

**UNIVERSIDADE DE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIAS**

LUCAS RASI CUNHA LEITE

**USO DO ESTIMADOR DE RAZÃO GENERALIZADO
NA CONDUÇÃO DO INVENTÁRIO FLORESTAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONEGÓCIOS

CAMPO GRANDE/MS BRASÍLIA/DF GOIÂNIA/GO

MARÇO/2007

LUCAS RASI CUNHA LEITE

**USO DO ESTIMADOR DE RAZÃO GENERALIZADO NA CONDUÇÃO DO
INVENTÁRIO FLORESTAL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
MULTIINSTITUCIONAL EM AGRONEGÓCIOS
(CONSÓRCIO ENTRE A UNIVERSIDADE
FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL,
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA E A
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIAS), COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
AGONEGÓCIOS NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
DE COMPETITIVIDADE AGROINDUSTRIAL.**

ORIENTADOR: LEANDRO SAUER

**CAMPO GRANDE/MS/BRASÍLIA/DF/GOIÂNIA/GO
MARÇO/2007**

LUCAS RASI CUNHA LEITE

**USO DO ESTIMADOR DE RAZÃO GENERALIZADO NA CONDUÇÃO DO
INVENTÁRIO FLORESTAL**

APROVADA POR:

**LEANDRO SAUER, Dr. (UFMS)
(ORIENTADOR)**

**JOSÉ ROBERTO ZORZATTO, Dr. (UFMS)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**SEBASTIÃO DE AMORIM, Dr (UNICAMP)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

CAMPO GRANDE/MS/BRASÍLIA/DF/GOIÂNIA/GO, 16 de Março de 2007

DEDICO

À meu pai, Paulo César Cunha Leite

E à minha mãe, Maria Ap. Rasi Cunha Leite

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pelas inúmeras conquistas que pude realizar.

Agradeço ao meu orientador, Prof^o. Dr. Leandro Sauer, pela contribuição na discussão do trabalho.

A International Paper, e aos engenheiros florestais Gilberto Moraes e Eduardo Campinhos.

Aos técnicos da International Paper, Alair, Ademir, Fabiano e Marcos, pelo apoio total na execução do trabalho de campo.

Aos meus amigos de mestrado pelos momentos de aprendizado e companheirismo vividos durante o curso. As meninas da secretaria e as meninas da copa, por servirem o cafezinho de cada dia.

A minha amiga Mariana, pelo companheirismo no início de minha jornada.

Aos meus amigos de república, pela união e força em minha chegada na cidade.

Aos professores Jair Biscola, José Roberto Zorzatto e Sebastião de Amorim pela colaboração dos resultados.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
SUMÁRIO	6
LISTA DE GRÁFICOS	8
LISTA DE TABELAS	9
RESUMO.....	13
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA	20
1.2. OBJETIVOS.....	24
2. MÉTODO.....	25
2.1 Análise de Variância.....	25
2.2 Coeficiente de correlação e diagrama de dispersão.....	26
2.3 Análise de regressão	26
2.4 Gráfico de distribuição dos resíduos	27
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	28
3.1 Conceitos em Inventário Florestal.....	28
3.2 Inventário Florestal.....	34
3.3 Estimador de Razão Generalizado.....	37
3.4 Bootstrap.....	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 MODELOS TESTADOS DE UMA ENTRADA.....	46
4.2 MODELOS TESTADOS DE DUPLA ENTRADA.....	56
4.3 SIMULAÇÕES.....	65

4.3.3 Modelo de Stoate com valores reais de dap e valores estimados visualmente pelos funcionários A e B.....	75
4.4 RESULTADOS BOOTSTRAP.....	80
5. CONCLUSÕES	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Histograma dos volumes reais das 70 árvores cubadas rigorosamente...	43
Gráfico 2: Histograma das 10.000 repetições <i>Bootstrap</i> para a média dos 70 volumes reais obtidos através da cubagem rigorosa.	44
Gráfico 3: Diagrama de dispersão do Volume Real em relação aos volumes estimados pelo modelo de Kapezky-Gehrhardt.....	49
Gráfico 4: Diagrama de dispersão do Volume Real em relação aos volumes estimados pelo modelo de Dissescu-Meyer.....	51
Gráfico 5: Diagrama de dispersão do Volume Real em relação aos volumes estimados pelo modelo de Hohenald-Krenm.....	54
Gráfico 6: Diagrama de dispersão do Volume Real em relação aos volumes estimados pelo modelo de Spurr.....	58
Gráfico 7: Diagrama de dispersão do Volume Real em relação aos volumes estimados pelo modelo de Schumacher-Hall.	60
Gráfico 8: Diagrama de dispersão do Volume Real em relação aos volumes estimados pelo modelo de Stoate.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Equações volumétricas de uma e dupla entrada.....	35
Tabela 2: Intervalo de confiança para os valores reais de volume (m^3) e através de 10.000 repetições <i>Bootstrap</i> (reamostragem com $n_i=70$).....	42
Tabela 3: Resumo dos resultados dos modelos de uma entrada testados.	55
Tabela 4: Análise de variância do volume real e os modelos de uma entrada.....	55
Tabela 5: Resumo dos resultados dos modelos de dupla entrada.....	64
Tabela 6: Análise de variância do volume real e os modelos de dupla entrada.....	64
Tabela 7: Coeficientes e R^2 ajustado da regressão linear de variável dependente o Volume Real e variável independente as medições visuais do Volume feitas pelos funcionários A e B.	66
Tabela 8: Correlação entre o Volume Real e as estimações de volumes visuais feitas pelos funcionários A e B.....	68
Tabela 9: Resumo dos resultados das medições visuais de volume feitas pelos funcionários A e B.	69
Tabela 10: Análise de variância do volume real e os volumes estimados visualmente pelos funcionários A e B.....	69
Tabela 11: Coeficientes e R^2 ajustado da regressão linear de variável dependente a Altura Real e variável independente as medições visuais de altura feitas pelos funcionários A e B.	70
Tabela 12: Correlação entre a Altura Real e as estimações de alturas visuais feitas pelos funcionários A e B.....	73
Tabela 13: Resumo dos resultados das medições visuais de altura feitas pelos funcionários A e B.	74

Tabela 14: Análise de variância da altura real e as alturas estimadas visualmente pelos funcionários A e B.....	74
Tabela 15: Coeficientes e R^2 ajustado da regressão linear de variável dependente o Volume Real e variável independente os volumes estimados pelo modelo de Stoate com valores reais de <i>dap</i> e alturas estimadas visualmente pelos funcionários A e B.	75
Tabela 16: Correlação entre o Volume Real e as estimações de volumes feitas através do modelo de Stoate com medições visuais de altura dos funcionários A e B.	78
Tabela 17: Resumo dos resultados das medições de volumes através do modelo de Stoate com valores reais de <i>dap</i> e alturas estimadas pelos funcionários A e B.....	79
Tabela 18: Análise de variância dos volumes reais e das medições de volumes através do modelo de Stoate com valores reais de <i>dap</i> e alturas estimadas pelos funcionários A e B.	80
Tabela 19: Análise de variância entre o volume real e os resultados com o uso do Estimador de Razão Generalizado via <i>Bootstrap</i> com base nas estimativas visuais de volumes feitas pelos funcionário A e B.....	82
Tabela 20: Análise de variância entre o volume real e os resultados com o uso do Estimador de Razão Generalizado via <i>Bootstrap</i> com base nas no modelo de Stoate com valores reais de <i>dap</i> e alturas estimadas visualmente pelos funcionários A e B.	84
Tabela 21: Análise de variância entre o volume real e os resultados com o uso do Estimador de Razão Generalizado via <i>Bootstrap</i> com base nas no modelo de Hohenald-Krenm com valores reais de <i>dap</i>	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cadeia Produtiva da Madeira	17
Figura 2: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Kapezky-Gehrhardt.....	47
Figura 3: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Dissescu-Meyer	50
Figura 4: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Hohenald-Krenm.....	53
Figura 5: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Spurr	57
Figura 6: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Schumacher-Hall	59
Figura 7: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Stoate	62
Figura 8: Análise dos resíduos gerados pelas medições do Funcionário A	66
Figura 9: Análise dos resíduos gerados pelas medições do Funcionário B.	67
Figura 10: Diagrama de dispersão entre o Volume Real e as estimações de volumes visuais feitas pelos funcionários A e B.	68
Figura 11: Análise dos resíduos gerados pelas medições de altura do Funcionário A	71
Figura 12: Análise dos resíduos gerados pelas medições de altura do Funcionário B.	72
Figura 13: Diagrama de dispersão entre a Altura Real e as estimações de alturas visuais feitas pelos funcionários A e B.	73
Figura 14: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Stoate com medições reais de <i>dap</i> e medições visuais de alturas feitas pelo Funcionário A.	76
Figura 15: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Stoate com medições reais de <i>dap</i> e medições visuais de alturas feitas pelo Funcionário B.	77

Figura 16: Diagramas de dispersão entre o Volume Real e as estimações de volumes feitas através do modelo de Stoate com medições visuais de altura dos funcionários A e B.	79
Figura 17: Histograma do volume real, volumes estimados visualmente pelos Funcionários A e B através do ERG e <i>Bootstrap</i>	82
Figura 18: Histograma do volume real, volumes estimados através do modelo de Stoate com valores reais de <i>dap</i> e estimativas visuais de alturas feitas pelos Funcionários A e B através do ERG e <i>Bootstrap</i>	85
Figura 19: Histograma do volume real e dos volumes estimados através do modelo de Hohenald-Krenm com valores reais de <i>dap</i> e estimativas através do ERG e <i>Bootstrap</i>	87

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo principal, propor alternativas as estimativas atuais na condução do Inventário Florestal com base no Estimador de Razão Generalizado, que possibilita um aumento da intensidade amostral via utilização de medições simples e rápidas.

Foi feito um trabalho de campo no qual foram cubadas 70 árvores numa empresa de reflorestamento de eucalipto localizada no município de Três Lagoas – MS. Com o auxílio de dois funcionários da empresa, pediu-se que os mesmos avaliassem visualmente o volume e a alturas das árvores antes de serem cubadas rigorosamente, para fins de testar os resultados de avaliação visual do volume feitas pelos funcionários, modelos volumétricos de dupla entrada com as medidas reais de *dap* (diâmetro a altura do peito) e alturas avaliadas visualmente pelos funcionários, e modelos de uma entrada com medições reais de *dap*. Após houve um aumento da intensidade amostral com apenas os volumes estimados visualmente pelos funcionários, bem como alturas das árvores numa amostra de 254 árvores, para a utilização do Estimador de Razão Generalizado.

Verificou-se que as estimações visuais de volumes feitas pelos funcionários não melhoraram as estimativas geradas pela cubagem rigorosa. Já os volumes estimados pelo modelo de Stoate com valores de *dap* e valores de alturas estimados visualmente pelos funcionários melhoraram as estimativas de volumes das árvores, bem como as estimativas geradas pelo modelo de Hohenald-Krem de uma entrada.

Palavras Chaves: Inventário Florestal; Estimador de Razão Generalizado; *Bootstrap*

ABSTRACT

The object of this work is to suggest alternatives to the current estimates of forest inventory, based on the generalized ratio estimator, which enables an increase of sample intensity via the utilization of simple and quick measurements. Field work was done, in which 70 trees were scaled in a reforestation company located in Três Lagoas – MS. The trees were rigorously scaled, so as to adjust Stoaate's models of double entrance, from dbh (diameter breast height) measurements and from heights visually estimated by two employees. There was later an increase of sample intensity based on the dbh values and the heights visually estimated by the employees in a sample of 254 trees, so that the generalized ratio estimator could be used. This lead to conclusion that the estimates of volumes generated by Stoaate's volumetric equation, based on dbh values and heights visually estimated by the employees, have improved the volume estimates in the 70 rigorously scaled trees. These volume estimates were corrected by the generalized ratio estimator.

Key words: Forest inventory; Generalized ratio estimator, *Bootstrap*

1. INTRODUÇÃO

O setor de florestas plantadas, integrante de diversas cadeias industriais de transformação de madeira, ocupa lugar de destaque entre os diferentes segmentos industriais nacional. (ABRAF, 2006)

Com o sexto maior país em termos de reflorestamento, o Brasil em 2000 detinha uma área de reflorestamento de 4,98 milhões de hectares. As empresas de celulose detinham 28,1% dos estoques de reflorestamento no período, e 19,1% dos estoques são originários de empresas siderúrgicas (BACHA, 2004).

O Brasil apresenta grande competitividade no mercado de produtos florestais, em razão de suas características edafoclimáticas (solo e clima) e do desenvolvimento tecnológico obtido na área de silvicultura¹ (JUVENAL; MATTOS, 2002 e MATTOS; VALENÇA, 1999).

Dentre as vantagens do mercado brasileiro, estas podem ser definidas em vantagens comparativas e competitivas, segundo classificação feita pela Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2006) apresentadas no quadro abaixo:

¹ Silvicultura é o ato de criar e desenvolver povoamentos florestais.

Quadro 1: Vantagens competitivas e comparativas do setor florestal brasileiro.

Vantagens Comparativas	Vantagens Competitivas
Baixo custo de produção florestal	Alta produtividade florestal
Disponibilidade de áreas degradadas e com vocação florestal	Tecnologia de produção florestal
Área existente com florestas nativas	Indústria de bens de capital
Florestas plantadas em diferentes estágios de desenvolvimento	Capacidade técnica (gestão)
Disponibilidade de mão-de-obra a custos relativamente reduzidos	<i>Clusters</i> estabelecidos
-----	Mercado doméstico amplo e em crescimento

Sendo assim, as empresas instaladas no Brasil, possuem padrões de manejo avançados, bem como melhoramento genético resultando na elevação de produtividade no setor, que aliado as vantagens comparativas e competitivas acima, o Brasil em termos de produtos florestais, possui uma vantagem competitiva reconhecida internacionalmente (ABRAF, 2006).

Outro fator para o crescimento do setor florestal no Brasil foi os incentivos fiscais por parte do governo, com a adoção do Fundo de Incentivo Setorial (Fiset) a partir da década de 1970, tendo assim parte da área de reflorestamento originária desta época (JUVENAL; MATTOS, 2002; e MATTOS; VALENÇA, 1999).

Juvenal e Mattos (2002) definem a atividade florestal como:

“... adotando o conceito utilizado por várias organizações internacionais, a atividade florestal será definida como a extração de madeira para fins industriais e de geração de energia, excluindo-se os produtos não-madeireiros...” (JUVENAL; MATTOS, 2002, p.5).

A atividade florestal não é apenas fornecedora de matéria-prima, mas movimenta um montante financeiro elevado, sendo objeto de investimentos e

transações comerciais de elevado valor. Outro fato relevante é que as florestas são um ativo de alta liquidez mundial, caracterizando assim um setor estratégico para diversos países e empresas (JUVENAL e MATTOS, 2002).

