



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

FELIPE RODRIGO DE CARVALHO BATISTA E BAPTISTA

**ESTRATIFICAÇÃO NO AJUSTE DE MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA
EM FRAGMENTO DE FLORESTA INEQUIÂNEA**

Prof. Dr. EMANUEL JOSÉ GOMES DE ARAÚJO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO - 2019



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

FELIPE RODRIGO DE CARVALHO BATISTA E BAPTISTA

**ESTRATIFICAÇÃO NO AJUSTE DE MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA
EM FRAGMENTO DE FLORESTA INEQUIÂNEA**

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

Prof. Dr. EMANUEL JOSÉ GOMES DE ARAÚJO

Orientador

SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO – 2019

**ESTRATIFICAÇÃO NO AJUSTE DE MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA
EM FRAGMENTO DE FLORESTA INEQUIÂNEA**

FELIPE RODRIGO DE CARVALHO BATISTA E BAPTISTA

APROVADA EM: 19/11/2019

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. EMANUEL JOSÉ GOMES DE ARAÚJO
UFRRJ/IF/DS
Orientador

Prof. Dr. MARCO ANTONIO MONTE
UFRRJ/IF/DS
Membro

Prof. Dr. FRANCISCO JOSÉ DE BARROS CAVALCANTI – UFRRJ
UFRRJ/IF/DS
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Carlos Henrique e Elizabeth que são meus grandes incentivadores, motivadores e exemplos de força, de fé e de amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida e pela criação, pela arte de criar e realizar, agradeço por sonhar. Agradeço a presença onipotente, onipresente e onisciente. Agradeço pelo sopro que inspira, que preenche e que completa. Agradeço a Jesus Cristo, Seu amado Filho, pelos ensinamentos e pela graça da Salvação. Agradeço ao Espírito Santo consolador, Paráclito e intermediador, que ilumina e direciona o caminho. A Trindade Santa por ser amor, paz, vida e alegria. Nada eu seria sem Ti, honras e glórias para todo o sempre. E agradeço, também, à Virgem Maria, mãe e senhora, por cuidar de minha trajetória.

Agradeço à minha família. Aos meus pais e: na pessoa do meu pai Carlos Henrique Correa Baptista que sempre educou a mim e minhas irmãs e meu sobrinho com muito carinho e abraço e que sempre esteve presente, em sua responsabilidade de pai, agradeço; na pessoa de minha mãe Elizabeth de Carvalho Batista e Baptista que sempre moveu esforços para ser sustento, apoio, força e amor, e que sempre colocou a família à frente de seus planos, tendo todo meu amor e gratidão, agradeço. Minhas irmãs e: na pessoa de Renata, quem compartilhei toda minha infância, adolescência e juventude, e que tenho amor e admiração pela pessoa que se tornou, profissional e mãe, agradeço; na pessoa de Isabele Elisa, que compartilhei minha adolescência, com muito amor e carinho, e que pude cuidar e ver crescer, sendo cercada de amor, agradeço. À minha avó, dona Corina, por ter fundamental importância em minha educação e, meu sobrinho Bernardo por ser alegria, pureza e inocência em coração de criança. E agradeço aos meus familiares que me acompanharam e cuidaram de mim durante essa trajetória, família Batista e Baptista.

Agradeço as amigas que fiz durante toda minha vida e que de alguma forma contribuíram para quem hoje eu sou. Na infância: Kelli e Jéssica, meus primos Vinícius, Lucas, Luís Paulo e Jonathan. Na comunidade fraterna: Pedro Paulo, Diego, Matias, Rinaldo, Paulo, Camila, Juliana e Karina. Na vida: José Wilton e Ana Flávia. Na profissão: irmão Willian, Geovane, Bruno e Bernardino. Na graduação: Letícia, Marina, Mateus, Carla, Iago, Natália, Isabele, Geórgia, Paulinho, Junilha, Márjorie, Vitor, Paulo Vitor, Carlos, Celi, Sabrina, Iasmin, Silvério, Nathália, Suely, Bia, Yago, Danilo, Pedro, Laís e Júlia. No alojamento universitário: Rafael Mota, Felipe, Victor, Armando, Daniel, Raphael, Fábio, Laís, Aarão, Maelen, Jonathan e Diego. Todos, sem dúvidas, foram apoio, família e força nessa trajetória. E o coração carrega muito mais amigos que chega a faltar espaço nesta folha.

Agradeço aos grupos de extensão em que participei: Flora Junior, que ensinou o espírito empreendedor e; ao grupo PET Floresta, que ensinou a desenvolver o trabalho em equipe. Em especial, sou grato a professora e tutora Vanessa Maria Basso pelos ensinamentos e aprendizados adquiridos.

Agradeço à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, aos técnicos e o corpo docente, em especial, ao meu professor e orientador Emanuel José Gomes de Araújo por auxiliar em meu aprendizado, trabalhando e desenvolvendo as competências que um profissional precisa adquirir. Sem dúvidas eu aprendi muito nas orientações de monitoria, iniciação científica e na produção desta monografia. Agradeço por toda a oportunidade. Muito obrigado por tudo, professor Emanuel!

Agradecer é reconhecer a importância dos valores adquiridos e o aprendizado. Por isso, desejo que a luz de Deus possa iluminar a vida de cada pessoa aqui lembrada e que no futuro próximo, nós possamos nos encontrar e celebrar a alegria do novo encontro.

RESUMO

Objetivou-se avaliar a estratégia de estratificação dos dados no ajuste de modelos hipsométricos que estimam com acurácia a altura de árvores no fragmento florestal inequiâneo, avaliando a eficiência da estratificação por espécie, grupo ecológico e classe diamétrica. Em um fragmento florestal natural e inequiâneo (2,2 ha) pertencente à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, realizou-se censo arbóreo, e a identificação botânica das árvores com diâmetro maior ou igual a 5 cm, sendo tal variável mensurada com sua respectiva altura total. Os dados foram estratificados em grupo ecológico, espécie e classe diamétrica e ajustou-se dez modelos tradicionais de relação hipsométrica para o banco de dados geral e para cada estrato. Avaliou-se a significância dos modelos pelo teste F e teste *t*, com 95% de probabilidade. Tendências das estimativas foram verificadas com análise gráfica dos resíduos, observando-se também os valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$). Os parâmetros da regressão, subsidiaram a realização do teste de identidade entre modelos de Graybill. O modelo de Trorey foi escolhido, e observou-se que a estratificação por espécie e grupo ecológico viabilizou o ajuste tornando-o mais eficiente. A estratificação em classe diamétrica não apresentou ganho.

Palavras-chave: relação altura/diâmetro; identidade de modelos; grupos ecológicos.

ABSTRACT

The objective of this study was to find a hypsometric relationship model capable of estimating the height of trees in unequal forest fragment, testing the efficiency of stratification by species, ecological group and diametric class. In the unequal forest fragment (2.2 ha) belonging to the Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica / RJ, a census was carried out, botanical identification of trees with a diameter ≥ 5 cm, being this variable measured, as well as their respective height total. The data were stratified into ecological group, species and diametric class, and then ten traditional models of hypsometric relation were adjusted for the general database and for each stratum. The significance of the models was evaluated by the F test and the t test, with 95% probability. Trends of the estimates were verified with graphical analysis of the residues, being also observed the coefficient of determination (R^2_{aj}) and standard error of the estimate in percentage ($S_{yx}\%$). By means of the regression parameters, the Graybill models identity test was subsidized. The Trorey model was chosen and it was observed that the stratification by species and ecological group made the adjustment more efficient. Stratification in diametric class showed no gain.

Keywords: relationship height/diameter; identity of models; ecological group

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Relação hipsométrica	2
2.2. Modelos de relação hipsométrica	3
2.3. Estratificação na relação hipsométrica	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1. Área de estudo e coleta de dado	6
3.2. Modelos ajustados e critérios de estratificação	6
3.3. Teste de identidade entre modelos	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
5. CONCLUSÕES	17
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos tradicionais de relação hipsométrica, lineares e não lineares.	7
Tabela 2. Relação das espécies identificadas no fragmento florestal e respectivo grupo ecológico.....	9
Tabela 3. Coeficientes de regressão, coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa percentual e valor F da análise de variância, para o ajuste dos modelos com o banco de dados sem estratificação.....	10
Tabela 4. Parâmetros estatísticos do modelo de Trorey, para todo o banco de dados e para os estratos gerados.	11
Tabela 5. Soma dos quadrados da regressão, dos resíduos e dos totais de cada ajuste do modelo de Trorey dos bancos de dados A, B e seus estratos.	16

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Área de fragmento de floresta inequiânea, localizada no município de Seropédica/RJ.6
- Figura 2. Dispersão gráfica dos resíduos para os modelos de relação hipsométrica ajustados. 11
- Figura 3. Gráfico de resíduos das estimativas do modelo de Trorey para cada item da estratificação. (A) clímax; (B) pioneira; (C) secundária inicial; (D) secundaria tardia; (E) sem classificação (F) *A. guachapele*; (G) *L. lactescens*; (H) *E. pulchrum*; (I) *P. gonoacantha* (Mart.); (J) *S. leucanthum*. 13
- Figura 4. Gráfico de validação das estimativas do modelo de Trorey para cada item da estratificação. (A) clímax; (B) pioneira; (C) secundária inicial; (D) secundaria tardia; (E) sem classificação; (F) *A. guachapele*; (G) *L. lactescens*; (H) *E. pulchrum*; (I) *P. gonoacantha* (Mart.); (J) *S. leucanthum*. 15

1. INTRODUÇÃO

A relação hipsométrica é a relação entre a altura e o diâmetro da árvore, sendo uma ferramenta muito utilizada na mensuração florestal, visando promover a redução de custo e tempo do inventário, além de possíveis erros de mensuração (ARAÚJO et al., 2012; MACHADO et al., 2008; SCOLFORO, 2005). A variável altura é de grande importância na quantificação do volume de madeira (ANDRADE et al., 2006), e em florestas inequiâneas, exerce importância na análise da estrutura vertical como indicador do estágio sucessional em que se encontra cada espécie (CALEGARIO et al., 1994).

