelhantes, exceto na idade de cinco anos. Em geral, Sul de Minas foi o local onde se observou os menores valores médios, apesar de ser o mais adequado para o crescimento das plantas. Já na idade de oito anos, a densidade básica foi maior em Rio Pardo de Minas. Esse resultado pode ser atribuído às diferenças dos índices pluviométricos entre os sítios.

A elevada pluviosidade pode favorecer a atividade do meristema cambial e, conseqüentemente, influenciar na divisão celular, interferindo na proporção da madeira juvenil ou de lenho inicial no anel anual de crescimento, contribuindo com a formação de madeira de menor densidade.

Ribeiro e Zani Filho (1993), ao avaliar a madeira de *E. grandis*, com aproximadamente cinco anos, também verificaram que nos locais com melhores condições edafoclimáticas a média da densidade básica foi menor quando comparada com locais de déficit hídrico e de baixa fertilidade. Segundo os autores, os locais com melhores características edafoclimáticas proporcionaram aumento do crescimento das árvores e com isso a redução da densidade básica, ou seja, o resultado foi associado ao ritmo de crescimento. Por sua vez, Malan (1993) em trabalho com clones de *E. grandis*, aos cinco anos, verificou a tendência de maiores valores de densidade básica em sítios de melhor qualidade, isto é, locais com árvores de rápido crescimento. Contudo, nenhuma relação direta da densidade com a taxa de crescimento foi constatada pelo autor.

Os resultados antagônicos existentes na literatura podem ser atribuídos à variabilidade do gênero *Eucalyptus*, aos diferentes padrões de amostragem, à idade, além da influência das condições de crescimento e da herdabilidade.

Observa-se ainda, pela Tabela 10, que a densidade básica foi influenciada pela capacidade produtiva do sítio, com a tendência de ser menor no local com maior índice de sítio, como em Sul de Minas e Três Marias, aos oito anos. Esse mesmo resultado foi observado por Zhang et al. (2012), em estudo sobre a variação da densidade básica de *Pinus massoniana* L., com idades de seis a trinta anos.

O efeito da idade sobre os valores médios de volume, avaliando o desdobramento e a avaliação do efeito da idade dentro de local, somente foi não significativo em Rio Pardo de Minas. Assim, nas Figuras 9 e 10, observa-se a relação funcional entre os valores médios de volume e idade em Sul de Minas e em Três Marias, respectivamente. Verifica-se, em Sul de Minas, o crescimento do volume com a idade, entretanto em Três Marias, apesar de observar a mesma tendência, aos seis e oito anos ocorreu um pequeno decréscimo de crescimento volumétrico em relação à idade anterior. Ao observar graficamente o crescimento volumétrico, espera-se uma curva com formato sigmoidal. No entanto, isso não ocorreu provavelmente em virtude da amostragem realizada, uma vez que a quantidade de árvores amostradas e a faixa de idade foi inferior comparada com estudos de crescimento e produção.

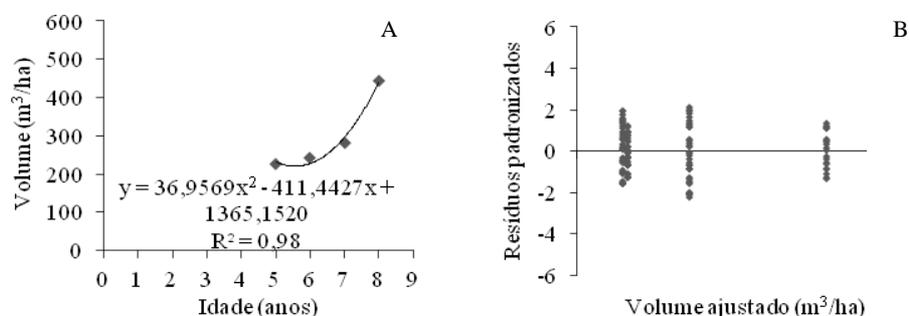


Figura 9 Relação funcional entre volume e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)

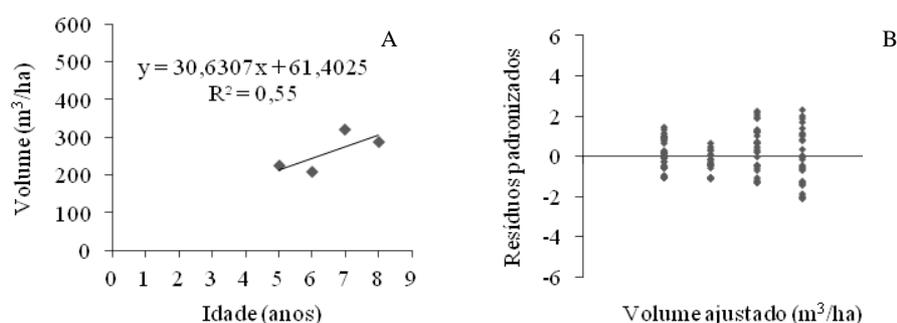


Figura 10 Relação funcional entre volume e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)

Os modelos ajustados para os dois locais foram divergentes, sendo que a relação foi explicada pelos modelos polinomial de segundo grau (quadrático) e linear simples no Sul de Minas e Três Marias, respectivamente (Figuras 9 e 10). Nota-se que o modelo quadrático ajustado no Sul de Minas obteve melhor qualidade de ajuste e melhor distribuição dos resíduos.

Ao considerar o desdobramento e a avaliação do efeito da idade dentro de local, a relação funcional entre DBDAP e idade está ilustrada nas Figuras 11 e 12, em Rio Pardo de Minas e Sul de Minas, respectivamente. Em Três Marias,

o efeito de idade para a DBDAP foi não significativo, logo não foi realizada a regressão. Por sua vez, a relação funcional da DBMED com a idade pode ser observada nas Figuras 13, 14 e 15 em Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias, respectivamente. Percebe-se que houve diferença nos tipos de modelos ajustados em virtude da capacidade produtiva do local, sendo que merece destaque o modelo proposto para Três Marias por apresentar resíduos aleatoriamente distribuídos, sem tendenciosidade e ausência de observações discrepantes.

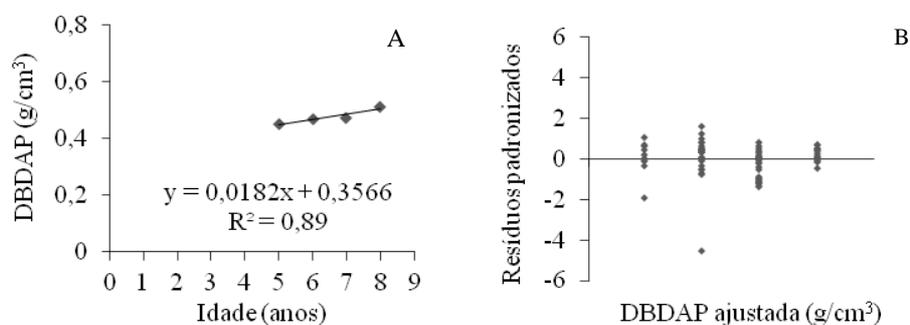


Figura 11 Relação funcional entre densidade básica obtida na altura do DAP (DBDAP) e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Rio Pardo de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)

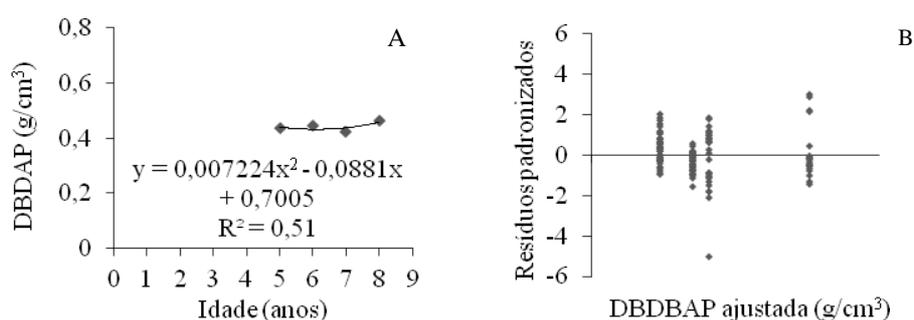


Figura 12 Relação funcional entre densidade básica obtida na altura do DAP (DBDAP) e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)

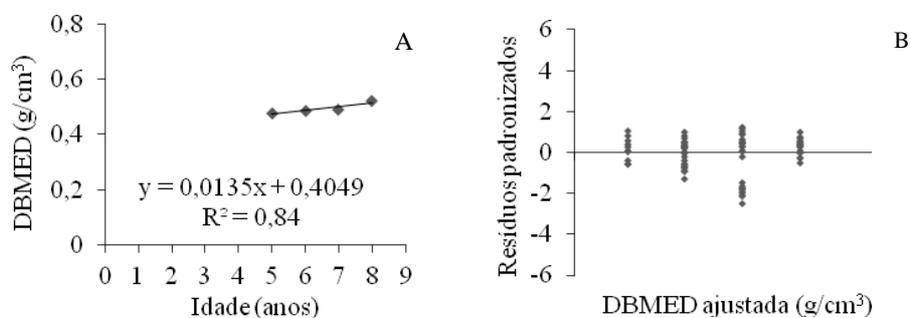


Figura 13 Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Rio Pardo de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)

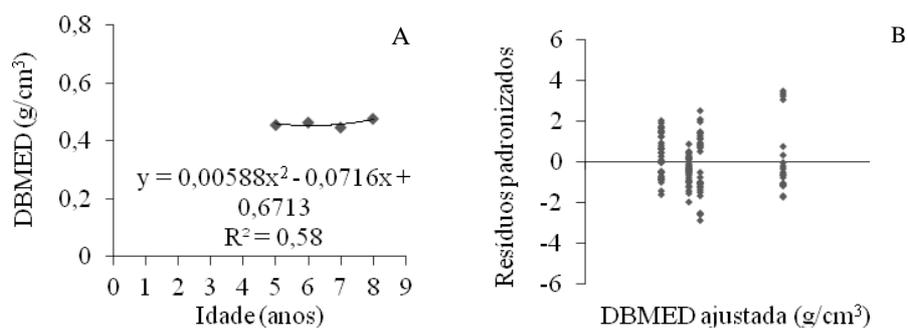


Figura 14 Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)

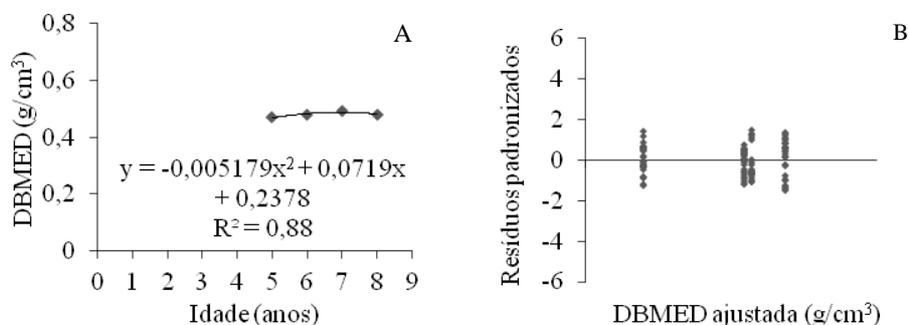


Figura 15 Relação funcional entre densidade básica média (DBMED) e idades de cinco, seis, sete e oito anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)

Em geral, a DBDAP e a DBMED aumentaram com a idade do material genético nos locais avaliados (Figuras 11, 12, 13, 14 e 15). Apesar disso, houve uma redução da taxa de incremento da densidade básica com o aumento da idade, tendendo à estabilização, indicando o início da transição entre a madeira juvenil e adulta.

Trugilho, Lima e Mendes (1996) obtiveram esse mesmo resultado, explicando esse fato em virtude da estabilização dos teores de lignina e de holocelulose com o início da formação da madeira adulta. Os autores, em trabalho com *E. saligna*, com idades variando de um a quatro anos, explicaram a relação funcional da densidade básica com a idade por meio de um modelo linear simples, com o ajuste de 88%, aproximando-se ao resultado obtido para a DBDAP e a DBMED em Rio Pardo de Minas.

4.3.3 Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias

Na Tabela 11, encontra-se o resumo da análise de variância para o delineamento experimental adotado. Pelos resultados, observa-se que o efeito da

idade foi não significativo somente para a densidade básica. Por outro lado, o efeito da interação apenas foi significativo para essa variável, portanto, necessitando de desdobramento para avaliar o efeito de um fator dentro do outro.

Tabela 11 Resumo da análise de variância para as características de crescimento e densidade básica em Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias

FV	GL	Quadrado médio					
		Volume	IMA	IMSDBD	IMSDBM	DBDAP	DBMED
L	3	76436,74*	2498,63*	426363155,01*	438729521,66*	0,0304*	0,0272*
I	2	126003,59*	1258,79*	194308742,08*	219675747,13*	0,0022 ^{ns}	0,0015 ^{ns}
L x I	6	13696,62 ^{ns}	178,19 ^{ns}	52751096,09 ^{ns}	52798146,01 ^{ns}	0,0027*	0,0031*
Erro	273	10039,51	263,88	58698052,29	62522248,41	0,0011	0,0005
Média geral		232,21	38,71	17747,25	18478,27	0,458	0,477
CVe(%)		43,15	41,96	43,17	42,79	7,17	4,78

FV = fonte de variação; L = local; I = idade; GL = graus de liberdade; Volume em m³/ha; IMA = incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); IMSDBD = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na posição do DAP (kg/ha.ano); IMSDBM = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média (kg/ha.ano); DBDAP = densidade básica estimada na altura do DAP (g/cm³); DBMED = densidade básica média (g/cm³); CVe = coeficiente de variação experimental; * e ^{ns} = significativo e não significativo a 5% de probabilidade, respectivamente.

Os valores médios da densidade básica, com o teste de comparação múltipla, considerando o desdobramento e a avaliação do efeito do local dentro de idade, estão apresentados na Tabela 12. Nota-se que houve diferença estatística entre os locais em cada idade analisada. A região de Montes Claros merece destaque por apresentar o maior valor médio para as duas densidades, sendo que para a DBDAP, aos cinco e sete anos, a média não diferiu estatisticamente de Rio Pardo de Minas e de Três Marias, enquanto que para a DBMED, analisando a idade de cinco anos, a média foi estatisticamente igual à de Rio Pardo de Minas. Por outro lado, no Sul de Minas foi obtida a menor densidade básica. Esse resultado pode ser atribuído à capacidade produtiva e variação do macrossítio.

Tabela 12 Valores médios da densidade básica em Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias

Local	Idade (anos)	DBDAP (g/cm ³)	DBMED (g/cm ³)
Montes Claros	5	0,476b	0,491c
Rio Pardo de Minas	5	0,450ab	0,477bc
Sul de Minas	5	0,437a	0,457a
Três Marias	5	0,454ab	0,469ab
Montes Claros	6	0,500b	0,525c
Rio Pardo de Minas	6	0,469a	0,484b
Sul de Minas	6	0,445a	0,462a
Três Marias	6	0,472a	0,479ab
Montes Claros	7	0,490b	0,517c
Rio Pardo de Minas	7	0,473b	0,489b
Sul de Minas	7	0,425a	0,449a
Três Marias	7	0,472b	0,491b

DBDAP = densidade básica estimada na altura do DAP; DBMED = densidade básica média. Valores médios seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O efeito da idade sobre a DBDAP, considerando o desdobramento e a avaliação do efeito da idade dentro do local, foi significativo apenas em Sul de Minas. No entanto, o ajuste de um modelo linear simples ou de modelos de outra forma não apresentou significância.