A cadeia produtiva da madeira será apresentada a partir da Figura 1 a seguir:

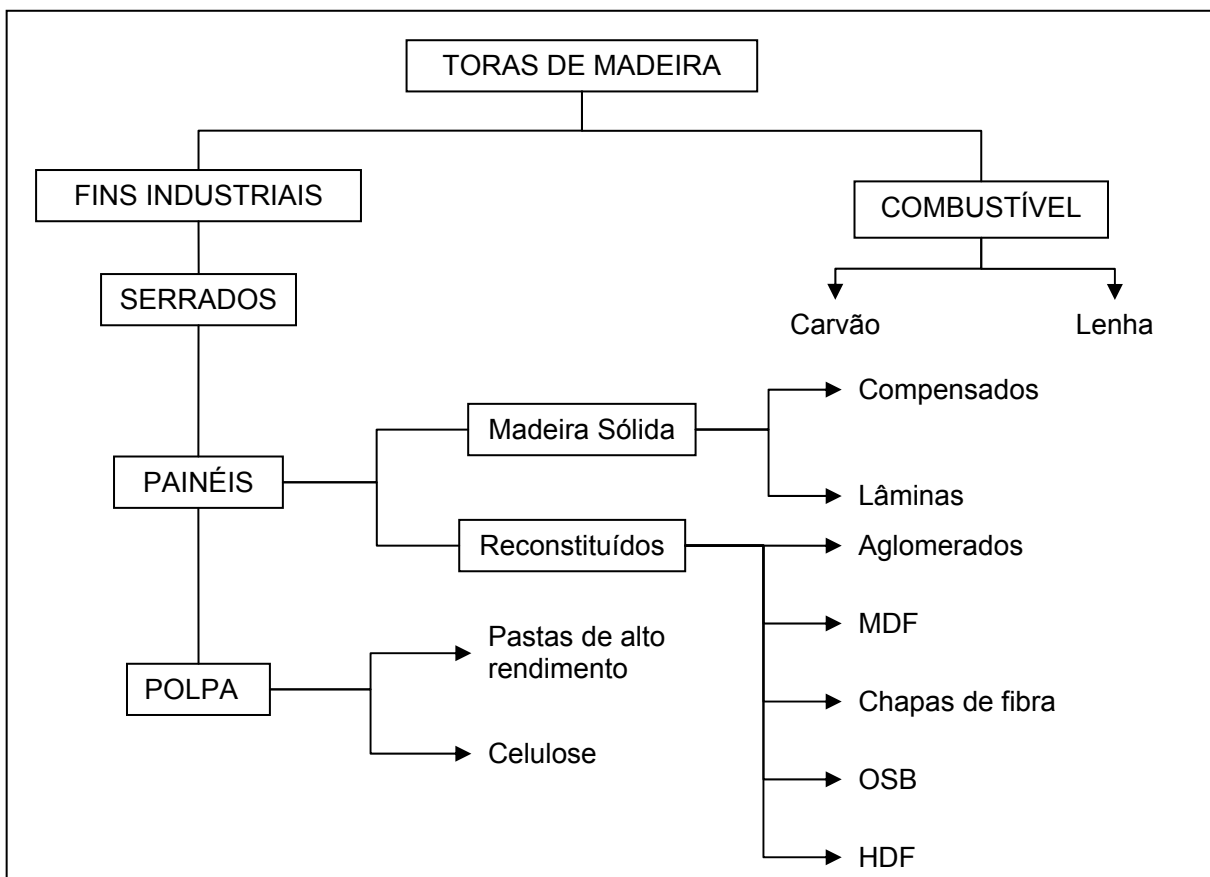


Figura 1: Cadeia Produtiva da Madeira
 Fonte: Juvenal e Mattos (2002)

A partir da Figura 1, constata-se que a cadeia produtiva da madeira é composta principalmente por madeira com destino a indústria, e para fins energéticos. As madeiras para fins industriais têm como principal destino a produção de painéis (para a indústria moveleira), e polpas (para a indústria de celulose e de pastas de alto rendimento).

De acordo com Bacha (2004), os principais agentes do setor são: empresas produtoras de celulose, empresas siderúrgicas, empresas de produtos sólidos de madeira (madeira serrada e chapas de madeira), governos estaduais (através de seus institutos florestais) e pequenos produtores.

A indústria que tem como principal matéria-prima a madeira, investiu de forma significativamente em tecnologia nas últimas décadas, sendo a indústria de papel e celulose líder no segmento, com aumento de produtividade e redução nos custos de implantação e manutenção das plantas industriais.

As empresas de papel e celulose realizam principalmente, plantios homogêneos de eucalipto e pinus, com curto período de rotação, visando produção de cavacos a serem utilizados na produção de pastas (ou polpas de madeira), sendo a cultura do eucalipto brasileira, uma das mais produtivas do mundo.

O plantio em larga escala com espécies de eucalipto no Brasil, foi feito a partir da década de 1960, e intensificado a partir da década de 1970, com programas de incentivos fiscais governamentais. Esses plantios foram associados com investimentos das empresas de papel e celulose, bem como a indústria siderúrgica, com fins de melhoramento genético (ABRAF, 2006).

As espécies mais plantadas de eucalipto são os *Eucalyptus spp.* híbridos, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* (BACHA, 2004). A principal matéria-prima da indústria de papel e celulose de fibra curta é o eucalipto, que segundo Juvenal e Mattos (2002), está inserido na categoria das folhosas.

Atualmente o corte raso do eucalipto ocorre com 7 anos de idade, variando de região para região. Para a indústria moveleira, esses prazos são maiores.

Com o aumento de florestas artificiais no decorrer do século passado, e a importância de manutenção de florestas de maneira sustentável, é imprescindível

para a implantação dos mesmos um inventário florestal (LEITE, 2002 e FERREIRA, 1977).

Esse aumento é decorrente do crescimento demográfico, vulto de investimentos no setor, causando assim um aprimoramento nas técnicas de inventário e manejo florestal (McTAGUE; BATISTA; STEINER, 1989 e CESARO; ENGEL; FINGER; SCHNEIDER, 1994).

Inventário florestal é a descrição quantitativa e qualitativa de uma floresta. Usualmente, tem como objetivo central quantificar o volume de madeira existente em determinado povoamento (COUTO; BATISTA; RODRIGUES, 1989).

Existem diversos tipos de inventário florestal, tais como de reconhecimento, regionais, nacionais, entre outros. Podem ser também inventariadas áreas de propriedade privada, bem como atender as necessidades das empresas do setor (VIEIRA, 1984).

No presente trabalho será descrita a importância de se quantificar o volume de madeira num povoamento florestal, com precisão, bem como as dificuldades de mensuração.

Será descrito os conceitos envolvidos na literatura florestal a respeito do inventário florestal, uma explanada sobre o estimador de razão generalizado, pois o mesmo será empregado na nova proposta de adequação da metodologia atual de condução do inventário florestal.

Após a revisão sobre o Estimador de Razão Generalizado, será apresentado o método *Bootstrap*, que se trata de um método não paramétrico de estimação da distribuição de probabilidade, sendo o método intensivo em recursos computacionais.

No capítulo 6, será apresentada a metodologia que norteou o trabalho, passando de uma revisão bibliográfica sobre o inventário florestal, Estimador de Razão Generalizado, *Bootstrap*, e os testes estatísticos para validar o modelo adaptado a nova proposta.

1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

O problema central do presente trabalho é a quantificação do volume de madeira numa determinada população florestal de eucalipto, tendo em vistas as dificuldades no processo usualmente empregado, bem como as dificuldades inerentes as próprias características da população em questão (reflorestamento).

Por se tratarem geralmente de grandes áreas florestais, para a quantificação de madeira das mesmas, felizmente, não é necessária a medição de todas as árvores do povoamento. Uma pequena quantidade de unidades amostrais é suficiente para se fazer a inferência na quantificação do povoamento todo.

Para ilustrar o tamanho de uma população florestal, exemplificaremos com base numa área de 100 hectares² de floresta de eucalipto, cujas árvores foram plantadas com espaçamento de três metros entre elas. A população aproximada de árvores nessa área é de 111.000 árvores (descontada a proporção de árvores mortas), ou seja, uma população muito grande. Vale salientar que uma propriedade de 100 hectares não é uma área considerada muito grande para o setor.

Segundo CESARO; ENGEL; FINGER; SCHNEIDER, (1994), a medição total ou censo, apesar de isenta de erros, só é praticável em áreas muito pequenas e de

² 1 Hectare corresponde a uma área de 10.000m², sendo uma medida usual para quantificar a área em produção agrícola.

elevado valor econômico, em decorrência do elevado custo da operação. Já os processos de inventário florestal, baseados em processos de amostragem, apresentam resultados com elevada precisão e baixos custos.

Para isto não é necessário determinar o volume de todas as árvores de um povoamento, mas sim quantificar parte da população (amostra), e assim inferir a estimativa para toda a população.

Nos Inventários Florestais, existem dois tipos de erros na estimação de volume de madeira, sendo estes erros de amostragem e erros de não-amostragem (LEITE, 2003).

Os erros de amostragem são aqueles decorrentes de métodos inadequados de amostragem e de tamanho insuficientes de amostra. Já os erros de não-amostragem, são mais difíceis de serem diagnosticados, tendo como principais fontes o uso de equações volumétricas (para a estimação do Volume Sólido) e hipsométricas (para a estimação das alturas das árvores de uma parcela) inadequadas, bem como erros decorrentes de medições no *dap* (diâmetro a altura do peito) e na altura total das árvores em questão.

Para a obtenção do volume de madeira de um povoamento, as variáveis usualmente utilizadas são o *dap* (diâmetro a altura do peito) e a Altura Total (H_t), sendo estas variáveis bem correlacionadas linearmente com o Volume Sólido de uma árvore (VEIGA, 1984 e LEITE, 2003).

O volume sólido de madeira de uma árvore é usualmente quantificado a partir das duas variáveis em questão (*dap* e H_t), pois a forma de uma árvore é similar a de um cilindro, sendo possível a quantificação do mesmo a partir dessas variáveis em relação aos valores reais de volume de uma árvore.

A partir da medição destas variáveis, são utilizados modelos hipsométricos para a estimação da altura das árvores de uma parcela (quando não se mede a altura total de todas as árvores de uma parcela) em conjunto com modelos volumétricos para estimar o volume total de madeira de um povoamento a partir de unidades amostrais. Essas equações são obtidas através de cubagem rigorosa³ de unidades amostrais abatidas, e estimadas através de modelos de regressão.

Segundo Couto (1988), erros na medição do *dap* são mais importantes que erros cometidos na medição da altura, pois um erro de 1 cm no *DAP* corresponde a 19% do volume cilíndrico de uma árvore, enquanto que um erro de 1 m na altura total (*Ht*) da árvore corresponde a um erro do volume cilíndrico de 14%.

As duas variáveis estão sujeitas a erros como visto anteriormente, sendo estes erros de origem não-amstral. Os erros são mais freqüentes na medição da altura, pois a medição do *DAP* é feita de maneira direta, e as medições na altura total são feitas de maneira indireta, com as árvores em pé.

As medições diretas em árvores em pé são precisas, porém, demoradas e perigosas. Com isso foram desenvolvidos vários aparelhos para a medição indireta de árvores, em sua maioria, são baseados em princípios trigonométricos e geométricos (VIEIRA, 1984 e COUTO; BASTOS; RODRIGUES, 1989).

Os problemas decorrentes de medições diretas de árvores em pé, é que a mesma é alta (aproximadamente 20 metros uma árvores adulta), tornando o procedimento perigoso. Mesmo se não fosse perigoso, por se tratarem de grandes áreas em questão, é inviável do ponto de vista operacional, a medição direta de uma amostra dessa população.

³ Cubagem Rigorosa é o procedimento no qual abate-se uma árvore e calcula-se o volume da mesma a partir de seccionamentos sucessivos ao longo da mesma. Será melhor apresentada essa metodologia no referencial teórico do presente trabalho.

Os erros de medição de árvores em pé são freqüentes, influenciando de forma direta na estimação de volumes individuais, e conseqüentemente na estimação do volume do povoamento. Vale ressaltar que erros na estimação da altura média das árvores se propagará intacto nas estimativas dos volumes das mesmas, influenciando nos resultados.

Couto e Bastos (1988) analisam os erros de mensuração da altura de árvores em pé, e constataam que os erros estão relacionados à própria árvore, ao instrumento empregado e ao observador.

A variabilidade na medição da altura é relativamente alta, em decorrência da própria dificuldade de mensuração da mesma. Couto e Bastos (1988) fazem um estudo no qual constataam que os erros na medição da altura em árvores em pé são freqüentes e corriqueiros, interferindo significativamente nas estimativas do volume da árvore.

A impossibilidade de obtenção de grandes amostras devido ao abate das árvores leva a confecção de métodos alternativos para a obtenção de volume médio de madeira numa região. A avaliação destas várias metodologias se faz necessária para uma escolha melhor.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma metodologia de condução de Inventário Florestal com base no Estimador de Razão Generalizado (ERG). Serão considerados termos e conceitos já empregados na literatura de Inventário Florestal, bem como diversas técnicas já utilizadas na condução de Inventário Florestal.

1.2.2 Específicos

- Propor alternativas as estimativas em condução de Inventário Florestal;
- Aumentar a precisão das estimativas volumétricas com base no aumento da intensidade amostral, através de medições simples e rápidas.

2. MÉTODO

O método de pesquisa é a descrição detalhada das atividades e procedimentos adotados durante a realização da pesquisa.

A pesquisa está dividida em duas fases distintas: a primeira formada pela revisão bibliográfica, e a segunda sendo a pesquisa de campo e análise dos dados coletados.

O presente trabalho realizou uma revisão bibliográfica sobre as principais técnicas e conceitos empregados na literatura sobre Inventário Florestal e sobre o Estimador de Razão Generalizado.

A pesquisa de campo, com base no referencial teórico de Inventário Florestal e do estimador de Razão Generalizado numa empresa de reflorestamento, na condução do Inventário Florestal desta empresa, comparando os resultados de campo das duas metodologias, a usual e a com o emprego do Estimador de Razão Generalizado em diversas simulações e situações.

Para comparar os resultados entre as metodologias será utilizado métodos estatísticos e matemáticos, nos quais constarão: Análise de Variância, coeficiente de correlação e diagrama de dispersão, análise de regressão linear, distribuição dos resíduos, e o erro padrão de cada estimador.

2.1 Análise de Variância.

Para fins do presente trabalho, inicialmente será realizado uma análise de variância para verificar se as estimativas feitas pelas simulações são significativamente diferentes entre si. O teste de análise de variância é um teste paramétrico com objetivo de verificar diferenças de médias.

2.2 Coeficiente de correlação e diagrama de dispersão

Para indicar a força de uma relação linear entre duas variáveis intervalares, denominado também de Coeficiente de Pearson.

Essa medida varia de -1 a +1, sendo que quanto mais próximo de -1 e +1 mais correlacionada estarão as variáveis.

No presente trabalho, foi feita uma análise de correlação linear para os valores reais de volume em relação as simulações.

2.3 Análise de regressão

Foi ajustado para cada medição um modelo de regressão linear do tipo $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$, cujas medições reais, volume, dap e altura eram as variáveis dependentes (Y), e as simulações com os resultados obtidos através do modelo de Schumacher-Hall, e medições feitas pelos funcionários A e B foram as variáveis independentes.

A regressão linear com coeficientes β_0 e β_1 , tendo como Y a medição real, e X as medições feitas pelos funcionários. Tem como objetivo diagnosticar o quanto as medições são semelhantes ou não com os valores reais. Uma situação cuja a medição é estatisticamente igual aos valores reais, é que no intervalo de confiança do coeficiente β_0 contenha o valor 0, e para o intervalo de confiança do coeficiente β_1 contenha o valor 1.