A curva hipsométrica possui inclinação característica e é dinâmica ao longo do tempo, sendo influenciada pela espécie, posição sociológica, idade, tamanho de copa, densidade, sítio e práticas silviculturais (MACHADO et al., 2008). Ao observar as variações de altura em função das variações em diâmetros, pode-se notar uma curva característica da relação hipsométrica, onde a sua inclinação é maior para árvores de diâmetros menores (árvores jovens) tendendo a diminuir para árvores de maiores diâmetros (árvores adultas), tornando a curva próxima de uma assíntota, evidenciando que o diâmetro aumenta significativamente somente após estabilizar o crescimento em altura (SCOLFORO, 2005).

Porém, relação hipsométrica apresenta baixa correlação biológica presente entre as variáveis dendrométricas diâmetro e altura total, pois as equações ajustadas apresentam altos valores de variância, desvio padrão e erro padrão da estimativa. Consequentemente, o coeficiente de determinação ajustado é baixo, resultando na incapacidade de se obter boas estimativas (LIMA; LEÃO, 2013). A relação é fraca ou até mesmo inexistente, comportando-se de diferente modo em florestas inequiâneas e equiâneas (SILVA et al., 2012).

Em florestas inequiâneas, onde tem-se alta diversidade de espécies, plantas em diferentes estágios de desenvolvimento e regeneração contínua, as equações hipsométricas ajustadas geralmente apresentam baixa exatidão na estimativa. Segundo Scolforo (2005), o crescimento arbóreo em florestas inequiâneas é explicado pela altura da árvore que, após alcançar o dossel, resulta em um crescimento expressivo em diâmetro. Por isso, o autor recomenda a estratificação dos dados, em grupos ecológicos, espécies e classes de diâmetros buscando obter melhores ajustes.

Observa-se em muitos trabalhos a eficiência da relação hipsométrica para espécies florestais em plantios como o de eucalipto, pinus, candeia, araucária, dentre outros (ARAÚJO et al., 2012; CURTO et al., 2014; RODRIGUES et al., 2017), havendo menor número de trabalhos que comprovam a eficiência da relação hipsométrica para florestas inequiâneas.

A fim de elevar a qualidade de ajuste da relação hipsométrica, estratégias de agrupamentos de dados por características semelhantes vêm sendo empregadas durante o processamento. Diversos pesquisadores utilizam a estratificação recomendada por Scolforo (2005) como parte da metodologia de seus trabalhos e têm encontrado ganhos nos ajustes de modelos de relação hipsométrica, como (BARTOSZECK et al., 2004; CURTO et al., 2014; MACHADO et al., 2008).

Diante disso, surge a hipótese de que a estratificação dos dados em grupos ecológicos, espécie e classes de diâmetro, promovem melhorias no ajuste de equações hipsométricas em florestas inequiâneas. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar estratégias de estratificação dos dados no ajuste de modelos hipsométricos em um fragmento de floresta inequiânea.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Relação hipsométrica

Na mensuração florestal, a altura da árvore é uma importante variável dendrométrica. Ela está associada direta ou indiretamente à outras variáveis, tais como: volume e estágio sucessional da estrutura vertical da floresta (CURTO et al., 2014).

A altura total corresponde à distância linear do eixo longitudinal da árvore, medida a partir do solo até o topo. Ela pode ser medida: i) de forma direta, quando sua leitura é obtida imediatamente próxima à árvore, com o uso da vara hipsométrica (régua telescópica); ii) de forma indireta quando se faz o uso de instrumento ótico, como os hipsômetros (de princípio trigonométrico) Blume-Leiss, Haga, Suunto - a uma distância pré-estabelecida, e Vertex que, associado a um transponder ultrassônico, permite obter a altura em qualquer distância da árvore; ou, ainda, iii) por meio da estimativa matemática (relação hipsométrica) que depende da variável diâmetro para sua obtenção (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006).

Porém, a obtenção das alturas das árvores torna-se onerosa e gera maior custo no inventário florestal devido à dificuldade de observar o topo da árvore no interior da floresta (ANDRADE et al., 2015). A dificuldade é ainda maior quando se trata de floresta natural, pois as premissas dos hipsômetros de distâncias pré-estabelecidas (Blumme-Leiss, Haga, Suunto) muitas vezes não conseguem ser realizadas devido às condições de relevo, visibilidade de copa e sub-bosque (LIMA DE ANDRADE et al., 2006).

A relação hipsométrica é uma importante ferramenta que viabiliza a mensuração da altura, pois ela representa a relação existente entre a altura total (HT) da árvore e o seu diâmetro a altura do peito (DAP) - medido a 1,30 metros do solo. Conforme descrito por Warner et al., (2005), existe uma relação de causa e efeito entre a HT (variável dependente) e DAP (variável independente) por corresponderem ao crescimento metabólico primário e secundário da árvore, respectivamente.

Dessa forma, é comum nos inventários florestais medir o diâmetro de todas as árvores e a altura de apenas parte das árvores da população. Por conseguinte, realiza-se a análise de regressão para gerar a equação por meio dos pares HTxDAP a ser utilizada para estimar a HT das árvores restantes da população (ARAÚJO et al., 2012; MACHADO et al., 2008; SANQUETTA et al., 2013). Contudo, Machado et al. (2008) e Nicoletti et al. (2016) ao aplicar a relação hipsométrica, constataram, uma fraca correlação biológica entre as variáveis DAP e HT, nos povoamentos de *Araucária angustifolia* (Bertol.) Kuntze do fragmento de floresta ombrófila mista e de *Pinus taeda* L., respectivamente; pois os ajustes da relação hipsométrica apresentaram baixo coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da estimativa aceitável.

A correlação biológica, tanto em floresta inequiânea ou equiânea, costuma ser baixa ou inexistente devido à interferência de outros fatores que afetam a relação hipsométrica, como: o material genético (intrínseco da espécie), as condições ambientais (disponibilidade de água e nutriente, luz, espaço, densidade do povoamento) e a ação do homem (práticas de manejo) (CURTO et al., 2014; MACHADO et al., 2008; SCOLFORO, 2005).

2.2. Modelos de relação hipsométrica

Para compreender a relação hipsométrica é necessário conhecer sobre os modelos matemáticos de predição. Quando ocorre a relação de causa e efeito, a cerca do que ocorre na relação hipsométrica (onde as variações do DAP explicam as variações de HT), o modelo pode ser classificado como do tipo casual, como $HT = \beta_0 + \beta_1 DAP + \varepsilon_i$, por exemplo. Porém, existem modelos matemáticos de regressão que são baseados no tempo (passado e presente), classificados como modelos de série temporal. Este último considera a variável idade como a variável (independente) que influencia na resposta de outra variável.

Além disso, os modelos também se diferenciam quanto à forma matemática e os mais comuns são o de linha reta, parabólico, hiperbólico, de terceiro grau, exponencial e logístico (SCOLFORO, 2005). Os classifica como: i) modelo linear, quando todos os parâmetros (coeficientes da regressão) encontram-se sob a forma aditiva, ou ii) modelo não linear quando pelo menos um dos parâmetros não se encontra na forma aditiva.

Ainda, os modelos lineares podem ser subdivididos em simples (quando possui um único parâmetro associado à variável independente) ou múltiplos (quando possui mais de um parâmetro associado à sua respectiva variável independente). Já os modelos não-lineares podem ser subdivididos em linearizável (quando existe propriedade matemática capaz de transformá-lo em linear) e não linearizável (quando não há propriedade matemática que o permita ser transformado) (SCOLFORO, 2005).