A relação da DBMED com a idade em Montes Claros e Três Marias está mostrada nas Figuras 16 e 17, respectivamente. Em ambos os locais, verificou-se que houve um aumento da densidade com a idade, sendo a relação explicada pelo modelo linear simples. Entretanto, o modelo ajustado para Três Marias merece ser destacado em virtude do melhor ajuste obtido, além da ausência de observações discrepantes, conforme mostra a análise gráfica de distribuição de resíduos.

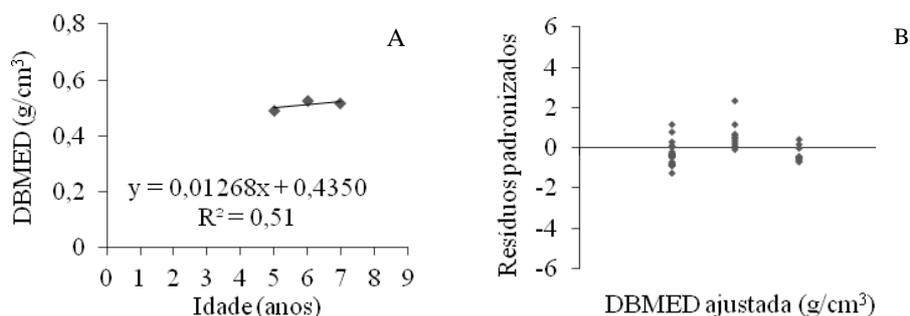


Figura 16 Relação entre densidade básica média (DBMED) e idades de cinco, seis e sete anos (A) em Montes Claros, com a distribuição dos resíduos (B)

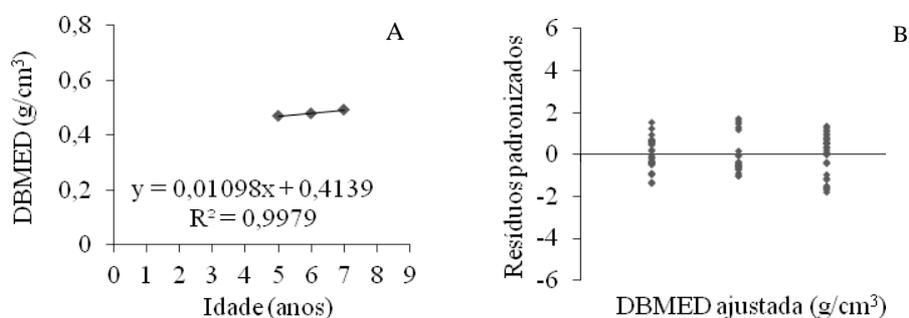


Figura 17 Relação entre densidade básica média (DBMED) e idades de cinco, seis e sete anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)

O efeito da idade sobre a DBMED foi não significativo em Rio Pardo de Minas. No Sul de Minas, apesar de esse efeito ter sido significativo, a regressão linear não apresentou significância.

Ao avaliar somente o efeito do local, na Tabela 13, podem-se verificar as médias das características de crescimento e o teste de comparação múltipla. Observa-se em Sul de Minas e Três Marias os maiores valores para todas as características de crescimento. Essas diferenças nos valores entre as regiões podem ser atribuídas aos índices pluviométricos diferenciados, além da capacidade produtiva do local, uma vez que os índices de sítio de Sul de Minas e Três Marias não são muito discrepantes, da mesma forma que a capacidade produtiva de Montes Claros é semelhante à de Rio Pardo de Minas.

Tabela 13 Valores médios das características de crescimento em Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias

Sítio	Volume	IMA	IMSDBD	IMSDBM
Montes Claros	202,38a	36,22ab	17513,01b	18172,05ab
Rio Pardo de Minas	190,32a	29,76a	14035,99a	14645,57a
Sul de Minas	251,12b	41,80b	18231,75b	19163,93b
Três Marias	256,76b	42,97b	20056,85b	20667,96b

Volume em m³/ha; IMA = incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); IMSDBD = incremento médio anual em massa seca estimado pela densidade básica na posição do DAP (kg/ha.ano); IMSDBM = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média (kg/ha.ano). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A relação dos valores médios de volume com a idade, além da análise gráfica de distribuição dos resíduos, pode ser observada na Figura 18. Percebe-se que após um período de estabilização, ocorreu uma retomada do crescimento em volume a partir do sétimo ano. O modelo ajustado apresentou um coeficiente de determinação de 0,68. Porém, nota-se a presença de observações discrepantes e tendenciosidade na distribuição dos resíduos.

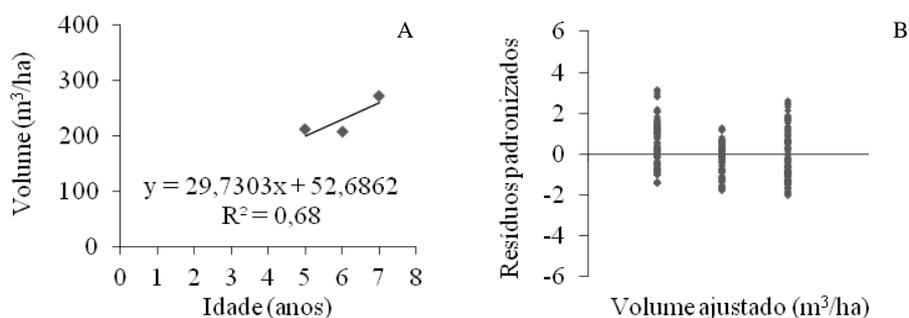


Figura 18 Relação entre volume e idade (A) em Montes Claros, Rio Pardo de Minas, Sul de Minas e Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)

4.3.4 Sul de Minas e Três Marias

O resumo da análise de variância, considerando o delineamento experimental adotado, está apresentado na Tabela 14. O efeito do local e de idade foi não significativo para todas as características de crescimento e para IMA, respectivamente. O efeito da interação foi não significativo para a DBDAP. Por sua vez, para a DBMED, o seu efeito foi significativo, assim, necessitando de desdobramento.

Tabela 14 Resumo da análise de variância para as características de crescimento e densidade básica em Sul de Minas e Três Marias

FV	GL	Quadrado médio					
		Volume	IMA	IMSDBD	IMSDBM	DBDAP	DBMED
L	1	4810,00 ^{ns}	702,60 ^{ns}	215950,85 ^{ns}	9261167,71 ^{ns}	0,0893*	0,0559*
I	4	308694,61*	515,52 ^{ns}	224413230,08*	225889591,38*	0,0252*	0,0229*
L x I	4	82478,97*	1304,92*	344569340,31*	370795997,15*	0,0017 ^{ns}	0,0018*
Erro	275	11590,62	299,13	63704676,44	67438472,37	0,0012	0,0006
Média geral		251,24	41,77	18630,73	19347,53	0,444	0,461
CVe(%)		42,85	41,41	42,84	42,45	7,71	5,15

FV = fonte de variação; L = local; I = idade; GL = graus de liberdade; Volume em m³/ha; IMA = incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); IMSDBD = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na posição do DAP (kg/ha.ano); IMSDBM = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média (kg/ha.ano); DBDAP = densidade básica estimada na altura do DAP (g/cm³); DBMED = densidade básica média (g/cm³); CVe = coeficiente de variação experimental; * e ^{ns} = significativo e não significativo a 5% de probabilidade, respectivamente.

Ao avaliar somente o efeito do local, as médias da DBDAP estão mostradas na Figura 19. A maior densidade básica foi obtida em Três Marias. Apesar dos dois locais serem de capacidade produtiva semelhante, considerando o índice de sítio, a precipitação em Três Marias é menor comparada com o Sul de Minas. Esse fato pode explicar a influência na atividade cambial e por consequência alterar a proporção da madeira juvenil e adulta ou a proporção de lenho inicial e tardio do anel de crescimento.

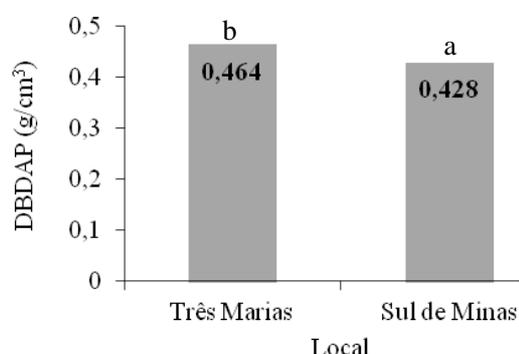


Figura 19 Valores médios de densidade básica obtida na altura do DAP (DBDAP) em Sul de Minas e Três Marias

Nota: Médias seguidas de letra diferente diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

Na Figura 20, está apresentada a relação funcional entre os valores médios de DBDAP e a idade. Verifica-se o aumento da densidade básica com a idade, com um maior incremento na idade de quatro para cinco anos, sendo que, em seguida, houve uma redução dessa taxa, tendendo à estabilização. A relação foi explicada pelo modelo quadrático, com um ajuste de 0,83. Contudo, analisando a distribuição dos resíduos, verifica-se a presença de observações discrepantes.

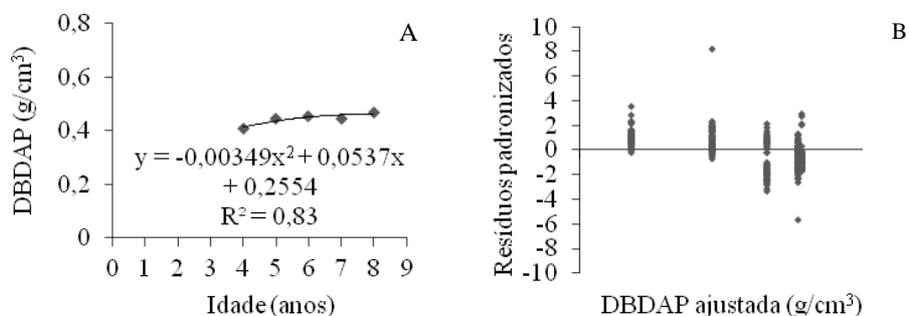


Figura 20 Relação funcional entre densidade básica obtida na altura do DAP - DBDAP e idade (A) em Sul de Minas e Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)

Os valores médios das características de crescimento e da DBMED, com o teste de comparação múltipla, avaliando o desdobramento do efeito do local dentro de idade, podem ser observados na Tabela 15. Para as características de crescimento, houve diferença estatística na idade de sete anos apenas para o IMSDBD, em que o maior valor foi obtido em Três Marias. Verifica-se também, aos oito anos, analisando todas as características de crescimento, que Sul de Minas apresentou melhores condições de crescimento, o que pode estar relacionado ao elevado índice pluviométrico da região. No entanto, avaliando as idades de quatro, seis e sete anos, o maior valor de DBMED foi obtido em Três Marias.

Tabela 15 Valores médios das características de crescimento e da densidade básica média em Sul de Minas e Três Marias

Local	Idade	Volume	IMA	IMSDBD	IMSDBM	DBMED
Sul de Minas	4	158,29	40,22	15436,37	16316,04	0,409a
Três Marias	4	145,43	35,69	15753,37	16216,62	0,456b
Sul de Minas	5	227,03	44,79	19075,27	20048,08	0,457
Três Marias	5	223,21	45,39	20872,12	21476,03	0,469
Sul de Minas	6	241,45	40,29	18314,89	19039,61	0,462a
Três Marias	6	209,05	35,18	16498,16	16791,53	0,479b
Sul de Minas	7	281,44	40,76	17425,58a	18530,41	0,449a
Três Marias	7	322,13	45,74	21614,03b	22444,17	0,491b
Sul de Minas	8	443,69b	55,46b	26020,42b	26850,03b	0,478
Três Marias	8	287,62a	35,21a	16876,26a	17060,69a	0,481

Idade em anos; Volume em m³/ha; IMA = incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); IMSDBD = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na altura do DAP (kg/ha.ano); IMSDBM = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média (kg/ha.ano); DBMED = densidade básica média (g/cm³). Médias seguidas de letra diferente diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

A relação funcional entre as médias de volume e a idade, considerando o desdobramento e a avaliação do efeito da idade dentro do local, pode ser observada nas Figuras 21 e 22 em Sul de Minas e Três Marias, respectivamente. As relações funcionais obtidas para as duas regiões foram distintas, sendo ajustado o modelo quadrático para Sul de Minas e o linear simples para Três Marias. A relação funcional obtida em Sul de Minas merece ser evidenciada em virtude do melhor ajuste apresentado, embora se observe uma ligeira tendenciosidade na distribuição dos resíduos para os dois modelos. Verifica-se também que a curva de crescimento em forma de sigmoide não é observada em virtude da amostragem realizada.

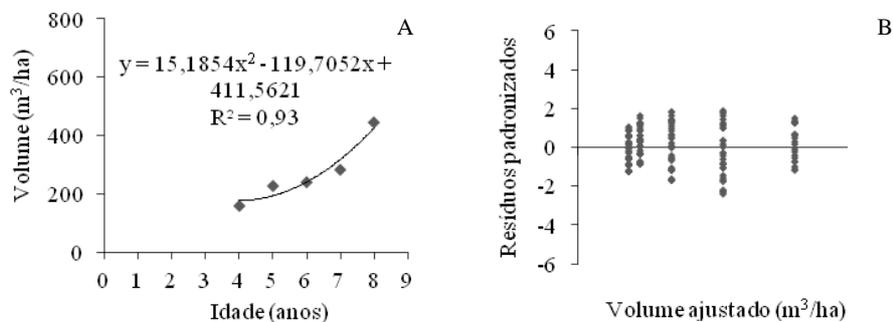


Figura 21 Relação entre volume e idades de quatro, cinco, seis, sete e oito anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)

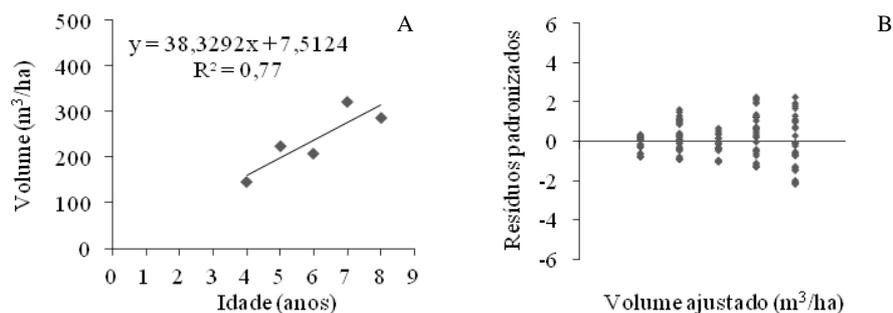


Figura 22 Relação funcional entre volume e idades de quatro, cinco, seis, sete e oito anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)

A relação funcional entre idade e DBMED em Sul de Minas e Três Marias está mostrada nas Figuras 23 e 24, respectivamente. Verifica-se que a densidade aumentou com a idade em ambos os locais, sendo que a maior taxa de incremento, principalmente nas árvores mais jovens, foi observada no Sul de Minas. O modelo ajustado para ambos os locais foi o quadrático, destacando-se o ajustado para Três Marias em virtude do melhor ajuste. Apesar disso, os dois

modelos apresentaram observações discrepantes que influenciaram a qualidade do ajuste.