Além de estimar os coeficientes da regressão, também foi avaliado o coeficiente de determinação (R^2), que expressa a proporção da variação total de Y

(dependente) é explicada pela variável X (independente) a partir da reta de regressão.

2.4 Gráfico de distribuição dos resíduos

Apesar de não ser uma medição quantitativa, a análise gráfica dos resíduos é fundamental na visualização dos erros oriundos dos valores reais de volume e estimados. Em condições ideais, espera-se que esses erros possuam uma distribuição aleatória.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Conceitos em Inventário Florestal

Como foi definido anteriormente, o inventário florestal é a quantificação do volume sólido de madeira (problema central do trabalho) numa determinada população florestal. Na problemática e justificativa do presente trabalho, foi abordado as dificuldades de mensuração dessa população, decorrência do tamanho da área envolvida, e das próprias características desse povoamento.

Para melhor compreensão do trabalho, diversos conceitos utilizados serão provenientes da literatura oriunda da Engenharia Florestal, mesmo sendo um trabalho delimitado nos aspectos estatísticos e matemáticos do problema.

Os conceitos foram retirados basicamente dos trabalhos de COUTO; BASTOS; RODRIGUES (1989) e VIEIRA (1984), por serem trabalhos específicos de Inventário Florestal, sendo os mesmos trabalhos de referência na literatura de Engenharia Florestal.

3.1.1 Cubagem Rigorosa

A quantificação do volume sólido real de uma árvore é feita através de uma Cubagem Rigorosa, que nada mais é que o abate da árvore e logo após secciona-se a mesma em toretes para que se possa quantificar a mesma.

O processo de abate de uma árvore, no caso do presente trabalho, árvores de eucaliptos, é necessário tomar alguns cuidados, como evacuar a área de queda da

mesma, bem como o operador de moto serra utilizar o Equipamento de Proteção Individual (EPI) adequado ao processo.

O processo leva em torno de 30 minutos para ser finalizado, sendo assim, é um processo demorado no qual se deve tomar precaução de seguranças adequados para tal procedimento.

A partir da árvore abatida, mede-se a altura da mesma, sendo essa altura medida através de uma fita métrica comum. Esse procedimento consiste numa medição direta de altura, e em decorrência da árvore já ter sido abatida (ou seja, esta no chão) esse procedimento é fácil, e sem problemas de segurança.

O diâmetro de uma árvore abatida pode ser feito a partir das extremidades das toras, ou através do seccionamento ao longo da mesma, conforme o interesse. O diâmetro é obtido através da média de duas medições perpendiculares em cada secção. Esse procedimento de calcular a média de duas medições perpendiculares do diâmetro de uma árvore abatida é em decorrência de que a árvore possui imperfeições ao longo de seu fuste, sendo essas imperfeições minimizadas através desse procedimento.

A partir das medições de altura e diâmetros das toras, faz se o cálculo do volume da árvore abatida através de fórmulas.

No presente trabalho, foi utilizado a fórmula de Smalian, em decorrência do procedimento usual da empresa onde foi realizado o trabalho.

A fórmula de Smalian para uma tora é a seguinte:

$$VS = \left(\frac{A + a}{2} \right) \times L$$

A partir desta fórmula:

$$VS = \left(\frac{\pi}{8} \right) \times (D^2 + d^2) \times L$$

onde:

A = área da extremidade mais grossa

a = área da extremidade mais fina

L = comprimento da tora

VS = Volume Sólido

D = *diâmetro da extremidade mais grossa*

d = *diâmetro da extremidade mais fina*

A cubagem rigorosa deve ser feita por classe de diâmetro e altura. Em tratamento silviculturais semelhantes, espera-se que os indivíduos tenham forma semelhante (CABACINHA, 2003).

Na cubagem rigorosa a árvore é dividida em seções, sendo assim utilizadas fórmulas geométricas para o cálculo do volume total das toras através da adição dos volumes calculados pelo volume das seções.

Na cubagem rigorosa foi aplicado o método de Smalian para se calcular o volume real das mesmas. Vale salientar que a árvore é seccionada ao nível do solo a partir de 1,3 m, a 2,0 m e daí em diante de 2,0 m a 2,0 m.

Tipos de Volume

Basicamente há três tipos de volume em Inventário Florestal, sendo eles o volume cilíndrico, sólido e o empilhado. Para fins do presente trabalho, será analisado apenas o volume sólido, pois o volume empilhado é comum na utilização de madeiras de pequenas dimensões, sendo aplicadas de forma geral a lenha e carvão, com base nas pilhas de madeira no campo após a exploração (COUTO; BASTOS; RODRIGUES, 1989).

O volume cilíndrico é aquele no qual hipoteticamente a árvore tem forma de um cilindro perfeito, cujo diâmetro é mensurado a 1,30 m de altura do solo (*DAP*), e a altura expressa em metros a partir do solo, mensurada de forma direta.

A fórmula do volume cilíndrico é calculado pela fórmula:

$$VC = \frac{\pi}{4} \times DAP^2 \times H_t$$

Onde:

VC= volume cilíndrico

DAP= Diâmetro a Altura do Peito

H_t = Altura Total

No presente trabalho, não será utilizada a metodologia empregando o volume cilíndrico, pois o mesmo não leva em consideração a forma da árvore, tendo em vista que as fórmulas de cálculo do volume sólido levam em consideração a forma da árvore, pois os coeficientes das fórmulas foram ajustados a partir da cubagem rigorosa de árvores amostras.

O volume sólido de uma árvore é aquele no qual é mensurado o volume real de uma árvore, sendo este expresso em metros cúbicos.

3.1.2 Medições de árvores em pé

Medição do diâmetro

O diâmetro de uma árvore em pé é calculado através do *DAP* (diâmetro a altura do peito) como foi mencionado anteriormente. Existem vários instrumentos para a medição do *DAP*, sendo em sua maioria de fácil manuseio. Entretanto, pode-se usar uma fita métrica para calcular a *CAP* (circunferência a altura do peito) e fazer a conversão para o diâmetro através da fórmula:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Vale salientar, que na medição do *DAP* devem ser tomados alguns cuidados, como a medição à 1,30 m do solo em todas as árvores, tendo em vista que o solo não é completamente plano, e em vistas que o operador que estiver fazendo a medição, em geral, calibra 1,30 m a uma determinada altura de seu peito, ou seja, que todas as medições sejam feitas no ponto exato de 1,30 m.

Outra precaução é que o aparelho utilizado seja utilizado sempre reto, pois pequenas alterações no ângulo da medição podem alterar os valores dos *dap* medidos.

Medição da altura

Em medições de altura de uma árvore em pé, usam-se diversos recursos, sendo estes, desde aparelhos rudimentares à emprego de fotografias aéreas (VIEIRA, 1984).

Vieira (1984) ressalta que o método de mensuração da altura de árvores em pé deve ser preferencialmente econômico, de fácil manuseio, portátil e suficientemente preciso.

Na mensuração da altura de árvores em pé deve-se tomar vários cuidados, tais como, evitar a mensuração de árvores muito inclinadas, em dias de muito vento, bem como quando a visibilidade não for adequada.

Em decorrência da árvore de eucalipto não ser muito grossa, ventos podem fazer com que a mesma fique balançando, dificultando sua medição. Outro fato importante é que os reflorestamentos possuem espaçamentos entre as árvores de aproximadamente 3 metros, sendo assim densos esses ambientes, impossibilitando uma distância muito grande do operador em relação a árvore a ser medida, causando assim problemas referentes ao ângulo adequado para que o operador faça sua medição.

Outro problema decorrente de medições de altura de árvores em pé é em relação a visada da copa da árvore, que em decorrência da densidade alta do reflorestamento, muitas vezes com o uso do aparelho não é possível ter uma visada adequada.

Os aparelhos utilizados na medição de altura com árvores em pé são baseados principalmente em princípios de trigonométricos e geométricos. Os principais aparelhos de princípio geométrico são: Prancheta Dendrométrica, Hipsômetro de Christen, Hipsômetro de Weise, dentre outros. Os principais aparelhos de princípio trigonométrico são: Hipsômetro de Haga, Hipsômetro de Blume-Leiss, entre outros.

3.2 Inventário Florestal

Em qualquer dos procedimentos de estimativa de volume de uma população florestal, usa-se equações como parâmetros de análise quantitativa da mesma.

Esse procedimento visa calcular o volume individual de cada árvore amostrada, com o objetivo de calcular o volume total de madeira contido numa população florestal, que no caso do presente trabalho, um reflorestamento de eucalipto.

O procedimento mais antigo em rotinas de inventário florestal é o calculo do volume através do fator forma. Com base nos volumes sólidos obtidos através de uma cubagem rigorosa de árvores amostras, obtém um índice entre o volume sólido obtido através da cubagem e os volumes cilíndricos calculados com base na hipótese de que a árvores possui forma de um cilindro perfeito. Com base nesse calculo, obtém se o fator forma de uma população florestal.

Cabacinha (2003) argumenta que em decorrência dos ajustes dos modelos de calculo de volume com a cubagem rigorosa, a forma do troco é introduzida implicitamente nos coeficientes das fórmulas ajustadas, não fazendo sentido então o uso do fator forma em rotinas de inventário florestal.

No método usual de rotina de Inventário Florestal são feitas cubagens rigorosas fora dos limites das parcelas para que se possam ajustar os coeficientes do modelo volumétrico adotado para o calculo do volume das árvores individuais. Vale salientar que os valores obtidos na cubagem rigorosa não fazem parte das árvores amostradas, só são utilizadas essas árvores cubadas no ajustamento dos coeficientes do modelo de equação volumétrica adotada.

Após a cubagem rigorosa de árvores amostra, ajusta-se o modelo volumétrico de cálculo de volume. São três os grupos de equações volumétricas: equações de volume de uma entrada, de dupla entrada, e de tripla entrada.

As equações de volume de uma entrada são aquelas cujo volume sólido é função somente do diâmetro das árvores. Vale salientar que é utilizado esse tipo de equação quando a população florestal é bastante homogênea, e o *dap* e altura das árvores são bem correlacionados.

Equações de dupla entrada são aquelas cujo volume é função do *dap* e da altura. Esse tipo de equação é indicada quando a população florestal é heterogênea em questão de variabilidade, ou seja, os valores de *dap* não explicam muito bem o comportamento das alturas.

Já as equações de tripla entrada são aquelas cujo volume é função do *dap*, altura, e de uma medida que expresse a forma da árvore, como por exemplo, o fator forma. Esse tipo de equação de volume é pouco utilizado em decorrência de que a forma da árvore é incluída nas equações anteriores a partir da cubagem rigorosa e ajustamentos dos coeficientes da equação selecionada.

Na tabela a seguir será apresentada alguns equações de uma entrada e de dupla entrada.

Tabela 1: Equações volumétricas de uma e dupla entrada.

Grupo	Autor	Modelo
Uma entrada	Kapezky-Gehrhardt	$V = \beta_0 + \beta_1 dap^2$
	Dissescu-Meyer	$V = \beta_0 dap + \beta_1 dap^2$
	Hohenald-Krenm	$V = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2$
Dupla entrada	Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 dap^2 Ht$
	Schumacher-Hall	$V = \beta_0 dap^{\beta_1} Ht^{\beta_2}$
	Stoate (Australiana)	$V = \beta_0 + \beta_1 dap^2 + \beta_2 dap^2 Ht + \beta_3 Ht$

Usualmente, em rotinas de Inventário Florestal, usa-se mensurar todos os *daps* de cada parcela e a altura total de aproximadamente cinco árvores dominantes, sendo as árvores dominantes as de maior *dap*.

Como apresentado anteriormente, o cálculo da altura das árvores é sujeito a erros, e se trata de uma operação complicada do ponto de vista metodológico e operacional.

A partir da cubagem rigorosa, onde se tem valores reais de *dap* e altura, estima-se uma equação hipsométrica, ou seja, a partir de algumas medições de altura na parcela, e a medição de todas as árvores da parcela, estima-se as alturas individuais das árvores.

Com o cálculo estimado da altura das árvores, introduz os valores na equação selecionada (no caso equação volumétrica de dupla entrada) para que assim estime-se o volume das árvores das parcelas.

Uma equação hipsométrica mais utilizada nas rotinas de Inventário Florestal é:

$$\log_e h_i = a + b \left(\frac{1}{d_i} \right)$$

onde:

h_i = altura da árvore *i*

a = constante

b = constante

d_i = diâmetro da árvore *i*

As parcelas de reflorestamento geralmente possuem tamanhos que variam de 400 m² a 600 m², dependendo do caso. Possuem forma circular, pois as linhas de árvores possuem curvas de nível, ou seja, não formam um forma quadrangular.

Usualmente nos Inventários Florestais usa se um erro de estimativa máximo de 10% com um nível de confiabilidade de 95%, mas podendo variar de acordo com a necessidade de cada empresa.

3.3 Estimador de Razão Generalizado

O problema do presente trabalho é a estimação do volume de madeira num povoamento florestal, sendo a população em questão de tamanho infinito, podendo esta estimação de volume ser feita através do Estimador de Razão Generalizado.

O Estimador de Razão Generalizado é uma variante do Estimador de Razão, sendo ambos uma técnica estatística pouco empregada atualmente na literatura e em trabalhos acadêmicos. Ambos estimadores serão apresentados com mais detalhes abaixo.

Em planos amostrais, a qualidade da estimativa depende tanto do plano amostral empregado, como também da variabilidade de Y na população.

Segundo Cochran (1977), quando se tem uma variável auxiliar X, de custo amostral baixo, e bem correlacionada com Y, pode-se fazer o uso do Estimador de Razão.

No caso do presente trabalho, a variável auxiliar X é calculada através das simulações feitas com as estimações de *dap* e alturas feitas pelos funcionários A e B, e a variável Y são os valores reais de volume de cada árvore cubada rigorosamente. Mas detalhes sobre os procedimentos serão apresentados na metodologia e nos resultados do trabalho.

Em muitas situações reais, em que exista uma variável auxiliar X positivamente correlacionada com Y, e na qual a média populacional $\bar{X}$ é conhecida, pode-se usar o Estimador de Razão ($\hat{Y}_{R_x}$) para estimativas de $\bar{Y}$, na qual se tratando de uma superpopulação, temos:

$$Y = \beta X + \varepsilon$$

$$\hat{\bar{Y}}_{R_X} = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} \bar{X} \quad \text{onde:}$$

$\bar{y}$ = média amostral de Y

$\bar{x}$ = média amostral de X

$\bar{X}$ = média populacional de X

A esperança e a variância do Estimador de Razão são apresentadas através das fórmulas:

$$E\left(\hat{\bar{Y}}_{R_X}\right) = \bar{Y}$$

$$Var\left(\hat{\bar{Y}}_{R_X}\right) = \frac{1}{n} S_{D_X}^2 \left[1 - \frac{n}{N}\right]$$

Onde:

$$S_{D_X}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - R_X X_i)^2 \quad \text{e}$$

$$R_X = \frac{\bar{Y}}{\bar{X}}$$

Na aplicação do Estimador de Razão, a variável auxiliar X tem custo unitário nulo, ou muito baixo, sendo viável a mensuração de todas as unidades amostrais de uma população.