Dos diversos modelos matemáticos de relação hipsométrica que auxiliam a predição da altura da árvore, os modelos tradicionais comumente utilizados são: Linear Simples, Trorey, Assmann, Henricksen, Stoffels, Curtis, Petterson, Prodan, Naslund e Chapman & Richards. Esses modelos foram testados em diferentes espécies, como a candeia, pinus, eucalipto, araucária, sumaúma, ipê-rosa e outras espécies da floresta natural, evidenciando sua aplicabilidade em diversas espécies e condições conforme os estudos de Araújo et al. (2012), Azevedo et al. (1999); Curto et al. (2014); David et al. (2016); Machado et al. (2008); Soares et al. (2004).

Devido ao fato de existirem outros fatores que interferem na resposta do modelo, nem sempre é possível conseguir representar fielmente um determinado evento ou realidade. Portanto, o erro torna-se uma característica intrínseca do modelo. Por isso, é essencial realizar a seleção de um modelo que seja capaz de apresentar melhores ajustes ao banco de dados, de modo que as acurácias das estimativas apresentem resultados satisfatórios com base na eficiência da equação avaliando as medidas de precisão (coeficiente de determinação ajustado – R^2_{aj} , e erro padrão da estimativa – $S_{yx\%}$) e a distribuição de resíduos (ARAÚJO et al., 2012; DAVID et al., 2016; MACHADO et al., 2008; SCOLFORO, 2005).

Geralmente, as medidas de precisão na relação hipsométrica apresentam baixos valores de R^2_{aj} , devido a baixa correlação biológica existente entre o DAP e a HT, conforme mencionado anteriormente, não sendo recomendado utilizar apenas o coeficiente de determinação ajustado na avaliação do modelo. Os resíduos, então, tomam importante função na escolha do modelo (ARAÚJO et al., 2012). Deve-se, portanto, considerar o $S_{yx\%}$ (de menor valor) e verificar se os resíduos se comportam seguindo as seguintes premissas: i) resíduos gerados apresentando distribuição normal; ii) média ou somatório igual a zero; iii) devem ser independentes.

Outro fator que influencia a utilização do modelo é o modo como ele será ajustado. A limitação de recursos em informática pode limitar o ajuste, como no caso dos modelos não-linearizáveis, que exigem de softwares estatísticos mais sofisticados para realizar a predição.

2.3. Estratificação na relação hipsométrica

A diversidade de espécies arbóreas presente numa floresta natural, também chamada de inequiana, apresenta indivíduos em diferentes idades e espécies. Dessa forma, uma mesma espécie pode apresentar indivíduos em diferentes idades e para a mesma idade, indivíduos de diferentes espécies. Isso faz com que a floresta seja heterogênea, conforme os estudos feitos por Gomes (2005) e Hüller et al. (2011). Dessa forma, os fatores que afetam a relação hipsométrica atuam com maior intensidade, aumentando imprecisão das equações hipsométricas.

Diferentemente das florestas naturais, os povoamentos puros são homogêneos quando se trata das características ligadas à espécie e à idade. Porém, os povoamentos estão submetidos à qualidade do sítio (MIRANDA, 2012), que variável de acordo com o espaço geográfico. Desse modo o povoamento corresponde a essas variações durante o crescimento, podendo ser observadas na relação hipsométrica (CURTO et al., 2014).

De acordo com Leite e Andrade (2003), a heterogeneidade do povoamento influencia na escolha da melhor alternativa para a aplicação da relação hipsométrica. Portanto, o critério adotado para o ajuste do modelo deve considerar as características das florestas naturais ou de plantios puros.

É comum, após o inventário florestal, agrupar os dados mensurados por características semelhantes, buscando controlar os fatores ligados às variáveis que interferem no crescimento e, por consequência, na relação hipsométrica. Esse agrupamento é conhecido como estratificação e busca reduzir a amplitude dessas variações (MIRANDA, 2012).

Araújo et al. (2012) avaliaram a relação hipsométrica em povoamento homogêneo de *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish (candeia) nos diferentes espaçamentos. A estratificação da base de dados por espaçamento foi a estratégia adotada. Alternativas que permitem a estratificação, além do espaçamento, são: espécie, classe de diâmetro, grupo ecológico, altura da copa, parcelas de amostragem, desbaste, sítio e idade, por exemplo.

Machado et al., (2015) utilizaram a estratificação por comprimento de copa para avaliar a relação hipsométrica em *Araucária angustifolia* (Bertol.) Kuntze e compararam as estatísticas do ajuste. Nesse caso, o estudo foi realizado em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista evidenciado a estratégia da estratificação sendo aplicada em diferentes condições.

Além de poder contribuir para qualidade do ajuste, a estratégia da estratificação permite comparar a existência de semelhança dos modelos para os ajustes realizados em diferentes estratos, viabilizando o teste de identidade de modelos (ARAÚJO et al., 2012; CHICHORRO; RESENDE; LEITE, 2003; CURTO et al., 2014; DAVID et al., 2016; GRAYBILL, 2000; MACHADO et al., 2015).

A estratificação pode permitir recomendações de processamento da relação hipsométrica para os dados do inventário florestal. Curto et al., (2014) promoveram a estratificação em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, e embora tenham

identificado melhoria da qualidade do ajuste, não observaram diferenças significativas entre o ajuste sem estratificação (banco de dado geral) e o ajuste para os dados estratificados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo e coleta de dado

Os dados foram coletados em fragmento florestal, com área de 2,2 ha, conforme a Figura 1, localizado no município de Seropédica, Rio de Janeiro. O clima local, segundo a classificação de Köppen, é tropical úmido (tipo Aw), caracterizado por invernos secos e verões chuvosos (ALVARES et al., 2014), com temperatura e precipitação média anual de aproximadamente 24 °C e 1.370 mm, respectivamente, e altitude média de 31 m (SANTOS et al., 2016).

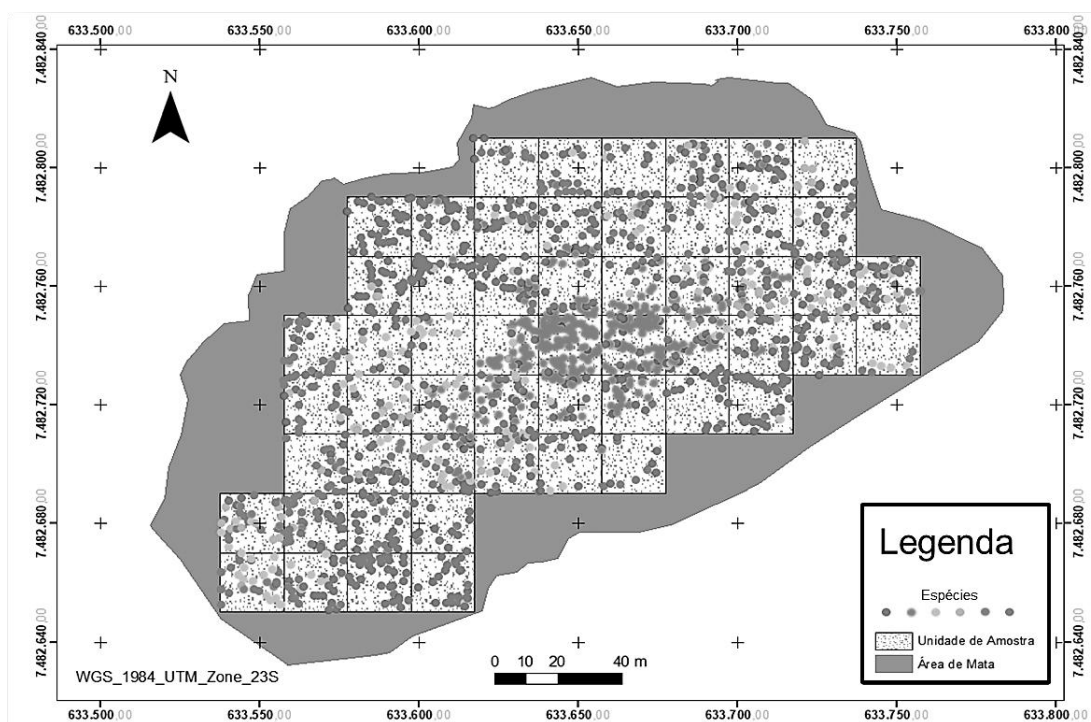


Figura 1. Área de fragmento de floresta ineqüilíbrio, localizada no município de Seropédica/RJ.

Foi realizado censo arbóreo na área onde mediu-se a altura total (Ht) e a circunferência a 1,30 m do solo (CAP) das árvores com CAP $\geq 15,7$ cm, sendo essas variáveis mensuradas utilizando vara hipsométrica e fita métrica, respectivamente, e os valores de CAP convertidos em DAP (diâmetro a 1,30 m de altura do solo), pela divisão dos valores de CAP por π . As árvores foram identificadas botanicamente, em nível de espécie, segundo o método APG III (REVEAL; CHASE, 2011) e classificadas de acordo com seu grupo ecológico.