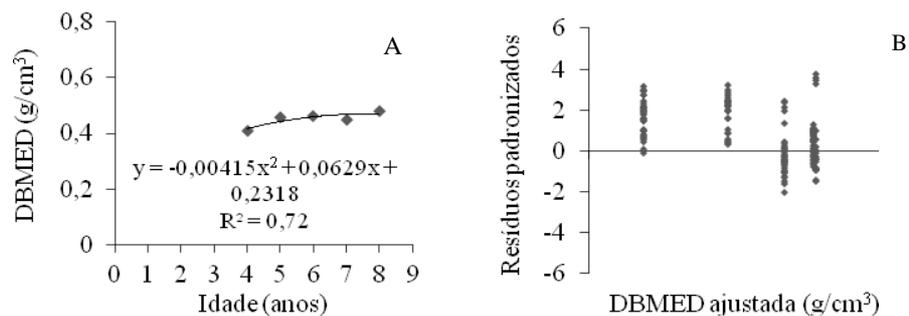


Figura 23 Relação entre densidade básica média (DBMED) e idades de quatro, cinco, seis, sete e oito anos (A) em Sul de Minas, com a distribuição dos resíduos (B)

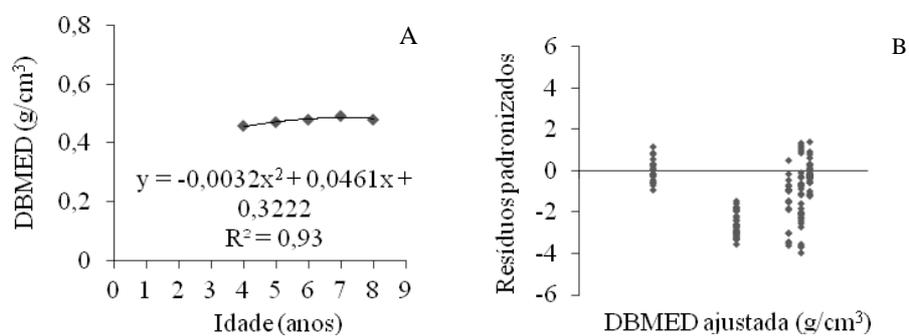


Figura 24 Relação entre densidade básica média (DBMED) e idades de quatro, cinco, seis, sete e oito anos (A) em Três Marias, com a distribuição dos resíduos (B)

Githiomi e Kariuki (2010), em pesquisa com *E. grandis*, em diversas idades, também utilizaram o modelo quadrático para explicar a relação entre densidade básica, tomada em um único ponto de amostragem, e a idade. Os

autores obtiveram um coeficiente de determinação de 99%, valor que se aproximou do modelo ajustado para Três Marias.

4.4 Modelagem da densidade básica

O modelo de regressão ajustado para estimar a DBMED em função da DBDAP por idade e por local está apresentado na Tabela 16. Foi verificado, para todos os locais, que o teste de identidade de modelos lineares realizado foi significativo, indicando que não se pode utilizar a equação geral para a estimativa da DBMED independentemente da idade do clone. Portanto, é necessário um modelo específico por idade de avaliação. Porém, a regressão aos cinco anos não foi significativa para Rio Pardo de Minas.

Tabela 16 Modelo de regressão linear simples entre a densidade básica média e a obtida no DAP

Nº	Idade (anos)	Modelo ajustado	F	R ²	CV (%)
<u>João Pinheiro</u>					
1	4	$\hat{Y}_i = 0,0794 + 0,8606 \text{DBDAP}_i$	134,47*	0,85	2,20
2	5	$\hat{Y}_i = 0,2259 + 0,4942 \text{DBDAP}_i$	18,62*	0,51	3,09
3	6	$\hat{Y}_i = 0,1994 + 0,5927 \text{DBDAP}_i$	13,17*	0,62	3,28
	Geral	$\hat{Y}_i = 0,1420 + 0,7021 \text{DBDAP}_i$	145,15*	0,73	3,05
<u>Montes Claros</u>					
4	5	$\hat{Y}_i = 0,3671 + 0,2607 \text{DBDAP}_i$	6,30*	0,22	2,21
5	6	$\hat{Y}_i = 0,1769 + 0,6967 \text{DBDAP}_i$	30,83*	0,79	1,40
6	7	$\hat{Y}_i = 0,2384 + 0,5678 \text{DBDAP}_i$	5,52*	0,41	1,32
	Geral	$\hat{Y}_i = 0,1991 + 0,6302 \text{DBDAP}_i$	39,26*	0,48	2,80

“Tabela 16, conclusão”

	Idade (anos)	Modelo ajustado	F	R ²	CV (%)	
<u>Rio Pardo de Minas</u>						
	7	6	$\hat{Y}_i = 0,3867 + 0,2084\text{DBDAP}_i$	9,67*	0,30	2,65
	8	7	$\hat{Y}_i = -7,7254 \times 10^{-2} + 1,1198\text{DBDAP}_i$	89,47*	0,80	2,97
	9	8	$\hat{Y}_i = 0,2218 + 0,5851\text{DBDAP}_i$	8,41*	0,39	1,62
	Geral		$\hat{Y}_i = 0,2330 + 0,5446\text{DBDAP}_i$	78,69*	0,52	3,62
<u>Sul de Minas</u>						
	10	4	$\hat{Y}_i = 0,2959 + 0,2914\text{DBDAP}_i$	11,84*	0,26	2,92
	11	5	$\hat{Y}_i = 0,1847 + 0,6242\text{DBDAP}_i$	65,71*	0,70	4,66
	12	6	$\hat{Y}_i = 0,1277 + 0,7522\text{DBDAP}_i$	62,16*	0,65	3,31
	13	7	$\hat{Y}_i = 0,2171 + 0,5454\text{DBDAP}_i$	16,29*	0,33	2,94
	14	8	$\hat{Y}_i = 0,0689 + 0,8837\text{DBDAP}_i$	189,49*	0,91	2,70
	Geral		$\hat{Y}_i = 0,1253 + 0,7545\text{DBDAP}_i$	529,04*	0,78	3,78
<u>Três Marias</u>						
	15	4	$\hat{Y}_i = 0,3600 + 0,2147\text{DBDAP}_i$	6,59*	0,27	2,57
	16	5	$\hat{Y}_i = 0,2226 + 0,5427\text{DBDAP}_i$	21,99*	0,44	2,70
	17	6	$\hat{Y}_i = 0,3704 + 0,2306\text{DBDAP}_i$	16,78*	0,48	3,25
	18	7	$\hat{Y}_i = 0,1491 + 0,7250\text{DBDAP}_i$	87,26*	0,76	2,31
	19	8	$\hat{Y}_i = 0,2784 + 0,4298\text{DBDAP}_i$	65,96*	0,70	1,60
	20	9	$\hat{Y}_i = 0,0096 + 0,9908\text{DBDAP}_i$	70,02*	0,75	2,89
	Geral		$\hat{Y}_i = 0,2174 + 0,5642\text{DBDAP}_i$	246,88*	0,62	3,66

R² = coeficiente de determinação; CV = coeficiente de variação do modelo; \hat{Y}_i = densidade básica média (g/cm³); DBDAP_i = densidade básica na altura do DAP (g/cm³); * significativo a 5% de probabilidade.

Pela Tabela 16, observa-se que houve diferença na qualidade do ajuste e na eficiência da regressão em cada idade. Assim, merecem destaques os modelos aos quatro, seis, sete e oito anos para João Pinheiro, Montes Claros, Rio Pardo de Minas e Sul de Minas, respectivamente, uma vez que apresentaram elevados valores do coeficiente de determinação e, em geral, baixo valor do coeficiente de variação, indicando pouca variação dos dados. Para Três Marias, ocorreu uma

significativa melhora no ajuste do modelo com o aumento da idade do clone, tendendo a uma estabilização a partir dos sete anos. Para os demais locais, não foi observado esse resultado. Dessa forma, considerando esses modelos ajustados, é possível obter a estimativa da DBMED a partir do conhecimento da DBDAP, especialmente nas idades em que a qualidade do ajuste foi elevada como, por exemplo, em João Pinheiro, aos quatro anos, Montes Claros, aos seis anos, Rio Pardo de Minas, aos sete anos, Sul de Minas, aos cinco, seis e oito anos, e em Três Marias a partir da idade de sete anos. Isso representa a redução de custos e de tempo na determinação da densidade básica.

Em estudo com *E. globulos* spp. *globulos* aos 35 anos, Igartúa et al. (2003) constataram que na predição da densidade básica da árvore, a partir da obtida na altura do DAP, deveria ser utilizada uma equação para cada local. Os autores encontraram ajustes de 0,82 e 0,70 para duas localidades. Couto (2011), trabalhando com *E. grandis*, encontrou na estimativa da DBMED a partir da DBDAP o ajuste de 0,55 e 0,68 para 42 e 54 meses de idade, respectivamente. Entretanto, Gouvêa et al. (2011), ao estudar a densidade básica da madeira de diversos clones de *Eucalyptus*, com três anos, encontraram a correlação de apenas 30%, o que sugere que a densidade na altura do DAP apresentou fraca relação funcional com a densidade média da árvore, nessa idade.

Na Figura 25, está ilustrada a distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados para a estimativa da DBMED a partir da DBDAP. Percebe-se, de modo geral, nenhuma tendenciosidade aparente, ou seja, nenhuma transgressão da pressuposição básica de homogeneidade de variâncias. Entretanto, verifica-se a presença de possíveis observações discrepantes em alguns dos modelos.

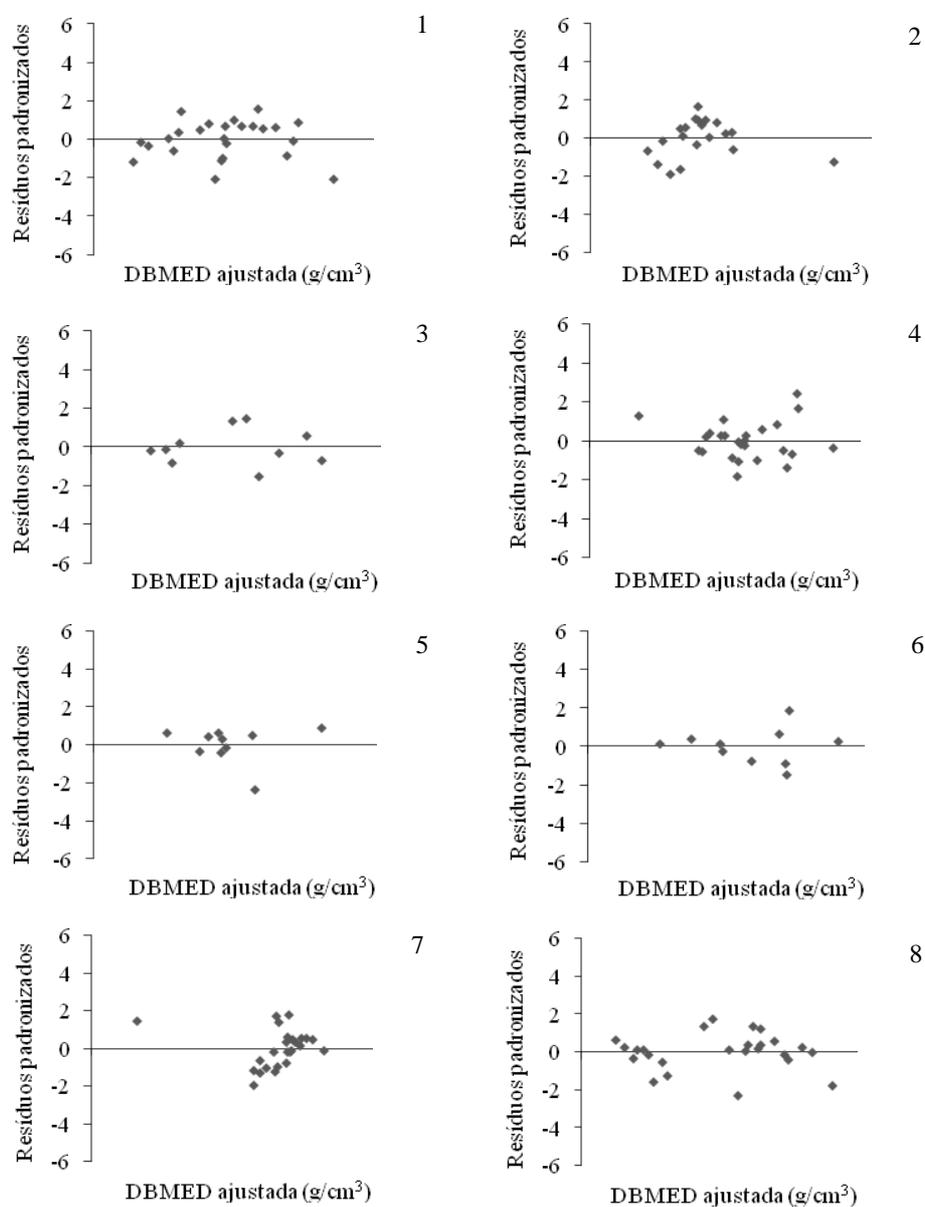


Figura 25 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 20 para a estimativa da densidade básica média (DBMED) a partir da obtida na altura do DAP - DBDAP (...continua...)

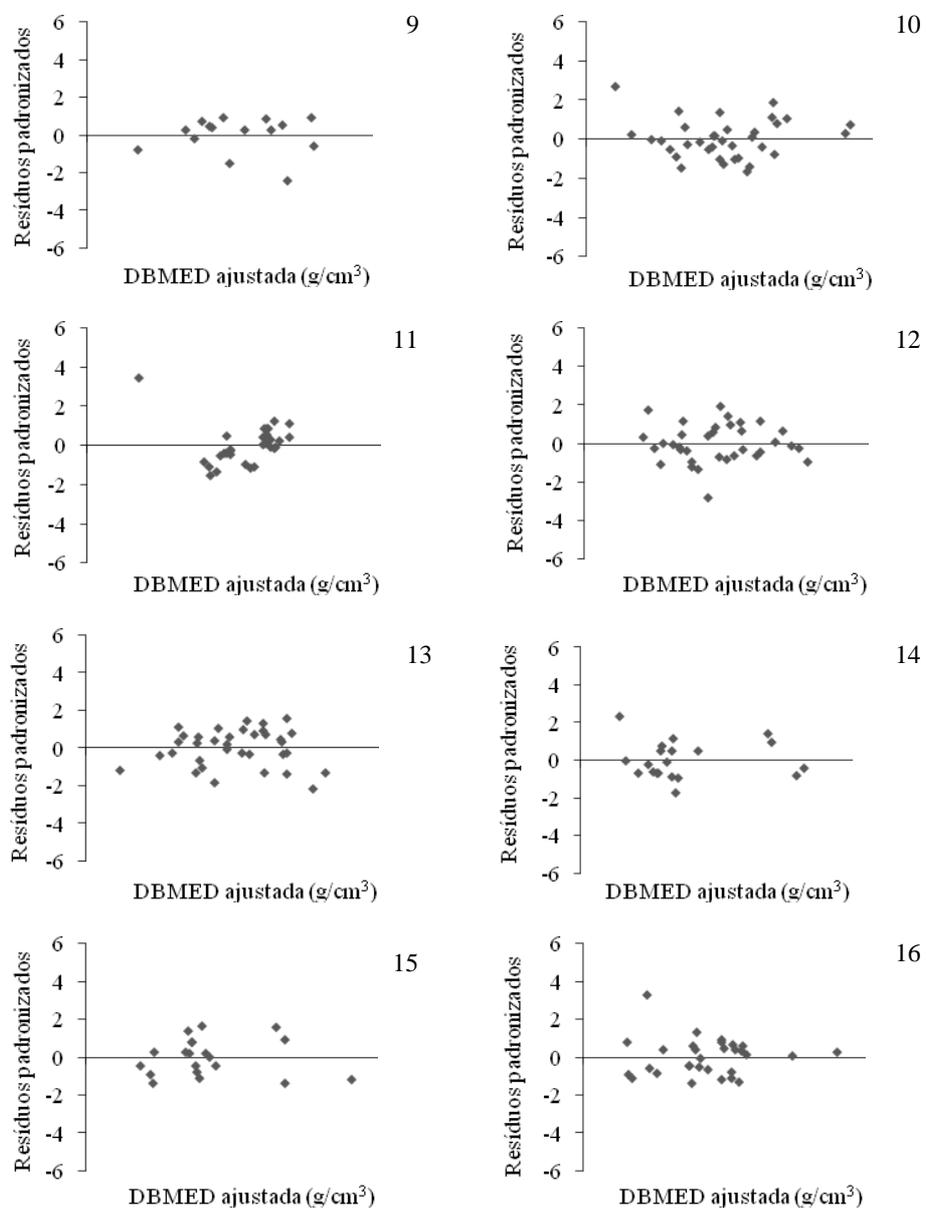


Figura 25 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 20 para a estimativa da densidade básica média (DBMED) a partir da obtida na altura do DAP - DBDAP (...continua...)