Em sua maioria, o Estimador de Razão melhora significativamente a precisão da estimativa, mas porém, quando se trata de populações infinitas ou muito grandes, a mensuração de $\bar{X}$ se torna inviável economicamente ou operacionalmente.

Quando este fato ocorre, caso o custo de se amostrar a variável x (variável barata) ser ainda mais barato que o custo de se amostrar a variável y (variável cara), e a variável X ser bem correlacionada com Y , o calculo de $\bar{X}$ sendo inviabilizado, pode-se calcular a estimativa de $\bar{X}$, sendo este o princípio do Estimador de Razão Generalizado (ERG).

O ERG é baseado na observação de X numa amostra de tamanho n , e de Y numa amostra de tamanho m ($m < n$), sendo a amostra retirada sem reposição. Ou seja, mesmo sendo impossibilitada a mensuração de todas unidades amostrais de uma população pela variável barata X , pode-se fazer uma amostragem com a variável x extraída de uma amostra maior que a variável y .

Mendes (1991), demonstra formalmente o Estimador de Razão Generalizado ($\hat{Y}_G$) a partir da fórmula:

$$\hat{Y}_G = \frac{\bar{y}_s}{\bar{x}_s} \bar{x} \quad \text{onde:}$$

$\bar{y}_s$ = média da sub-amostra de Y

$\bar{x}_s$ = média da sub-amostra de X

$\bar{x}$ = média amostral de X

O valor esperado de $\hat{\bar{Y}}_G$ é aproximadamente igual a $\bar{Y}$, e a expressão aproximada de sua variância é:

$$Var\left(\hat{\bar{Y}}_G\right) = \left[\frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right] s_{DX}^2 + \left[\frac{1}{n} - \frac{1}{N}\right] S_Y^2$$

Onde:

$$S_Y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}{(N-1)} ;$$

$$S_{DX}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - R_X X_i)^2}{(N-1)} \text{ e}$$

$$R_X = \frac{\bar{Y}}{\bar{X}}$$

Um fator importante na utilização do ERG é o fato que com m constante, aumentos da amostra n vêm acompanhado de decréscimos na variância do estimador, em decorrência do Teorema Central do Limite.

Outra observação relevante é que os Estimadores do tipo Razão, tendem em amostras grandes possuir distribuição de probabilidade Normal.

No presente trabalho, não será pressuposto nenhuma distribuição de probabilidade do Estimador de Razão Generalizado, pois será utilizada a técnica não-paramétrica de estimação de distribuição de probabilidade *Bootstrap*, que será vista com mais detalhes a seguir.

3.4 Bootstrap

O estimador proposto no presente trabalho possui um problema peculiar no quesito variabilidade, sendo proposto assim um teste não-paramétrico para estimar sua distribuição de probabilidade.

O estimador de Razão Generalizado é o quociente entre duas variáveis aleatórias e multiplicada por outra variável aleatória. Saber a variabilidade e sua distribuição de probabilidade individualmente para cada variável aleatória em questão não requer muita dificuldade, pois em decorrência do tamanho da amostra, todas elas tenderiam a uma distribuição *t-student*.

Apesar de na literatura sobre Estimadores de Razão apresentarem que em populações estatisticamente infinitas, esse estimador tende a possuir uma distribuição de probabilidade Normal, no presente trabalho não faremos tal afirmação.

Bussab e Morettin (2004) salientam que apenas saber se o estimador utilizado é não-viesado, ou se o erro padrão da estimativa esta bom para a estimativa não bastam. É essencial saber a variabilidade do estimador proposto, ou seja, sua distribuição de probabilidade.

No caso do presente trabalho, por se tratar de um estimador do tipo Razão, as dificuldades em se calcular o erro padrão em decorrência de sua distribuição de probabilidade não ser facilmente conceituada, será utilizado o método *Bootstrap* para calcular a variabilidade e conseqüentemente o erro padrão das estimativas do presente trabalho.

O método *Bootstrap* é computacionalmente intensivo, e só sendo possível com o progresso de métodos computacionais no qual trabalham com grandes conjuntos de dados, e com rapidez.

Introduzido por Efron (1979), e aprofundado em Efron e Tibshirani (1997), no qual faz o uso do método em diversas situações e envolvendo estimadores diferentes e suas respectivas variabilidades calculadas pelo método através de simulações computacionais.

A idéia básica do *Bootstrap* é re-amostrar o conjunto disponível de dados para estimar os parâmetros através de dados replicados podendo assim calcular a variabilidade dos mesmos sem pressupor nenhuma distribuição de probabilidade.

A título de exemplo numérico, para que se possa visualizar o método, será apresentada a população estudada, com apresentação gráfica de seus valores reais, e também com os valores de volume médio e sua distribuição gráfica através de 10.000 re-amostragens com reposição via *Bootstrap*.

Os respectivos valores de média e intervalo de confiança com 95% de confiabilidade das 70 árvores cubadas rigorosamente, e os valores de média e intervalo de confiança através do *Bootstrap*, serão apresentados na tabela a seguir:

Tabela 2: Intervalo de confiança para os valores reais de volume (m³) e através de 10.000 repetições *Bootstrap* (reamostragem com $n_i=70$).

Amostra	Média	Limite Inferior	Limite Superior
Real	0,092	0,074	0,110
<i>Bootstrap</i>	0,092	0,076	0,111

A partir da tabela acima, observa-se que os valores obtidos através das 10.000 repetições com reposição *Bootstrap* geraram um conjunto de dados iguais aos obtidos através da estatística *t-student* para os valores reais de volume, ou seja,

tanto a média e o intervalo de confiança via *Bootstrap* foram iguais aos obtidos com a estatística *t-student* dos valores reais de volume.

Abaixo segue o histograma dos volumes gerados pelas estimativas.

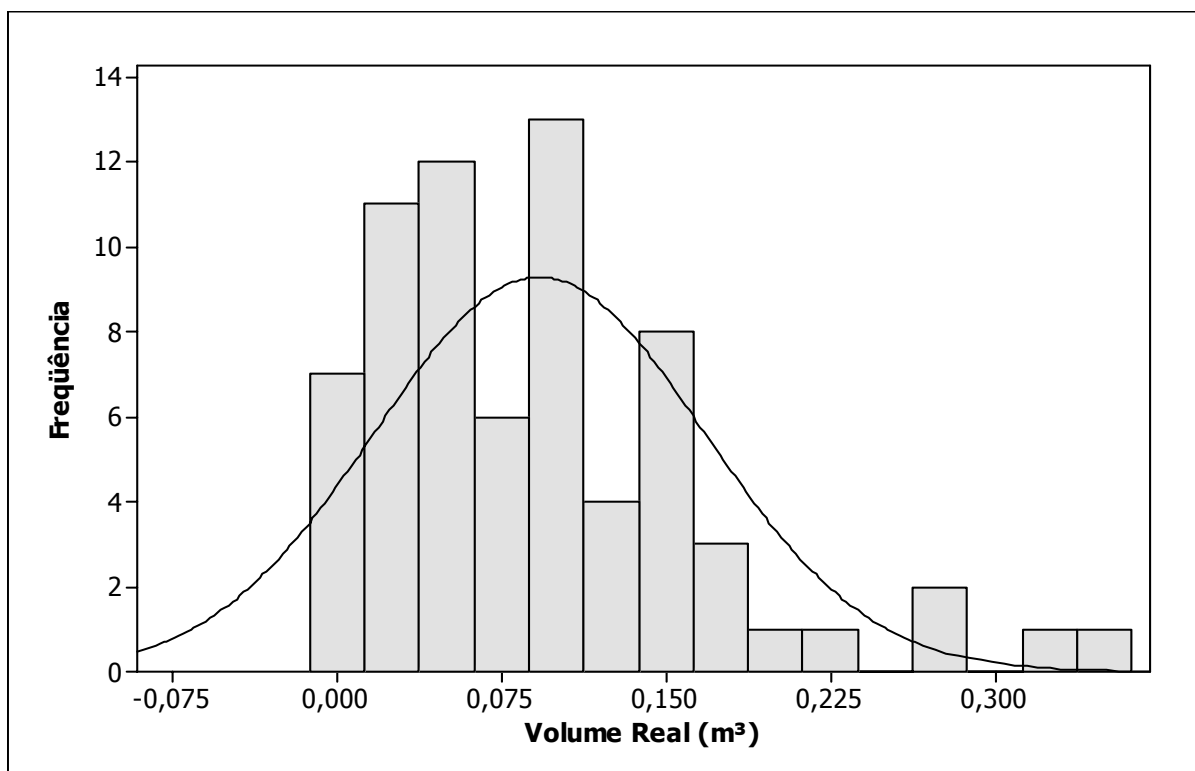


Gráfico 1: Histograma dos volumes reais das 70 árvores cubadas rigorosamente.

Os valores reais de volume obtidos através da cubagem rigorosa das 70 árvores pode ser visualizado através do histograma acima. Esse gráfico é importante em decorrência de se ter clareza de como os dados se distribuíram em torno da média, bem como a frequência dos valores de volumes.

Abaixo segue o histograma dos dados reais obtidos através das 10.000 repetições *Bootstrap* com reposição.

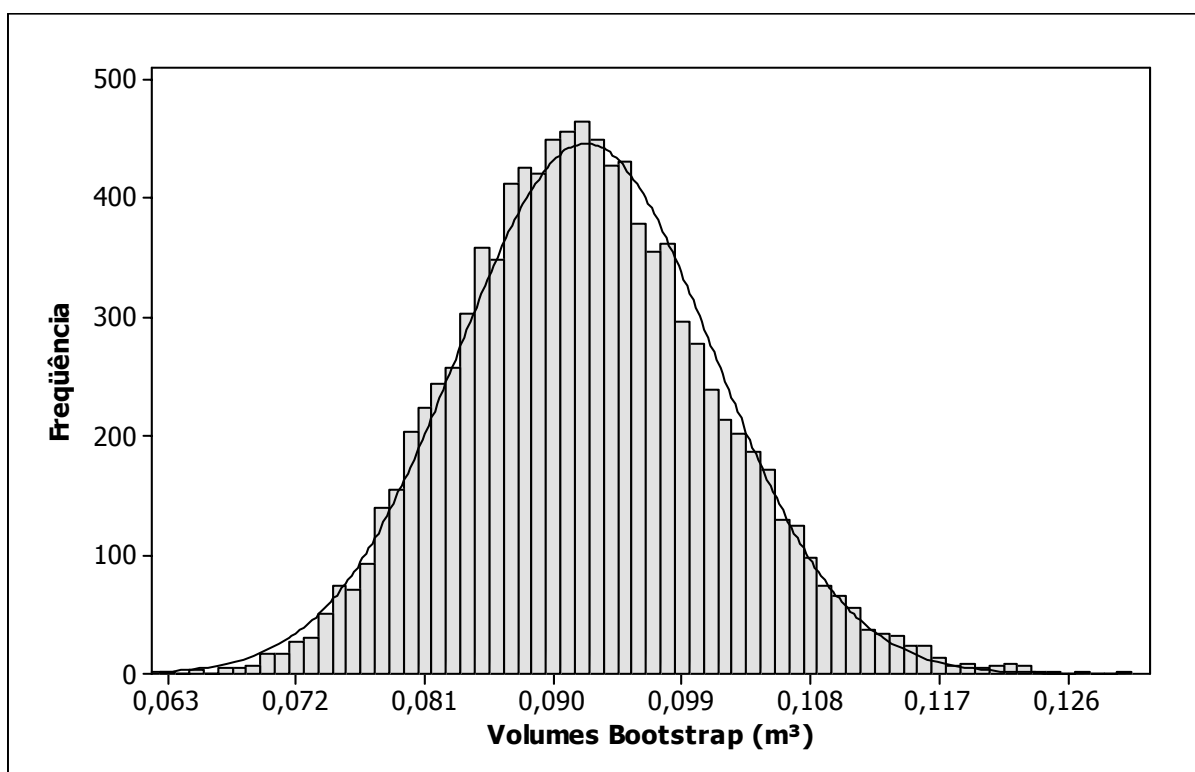


Gráfico 2: Histograma das 10.000 repetições *Bootstrap* para a média dos 70 volumes reais obtidos através da cubagem rigorosa.

Como visto anteriormente, os intervalos de confiança dos valores reais e valores de volumes obtidos através do método *Bootstrap* foram significativamente iguais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa foi realizada no município de Três Lagoas – MS no período de 18 à 21 de setembro de 2006 na propriedade destinada a reflorestamento da empresa International Paper.

A equipe de inventário florestal da empresa é formada por quatro funcionários de campo, um técnico agrícola, e um engenheiro florestal.

Os dados são rotineiramente colhidos nos reflorestamento e enviados logo após os trabalhos para o escritório para o processamento dos dados.

No presente trabalho foram cubadas rigorosamente 70 árvores. Em cada árvore, os funcionários “chutavam” qual seria o volume (m^3) e altura (m) da árvore que estava sendo abatida. Esses dados eram anotados e divididos por funcionário, e os funcionários não tinham acesso as respostas do outro funcionário.

No momento do abate das árvores, os funcionários sabiam logo após a abate da mesma apenas os valores dos *daps* e alturas reais das árvores, pois os cálculo de volume das mesmas eram calculados no escritório da empresa.

Foram analisados dois tipos de equações volumétricas, de uma entrada e de dupla entrada, sendo os modelos ajustados com os dados volumétricos das 70 árvores cubadas rigorosamente na pesquisa. Com os coeficientes ajustados das equações foram selecionadas a melhor (através dos critérios estabelecidos) equação de uma entrada e de dupla entrada.

A utilização da equação de uma entrada para a utilização do Estimador de Razão Generalizado foram utilizados dados reais de *dap*, tendo em vista que é uma medição rápida e precisa.

No modelo de dupla entrada, foram feitas simulações com a utilização de *dap* real e a altura estimada visualmente por dois funcionários.

Abaixo segue os resultados da pesquisa.

4.1 MODELOS TESTADOS DE UMA ENTRADA

Os modelos de uma entrada são caracterizados por utilizarem apenas uma variável nas estimativas de volume, no caso do presente trabalho os modelos utilizam como variável independente o *dap*.

Os três modelos volumétricos de uma entrada foram o de Kapezky-Gehrhardt, Dissescu-Meyer, e Hohenald-Krenm.

Os resultados de cada modelo serão apresentados a seguir.

4.1.1 Modelo de Kapezky-Gehrhardt

O modelo teórico para estimação de volume de Kapez-Gerhardt relaciona o volume estimado com a seguinte equação:

$$\text{Vol} = \beta_0 + \beta_1 \text{dap}^2 + \varepsilon$$

Com os valores amostrais das 70 árvores cubadas, os valores estimados para β_0 e β_1 .

O modelo estimado foi:

$$\text{Vol} = -0,022 + 8,67dap^2 + \varepsilon$$

Ambos os coeficientes estimados foram significativamente diferentes de zero (p-valores < 0,001), testados através do teste *t-student*. Através de uma análise de regressão linear, constatou-se um coeficiente de determinação (R^2) ajustado de 91,4%, e uma associação da regressão significativa (p-valor < 0,001), calculados através da estatística F.

Abaixo segue uma análise do modelo estimado através de uma análise de resíduos, a partir da figura abaixo.