3.2. Modelos ajustados e critérios de estratificação

Foram ajustados dez modelos matemáticos de regressão a fim de descrever a relação hipsométrica do conjunto de dados, sendo oito modelos lineares e dois não lineares (Tabela 1). Avaliou-se a significância do ajuste dos modelos, pelo teste F da análise de variância, e de

seus coeficientes pelo teste t , ambos com 95% de probabilidade. A possível presença de tendências das estimativas foi validada por meio da análise gráfica dos resíduos relativos em função do DAP. Utilizou-se, também, a análise gráfica de validação, que dispõe as alturas estimadas (Y) em função das alturas observadas (X), além dos valores de coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$). As expressões usadas para calcular $R^2_{aj.}$ (Equação 1) e $S_{yx}\%$ (Equação 2) foram, respectivamente:

$$R^2_{aj.} = 1 - \left[\left(\frac{SQ_{res}}{SQ_{total}} \right) \cdot \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \right] \quad (\text{Equação 1})$$

$$S_{yx}\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_{ti} - \widehat{H}_{ti})^2}{n-p}}}{\overline{H}_t} \cdot 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: SQ_{res} – soma dos quadrados dos resíduos; SQ_{total} – soma dos quadrados do total; n – número dos dados observados; p – número de parâmetros do modelo; H_{ti} – altura total observada (m); \widehat{H}_{ti} – altura total estimada (m); \overline{H}_t – altura total média (m).

Tabela 1. Modelos tradicionais de relação hipsométrica, lineares e não lineares.

n°	Modelo	Denominação
1	$h = \beta_0 + \beta_1 DAP + e_i$	Linear Simples
2	$h = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + e_i$	Trorey
3	$h = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP} + e_i$	Assmann
4	$h = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + e_i$	Henricksen
5	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + e_i$	Stoffels
6	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP} + e_i$	Curtis
7	$\frac{1}{h-1,3} = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP} + e_i$	Petterson
8	$\frac{DAP^2}{h} = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + e_i$	Prodan
9	$h-1,3 = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 DAP^2} + e_i$	Naslund
10	$h-1,3 = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2} + e_i$	Prodan

\ln = logaritmo neperiano; h = altura total (m); DAP = diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m de altura do solo (cm); β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes da regressão; e_i = erro do modelo.

Após avaliar as estatísticas de ajuste dos modelos, foi selecionado aquele que apresentou os valores mais satisfatórios em relação aos critérios de seleção anteriormente descritos. A equação selecionada foi ajustada com os dados estratificados de acordo com os seguintes critérios: grupo ecológico, espécies e classes de diâmetro.

A estratificação dos dados por grupo ecológico considerou os grupos Clímax, Pioneira, Secundária Inicial, Secundária Tardia e Sem classificação. Para a estratificação por classe diamétrica, agrupou-se os dados em 10 classes com amplitude de 5 cm. Nessas duas situações, foram utilizadas todas as árvores mensuradas no censo, correspondendo a 1.547 fustes. Por fim, considerou-se apenas as cinco espécies de maior ocorrência na área, sendo elas: *Albizia guachapele* (H.B. & K.) Dugand, *Lophanthera lactescens* Ducke, *Erythroxylum pulchrum* A. St. -Hil., *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F.Macbr., *Sparattosperma leucanthum* (Vell.) K.Schum, totalizando 1.174 fustes. Assim, nas três estratégias de ajuste, foram avaliados 20 grupos, além do ajuste geral com todo o banco de dados. As mesmas estatísticas utilizadas para avaliar as equações com o ajuste geral foram utilizadas para avaliar os ajustes por estratos.

3.3. Teste de identidade entre modelos

Após a escolha do modelo de regressão, foi feito o ajuste geral para todo o banco de dados (A) incluindo todos os fustes, onde foram geradas a soma dos quadrados da regressão, soma dos quadrados dos resíduos e a soma dos quadrados do total. Da mesma forma, foi realizado o ajuste geral para as cinco espécies de maior ocorrência (B), conforme mencionado anteriormente, excluindo do banco de dados os fustes das demais espécies. Em cada estratificação, foram geradas as respectivas somas dos quadrados para compor o teste de identidade entre modelos (GRAYBILL, 2000).

A diferença entre as equações ajustadas para os dados estratificados e para o ajuste geral foi avaliada por meio do teste de identidade entre modelos. Esse teste fundamenta-se na comparação da soma dos quadrados dos resíduos (SQ resíduo) do modelo ajustado para as classes de cada estrato (modelo completo), em relação a soma de quadrado da diferença do modelo ajustado para os dados sem estratificação (modelo reduzido).

A hipótese inicial (H_0) do teste é de que os modelos completos são estatisticamente iguais ao modelo reduzido. Assim, caso seja rejeitada, o que é indicado pela estatística do teste F maior ou igual ao F tabelado (para 95% de probabilidade), conclui-se que não é possível utilizar apenas uma equação hipsométrica para os dados, de modo que pelo menos um estrato deve ser modelado separadamente dos demais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 apresentada as espécies do fragmento florestal, separadas por grupo ecológico. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados estatísticos gerados pelas dez equações de relação hipsométrica ajustadas para todo o conjunto de dados, sem estratificação. Os coeficientes e os ajustes foram significativos para todas as equações, indicando que as equações retratam a relação quantitativa da altura em função do diâmetro. Os valores de S_{yx} (%) variaram de 28,36 a 33,96% e de R^2_{aj} de 0,20 a 0,93.

Tabela 2 Relação das espécies identificadas no fragmento florestal e respectivo grupo ecológico.

G.E.	ESPÉCIES	G.E.	ESPÉCIES
pi	<i>Albizia guachapele</i> (H.B. & K.) Dugand	si	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz
pi	<i>Aleurites moluccana</i> (L.) Willd.	pi	<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer
si	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	pi	<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos
sc	<i>Annona</i> sp.	pi	<i>Hymenaea courbaril</i> L.
pi	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	st	<i>Inga laurina</i> (Sw.) Wild.
cl	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	pi	<i>Lagerstroemia indica</i> (L.) Pers.
st	<i>Basiloxylon brasiliensis</i> (All.) K. Schum.	st	<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.
pi	<i>Campomanesia</i> sp.	pi	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit
sc	<i>Caryota horrida</i> Jacq.	si	<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz
si	<i>Casearia arborea</i> (Rich.) Urb.	si	<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Frisch
pi	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	si	<i>Lophanthera lactescens</i> Ducke
pi	<i>Cassia grandis</i> L.f.	pi	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld
pi	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	pi	<i>Mangifera indica</i> L.
pi	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	pi	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.
sc	<i>Luehea</i> sp.	sc	Morfoespécie
sc	<i>Citrus</i> sp.	sc	<i>Musa paradisiaca</i> L.
si	<i>Clitoria fairchiudiana</i> R. A. Howard	cl	<i>Pachira aquatica</i> Aubl.
sc	<i>Cocos nucifera</i> L.	si	<i>Persea americana</i> Mill.
si	<i>Colubrina glandulosa</i> Perkins	sc	<i>Piper</i> sp.
si	<i>Couroupita guianensis</i> Aubl.	pi	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F. Macbr.
pi	<i>Cupania vernallis</i> Cambess.	st	<i>Poincinella pluviosa</i> (DC.) L.P. Queiroz
pi	<i>Cybistax antisiphilitica</i> (Mart.) Mart.	pi	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.
pi	<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allem. ex Benth.	pi	<i>Ricinus communis</i> L.
si	<i>Dypsis lutescens</i>	st	<i>Sapindus saponaria</i> L.
si	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	si	<i>Seguiera langsdorffii</i> Moq.
si	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	sc	<i>Solanum cf. argenteum</i> Dunal
si	<i>Erythroxylum pulchrum</i> A. St. -Hil.	si	<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W.C. Burger et al.
cl	<i>Eucalyptus</i> sp.	pi	<i>Sparattosperma leucanthum</i> (Vell.) K.Schum
pi	<i>Eugenia candolleana</i> DC.	cl	<i>Swietenia macrophylla</i> King.
pi	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	sc	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston
st	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	sc	<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. & L.M. Perry
si	<i>Ficus</i> sp.	pi	<i>Theobroma cacao</i> L.
cl	<i>Garcinia gardneriana</i> (Planch. & Triana) Zappi	cl	<i>Trichilia casaretti</i> C. DC.
si	<i>Genipa americana</i> L.	pi	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.

(G.E.) grupo ecológico; (pi) pioneiras; (cl) clímax; (si) secundária inicial; (st) secundária tardia; (sc) sem classificação.

Tabela 3. Coeficientes de regressão, coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa percentual e valor F da análise de variância, para o ajuste dos modelos com o banco de dados sem estratificação.