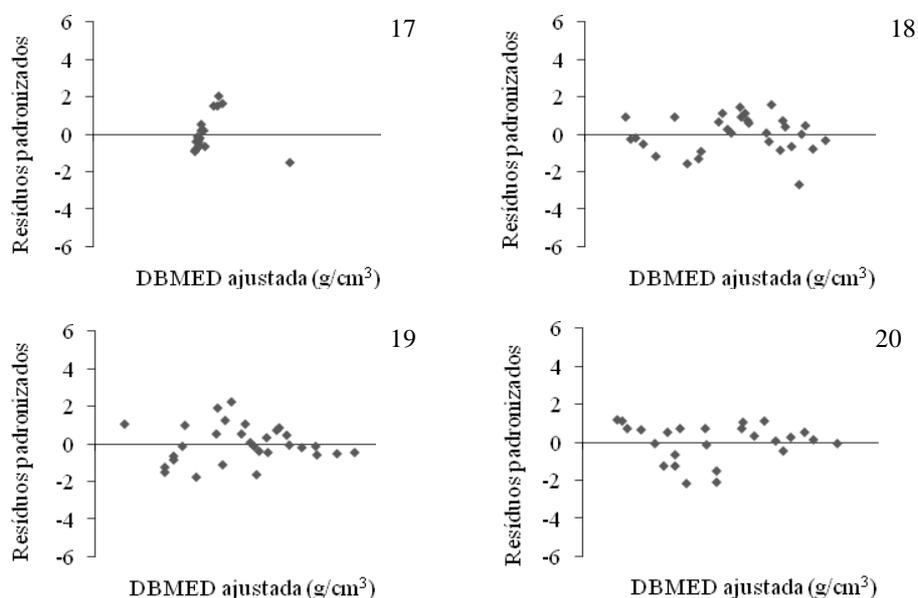


Figura 25 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 20 para estimativa da densidade básica média (DBMED) a partir da obtida na altura do DAP – DBDAP (conclusão)

Os modelos de regressão lineares ajustados para a estimativa da DBMED por idade e a equação geral, para cada local, estão apresentados na Tabela 17. Verifica-se que os modelos testados para as idades de cinco e seis anos, para Montes Claros, oito anos, para Rio Pardo de Minas, e cinco anos, para Três Marias, não foram significativos. Por sua vez, foi possível ajustar dois tipos de modelos lineares com ajustes semelhantes para as idades de cinco e seis anos para Rio Pardo de Minas e João Pinheiro, respectivamente. No entanto, o modelo ajustado para João Pinheiro apresentou melhor qualidade de ajuste, sendo a estimativa mais precisa com a sua utilização. Nesse caso, a DBMED pode ser estimada tanto pelo índice de sítio quanto pela média do incremento médio anual volumétrico (IMAm).

Tabela 17 Modelos de regressão ajustados para a estimativa da densidade básica média

Nº	Idade (anos)	Modelo ajustado	R ² aj.	CV (%)
<u>João Pinheiro</u>				
1	4	$\hat{Y}_i = 0,2779 + 4,4746 \times 10^{-3} S_i$	0,82*	2,37
2	5	$\hat{Y}_i = 0,4125 + 9,7538 \times 10^{-3} IMAm_i$	0,30*	3,58
3	6	$\hat{Y}_i = 0,3557 + 4,4054 \times 10^{-3} IMAm_i$	0,88*	1,74
4	6	$\hat{Y}_i = -7,4897 \times 10^{-2} + 2,1300 \times 10^{-2} S_i$	0,88*	1,74
5	Geral	$\hat{Y}_i = 0,1280 + 3,8680 \times 10^{-2} I_i + 4,3291 \times 10^{-3} S_i$	0,66*	3,41
<u>Montes Claros</u>				
6	7	$\hat{Y}_i = 1,1505 + 1,4813 \times 10^{-3} IMAm_i + 2,6044 \times 10^{-2} HT_i$	0,47*	1,18
7	Geral	$\hat{Y}_i = 0,4947 + 2,1823 \times 10^{-2} I_i + 6,3159 \times 10^{-3} DAP_i - 8,3511 \times 10^{-3} HT_i$	0,60*	2,44
<u>Rio Pardo de Minas</u>				
8	5	$\hat{Y}_i = -1,0828 + 2,5573 \times 10^{-2} DAP_i + 6,8398 \times 10^{-2} HT_i - 1,1036 \times 10^{-2} IMAm_i$	0,60*	1,94
9	5	$\hat{Y}_i = -3,6730 + 2,5573 \times 10^{-2} DAP_i + 6,8399 \times 10^{-2} HT_i + 8,4299 \times 10^{-2} S_i$	0,60*	1,94
10	6	$\hat{Y}_i = -14,1084 + 1,7537 S_i - 6,9917 \times 10^{-2} S_i^2 + 9,2470 S_i^3$	0,39*	2,42
11	7	$\hat{Y}_i = -1,1661 + 0,1138 S_i - 1,9193 \times 10^{-3} S_i^2$	0,86*	2,38
12	Geral	$\hat{Y}_i = 0,3045 + 1,0849 \times 10^{-2} I_i + 4,4232 \times 10^{-3} S_i$	0,45*	3,85

“Tabela 17, conclusão”

Nº	Idade (anos)	Modelo ajustado	R ² aj.	CV (%)
<u>Sul de Minas</u>				
13	4	$\hat{Y}_i = 0,4712 - 1,8243 \times 10^{-3} S_i$	0,30*	2,80
14	5	$\hat{Y}_i = 0,9221 + 1,4029 \times 10^{-3} \text{IMAm}_i - 2,1769 \times 10^{-2} \text{HT}_i$	0,67*	4,82
15	6	$\hat{Y}_i = 0,4182 + 1,0991 \times 10^{-3} \text{IMAm}_i$	0,70*	3,05
16	7	$\hat{Y}_i = 0,4254 + 5,8004 \times 10^{-4} \text{IMAm}_i$	0,52*	2,45
17	8	$\hat{Y}_i = 94,1050 + 5,9741 S_i + 9,5214 \times 10^{-2} S_i^2$	0,53*	6,13
18	Geral	$\hat{Y}_i = 0,3790 + 1,7249 \times 10^{-2} I_i + 9,8087 \times 10^{-3} \text{DAP}_i - 7,0357 \times 10^{-3} \text{HT}_i$	0,32*	6,57
<u>Três Marias</u>				
19	4	$\hat{Y}_i = 0,1867 + 2,8076 \times 10^{-2} \text{IMAm}_i - 8,8580 \times 10^{-4} \text{IMAm}_i^2 + 8,6484 \times 10^{-6} \text{IMAm}_i^3$	0,29*	2,47
20	6	$\hat{Y}_i = -0,8629 + 0,1228 \text{IMAm}_i - 3,5117 \times 10^{-3} \text{IMAm}_i^2 + 3,1685 \times 10^{-5} \text{IMAm}_i^3$	0,89*	1,44
21	7	$\hat{Y}_i = -17,3155 + 2,0253 S_i - 7,6001 \times 10^{-2} S_i^2 + 9,4119 \times 10^{-4} S_i^3$	0,74*	2,35
22	8	$\hat{Y}_i = 0,3994 + 2,9829 \times 10^{-3} S_i$	0,56*	1,91
23	9	$\hat{Y}_i = 34,0214 - 3,3300 S_i + 0,1102 S_i^2 + 1,2149 \times 10^{-3} S_i^3$	0,28*	4,84
24	Geral	$\hat{Y}_i = 0,3574 + 1,2077 \times 10^{-2} I_i + 1,5776 \times 10^{-3} S_i$	0,43*	4,46

R²aj.= coeficiente de determinação ajustado; CV = coeficiente de variação do modelo; \hat{Y}_i = densidade básica média (g/cm³); S_i = índice de sítio (m); IMAm_i = média aritmética do incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); HT_i = altura total (m); DAP_i = diâmetro a 1,30 m de altura (cm); I_i = idade (anos); * significativo a 5% de probabilidade.

Pela Tabela 17, observa-se que o melhor ajuste obtido para a idade de quatro e seis anos para João Pinheiro e seis e sete anos para Três Marias e Rio Pardo de Minas, respectivamente, indica a utilização desses modelos para a estimativa da DBMED. Entretanto, analisando a Figura 26, verifica-se que somente os modelos propostos para João Pinheiro, aos seis anos, podem ser sugeridos em virtude da melhor distribuição dos resíduos. Observa-se também que, apesar do coeficiente de determinação ajustado ser de apenas 60%, os modelos ajustados aos cinco anos para Rio Pardo de Minas e a equação geral de Montes Claros não apresentaram problemas de distribuição residual.

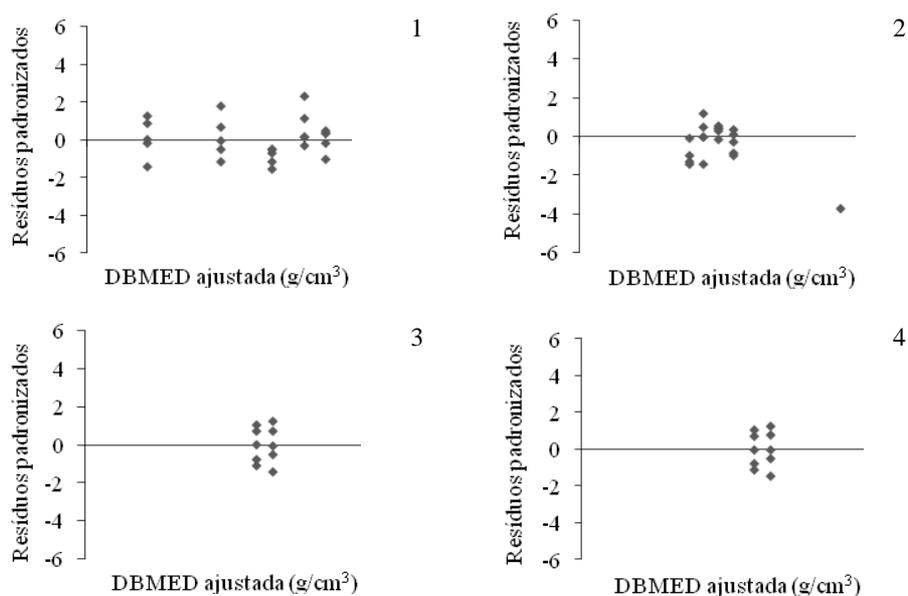


Figura 26 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 24 para a estimativa da densidade básica média – DBMED (...continua...)

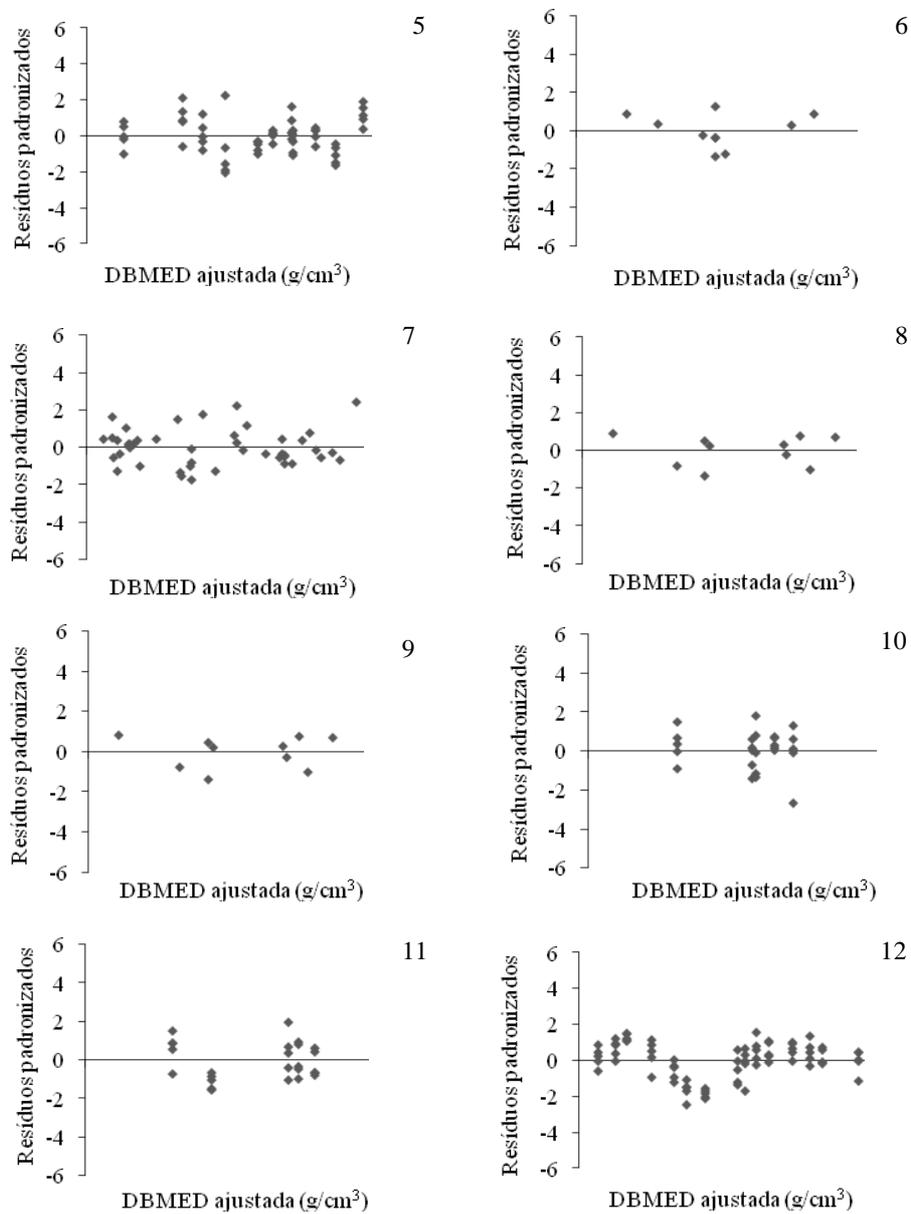


Figura 26 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 24 para a estimativa da densidade básica média – DBMED (...continua...)