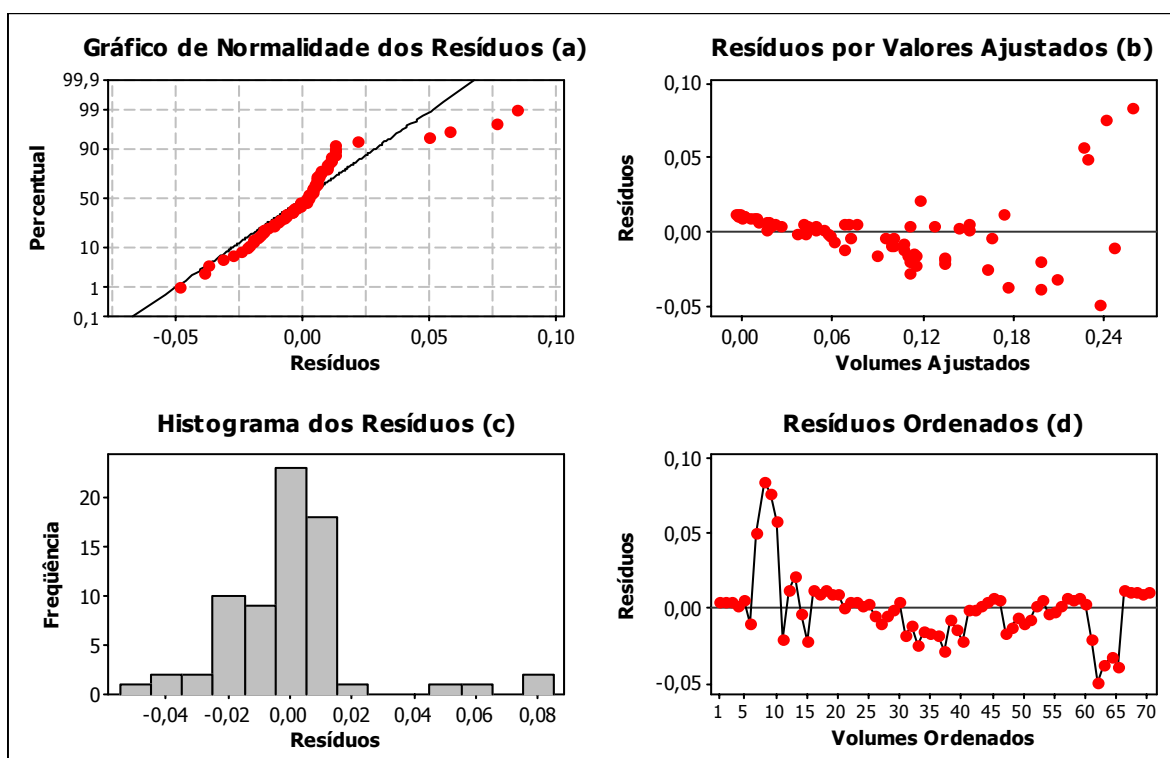


Figura 2: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Kapezky-Gehrhardt

A partir do gráfico (a) observa-se que os resíduos do modelo não possuem distribuição de probabilidade normal ($p\text{-valor} < 0,001$), impossibilitando assim a utilização de modelos paramétricos de estimação. No gráfico (b) os resíduos aumentam à medida que os volumes aumentam. Isso significa que em decorrência do próprio modelo ser exponencial em relação ao diâmetro, o modelo não apresenta estimativas boas para árvores com valores de *dap* elevados. Outra constatação relevante é que tiveram cinco observações no qual o modelo não estimou corretamente os valores, sendo essas observações visualizadas através do gráfico (d).

Outra análise pertinente é o coeficiente de correlação linear, no qual as análises estão a seguir.

Os volumes estimados pelo modelo de Kapezky-Gehrhardt foram significativamente associados aos volumes reais ($p\text{-valor} < 0,001$). O coeficiente de correlação linear calculado foi de 0,957, sendo assim, o modelo fortemente correlacionado com os volumes reais.

A seguir será apresentado um gráfico de diagrama de dispersão entre os volumes reais em relação aos volumes estimados pelo modelo de Kapezky-Gehrhardt.

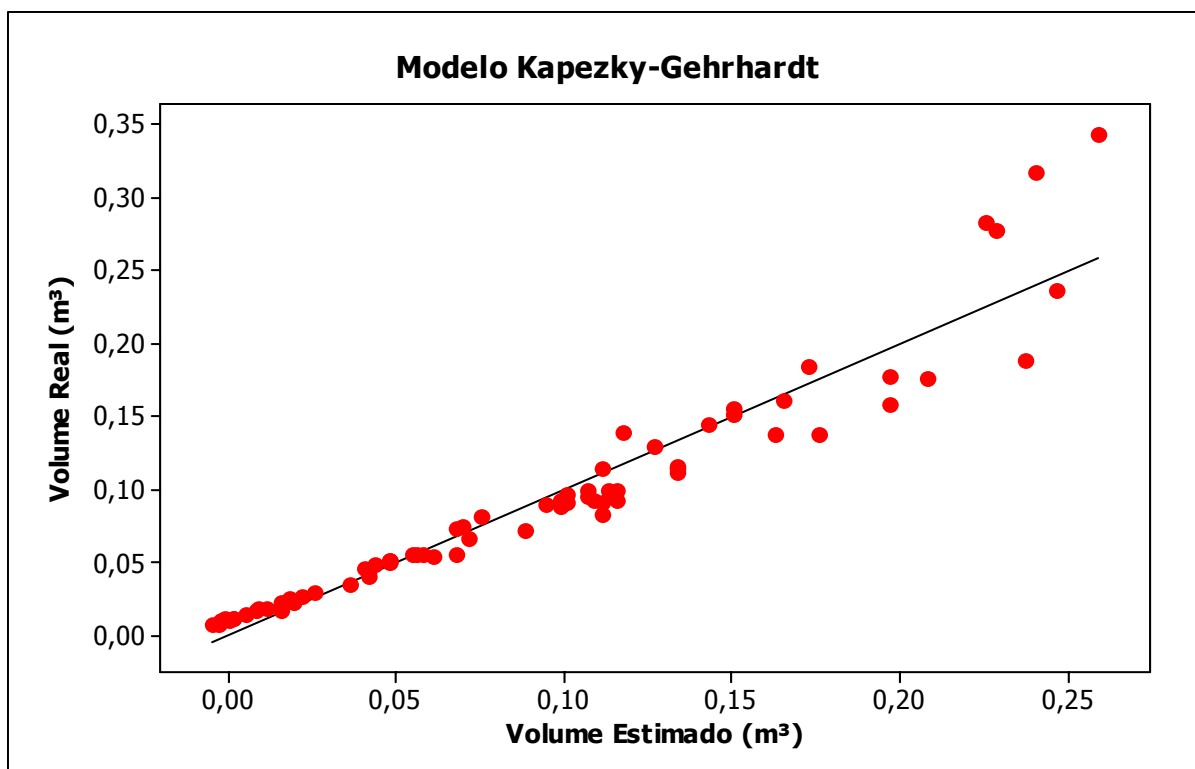


Gráfico 3: Diagrama de dispersão do Volume Real em relação aos volumes estimados pelo modelo de Kapezky-Gehrhardt.

Com relação ao modelo de Kapezky-Gehrhardt podemos tirar as seguintes conclusões:

1. Os resíduos do modelo não possuem distribuição de probabilidade normal.
2. O modelo possui um coeficiente de determinação ajustado de 91,4%, que é bom;
3. O coeficiente de correlação do modelo foi de 0,957, ou seja, o modelo é fortemente correlacionado com o volume real;
4. A partir do aumento dos valores de *dap* o modelo gera resíduos maiores, em decorrência da própria forma algébrica do modelo, que é exponencial em relação ao *dap*.

4.1.2 Modelo de Dissescu-Meyer

A equação estimada pelo modelo teórico de estimação de volume de Dissescu-Meyer através da cubagem rigorosa das 70 árvores foi:

$$\text{Vol} = -0,498dap + 11,0381dap^2 + \varepsilon$$

Ambos os coeficientes da regressão linear foram significativamente diferentes de zero (p -valores $< 0,001$), calculados através da estatística *t-student*. A análise de regressão do modelo constatou que o mesmo é significativo (p -valor $< 0,001$), calculado através da estatística *F*. O modelo possui um coeficiente de determinação de 92,3%.

Através do gráfico abaixo, segue uma análise dos resíduos.

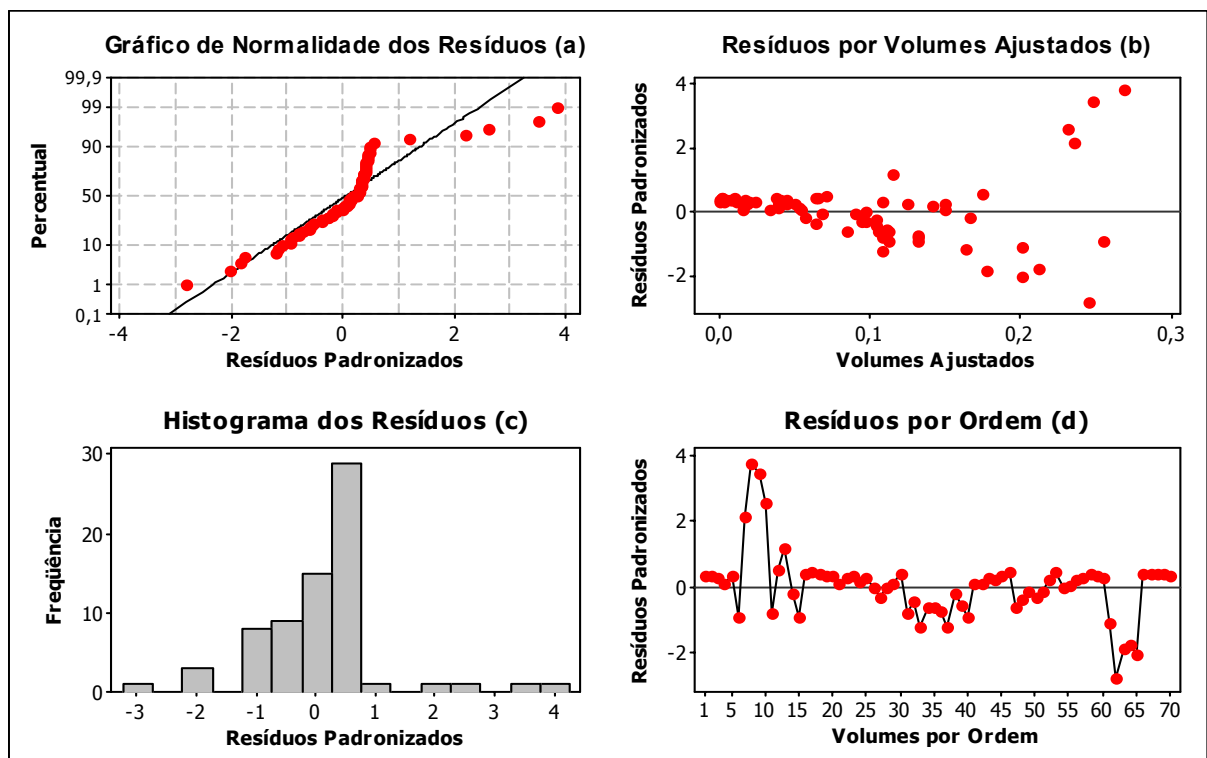


Figura 3: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Dissescu-Meyer

Os resíduos do modelo de Dissescu-Meyer não possuem uma distribuição de probabilidade normal ($p\text{-valor} < 0,05$). A partir do gráfico (b) nota-se que a medida que os valores de *dap* aumentam, os resíduos padronizados do modelo aumentam também, em decorrência da estrutura exponencial do modelo, no qual tiveram sete valores que não foram bem respondidos pelo modelo, e que a partir do gráfico (b) observa-se que são valores cujos valores de volumes e *daps* são maiores.

O modelo de Dissescu-Meyer é significativamente associado ao volume real ($p\text{-valor} < 0,001$), sendo que o coeficiente de correlação linear entre os volumes estimados pelo modelo em relação aos volumes reais foi de 0,961, ou seja, um coeficiente de correlação linear forte.

Abaixo segue o diagrama de dispersão dos dados.

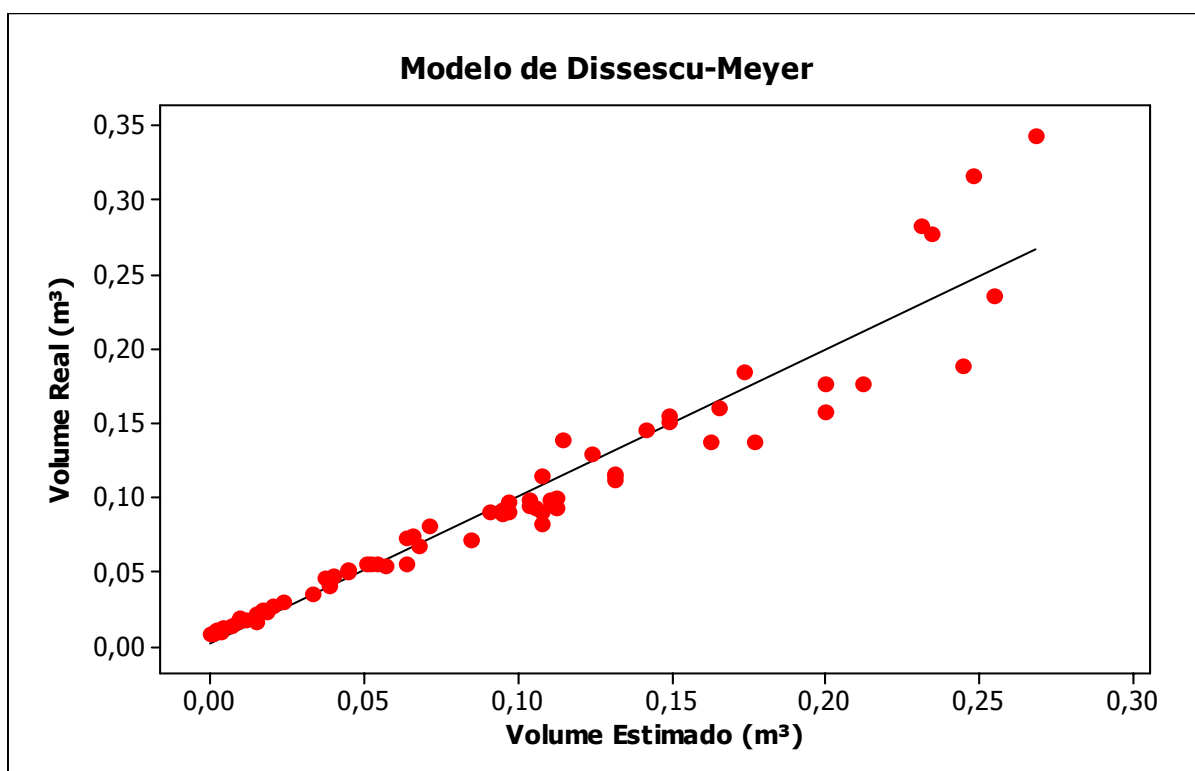


Gráfico 4: Diagrama de dispersão do Volume Real em relação aos volumes estimados pelo modelo de Dissescu-Meyer.