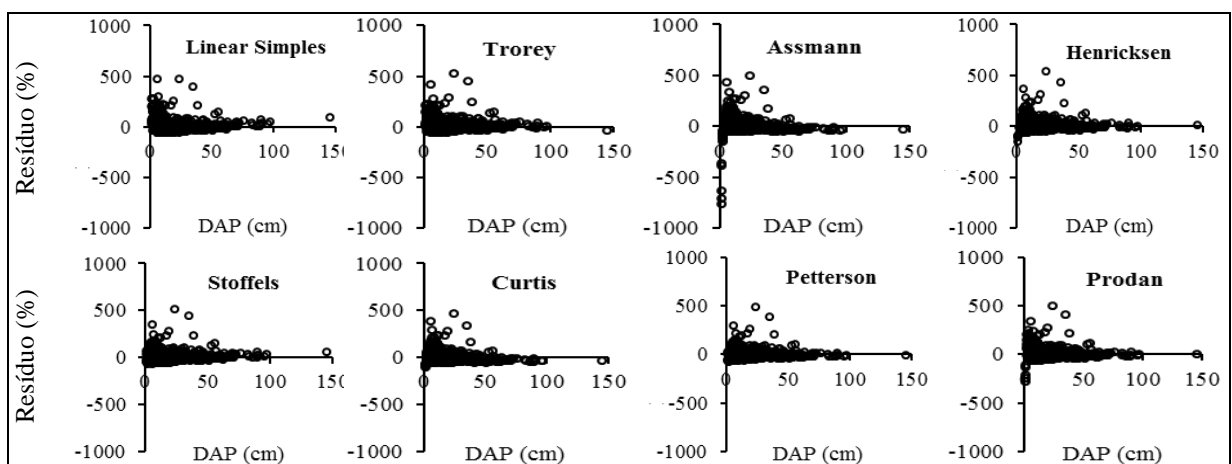
n°	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx} \%$	F
1	7,3631*	0,2217*	-	0,45	31,84	1.552,2 ^s
2	6,4677*	0,3861*	-0,0020*	0,49	28,36	761,1 ^s
3	14,6572*	-35,5831*	-	0,37	33,96	1.134,8 ^s
4	-1,0406*	4,8116*	-	0,55	28,55	2.391,1 ^s
5	1,1490*	0,4607*	-	0,53	29,59	2.176,3 ^s
6	2,6909*	-3,7668*	-	0,43	31,83	1.481,3 ^s
7	0,0486*	0,9003*	-	0,20	31,12	481,7 ^s
8	-1,6675*	0,8963*	0,0412*	0,93	30,33	12.656,2 ^s
9	4,2271*	0,0667*	-	0,90	29,93	9.181,7 ^s
10	-0,8123*	0,8336*	0,0431*	0,91	28,63	6.749,1 ^s

(*) significativo para o teste *t*, 5% de probabilidade; (s) significativo para estatística F, 5% de probabilidade; (nl) não linear; ($\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$) coeficientes obtidos para os modelos; ($R^2_{aj.}$) coeficiente de determinação ajustado; ($S_{yx} \%$) erro padrão da estimativa percentual; (F) valor calculado do teste F da análise de variância.

A correlação entre altura e diâmetro em florestas inequiâneas é naturalmente baixa, gerando baixos valores de $R^2_{aj.}$ no ajuste de modelos de relação hipsométrica, conforme resultados apresentados na Tabela 2. Os modelos ajustados para todo o conjunto de dados no presente estudo, apresentam-se semelhantes aos observados por Staub et al. (2014) em plantios de restauração com espécies nativas da Mata Atlântica, localizados no município de Seropédica, RJ, sendo o mesmo município em que o presente trabalho foi desenvolvido. Os valores de $R^2_{aj.}$ e de erros para ambos trabalhos foram semelhantes, com baixos valores de $R^2_{aj.}$ e erros de estimativa elevados.

No entanto, foram melhores resultados foram obtidos para descrever a relação altura e diâmetro em florestas nativas, com $R^2_{aj.}$ mais altos e erros mais baixos, como observados por Curto et al. (2014) em Floresta Estacional Semidecidual no Espírito Santo e, por Curto et al. (2018) em Floresta de transição entre Cerrado e Amazônia no Mato Grosso. Deste modo, é possível verificar que a relação entre a altura e o diâmetro podem ser influenciadas pela fitofisionomia, além de sítio, idade, densidade, espécie, dentre outros fatores (ARAÚJO et al., 2012; HESS et al., 2014).

A distribuição gráfica dos resíduos apresentou-se com comportamento semelhante para todos os modelos ajustados (Figura 2), indicando maior heterogeneidade para diâmetros menores e maior homogeneidade para diâmetros maiores.



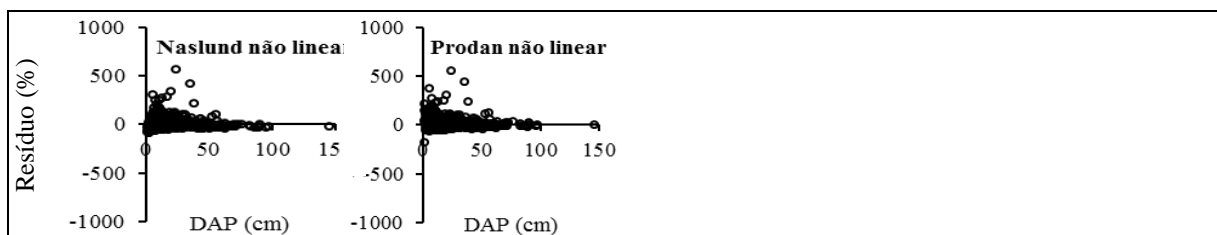


Figura 2. Dispersão gráfica dos resíduos para os modelos de relação hipsométrica ajustados.

A tendência de ocorrer maior heterogeneidade dos resíduos para as alturas cujos diâmetros são menores, conforme observado na Figura 1, deve-se a maior concentração de indivíduos nas menores classes de diâmetros e menor quantidade de indivíduos nas maiores classes de diâmetro. Tal característica é natural e também foi observada por Sanquetta et al. (2013) e Andrade et al. (2015), ao constatarem a distribuição da frequência dos indivíduos por classe diamétrica com tendência exponencial negativa, característica das florestas inequiâneas.

Ainda, esse comportamento pode ser também explicado pela não uniformidade dos indivíduos que se encontram nas florestas inequiâneas, cujas idades são diferentes e os estágios de regeneração são variados (LIMA; LEÃO, 2013), o que demonstra a necessidade de estratificação dos dados.

Por apresentar menor erro padrão da estimativa percentual, o modelo de Trorey foi selecionado para ser ajustado por estratos quanto ao grupo ecológico, espécies e classes de diâmetro. Os coeficientes e as estatísticas de ajuste em cada grupo de estratos para o modelo hipsométrico de Trorey estão apresentados na Tabela 4. Para a estratificação por classe diamétrica, observou-se que a maioria dos ajustes foram não significativos e nos casos em que houve significância do ajuste do modelo, pelo teste F, os coeficientes da regressão foram não significativos pelo teste *t*.

Isso demonstra que a estratificação dos dados utilizando esse critério de estratificação não contribuiu para explicar as variações de altura em função das variações em diâmetro. Sendo assim, as equações ajustadas apresentaram baixos valores de coeficientes de determinação ajustado.

Tabela 4. Parâmetros estatísticos do modelo de Trorey, para todo o banco de dados e para os estratos gerados.

CLASSE	N	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$R^2_{aj.}$	$S_{vx}(\%)$	F
Ajuste Geral Para Todo Banco de Dados (A)	1.547	6,4677*	0,3532*	-0,0020*	0,4958	28,36	761,14 ^s
Ajuste Geral Para as Cinco Espécies (B)	1.174	6,0020*	0,4515*	-0,0036*	0,4950	27,49	576,04 ^s
GRUPO ECOLÓGICO	N	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$R^2_{aj.}$	$S_{vx}(\%)$	F
Pioneira	833	4,9849*	0,4752*	-0,0037*	0,581	26,46	579,29 ^s
Secundária Inicial	528	6,6553*	0,4229*	-0,0033*	0,363	29,89	151,08 ^s
Secundária Tardia	44	5,1949*	0,4105*	-0,0025*	0,651	26,01	41,15 ^s
Clímax	24	6,1030*	0,2251*	-0,0008*	0,819	15,19	53,30 ^s
Sem classificação	118	5,0195*	0,4041*	-0,0026*	0,572	25,45	79,34 ^s
ESPÉCIES	N	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$R^2_{aj.}$	$S_{vx}(\%)$	F
<i>A. guachapele</i>	647	5,2916*	0,4622*	-0,0035*	0,590	25,47	466,83 ^s
<i>L. lactescens</i>	294	3,3166*	1,0959*	-0,0181*	0,480	24,98	136,39 ^s
<i>E. pulchrum</i>	158	5,8792*	0,2782*	0,0010 ^{ns}	0,523	22,87	87,15 ^s
<i>P. gonoacantha</i>	40	2,6393 ^{ns}	0,7864*	-0,0098 ^{ns}	0,538	26,88	23,70 ^s
<i>S. leucanthum</i>	35	2,1331 ^{ns}	0,9236*	-0,0138*	0,645	22,25	31,94 ^s