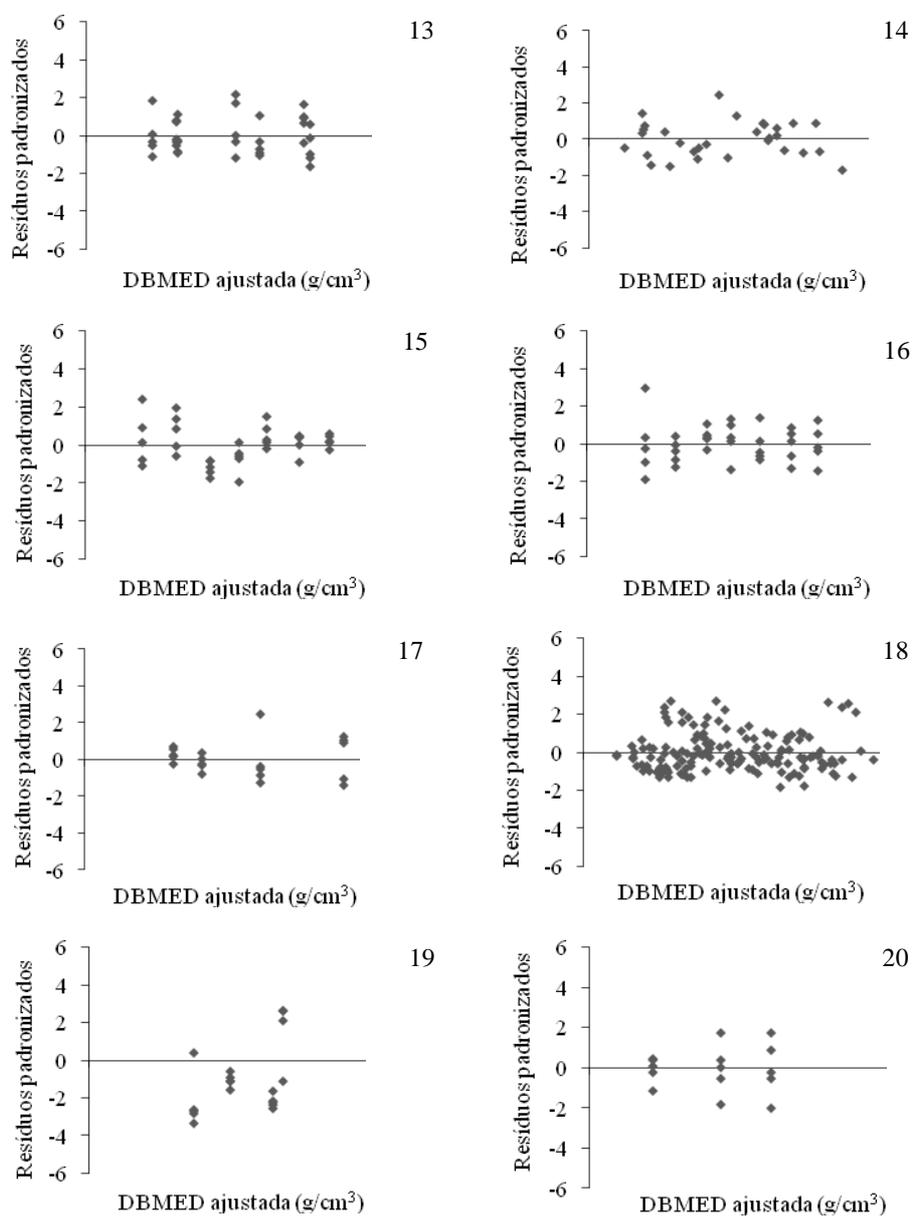


Figura 26 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 24 para a estimativa da densidade básica média – DBMED (...continua...)

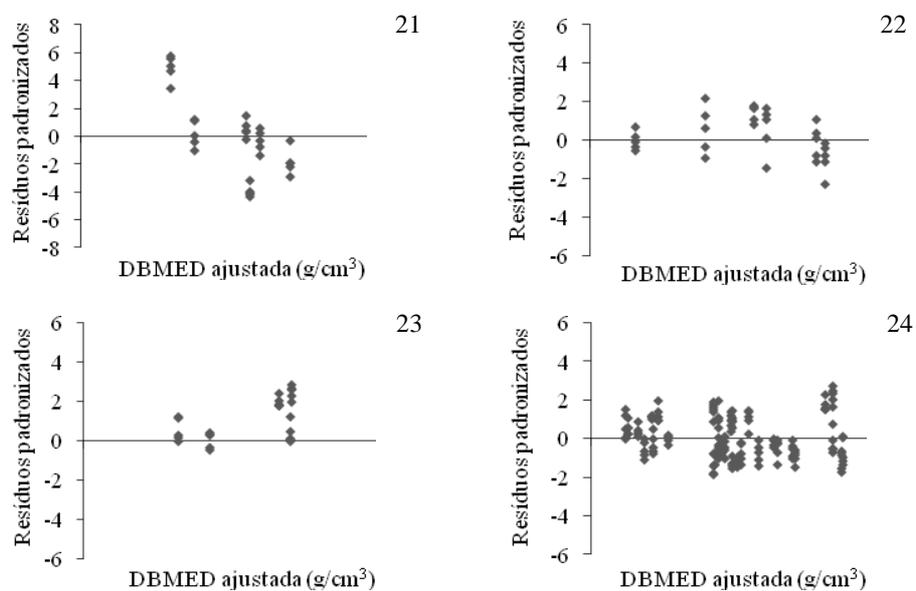


Figura 26 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 24 para a estimativa da densidade básica média – DBMED (conclusão)

Os modelos lineares ajustados para a estimativa da DBMED para cada local e equação geral estão apresentados na Tabela 18. De modo geral, os modelos ajustados apresentaram elevados valores do coeficiente de determinação ajustado e baixos valores do coeficiente de variação, indicando a precisão e pouca dispersão dos dados observados em relação aos estimados. Todas as variáveis regressoras foram significativas, exceto o índice de sítio da equação ajustada para Três Marias, incluindo a equação geral.

Tabela 18 Modelos de regressão ajustados para a estimativa da densidade básica média por local

Local	Modelo ajustado	R ² aj.	CV
João Pinheiro	$\hat{Y}_i = 7,2249 \times 10^{-2} + 0,4789 \text{DBDAP}_i + 2,5282 \times 10^{-3} S_i + 1,8762 \times 10^{-3} I_i$	0,84*	2,36
Montes Claros	$\hat{Y}_i = 3,3500 + 0,4240 \text{DBDAP}_i - 2,9849 \times 10^{-3} S_i + 7,9735 \times 10^{-3} I_i$	0,71*	2,07
Rio Pardo de Minas	$\hat{Y}_i = 0,1602 + 0,4332 \text{DBDAP}_i + 3,9075 S_i + 3,5389 I_i$	0,69*	2,87
Sul de Minas	$\hat{Y}_i = 0,1222 + 0,7431 \text{DBDAP}_i + 1,8345 \times 10^{-4} \text{IMAm}_i$	0,78*	3,72
Três Marias	$\hat{Y}_i = 0,2362 + 0,4668 \text{DBDAP}_i - 2,2623 \times 10^{-4} S_i + 5,1249 \times 10^{-3} I_i$	0,69*	3,28
Geral	$\hat{Y}_i = 0,1533 + 0,6642 \text{DBDAP}_i - 2,1657 S_i + 3,6139 \times 10^{-3} I_i$	0,78*	3,69

R²aj.= coeficiente de determinação ajustado; CV = coeficiente de variação do modelo (%); \hat{Y}_i = densidade básica média (g/cm³); DBDAP_i = densidade básica na altura do DAP (g/cm³); S_i = índice de sítio (m); I_i = idade (anos); IMAm_i = média aritmética do incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); * significativo a 5% de probabilidade.

A relação entre os valores ajustados e os observados e a distribuição dos resíduos estão ilustradas nas Figuras 27 e 28, respectivamente. Percebe-se a presença de possíveis observações discrepantes para a maioria dos modelos ajustados, exceto no ajuste realizado para João Pinheiro e Montes Claros. Portanto, os modelos ajustados para esses locais foram os mais adequados na estimativa da DBMED em função da DBDAP, índice de sítio e idade.

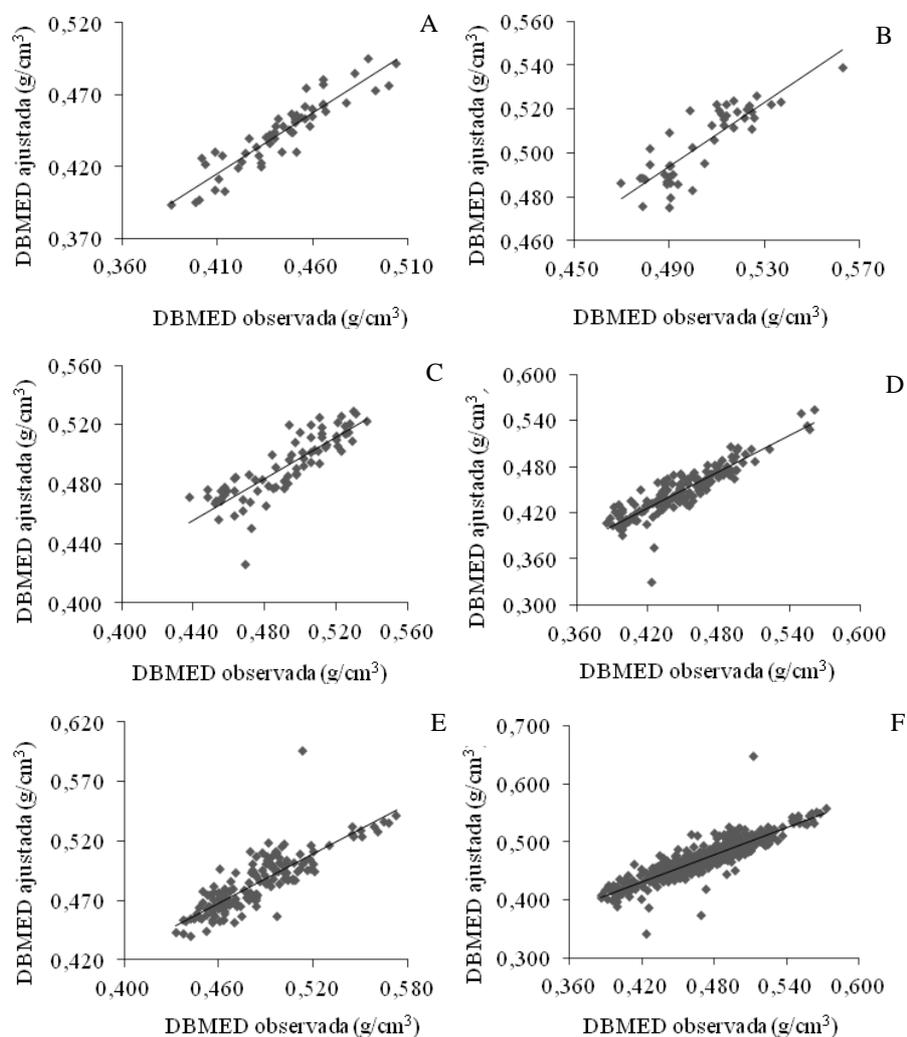


Figura 27 Relação entre os valores ajustados da densidade básica média (DBMED) e os observados em João Pinheiro (A), Montes Claros (B), Rio Pardo de Minas (C), Sul de Minas (D), Três Marias (E) e equação geral (F)

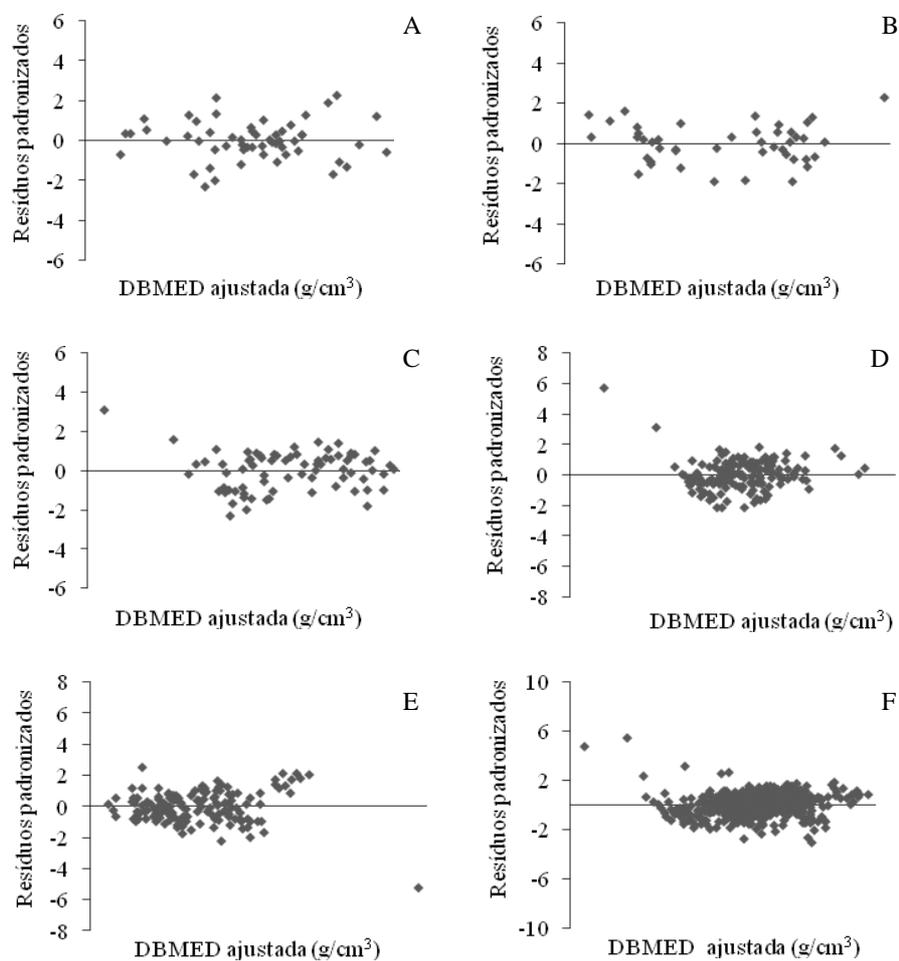


Figura 28 Resíduos das equações da estimativa da densidade básica média (DBMED) em João Pinheiro (A), Montes Claros (B), Rio Pardo de Minas (C), Sul de Minas (D), Três Marias (E) e equação geral (F)

Na Tabela 19, são verificados os modelos de regressão lineares selecionados para a estimativa da DBDAP por idade e também a equação geral, para cada local analisado. Os modelos de regressão lineares testados foram não significativos para a equação geral de Rio Pardo de Minas e para as idades de Montes Claros, de cinco, oito e nove anos para João Pinheiro, Rio Pardo de Minas e Três Marias, respectivamente. Enquanto que para Rio Pardo de Minas, para a idade de cinco anos, dois modelos lineares simples, utilizando IMAm e índice de sítio, apresentaram os melhores ajustes entre os modelos testados. Isso significa que a DBDAP pode ser estimada pelo IMAm ou pelo índice de sítio. Entretanto, o modelo apresentou baixa precisão, isto é, baixo valor do coeficiente de determinação ajustado.