A partir da análise, conclui-se sobre o modelo:

1. Os resíduos do modelo não possuem distribuição de probabilidade normal.
2. O modelo possui um coeficiente de determinação ajustado de 92,3%, que é bom;
3. O coeficiente de correlação linear do modelo foi de 0,961; e
4. A partir do aumento dos valores de *dap* o modelo gera resíduos maiores, em decorrência da própria forma algébrica do modelo, que é exponencial em relação ao *dap*.

4.1.3 Modelo de Hohenald-Krenm

A equação estimada para o modelo de Hohenald-Krenm foi:

$$\text{Vol} = 0,0514 + -1,4684dap + 15,1962dap^2 + \varepsilon$$

Os três coeficientes da equação (β_0 , β_1 e β_2) são significativamente diferentes de zero (p-valores < 0,001), calculado através da estatística *t-student*. O modelo também foi significativamente diferente de zero (p-valor < 0,001), calculado através da estatística F. O coeficiente de determinação ajustado do modelo foi de 93,2%, ou seja, o modelo explica 93,2% dos volumes das árvores abatidas na cubagem rigorosa.

Através dos gráficos abaixo, segue uma análise dos resíduos do modelo.

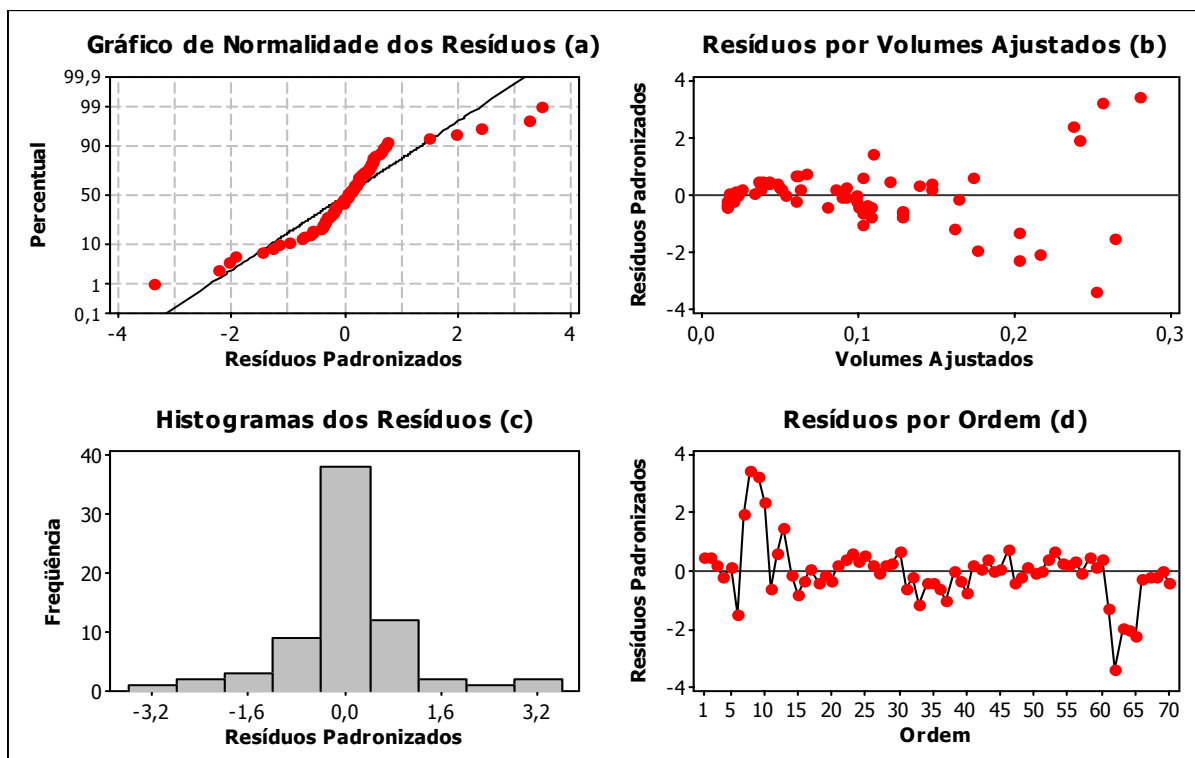


Figura 4: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Hohenald-Krenm.

A partir do gráfico (a), constata-se que os resíduos do modelo não possuem distribuição de probabilidade normal. Os valores dos resíduos gerados pelo modelo aumentam a medida que os valores dos volumes padronizados aumentam (gráfico b).

O modelo gerou seis observações não usuais, sendo essas observações visualizadas através dos gráficos (b) e (d).

Através da análise de correlação linear, o modelo de Hohenald-Krenm possui associação significativa com o volume real ($p\text{-valor} < 0,001$). A correlação linear entre os volumes estimados pelo modelo e os valores reais foi de 0,965, o que é um índice de correlação forte.

Abaixo segue o diagrama de dispersão entre os valores reais de volume e os valores estimados pelo modelo.

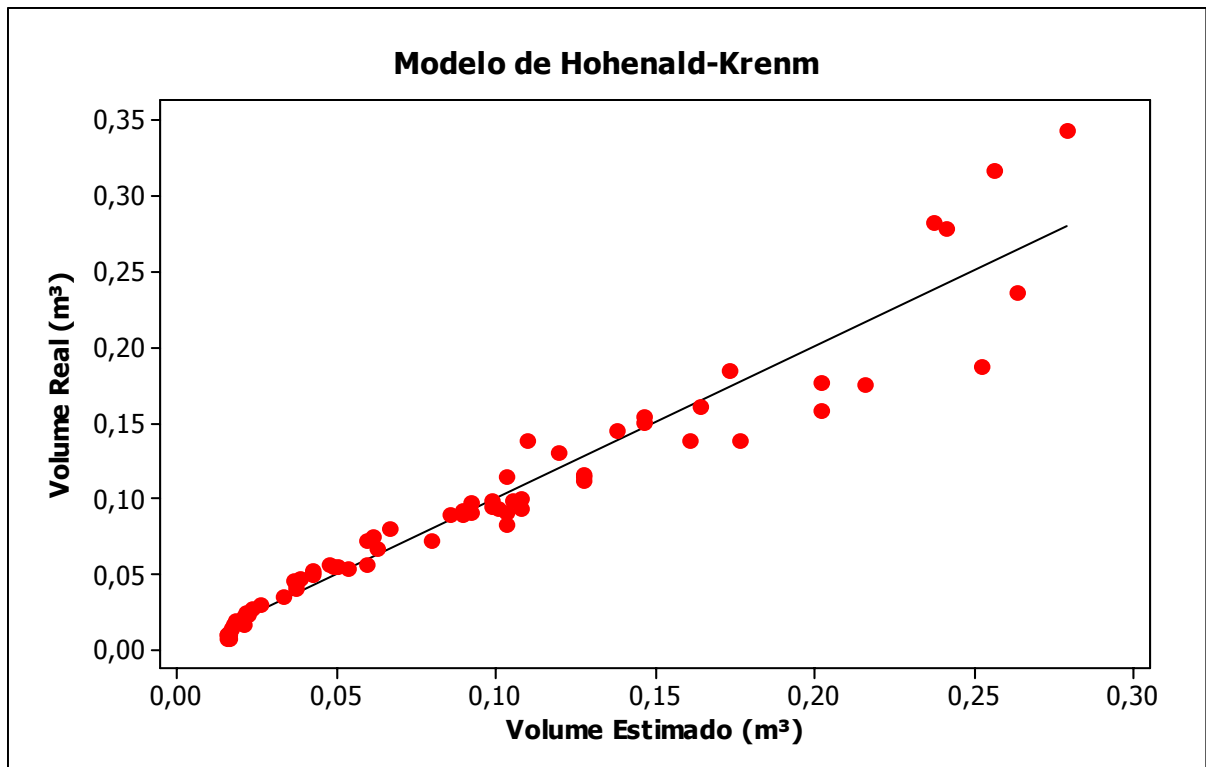


Gráfico 5: Diagrama de dispersão do Volume Real em relação aos volumes estimados pelo modelo de Hohenald-Krenm.

Sobre o modelo, pode-se concluir:

1. Os resíduos padronizados do modelo não possuem distribuição de probabilidade normal;
2. O coeficiente de determinação ajustado do modelo é de 93,2%, ou seja, o melhor dentre os três modelos de uma entrada testados;
3. o coeficiente de correlação linear do modelo em relação ao volume real foi de 0,965; e
4. A medida em que os volumes aumentam, os resíduos do modelo aumentam também, em consequência do modelo ser exponencial.

Tabela 3: Resumo dos resultados dos modelos de uma entrada testados.

Modelo	R² (em %)	ρ	Distribuição Normal dos Resíduos?
Kapezky-Gehrhardt	91,4	0,957	Não
Dissescu-Meyer	92,3	0,961	Não
Hohenald-Krem	93,2	0,965	Não

Os três modelos de uma entrada obtiveram resultados semelhantes em relação as comparações com os volumes reais obtidos através da cubagem rigorosa das 70 árvores.

Dos três modelos, apesar das semelhanças nos resultados, o modelo de Hohenald-Krem obteve melhores estatísticas para a amostra, como observado a partir da tabela 3.

Abaixo, segue uma análise de variância entre os três modelos e os valores reais com objetivo se as medições são significativamente diferentes entre si.

Tabela 4: Análise de variância do volume real e os modelos de uma entrada.

Volume	N	Média	D. P.	Há diferença significativa?
Real	70	0,09231	0,07521	Não, p-valor = 0,999
Kapezky-Gehrhardt	70	0,09239	0,07198	
Dissescu-Meyer	70	0,09101	0,07301	
Hohenald-Krem	70	0,09219	0,07256	

A partir da tabela 4 conclui-se que os três modelos e os valores reais não diferem significativamente entre si (p-valor =0,999).

Para fins do presente trabalho, será utilizado o modelo de Hohenald-Krem, em decorrência do mesmo possuir melhores estatísticas para a amostra (mesmo estas estatísticas semelhantes com os demais modelos de uma entrada), mas vale salientar que todos os três modelos possuem comportamentos iguais estatisticamente.

4.2 MODELOS TESTADOS DE DUPLA ENTRADA

Os modelos volumétricos de dupla entrada foram os modelos de Spurr, Schumacher-Hall, e de Stoate.

As equações volumétricas de dupla entrada são as que possuem duas variáveis independentes, sendo essas variáveis o *dap* e altura.

A seguir será apresentado os resultados de cada modelo.

4.2.1 Modelo de Spurr

A equação estimada do Modelo de Spurr foi:

$$\text{Vol} = -0,0001 + 0,345dap^2Ht$$

Através da análise de regressão linear, constata-se que o coeficiente β_0 é significativamente igual a zero (p-valor = 0,960). Já o coeficiente β_1 foi significativamente diferente de zero (p-valor < 0,001). Ambos os coeficientes foram calculados através da estatística *t-student*.

A regressão é significativa na explicação dos volumes das árvores cubadas rigorosamente (p-valor < 0,001), calculados através da estatística F. O coeficiente de determinação do modelo foi de 98,1%.

A seguir é apresentada a figura referente a análise dos resíduos padronizados.

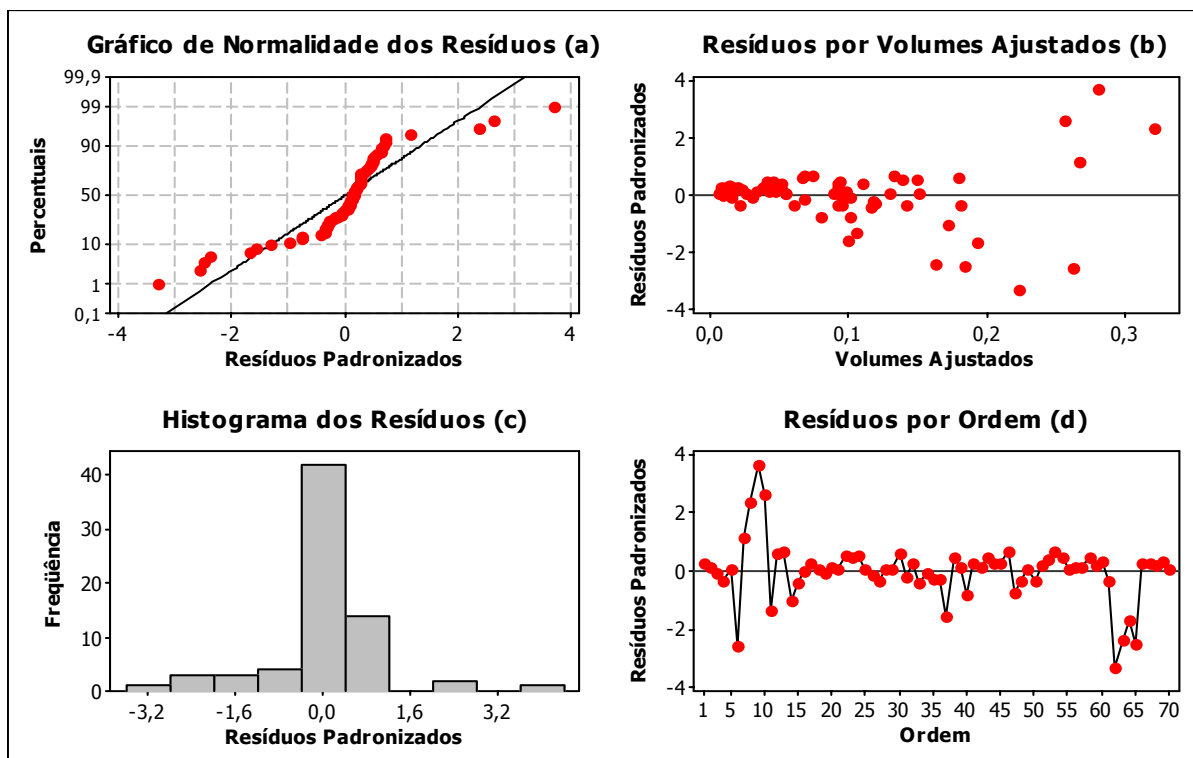


Figura 5: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Spurr

Através do teste de normalidade, constata-se que os resíduos padronizados do modelo não possuem distribuição de probabilidade normal (gráfico a). Outra constatação importante é que com aumento dos volumes, o modelo de Spurr gera resíduos padronizados maiores (Gráfico b), e que o modelo gerou oito observações não usuais, sendo estas observações oriundas de volumes elevados, num total de 70 observações de volumes.

A partir de uma análise de correlação linear, constata-se que o modelo de Spurr é significativamente associado ao volume real ($p\text{-valor} < 0,001$). O coeficiente de correlação linear entre os volumes estimados e os volumes reais foi de 0,99, que é um índice forte.

Segue abaixo o diagrama de dispersão dos volumes estimados pelo modelo de Spurr e os volumes reais.