CLASSE DE DAP (cm)	N	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}(\%)$	F
05 + 10	682	2,6482 ^{ns}	0,9185 ^{ns}	-0,0119 ^{ns}	0,138	31,29	55,59 ^s
10 + 15	298	15,5475 ^{ns}	-1,1610 ^{ns}	0,0625 ^{ns}	0,025	28,00	4,82 ^s
15 + 20	178	17,4809 ^{ns}	-0,8965 ^{ns}	0,0360 ^{ns}	0,009	28,94	1,84 ^s
20 + 25	111	-7,0313 ^{ns}	1,4681 ^{ns}	-0,0240 ^{ns}	0,003	25,68	1,19 ^s
25 + 30	77	3,4696 ^{ns}	0,7486 ^{ns}	-0,0114 ^{ns}	-0,024	22,61	0,11 ^{ns}
30 + 35	55	216,2630 ^{ns}	-12,5980 ^{ns}	0,1964 ^{ns}	-0,019	22,97	0,49 ^{ns}
35 + 40	36	295,2320 ^{ns}	-14,6372 ^{ns}	0,1922 ^{ns}	-0,044	23,30	0,25 ^{ns}
40 + 45	27	-353,6954 ^{ns}	18,0540 ^{ns}	-0,2185 ^{ns}	-0,063	25,24	0,23 ^{ns}
45 + 50	21	1207,4944 ^{ns}	-50,1950 ^{ns}	0,5289 ^{ns}	-0,012	21,32	0,88 ^s
≥ 50	62	16,3701 [*]	0,0461 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	-0,006	19,04	0,79 ^s

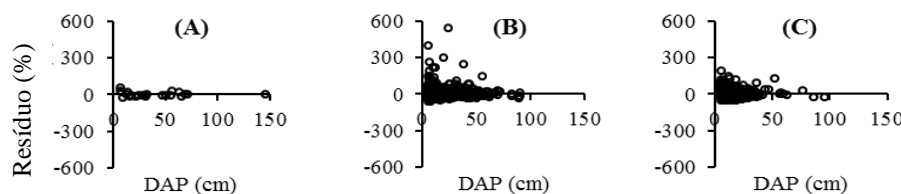
(*) significativo para o teste *t*, 5% de probabilidade; (^s) significativo e (^{ns}) não significativo para estatística F, 5% de probabilidade; (**n**) número de indivíduos; (β_0 , β_1 , β_2) coeficientes obtidos para o modelo de Trorey; ($R^2_{aj.}$) coeficiente de determinação ajustado; ($S_{yx}\%$) erro padrão da estimativa percentual; (**F**) valor calculado do teste F da análise de variância.

Por se tratar de floresta inequidiana, o padrão de crescimento das árvores é bastante variado e as árvores utilizam os recursos (como água, luz, nutrientes e espaço) de acordo com a disponibilidade e suas exigências. O entendimento das características comuns entre as espécies, dentre elas, as características biológicas e ecológicas, auxilia no agrupamento dos indivíduos em grupos ecológicos ou funcionais que estabelecem interações entre si (CARVALHO, 1999).

Assim, a estratificação, tanto por espécie quanto por grupo ecológico, diferentemente da estratificação por classe diamétrica, na maioria dos estratos propiciaram ajuste e coeficientes de regressão significativos, demonstrando a melhoria que estes critérios proporcionam às equações ajustadas. Tais melhorias foram semelhantes às obtidos por Curto et al. (2014) ao estratificarem os dados de diâmetro e altura por espécie. Trautenmüller et al. (2014), ao estratificar os dados de diâmetro e altura de uma floresta Estacional Decidual em classes diamétricas, também identificaram coeficientes não significativos na maioria das classes, evidenciando que a estratificação proposta não foi vantajosa.

A dispersão dos resíduos apresentou maior amplitude quando o modelo de Trorey foi ajustado para as classes de diâmetro de 5 a 10, de 10 a 15 e de 15 a 20 cm (Figura 3). A partir daí a dispersão dos resíduos torna-se homogênea. Segundo Curto et al. (2014), a dispersão heterogênea dos resíduos nas menores classes de diâmetro ocorre devido à presença de árvores mais finas, porém, com grande variação de altura, englobando diferentes espécies e grupos ecológicos, com diferentes idades e características de crescimento distintas. Assim, esse efeito se reduz nas maiores classes de diâmetro ou quando o ajuste é realizado por espécie e grupo ecológico.

Estratificação: grupo ecológico



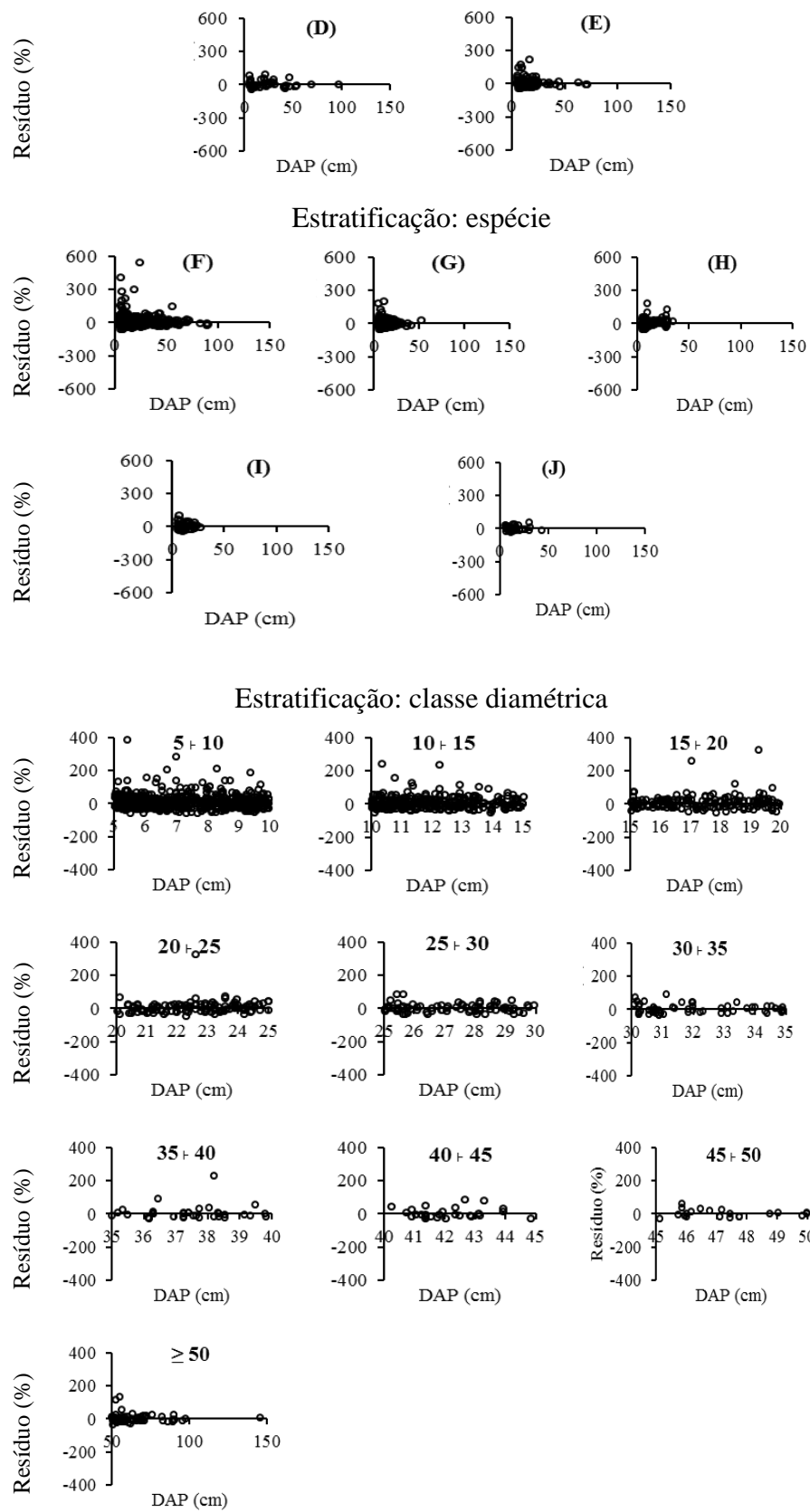
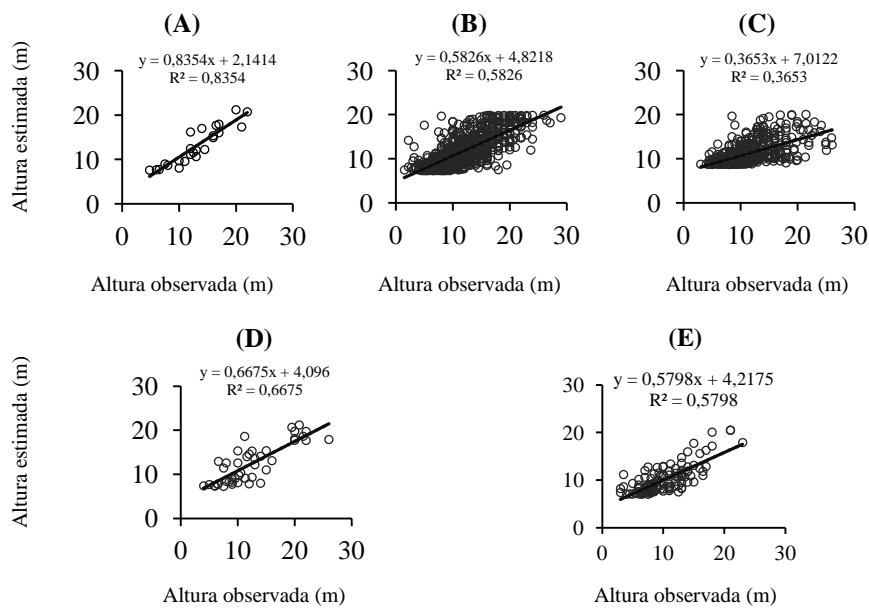