Tabela 19 Modelos de regressão lineares ajustados para a estimativa da densidade básica obtida na altura do DAP

Nº	Idade (anos)	Modelo ajustado	R ² aj.	CV (%)
<u>João Pinheiro</u>				
1	4	$\hat{Y}_i = 0,3550 + 1,4959 \times 10^{-3} \text{IMAm}_i$	0,65*	3,77
2	6	$\hat{Y}_i = 0,9571 + 0,0085 \text{IMAm}_i - 3,0605 \times 10^{-2} \text{HT}_i$	0,67*	3,92
3	Geral	$\hat{Y}_i = 0,1164 + 4,1603 \times 10^{-2} \text{I}_i + 3,7608 \times 10^{-3} \text{S}_i$	0,47*	5,35
<u>Montes Claros</u>				
4	Geral	$\hat{Y}_i = 0,4780 + 1,5240 \times 10^{-2} \text{I}_i + 8,3317 \times 10^{-3} \text{DAP}_i - 8,1068 \times 10^{-3} \text{HT}_i$	0,20*	3,92
<u>Rio Pardo de Minas</u>				
5	5	$\hat{Y}_i = 0,3305 + 4,3152 \times 10^{-3} \text{IMAm}_i$	0,35*	5,14
6	5	$\hat{Y}_i = 1,3433 - 3,2963 \times 10^{-2} \text{S}_i$	0,35*	5,14
7	6	$\hat{Y}_i = -55,3279 + 6,8844 \text{S}_i - 0,2813 \text{S}_i^2 + 3,8038 \times 10^{-3} \text{S}_i^3$	0,22*	7,35
8	7	$\hat{Y}_i = 0,2624 + 7,9425 \times 10^{-3} \text{S}_i$	0,69*	2,77
<u>Sul de Minas</u>				
9	4	$\hat{Y}_i = 0,2262 + 2,092 \times 10^{-3} \text{IMAm}_i - 1,1422 \times 10^{-2} \text{HT}_i$	0,24*	5,45
10	5	$\hat{Y}_i = 1,1019 + 2,6636 \times 10^{-3} \text{IMAm}_i - 3,2371 \times 10^{-2} \text{HT}_i$	0,57*	7,69
11	6	$\hat{Y}_i = 0,4418 - 1,4659 \times 10^{-3} \text{IMAm}_i + 3,1186 \times 10^{-5} \text{IMAm}_i^2$	0,65*	3,64
12	7	$\hat{Y}_i = 4,1672 - 0,4678 \text{S}_i + 1,9158 \times 10^{-2} \text{S}_i^2 - 2,5736 \text{S}_i^3$	0,30*	3,29
13	8	$\hat{Y}_i = 0,3115 + 2,7257 \times 10^{-3} \text{IMAm}_i$	0,46*	7,35
14	Geral	$\hat{Y}_i = 0,3673 + 2,0386 \times 10^{-2} \text{I}_i + 1,0863 \times 10^{-2} \text{DAP}_i - 8,7119 \times 10^{-3} \text{HT}_i$	0,25*	8,40

“Tabela 19, conclusão”

Nº	Idade (anos)	Modelo ajustado	R ² aj.	CV (%)
<u>Três Marias</u>				
15	4	$\hat{Y}_i = 0,7350 - 1,5828 \times 10^{-2} \text{IMAm}_i + 1,9987 \times 10^{-4} \text{IMAm}_i^2$	0,72*	3,78
16	5	$\hat{Y}_i = 0,2398 - 0,0155 \text{IMAm}_i - 3,6225 \times 10^{-4} \text{IMAm}_i^2 + 2,7211 \times 10^{-6} \text{IMAm}_i^3$	0,68*	3,21
17	6	$\hat{Y}_i = -2,8041 + 0,3016 \text{IMAm}_i - 8,6978 \times 10^{-3} \text{IMAm}_i^2 + 7,9191 \times 10^{-5} \text{IMAm}_i^3$	0,40*	10,44
18	7	$\hat{Y}_i = 0,6908 + 1,1520 \times 10^{-2} \text{DAP}_i - 1,9145 \times 10^{-2} \text{HT}_i + 9,4563 \times 10^{-3} \text{S}_i$	0,22*	5,07
19	8	$\hat{Y}_i = 0,3109 + 5,8600 \times 10^{-3} \text{S}_i$	0,57*	3,76
20	Geral	$\hat{Y}_i = 0,2596 + 1,4892 \times 10^{-2} \text{I}_i + 3,8641 \times 10^{-3} \text{S}_i$	0,37*	6,66

R²aj.= coeficiente de determinação ajustado; CV = coeficiente de variação do modelo; \hat{Y}_i = densidade básica obtida na altura do DAP (g/cm³); IMAm_i = média aritmética do incremento médio anual volumétrico (m³/ha.ano); HT_i = altura total (m); S_i = índice de sítio (m); I_i = idade (anos); DAP_i = diâmetro a 1,30 m de altura (cm); * significativo a 5% de probabilidade.

De modo geral, sugere-se para a estimativa da DBDAP apenas o modelo ajustado para a idade de seis anos para João Pinheiro, uma vez que atendeu a todos os critérios de seleção e não apresentou transgressão aparente da pressuposição da homogeneidade de variâncias (Tabela 19 e Figura 29).

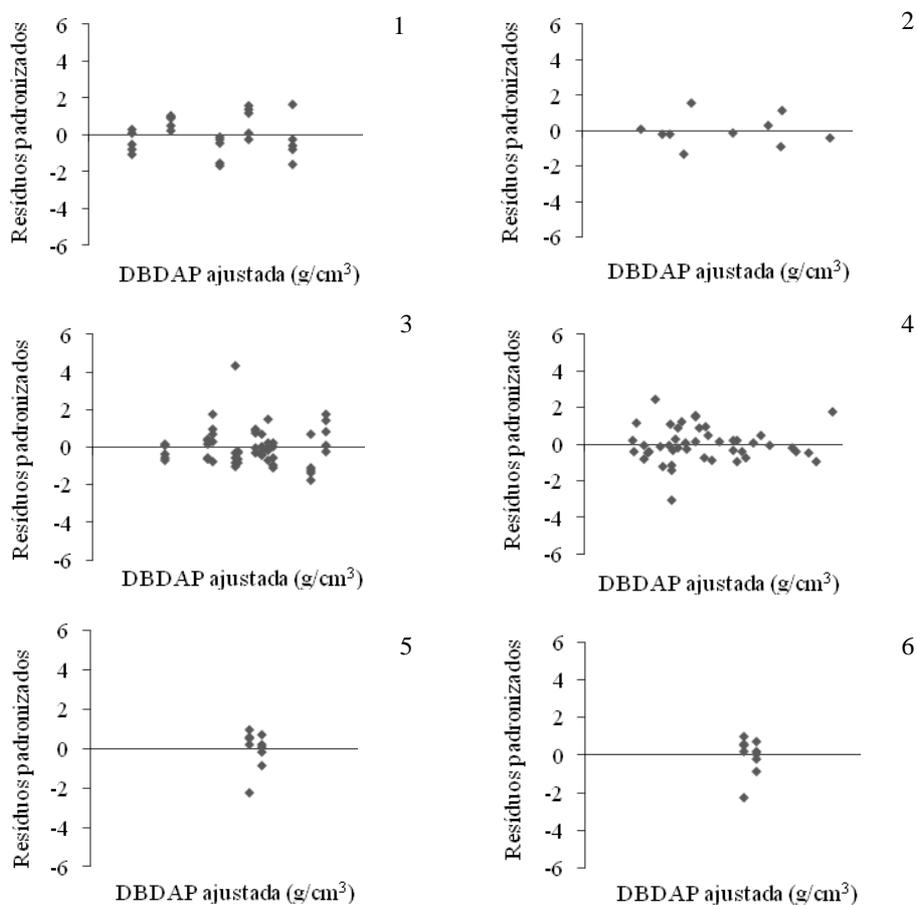


Figura 29 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 20 para a estimativa da densidade básica na altura do DAP – DBDAP (...continua...)

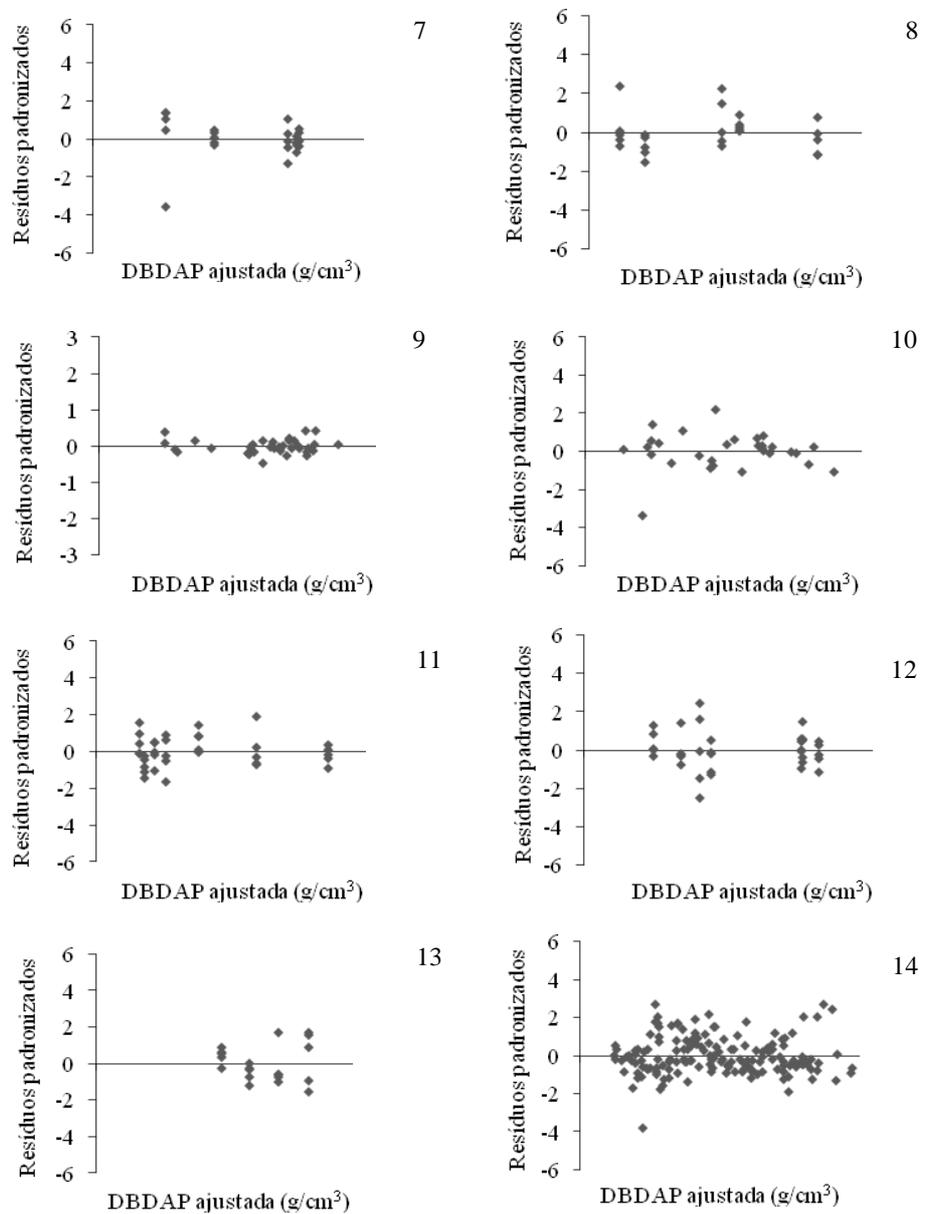


Figura 29 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 20 para a estimativa da densidade básica na altura do DAP – DBDAP (...continua...)

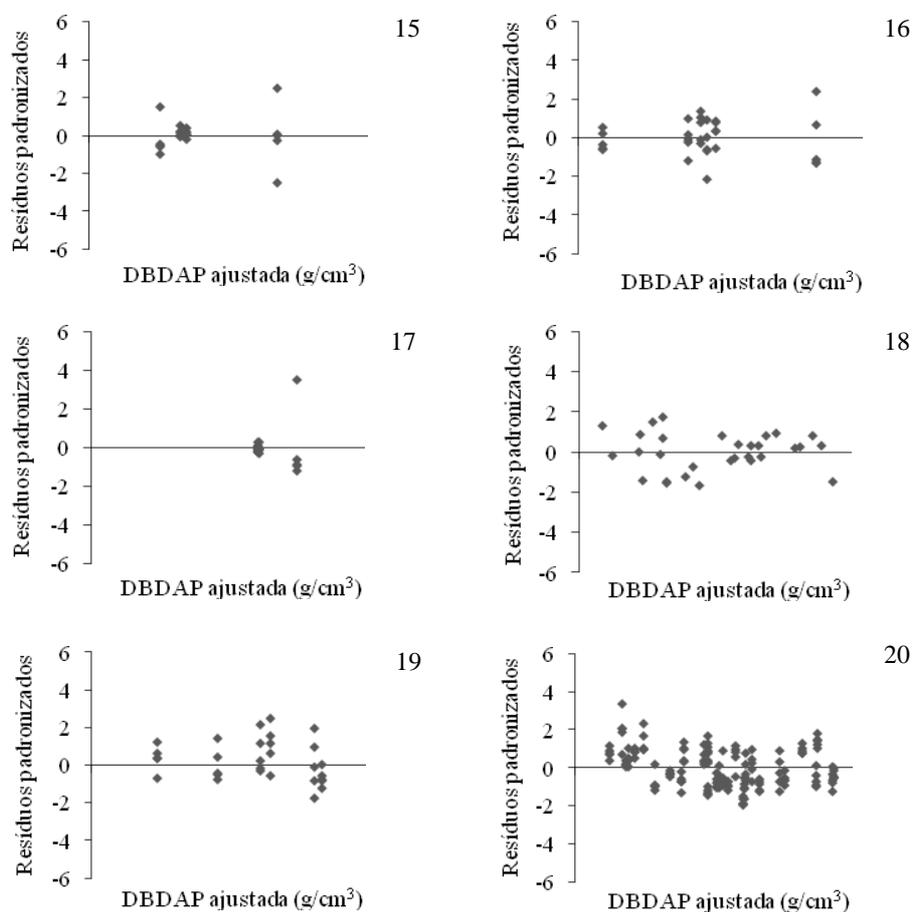


Figura 29 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 20 para a estimativa da densidade básica na altura do DAP – DBDAP (conclusão)

4.5 Modelagem da massa seca

Na Tabela 20, observam-se os modelos lineares ajustados para a estimativa do IMSDBD por idade, para cada local analisado. Percebe-se que os valores dos ajustes foram elevados, sendo possível ajustar modelos lineares com

variáveis regressoras diferentes para cada idade, exceto para a idade de cinco anos, em Montes Claros e Rio Pardo de Minas, e de oito anos, em Rio Pardo de Minas.

Tabela 20 Modelos de regressão para a estimativa do incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na altura do DAP

Nº	Idade	Modelo ajustado	R ² _{aj.}	CV
<u>João Pinheiro</u>				
1	4	$\hat{Y}_i = -1840780,00 + 165828,00S_i - 4912,31S_i^2 + 48,26S_i^3$	0,90*	12,38
2	5	$\hat{Y}_i = -21615,20 + 519,84DAP_i + 1386,82HT_i - 155,61S_i$	0,99*	4,46
3	6	$\hat{Y}_i = -60790,60 + 2845,07S_i$	0,97*	4,19
<u>Montes Claros</u>				
4	6	$\hat{Y}_i = 218455,00 - 8111,41S_i$	0,95*	4,84
5	7	$\hat{Y}_i = 1300680,00 - 48517,20S_i$	0,98*	1,85
<u>Rio Pardo de Minas</u>				
6	6	$\hat{Y}_i = -25964,00 + 3542,43DAP_i - 1074,75HT_i + 743,45S_i$	0,94*	12,15
7	7	$\hat{Y}_i = -24829,40 + 1489,70DAP_i + 737,48HT_i$	0,98*	8,08
<u>Sul de Minas</u>				
8	4	$\hat{Y}_i = -39225,90 + 1596,64S_i$	0,88*	12,96
9	5	$\hat{Y}_i = -30774,90 + 1753,75S_i$	0,71*	18,81
10	6	$\hat{Y}_i = -18581,60 + 3876,89DAP_i - 786,03HT_i$	0,94*	13,95
11	7	$\hat{Y}_i = -20717,90 + 3254,15DAP_i - 453,14HT_i$	0,98*	7,22
12	8	$\hat{Y}_i = 11604200,00 - 742355,00S_i + 11888,00S_i^2$	0,82*	12,53
<u>Três Marias</u>				
13	4	$\hat{Y}_i = 3407,83 + 3884,60DAP_i - 1807,57HT_i$	0,83*	11,68
14	6	$\hat{Y}_i = -36997,90 + 2837,03DAP_i - 515,55HT_i$	0,91*	9,36
15	7	$\hat{Y}_i = 508099,00 - 37129,70S_i + 693,46S_i^2$	0,88*	12,98
16	8	$\hat{Y}_i = -15713,50 + 3426,87DAP_i - 719,59HT_i$	0,98*	6,41
17	9	$\hat{Y}_i = -39947,50 + 1857,54DAP_i + 937,73HT_i$	0,97*	6,31

Idade em anos; R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado; CV = coeficiente de variação do modelo (%); \hat{Y}_i = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na altura do DAP (kg/ha.ano); S_i = índice de sítio (m); DAP_i = diâmetro a 1,30 m de altura (cm); HT_i = altura total (m); * = significativo a 5% de probabilidade.