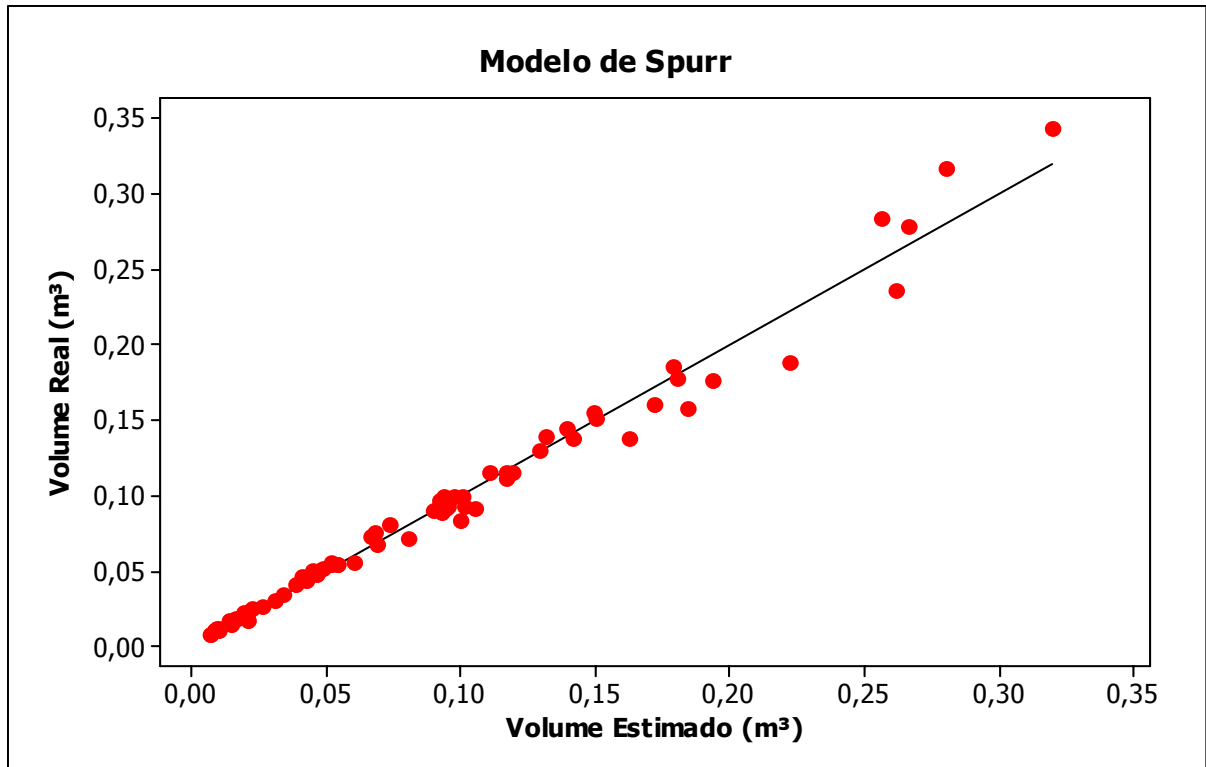


Gráfico 6: Diagrama de dispersão do Volume Real em relação aos volumes estimados pelo modelo de Spurr.

A partir da análise, conclui-se que o modelo de Spurr:

1. O modelo possui resíduos padronizados com distribuição de probabilidade não normal;
2. O coeficiente de determinação ajustado do modelo é de 98,0%, o que é um elevado nível de explicação para o volume;
3. o coeficiente de correlação linear entre os volumes estimados pelo modelo de Spurr e os volumes reais foi de 0,99; e
4. O modelo gera resíduos padronizados maiores à medida que os volumes aumentam.

4.2.2 Modelo de Schumacher-Hall

A equação estimada para o modelo de Schumacher-Hall foi:

$$\text{Vol} = 0,20167 \times \text{dap}^{1,82782} \times \text{Ht}^{1,05869}$$

A equação estimada do modelo de Schumacher-Hall através da regressão linear obteve uma explicação do volume real das árvores amostradas através da cubagem rigorosa de 98,1%, calculado através do coeficiente de determinação (R^2), calculado através da estatística F.

A seguir será apresentada a análise gráfica dos resíduos padronizados do modelo de Schumacher-Hall.

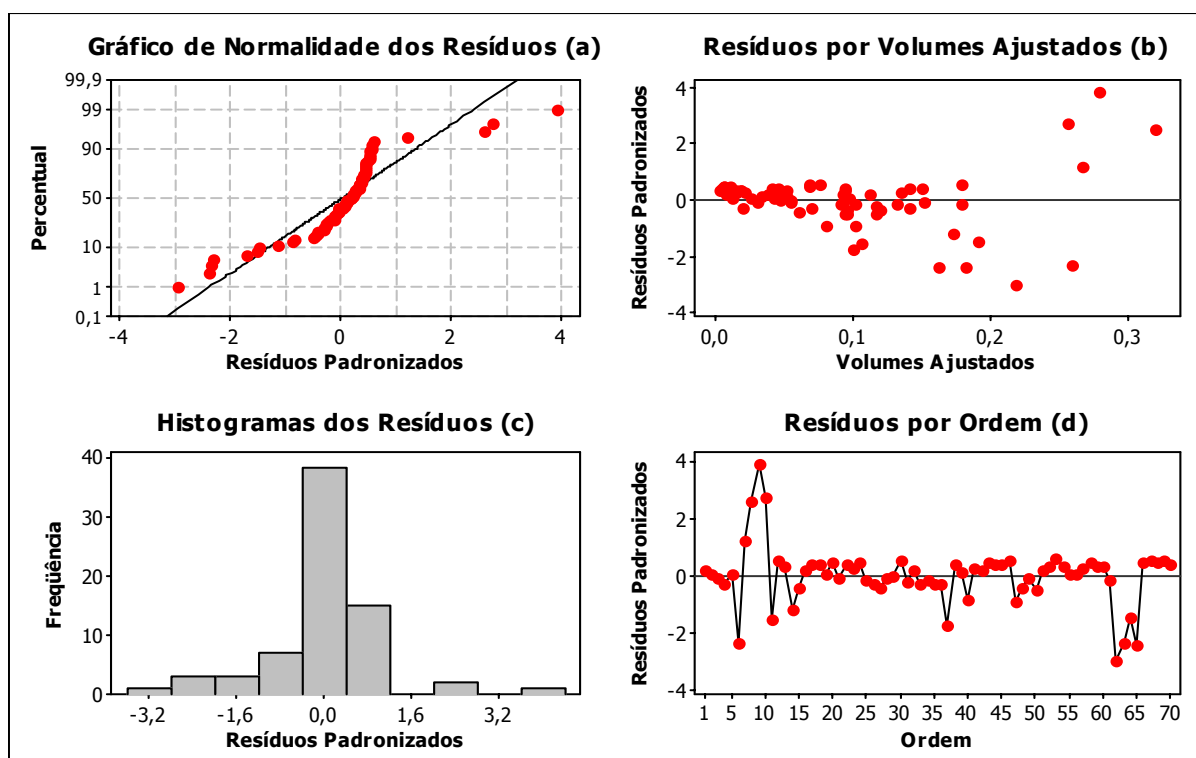


Figura 6: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Schumacher-Hall

Através do gráfico (a) e do teste de normalidade dos resíduos padronizados, constata-se que os mesmos não possuem distribuição de probabilidade normal ($p\text{-valor} < 0,005$).

Através dos gráficos (b) e (d) observa-se que o modelo gerou oito observações não usuais. Essas observações não usuais são aquelas cujos volumes são maiores, sendo que os resíduos ao passo que os volumes aumentam, os resíduos aumentam também.

Através do teste de correlação linear entre as estimativas geradas pelo modelo de Schumacher-Hall em relação aos valores reais de volume, constata-se que o modelo é significativo em relação aos valores reais ($p\text{-valor} < 0,001$). O coeficiente calculado foi de 0,991, que é um índice muito bom.

Abaixo segue o diagrama de dispersão dos volumes estimados em relação aos volumes reais.

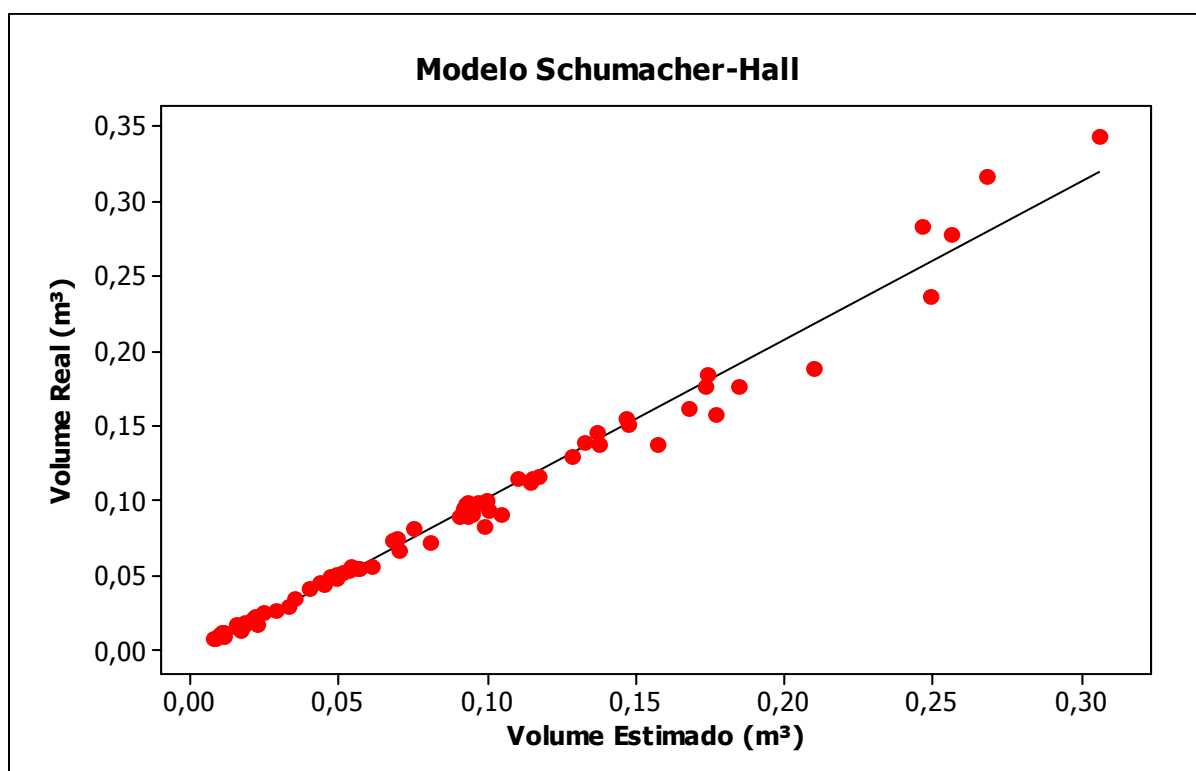


Gráfico 7: Diagrama de dispersão do Volume Real em relação aos volumes estimados pelo modelo de Schumacher-Hall.

Através desses cálculos, podemos afirmar sobre o modelo de Schumacher-Hall que:

1. O modelo possui resíduos padronizados com distribuição de probabilidade não normal;
2. O coeficiente de determinação ajustado do modelo é de 98,1%, o que é um elevado nível de explicação para o volume;
3. o coeficiente de correlação linear entre os volumes estimados pelo modelo de Schumacher-Hall e os volumes reais foi de 0,991; e
4. O modelo gera resíduos padronizados maiores à medida que os volumes aumentam.

4.2.3 Modelo de Stoate

A equação estimada do modelo de Stoate através da regressão linear foi:

$$\text{Vol} = -0,0102 - 4,51dap^2 + 0,482dap^2Ht + 0,00184Ht$$

Através da análise de regressão linear constata-se que apenas o coeficiente β_0 foi significativamente igual a zero (p-valor = 0,181), sendo os demais coeficientes β_1 , β_2 , e β_3 significativamente diferentes de zero (p-valores < 0,001), sendo todos os coeficientes calculados através da estatística *t-student*.

O modelo estimado foi significativo (p-valor < 0,001), calculado através da estatística F. O modelo teve um grau de explicação de 98,9%, calculado através de coeficiente de determinação ajustado.

A partir da figura abaixo, segue uma análise dos resíduos gerados pelo modelo.

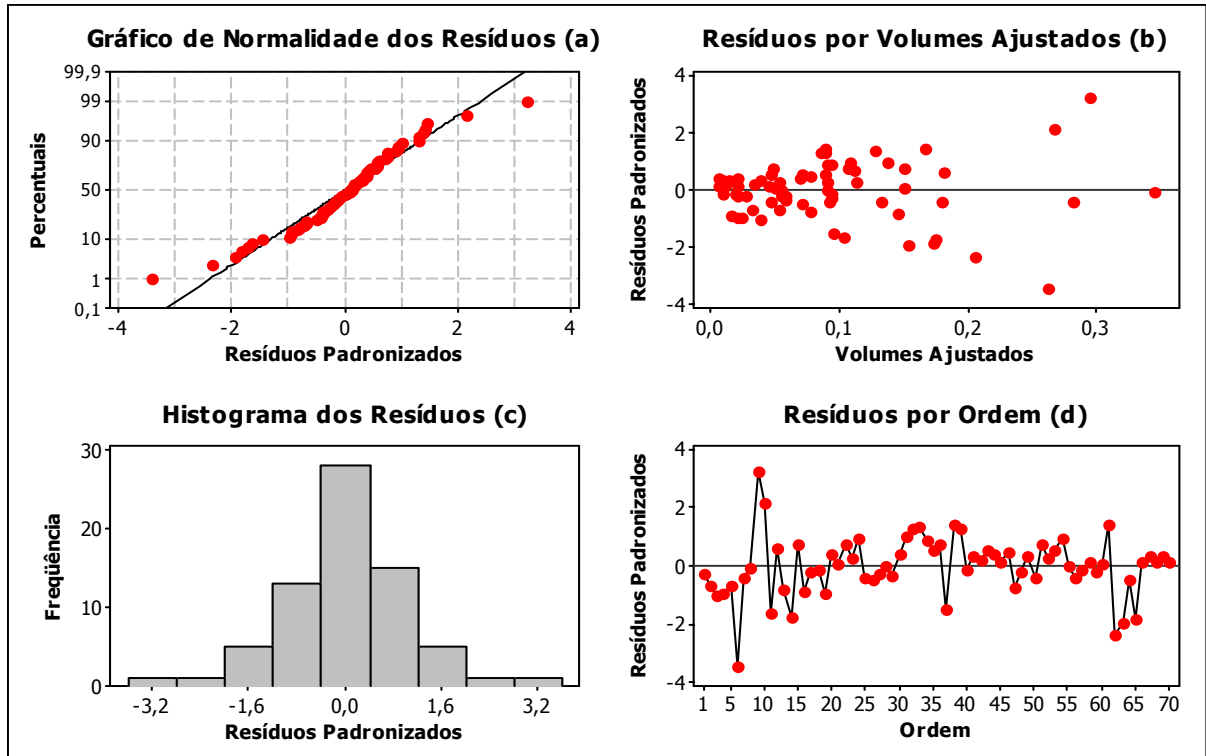


Figura 7: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Stocate

Foi feito um teste de normalidade dos resíduos, no qual constata-se que os mesmos não possuem uma distribuição de probabilidade normal ($p\text{-valor} = 0,04$). Porém dentre os modelos, o modelo de Stocate apresentou uma rejeição ao teste de normalidade de 0,04, sendo o melhor dentre os modelos, porém ainda não tendo distribuição de probabilidade normal dos resíduos padronizados.