Figura 3. Gráfico de resíduos das estimativas do modelo de Trorey para cada item da estratificação. (A) clímax; (B) pioneira; (C) secundária inicial; (D) secundária tardia; (E) sem classificação (F) *A. guachapele*; (G) *L. lactescens*; (H) *E. pulchrum*; (I) *P. gonoacantha* (Mart.); (J) *S. leucanthum*.

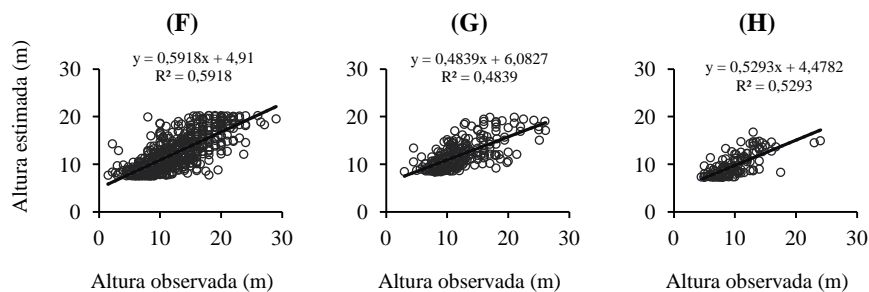
Ao visualizar os valores de altura estimados em função dos observados (Figura 4), percebe-se que o ajuste por classe diamétrica gerou uma reta paralela ao eixo das coordenadas. Indicando que este critério de estratificação não aumenta a qualidade das estimativas das equações. Já o ajuste do modelo por grupo ecológico e por espécie, indicou tendência dos valores estimados em função dos observados, com uma reta de inclinação próxima de 45° ($\beta_1=1$) e passando pela origem ($\beta_0=0$), além de coeficiente de determinação mais próximos de 1.

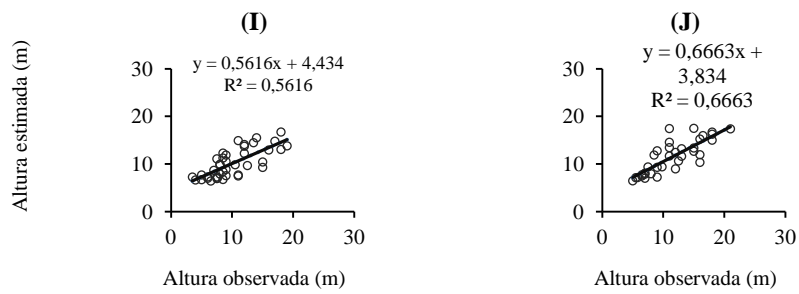
Em modelos de regressão, cada parâmetro associado a variáveis independentes representa a inclinação da variável dependente (Y) em relação à variável independente (X) a ele relacionada. Já o parâmetro β_0 representa o valor médio de Y quando as variáveis independentes são iguais a zero. Deste modo, os resultados retratam a não significância do coeficiente para o modelo, indicando que a média das alturas é suficiente para representar as árvores agrupadas por classe de diâmetro.

Estratificação por espécie



Estratificação por grupo ecológico





Estratificação por classe diamétrica

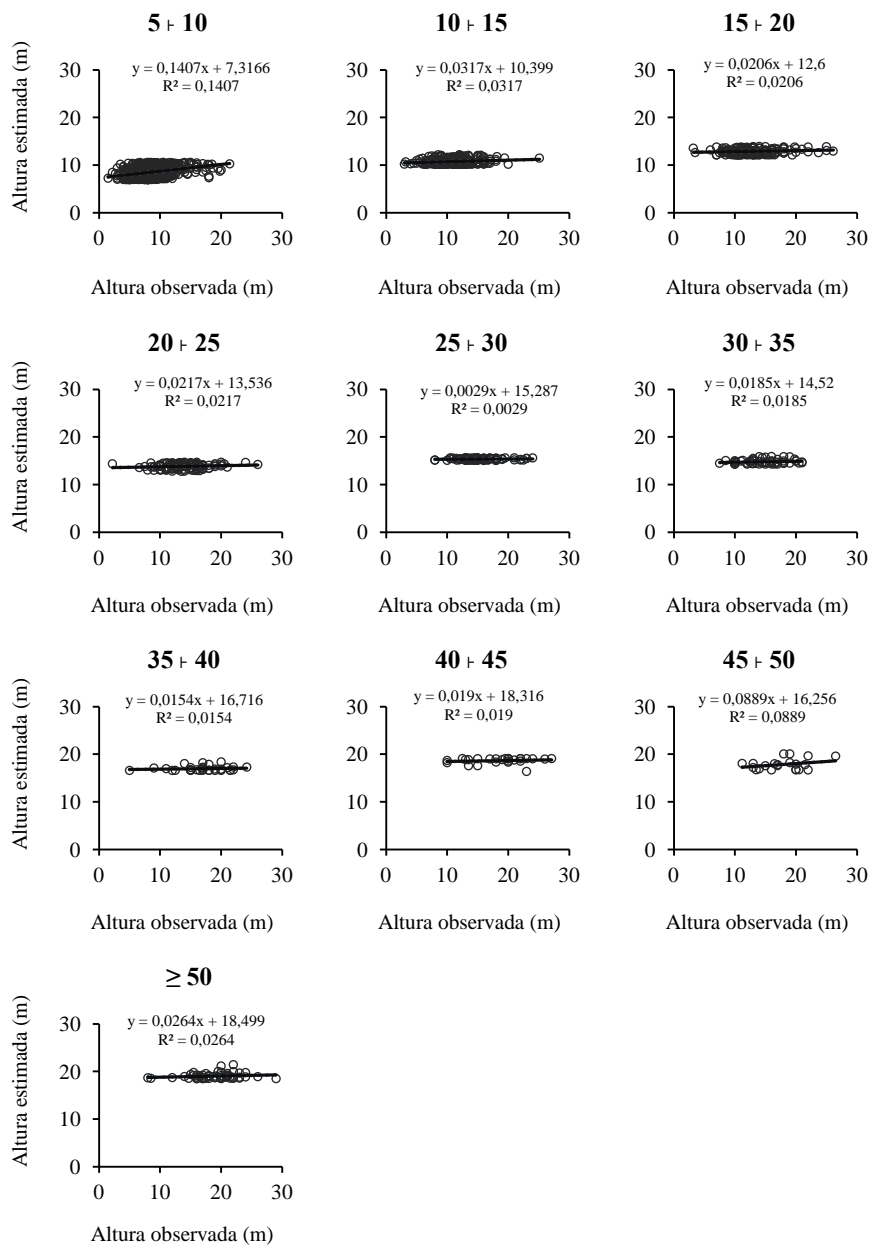


Figura 4. Gráfico de validação das estimativas do modelo de Trorey para cada item da estratificação. (A) clímax; (B) pioneira; (C) secundária inicial; (D) secundária tardia; (E) sem classificação; (F) *A. guachapele*; (G) *L. lactescens*; (H) *E. pulchrum*; (I) *P. gonoacantha* (Mart.); (J) *S. leucanthum*.