Apesar dos elevados valores do coeficiente de determinação ajustado para a maioria dos modelos lineares, propõe-se para a estimativa do IMSDBD

apenas os modelos ajustados aos cinco e seis anos, para João Pinheiro, aos seis e sete, para Montes Claros, e aos oito anos, para Três Marias. Esses modelos apresentaram resíduos aleatoriamente distribuídos, sem tendenciosidade aparente e ausência de possíveis observações discrepantes (Figura 30).

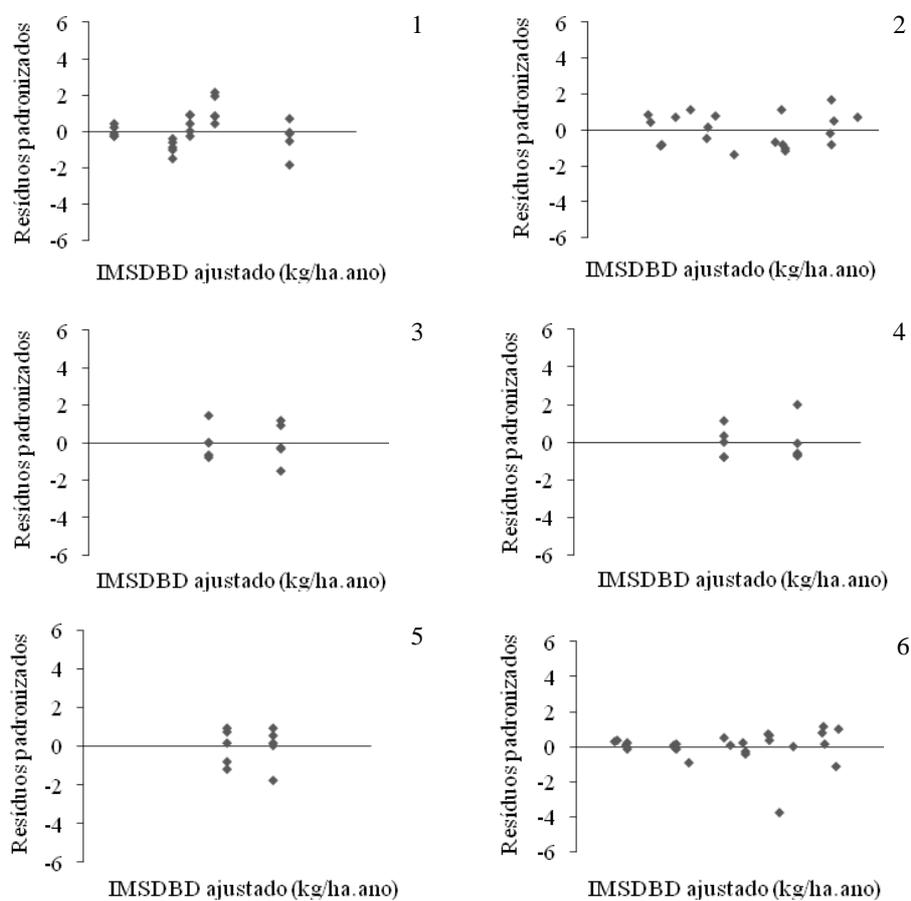


Figura 30 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 17 para a estimativa do incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na altura do DAP – IMSDBD (...continua...)

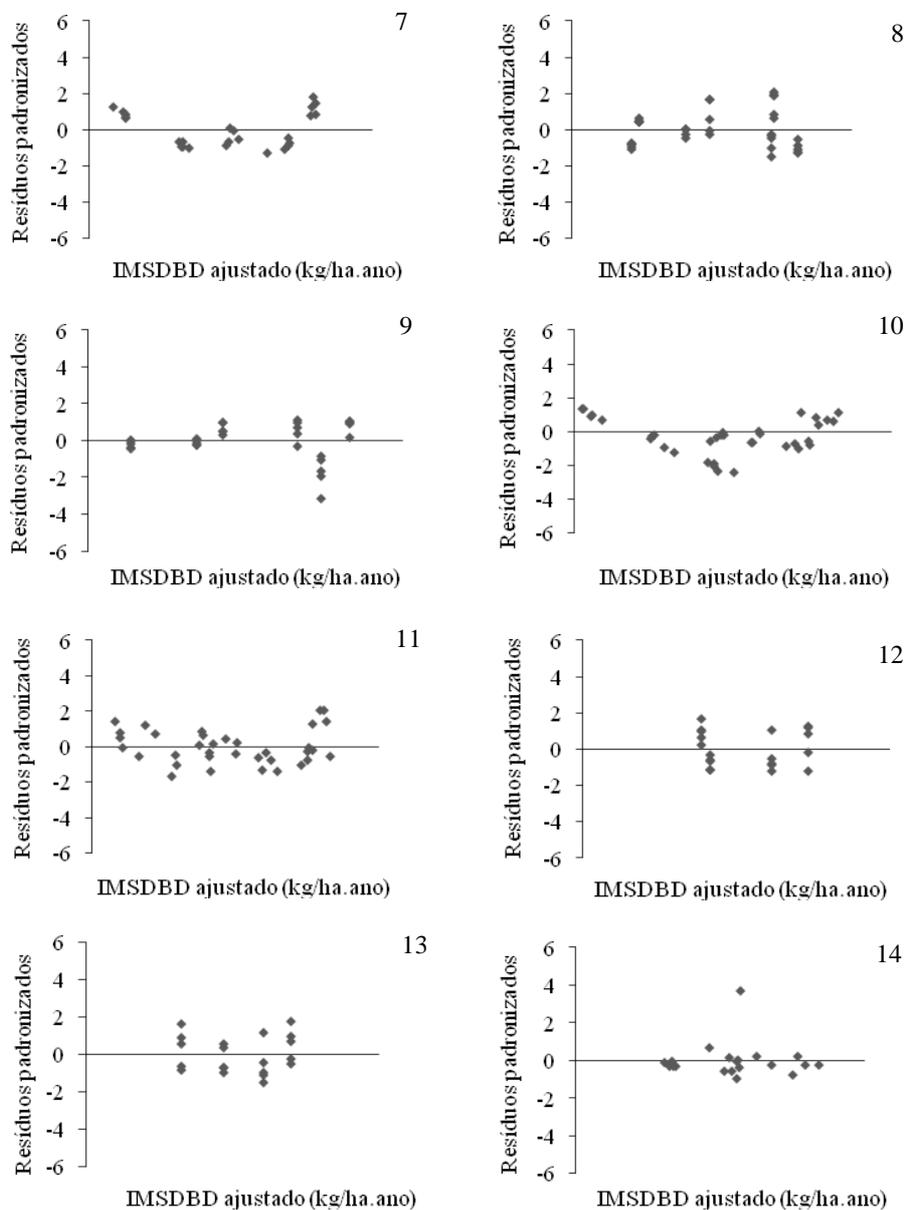


Figura 30 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 17 para a estimativa do incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na altura do DAP – IMSDBD (...continua...)

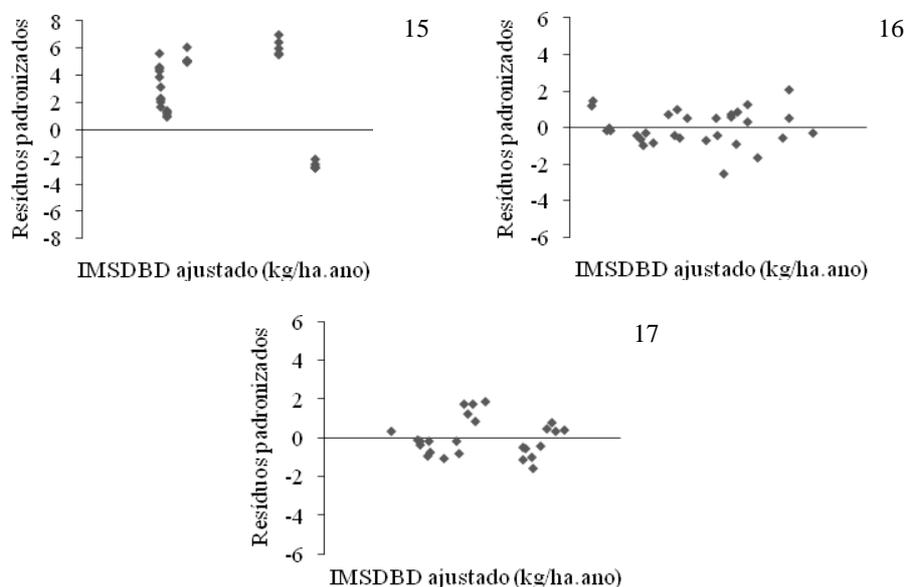


Figura 30 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 17 para a estimativa do incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica na altura do DAP – IMSDBD (conclusão)

Santana (2009), ao utilizar o modelo linear múltiplo com interação ajustado em função do DAP, altura total e idade, obteve o ajuste de 99% para a estimativa da massa seca de madeira do clone GG 100. Reis et al. (1985) também obteve o ajuste semelhante ao encontrado por Santana (2009), na estimativa da biomassa seca de madeira de *E. grandis* por meio do uso de um modelo linear logarítmico, com DAP e altura total como variáveis independentes. Esses resultados estão de acordo com os ajustes encontrados neste trabalho, mostrando que existem outras equações para a estimativa da massa seca.

Os modelos de regressão lineares para a estimativa do IMSDBM estão apresentados na Tabela 21. De modo geral, os valores dos ajustes foram elevados e com baixos valores de coeficiente de variação, indicando pequena dispersão dos valores estimados, exceto o modelo ajustado aos quatro anos em

João Pinheiro, aos cinco, seis e oito anos em Sul de Minas, e aos cinco e sete anos em Três Marias.

Tabela 21 Modelos de regressão lineares para a estimativa do incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média

Nº	Idade	Modelo ajustado	R ² aj.	CV
<u>João Pinheiro</u>				
1	4	$\hat{Y}_i = -1936330,00 + 174425,00S_i - 5166,53S_i^2 + 50,76S_i^3$	0,91*	12,16
2	5	$\hat{Y}_i = -22866,80 + 718,96DAP_i + 1334,60HT_i - 143,63S_i$	0,99*	3,85
3	6	$\hat{Y}_i = -60481,70 + 2844,70S_i$	0,99*	2,44
<u>Montes Claros</u>				
4	6	$\hat{Y}_i = 228709,00 - 8490,57S_i$	0,97*	3,65
5	7	$\hat{Y}_i = 1369560,00 - 51085,60S_i$	0,99*	1,17
<u>Rio Pardo de Minas</u>				
6	5	$\hat{Y}_i = -140493,00 + 2655,72DAP_i + 2616,05HT_i + 2194,56S_i$	0,99*	2,08
7	6	$\hat{Y}_i = -29198,60 + 2795,15DAP_i - 563,60HT_i + 814,67S_i$	0,99*	5,23
8	7	$\hat{Y}_i = -26495,50 + 1520,09DAP_i + 810,69HT_i$	0,98*	7,70
9	8	$\hat{Y}_i = -32752,00 + 2076,55DAP_i + 666,67HT_i$	0,99*	2,66
<u>Sul de Minas</u>				
10	4	$\hat{Y}_i = -25300,90 + 2833,65DAP_i - 809,10HT_i + 651,44S_i$	0,96*	9,34
11	5	$\hat{Y}_i = -34233,80 + 1909,65S_i$	0,80*	15,54
12	6	$\hat{Y}_i = -18581,60 + 3876,89DAP_i - 786,04HT_i$	0,94*	12,63
13	7	$\hat{Y}_i = -23014,60 + 3467,00DAP_i - 449,01HT_i$	0,98*	7,95
14	8	$\hat{Y}_i = -207030,00 + 7417,71S_i$	0,83*	13,65
<u>Três Marias</u>				
15	4	$\hat{Y}_i = -2230,98 + 4119,09DAP_i - 1726,93HT_i$	0,89*	9,98
16	5	$\hat{Y}_i = -23210,60 + 1489,22S_i$	0,19*	37,32
17	6	$\hat{Y}_i = -27456,70 + 3094,41DAP_i + 279,21HT_i - 248,24S_i$	0,99*	2,97
18	7	$\hat{Y}_i = 511980,00 - 37426,60S_i + 700,05S_i^2$	0,92*	12,84
19	8	$\hat{Y}_i = -16621,20 + 3224,34DAP_i - 567,78HT_i$	0,99*	5,39
20	9	$\hat{Y}_i = -36154,00 + 1953,86DAP_i + 765,82HT_i$	0,96*	6,90

Idade em anos; R²aj.= coeficiente de determinação ajustado; CV = coeficiente de variação do modelo (%); \hat{Y}_i = incremento médio anual em massa seca obtido pela densidade básica média (kg/ha.ano); S_i = índice de sítio (m); DAP_i = diâmetro a 1,30 m de altura (cm); HT_i = altura total (m); * significativo a 5% de probabilidade.

Para a estimativa do IMSDBM se recomenda apenas os modelos ajustados aos cinco, seis, sete e oito anos para João Pinheiro, Rio Pardo de Minas, Montes Claros e Três Marias, respectivamente, uma vez que se verifica a distribuição aleatória dos resíduos, sem tendenciosidade aparente e ausência de possíveis observações discrepantes (Figura 31).

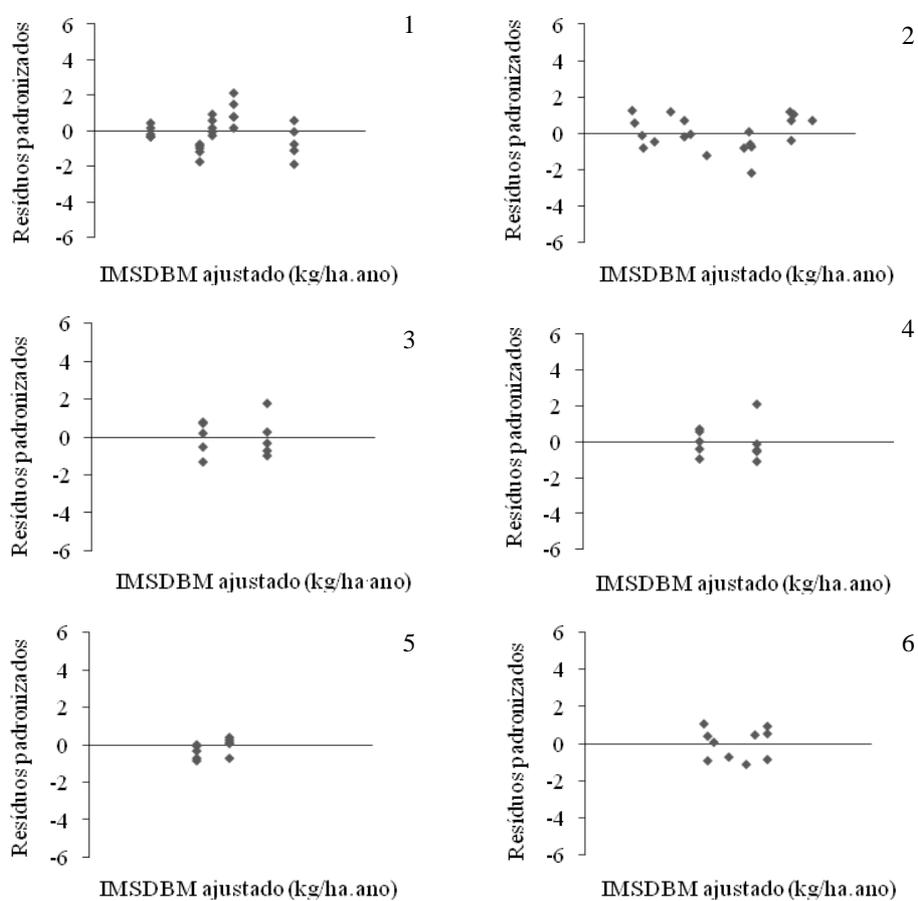


Figura 31 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 20 para a estimativa do incremento médio anual em massa seca obtido pela da densidade básica média – IMSDBM (...continua...)