Araújo et al. (2012), Martins et al. (2015) e Rodrigues et al. (2017) obtiveram resultados consistentes ao aplicar o teste de identidade entre modelos no agrupamento dos dados, sendo viável a estratificação realizada. A Tabela 5 apresenta as somas dos quadrados da regressão, dos resíduos e do total obtida em cada estrato. Na análise de variância, os valores encontrados da estatística F foram comparados ao valor tabelado, sendo que, para os estratos de Classe Diamétrica, Espécies e Grupo Ecológico, os valores de $F_{\text{calculado}}$ foram -26,9322, 10,0657 e 6,4017, respectivamente e F_{tabelado} foram 1,4930, 1,7605 e 1,7584, respectivamente.

Ao comparar $F_{\text{calculado}}$ com F_{tabelado} , observa-se a não rejeição da hipótese nula para a estratificação dos dados por classe diamétrica, definindo que não houve diferença entre o ajuste do modelo para os dados estratificados e sem estratificação. A estratificação foi significativa quando os dados foram estratificados por grupo ecológico e por espécie.

Tabela 5. Soma dos quadrados da regressão, dos resíduos e dos totais de cada ajuste do modelo de Trorey dos bancos de dados A, B e seus estratos.

Classes^(r)	SQ_{reg}	SQ_{res}	SQ_{total}
Ajuste Geral Para Todo Banco de Dados (A)	15.663,98	15.887,47	31.551,45
Ajuste Geral Para as Cinco Espécies (B)	11.610,28	11.800,87	23.411,14
Grupo Ecológico^(c)	SQ_{reg}	SQ_{res}	SQ_{total}
Clímax	416,45	82,03	498,48
Pioneira	10.829,81	7.758,35	18.588,16
Secundária Inicial	3.295,85	5.726,41	9.022,26
Secundária Tardia	844,75	420,82	1.265,56
Sem classificação	1.035,74	750,58	1.786,31
Espécies^(c)	SQ_{reg}	SQ_{res}	SQ_{total}
<i>A. guachapele</i>	8.766,80	6.047,02	14.813,82
<i>L. lactescens</i>	2.364,01	2.521,78	4.885,79
<i>E. pulchrum</i>	824,97	733,66	1.558,63
<i>P. gonoacantha</i>	350,60	273,63	624,23
<i>S. leucanthum</i>	417,67	209,20	626,88
Classe de DAP^(c)	SQ_{reg}	SQ_{res}	SQ_{total}
05 + 10	789,70	4.822,39	5.612,09
10 + 15	87,37	2.668,79	2.756,16
15 + 20	51,02	2.426,92	2.477,94
20 + 25	30,21	1.363,63	1.393,84
25 + 30	2,60	889,28	891,88
30 + 35	11,34	600,65	611,99
35 + 40	8,09	516,73	524,82
40 + 45	10,31	533,37	543,68
45 + 50	25,43	260,54	285,97
≥ 50	20,92	772,56	793,48

(SQ_{reg}) soma dos quadrados da regressão; (SQ_{res}) soma dos quadrados dos resíduos; (SQ_{total}) soma dos quadrados do total; (r) modelo reduzido ; (c) modelo completo.

O teste de identidade entre modelos permitiu confirmar que a estratificação dos dados por classe diamétrica não diferiu do ajuste para os dados sem estratificação. Estes resultados foram melhores para as equações ajustadas por grupo ecológico, demonstrando esse ser um critério importante a ser utilizado no ajuste de modelos de relação hipsométrica em florestas inequidâneas. A superioridade obtida com a estratificação por espécie e por grupo ecológico

pode ser confirmada também pela verificação da diferença entre os modelos ajustados sem estratificar os dados, quando foi realizada a comparação pelo teste de identidade entre modelos, uma vez que estratificar os dados gerou resultados diferentes do ajuste com todo o banco de dados. Tais resultados destacam a importância em se efetuar estratificações de acordo com características distintas entre os indivíduos, visando obter estimativas mais exatas da altura das árvores na floresta.

5. CONCLUSÕES

Para o ajuste de modelos de relação hipsométrica, a estratificação de dados por grupo ecológico e por espécie contribuiu de forma significativa para a melhoria da precisão das equações, sendo que a estratificação por grupo ecológico proporcionou melhores resultados.

A estratificação dos dados em classes diamétricas não aumentou a precisão das equações hipsométricas ajustadas no fragmento de floresta inequiânea, e, nesse caso, a altura média de cada classe pode ser suficiente para representar as alturas das árvores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.

ANDRADE, V. C. L. DE et al. Amostragem e agrupamento de dados de relação hipsométrica em inventários florestais de Cerrado Tocantinense. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 227, 2015.

ARAÚJO, E. J. G. DE et al. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 257–268, 2012.

AZEVEDO, C. et al. Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia ocidental. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 39, p. 5–29, 1999.

BARTOSZECK, A. C. DE P. E S. et al. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da Região Metropolitana de Curitiba, PR. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 517–533, 2004.

CALEGÁRIO, N.; SCOLFORO, J. R. S.; SOUZA, A. L. Estratificação em alturas para floresta natural heterogênea: uma proposta metodológica. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 58–63, 1994.

CARVALHO, J. O. P. DE. Dinâmica De Florestas Naturais E Sua Implicação Para O Manejo Florestal. **Silvicultura na Amazônia oriental: contribuições do projeto Embrapa/DFID**, p. 304, 1999.

CHICHORRO, J. F.; RESENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de

taper para quantificar multiprodutos da madeira em Floresta Atlântica. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 799–809, 2003.

CURTO, R. D. A. et al. Relações hipsométricas em floresta estacional semidecidual. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 57, n. 1, p. 57–66, 2014.

DA SILVA, G. F. et al. Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. **Revista Arvore**, v. 36, n. 2, p. 341–348, 2012.

DAVID, H. C. et al. Efeito do desbaste e da qualidade do sítio na relação hipsométrica de pinus taeda. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 220–228, 2016.

ENCINAS, J. I.; DA SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 185–191, 2005.

GOMES, J. F. Classificação e crescimento de grupos ecológicos na floresta ombrófila mista da flona de São Francisco de Paula, RS. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2005.

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury, 2000.

HESS, A. F. et al. Adjustment of the hypsometric relationship for species of Amazon Forest. **Ambiência**, v. 10, n. 1, p. 21–29, 2014.

HÜLLER, A. et al. Estrutura fitossociológica da vegetação arbórea do parque natural municipal de Santo Ângelo, Santo Ângelo, RS. **Ciencia Florestal**, v. 21, n. 4, p. 629–639, 2011.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. DE. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 301–310, 2003.

LIMA DE ANDRADE, V. C. et al. Influência de três sistemas de amostragem na estimativa da relação hipsométrica e do volume de árvores em um fragmente de Mata Atlântica. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. d, n. 70, p. 31–37, 2006.

LIMA, J. P. DA C.; LEÃO, J. R. A. Dinâmica de crescimento e distribuição diamétrica de fragmentos de florestas nativa e plantada na Amazônia Sul Ocidental. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 70–79, 2013.

MACHADO, S. D. A. et al. Influência do comprimento de copa na relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 343, 2015.

MACHADO, S. DO A. et al. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira (Brazil)**, n. 56, p. 5–16, 2008.

MARTINS, R. M. et al. Teste de identidade de modelos volumétricos para povoamentos de *Eucalyptus* sp. em sete Municípios de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 1818–1833, 2015.

MIRANDA, R. O. V. Modelagem em nível de povoamento para *Eucalyptus* sp. com estratificação em classes. **Unicentro**, 2012.

NICOLETTI, M. F. et al. Relação hipsométrica para *Pinus taeda* L. em diferentes

fases do ciclo de corte. **Floresta e Ambiente**, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.051513>>

REVEAL, J. L.; CHASE, M. W. APG III: Bibliographical information and synonymy of Magnoliidae. **Phytotaxa**, v. 19, p. 71–134, 2011.

RODRIGUES, C. K. et al. Identidade de modelos hipsométricos e volumétricos de povoamentos de pinus com diferentes idades submetidos ao desbaste mecanizado. **Biofix**, p. 54–59, 2017.

SANQUETTA, C. R. et al. Relações diâmetro-altura para espécies lenhosas em um fragmento de floresta ombrófila mista no sul do Paraná. **Iheringia**, v. 68, n. 1, p. 103–114, 2013.

SANTOS, F. M. et al. Dynamics of aboveground biomass accumulation in monospecific and mixed- species plantations of Eucalyptus and Acacia on a Brazilian sandy soil. **Forest Ecology and Management**, p. 86–97, 2016.

SOARES, T. S. et al. Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 845–854, 2004.

STAUB, C. M. M. et al. Equações hipsométricas para plantios mistos de restauração florestal na Mata Atlântica, em Seropédica-Rj. **Enciclopedia Biofesra**, v. 10, p. 1633–1641, 2014.

TRAUTENMÜLLER, J. W. et al. Relação hipsométrica em floresta estacional decidual. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 1633–1641, 2014.