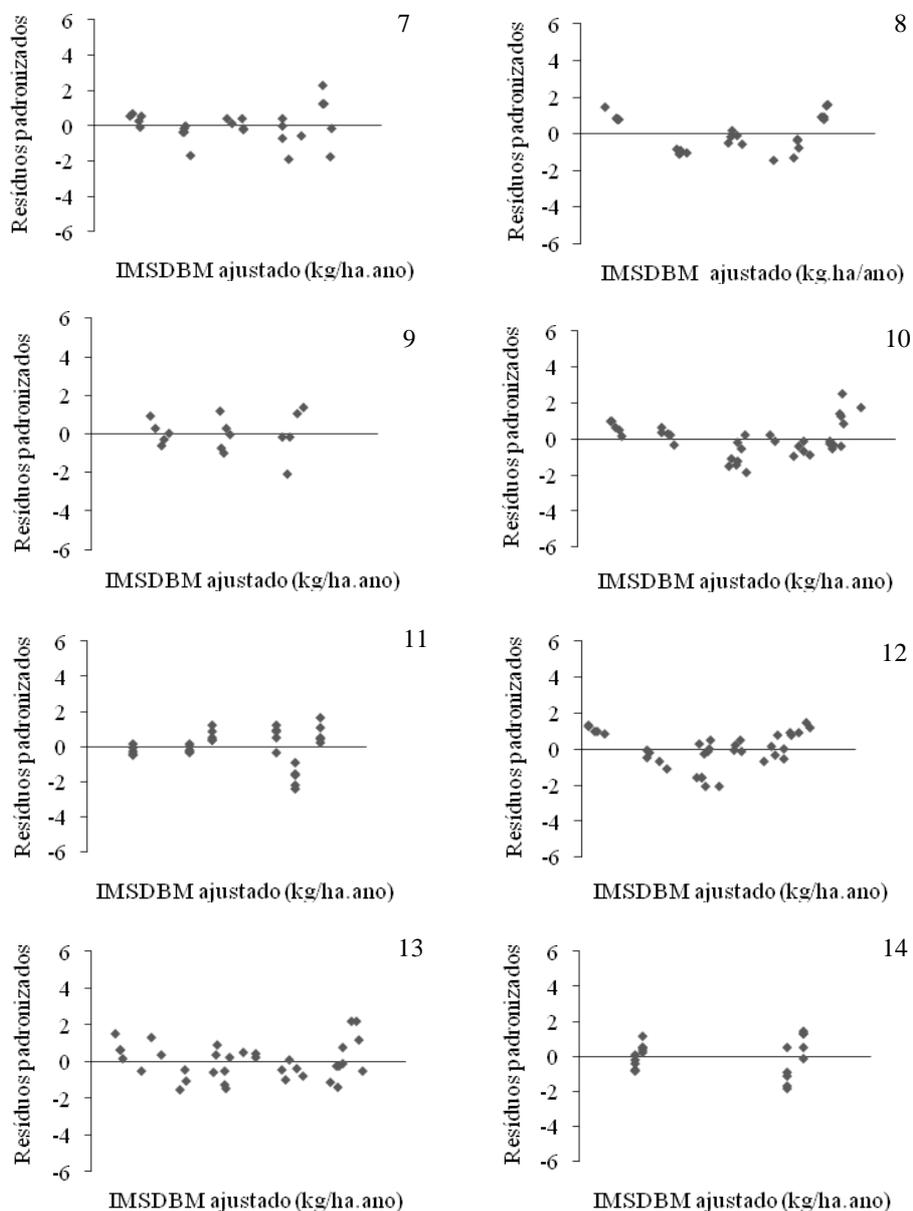


Figura 31 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 20 para a estimativa do incremento médio anual em massa seca obtido pela da densidade básica média - IMSDBM (...continua...)

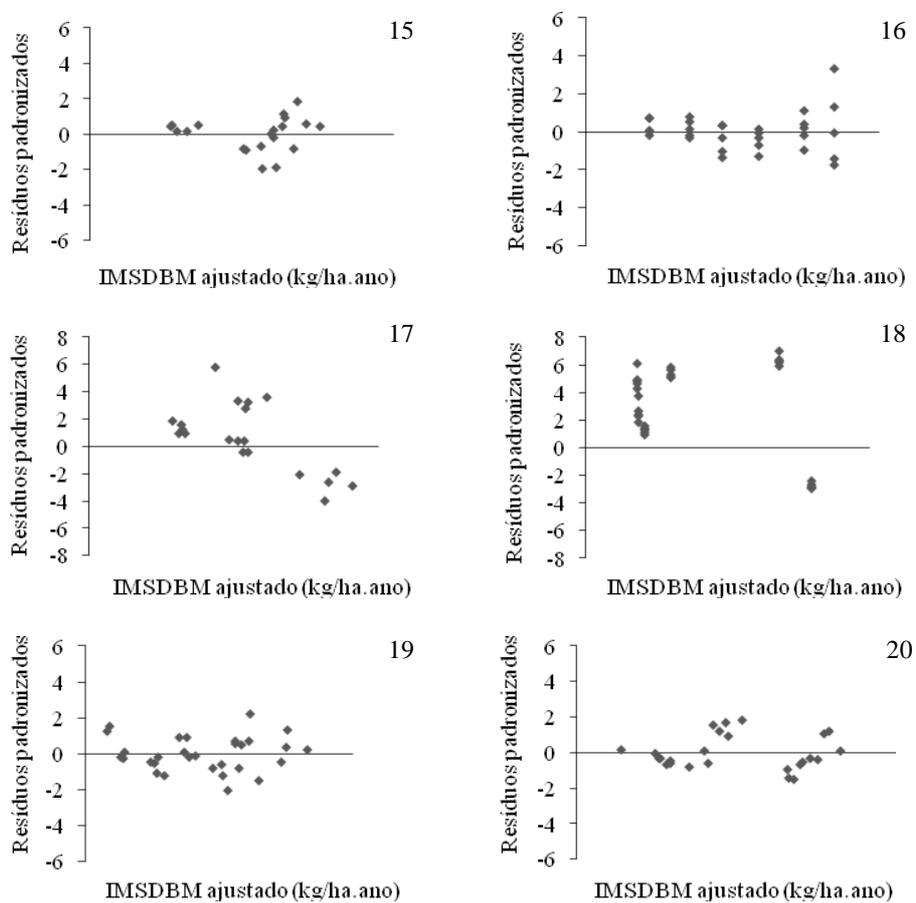


Figura 31 Distribuição dos resíduos dos modelos lineares ajustados de 1 a 20 para a estimativa do incremento médio anual em massa seca obtido pela da densidade básica média - IMSDBM (conclusão)

De modo geral, a estimativa do IMSDBD e IMSDBM em função das características de crescimento e índice de sítio apresentou ajustes significativos e semelhantes. Ainda assim, a análise gráfica de distribuição de resíduos foi decisiva para a recomendação de modelos de regressão somente em algumas idades.

5 CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que:

A densidade básica e as características de crescimento do clone GG 100 foram influenciadas pela capacidade produtiva do sítio, idade e interação.

O local com melhor característica ambiental, inclusive com melhor capacidade produtiva do sítio, influenciou negativamente o valor da densidade básica.

O DAP pode ser utilizado como ponto de referência para a estimativa da DBMED do clone somente em algumas idades nos locais avaliados.

O modelo para a estimativa da DBMED e DBDAP, a partir das características de crescimento e índice de sítio, foi mais adequado somente aos seis anos para João Pinheiro. Nesse local, a estimativa da DBMED foi mais precisa utilizando dois modelos lineares distintos ajustados em função do IMAm ou do índice de sítio e a DBDAP em função do IMAm e DAP.

A utilização do modelo linear tendo o DAP, índice de sítio e idade como variáveis regressoras para a estimativa da DBMED, por local, foi mais eficiente somente em João Pinheiro e Montes Claros.

Os modelos lineares ajustados em função das características de crescimento e índice de sítio para a estimativa do IMSDBD e IMSDBM foram adequados somente em João Pinheiro, Três Marias e Montes Claros, em geral, aos cinco, seis, sete e oito anos.

Outros modelos com interação das variáveis regressoras e os modelos não lineares também podem ser testados.

REFERÊNCIAS

- AGRITEMPO. Sistema de monitoramento agrometeorológico. **Rede de estações**. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/estacoes.html/>>. Acesso em: 18 mar. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**. Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estático ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília, 2013. 148 p.
- BOTREL, M. C. G. et al. Ganho genético em propriedades físicas e mecânicas de clones de *Eucalyptus*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 76, p. 13-19, dez. 2007.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. 548 p.
- CARVALHO, S. P. C. et al. Modelos não lineares generalizados aplicados na predição da área basal e do volume de *Eucalyptus* clonal. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 14, p. 541-548, out./dez. 2011.
- CASTRO, A. F. N. M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.
- CLUTTER, J. L. et al. **Timber management**: a quantitative approach. New York: J. Wiley, 1983. 333 p.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 461**. Maderas: método de determinación del peso específico aparente. La Paz, 1972. 6 p.
- COUTO, A. M. **Modelagem da densidade básica e caracterização química em clones de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis***. 2011. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

DAVIS, L. S. et al. **Forest management to sustain ecological, economic, and social values**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2001. 790 p. (College Custom Series).

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1987. 790 p. (McGraw-Hill Series in Forest Resources).

DOWNES, G. M. et al. **Sampling plantation eucalyptus for wood and fiber properties**. Melbourne: CSIRO, 1997. 132 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Informática Agropecuária. **Zoneamento de riscos agrícolas do Brasil: monitoramento agrometeorológico e previsão de safras**. Mapa de solos de Minas Gerais. Disponível em:

<<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/finep/metas-fisicas/meta-fisica-6/mapas/07%20-%20image.jpeg/view>>. Acesso em: 3 jun. 2013.

FERRAZ, E. S. B. A influência da precipitação na produção de matéria seca de eucaliptos. **IPEF**, Piracicaba, n. 46, p. 32-42, jan./dez. 1993.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. H. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. **Boletim Informativo do IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-14, nov. 1978.

FOELKEL, C. E. B. et al. Celulose kraft de madeiras juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. **Boletim Informativo do IPEF**, Piracicaba, n. 12, p. 127-142, jun. 1976.

FOELKEL, C. E. B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO BRASILEIRO FLORESTAL, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. p. 719-728.

GITHIOMI, J. K.; KARIUKI, J. G. Wood basic density of *Eucalyptus grandis* from plantations in Central Rift Valley, Kenya: variation with age, height level and between sawwood and heartwood. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 22, n. 3, p. 281-286, July 2010.

GOUVÊA, A. D. F. G. et al. Determinação da densidade básica das madeiras de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 349-358, 2011.

IGARTÚA, D. V. et al. Basic density and fibre length at breast height of *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* for parameter prediction of the whole tree. **Iawa Journal**, Leiden, v. 24, n. 2, p. 173-184, 2003.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS. **Cartografia**. Disponível em: <http://www.iga.br/SiteIGA/mapas/cgi/IGA_09_Cartografia.php#Meso>. Acesso em: 8 maio 2013.

JANKOWSKY, I. P. Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial. **Circular Técnica IPEF**, n. 81, p. 1-15, dez. 1979.

KUMAR, R. et al. Study of age and height wise variability on calorific value and other fuel properties of *Eucalyptus* hybrid, *Acacia auriculaeformis* and *Casuarina equisetifolia*. **Biomass & Bioenergy**, v. 35, n. 3, p. 1339-1344, Mar. 2011.

LARSON, P. R. et al. **Formation and properties of juvenile adult wood in southern pines: a synopsis**. Madison: Department of Agriculture/Forest Service/Forest Products Laboratory, 2001. 42 p. (General Technical Report FPL-GTR-129).

LEMENIH, M.; BEKELE, T. Effect of age on calorific value and some mechanical properties of three *Eucalyptus* species grown in Ethiopia. **Biomass & Bioenergy**, v. 27, n. 3, p. 223-232, Sept. 2004.

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Genotype-environment interaction in wood basic density of *Eucalyptus clones*. **Wood Science and Technology**, New York, v. 34, n. 3, p. 197-206, Oct. 2000.

MALAN, F. S. The wood properties and qualities of three South African-grown eucalypt hybrids. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v. 167, n. 1, p. 35-44, Dec. 1993.

MIRANDA, E. E. de. (Coord.). **Brasil em relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/mg/txt/muni2.htm>>. Acesso em: 18 mar. 2013.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Tradução de Kurt G. Hell. São Paulo: Pioneira, 1975. 201 p.

OLIVEIRA, A. C. et al. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, set. 2010.

ONA, T. et al. Relationship between various extracted basic densities and wood chemical components in *Eucalyptus camaldulensis*. **Wood Science and Technology**, New York, v. 31, n. 3, p. 205-216, June 1997.

PANSHIN, A. S.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. New York: Mc Graw Hill Book Company, 1964. 643 p.

QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. Within and between-tree variation of bark content and wood density of *Eucalyptus globulus* in commercial plantations. **Iawa Journal**, Leiden, v. 22, n. 3, p. 255-265, 2001.

RAYMOND, C. A.; MUNERI, A. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties. I. Basic density. **Wood Science and Technology**, New York, v. 35, n. 1-2, p. 27-39, Apr. 2001.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 40, n. 228, p. 176-195, 1993.

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

RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, Piracicaba, n. 46, p. 76-85, jan./dez. 1993.

RODRIGUES, E. D. C. et al. Seleção de clones de *Eucalyptus* para as propriedades físicas da madeira avaliadas em árvores no campo. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 147-152, abr./jun. 2008.

ROSOT, N. C. **Estimativa do peso seco de madeira de *Pinus taeda* L. sob ocasião do primeiro desbaste**. 1980. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

SÁ JÚNIOR, A. de et al. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Hamburg, v. 108, p. 1-7, 2012.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com enfoque energético.** 2009. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANTANA, W. M. S. et al. Effect of age and diameter class on the properties of wood from clonal *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 1-8, jan./mar. 2012.

SANTOS, F. W. et al. Variação genética para a densidade básica da madeira e caracteres silviculturais em uma população base de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, p. 185-194, dez. 2008.

SANTOS, L. C. et al. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 971-980, 2012.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal.** Viçosa, MG: UFV, 2006. 276 p.

SOARES, V. C. **Comportamento térmico, químico e físico da madeira e do carvão de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* em diferentes idades.** 2011. 108 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SPURR, S. H.; BARNES, B. V. **Forest ecology.** 3rd ed. New York: J. Wiley, 1980. 687 p.

TRUGILHO, P. F. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

TRUGILHO, P. F. et. al. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 20, p. 307-319, 1990.

TRUGILHO, P. F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, set./out. 2009.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-15, 1996.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Sociedade de investigações florestais. **Boletim Técnico SIF**, Viçosa, MG, n. 1, p. 1-21, 1984.

ZHANG, L. et al. Determining stem biomass of *Pinus massoniana* L. through variations in basic density. **Forestry**, Oxford, v. 85, n. 5, p. 601-609, Dec. 2012.

ZOBEL, B.; JETT, J. B. **Genetics of wood production**. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1995. 337 p.

ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. Prospect Heights: Waveland, 1991. 505 p.