A partir do gráfico (b), constata-se que aumentos dos volumes o modelo não representa muito bem esses volumes maiores, tendo em vista que o modelo não explicou cinco observações.

Através de uma correlação linear constata-se que os volumes calculados através do modelo de Stocate possuem correlação significativa em relação aos

volumes reais ($p\text{-valor} < 0,001$). O coeficiente de correlação do modelo em relação aos valores reais foi de 0,995, sendo um índice elevadíssimo.

Abaixo segue o diagrama de dispersão dos volumes calculados através do modelo de Stoate em relação aos valores reais de volume.

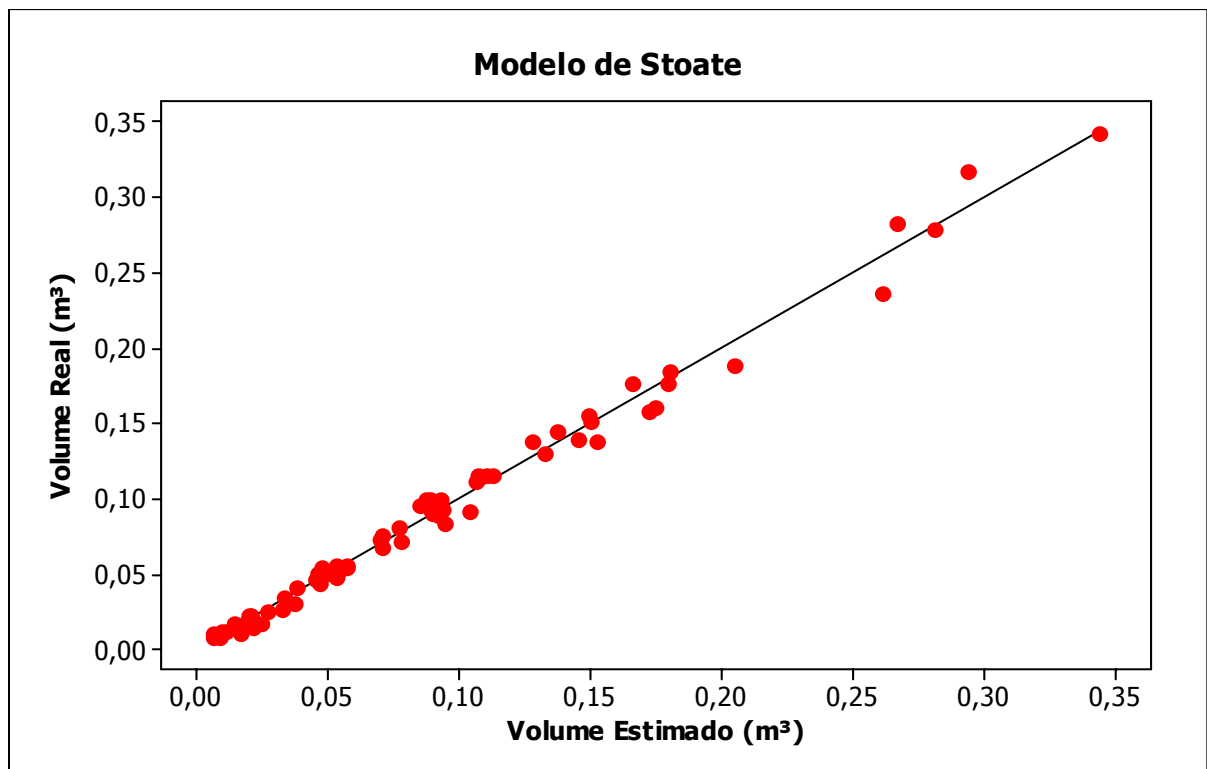


Gráfico 8: Diagrama de dispersão do Volume Real em relação aos volumes estimados pelo modelo de Stoate.

Podemos concluir do modelo de Stoate:

1. O modelo possui resíduos padronizados com distribuição de probabilidade não normal;
2. O coeficiente de determinação ajustado do modelo é de 98,9%, o que é um elevado nível de explicação para o volume;
3. O coeficiente de correlação linear do modelo é de 0,995; e

4. O modelo gera resíduos padronizados maiores a medida em que os volumes aumentam.

Tabela 5: Resumo dos resultados dos modelos de dupla entrada.

Modelo	R² (em %)	ρ	Distribuição Normal dos Resíduos?
Spurr	98,1	0,990	Não
Schumacher-Hall	98,1	0,991	Não
Stoate	98,9	0,995	Não

A partir da tabela 5 acima, conclui-se que os três modelos de dupla entrada testados possuem comportamento similares em relação as comparações com o volumes real, sendo o modelo de Stoate um pouco mais preciso.

Abaixo segue a tabela 6 com a análise de variância entre os modelos e os valores reais com o objetivo de verificar se há diferença significativa entre as medições e os valores reais de volume.

Tabela 6: Análise de variância do volume real e os modelos de dupla entrada.

Volume	N	Média	D.P.	Há diferença significativa?
Real	70	0,09231	0,07521	
Spurr	70	0,09223	0,07440	Não, p-valor = 1,00
Schumacher-Hall	70	0,09131	0,07055	
Stoate	70	0,09217	0,0747	

A partir da tabela 6 acima, conclui-se que os modelos não diferem significativamente entre si. Vale salientar que o teste foi aplicado com 95% de confiabilidade, mas em decorrência do p-valor do teste ser 1,00, conclui-se que as medições não diferem com um nível de confiabilidade de 99,9%, ou seja, estatisticamente as medições são iguais.

Para o presente trabalho será utilizado o modelo de Stoate, em decorrência do mesmo possuir índices de correlação linear e coeficiente de determinação

maiores que os demais modelos (Spurr e Schumacher-Hall), mas vale salientar que estatisticamente, como vista através da análise de variância, os três modelos não diferem um do outro significativamente.

4.3 SIMULAÇÕES

No presente trabalho, será apresentado três simulações com o objetivo de avaliar quão as estimativas são semelhantes com os valores reais das 70 árvores, para que assim possa-se utiliza-las na confecção de uma metodologia alternativa na condução do inventário florestal através do Estimador de Razão Generalizado.

A primeira simulação foi avaliar os volumes estimados visualmente pelos funcionários A e B. logo após foi analisado os valores estimados visualmente de alturas feitas pelos funcionários A e B, com o objetivo de avaliar a terceira simulação, que é a utilização do modelo de dupla entrada de Stoate com a utilização de valores reais de *dap* e alturas estimadas visualmente pelos funcionários A e B.

4.3.1 Volume Real em relação aos volumes estimados visualmente pelos funcionários A e B.

No trabalho de campo, dois funcionários estimaram o volume individual das árvores através da metodologia visual, ou seja, eram anotados os valores “chutados” e em seguida a árvore era abatida e cubada rigorosamente.

Através dos dados, foram analisadas as estimativas feitas pelos funcionários através da regressão linear, no qual os resultados estão na tabela abaixo.

Tabela 7: Coeficientes e R^2 ajustado da regressão linear de variável dependente o Volume Real e variável independente as medições visuais do Volume feitas pelos funcionários A e B.

Medição	Coeficientes		R^2 (em %)
	β_0	β_1	
Funcionário A	-0,00002	0,791	63,7
Funcionário B	0,0475	1,03	57,5

Através da análise de regressão linear constata-se que os coeficientes de determinação (R^2) da estimação visual dos volumes feitas pelos funcionários A e B são 63,7% e 57,5% respectivamente. Esses valores podem ser considerados baixos, pois como se trata de uma medição de um parâmetro real, não sendo por exemplo, comportamento, essas medições possuem uma explicação baixa para a estimação do Volume Real.

Abaixo segue uma análise dos resíduos padronizados das regressões dos funcionários A e B em relação ao Volume Real.

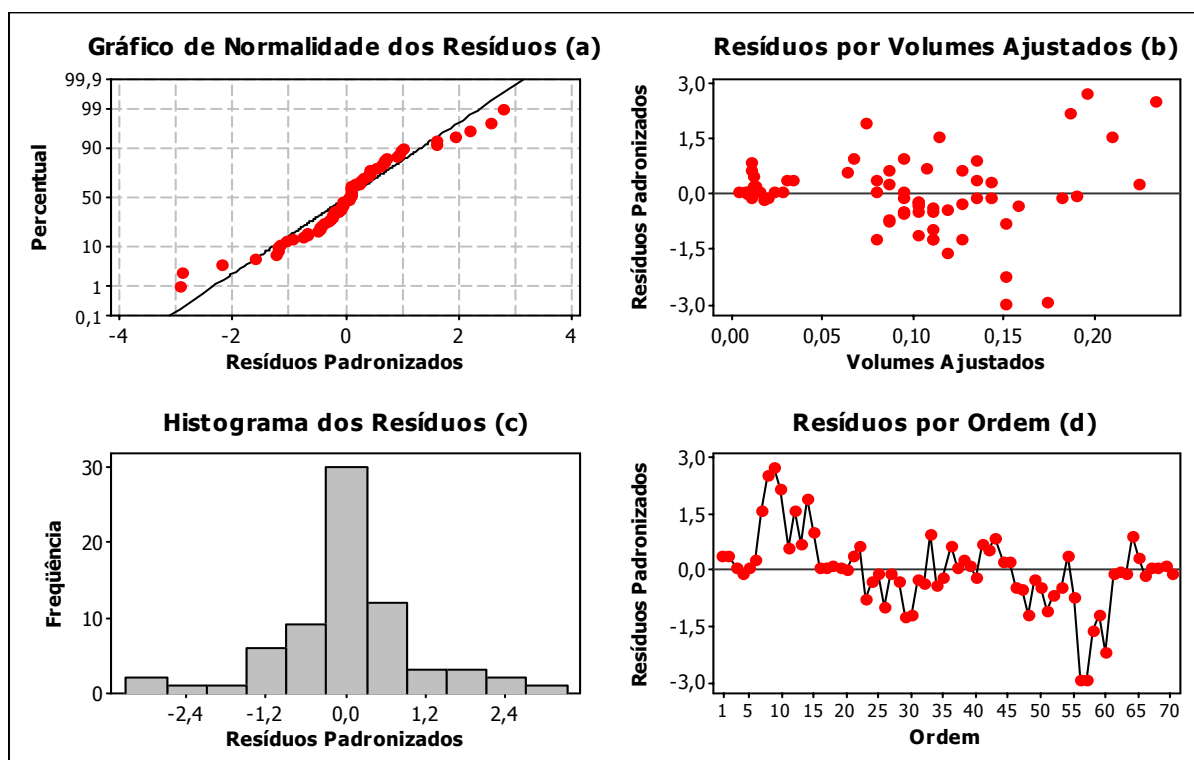


Figura 8: Análise dos resíduos gerados pelas medições do Funcionário A

Os resíduos padronizados das medições do funcionário A não possui distribuição de probabilidade normal ($p\text{-valor} < 0,005$), como observado pelo gráfico (a). Os resíduos padronizados em relação aos volumes ajustados, não se percebem um comportamento, o que é bom, ou seja, os resíduos possuem uma aleatoriedade.

Na análise de regressão linear constatou seis observações não usuais, ou seja, volumes estimados cujos resíduos foram considerados altos.

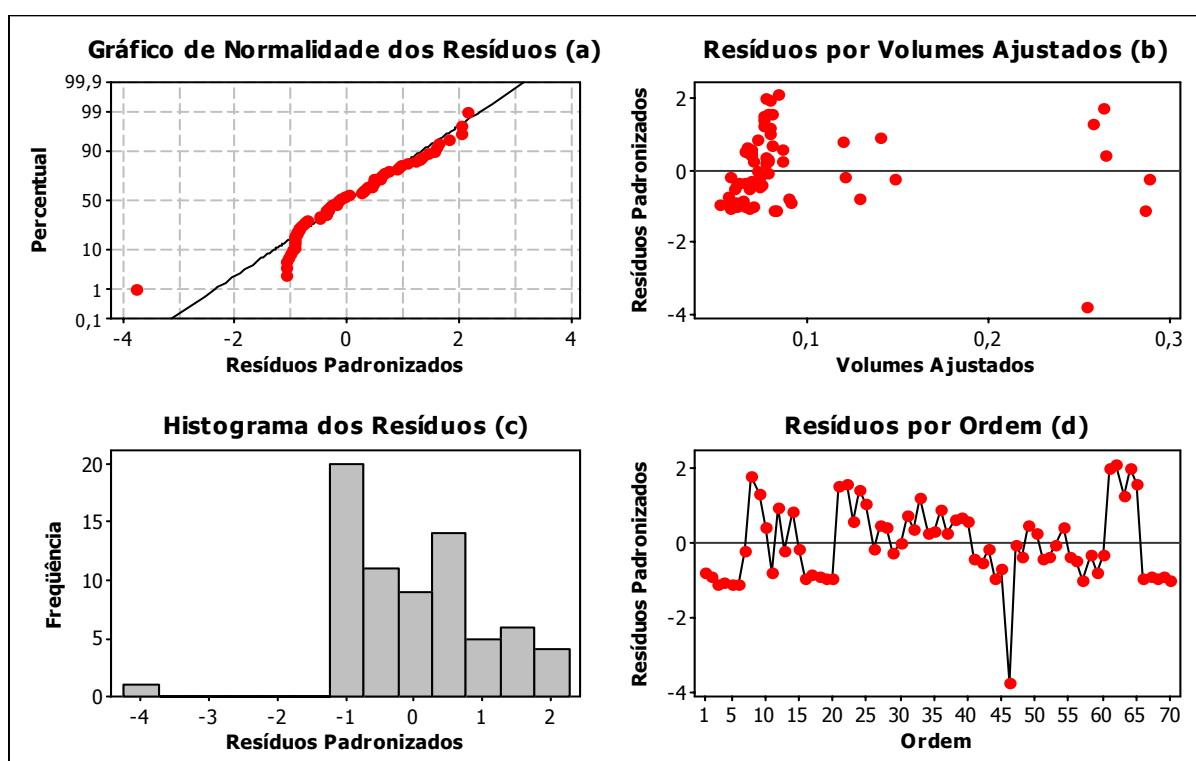


Figura 9: Análise dos resíduos gerados pelas medições do Funcionário B.

Os resíduos da estimação do volume fitas visualmente pelo funcionário A não possui distribuição de probabilidade normal ($p\text{-valor} = 0,008$), gráfico (a), feito através do teste de normalidade.

A estimação teve nove observações não usuais, sendo visualizadas através dos gráficos (b) e (d).

A seguir será apresentada uma análise dos coeficientes de correlação lineares entre as medições visuais dos volumes feitos pelos funcionários A e B em

relação aos valores de Volumes Reais obtidos através da cubagem rigorosa das 70 árvores amostras.

Tabela 8: Correlação entre o Volume Real e as estimações de volumes visuais feitas pelos funcionários A e B.

Medição	Correlação	P-valor
Funcionário A	0,801	< 0,001
Funcionário B	0,763	< 0,001

A partir da tabela acima, verifica-se que ambas as medidas visuais de volumes (funcionário A e B) foram significativamente associadas com os valores reais dos volumes (p-valores < 0,001).

Os volumes estimados visualmente pelos funcionários A e B obtiveram coeficientes de correlação linear de 0,801 e 0,763 respectivamente.

A seguir a figura do diagrama de dispersão das medições em relação aos valores reais de volume das árvores.

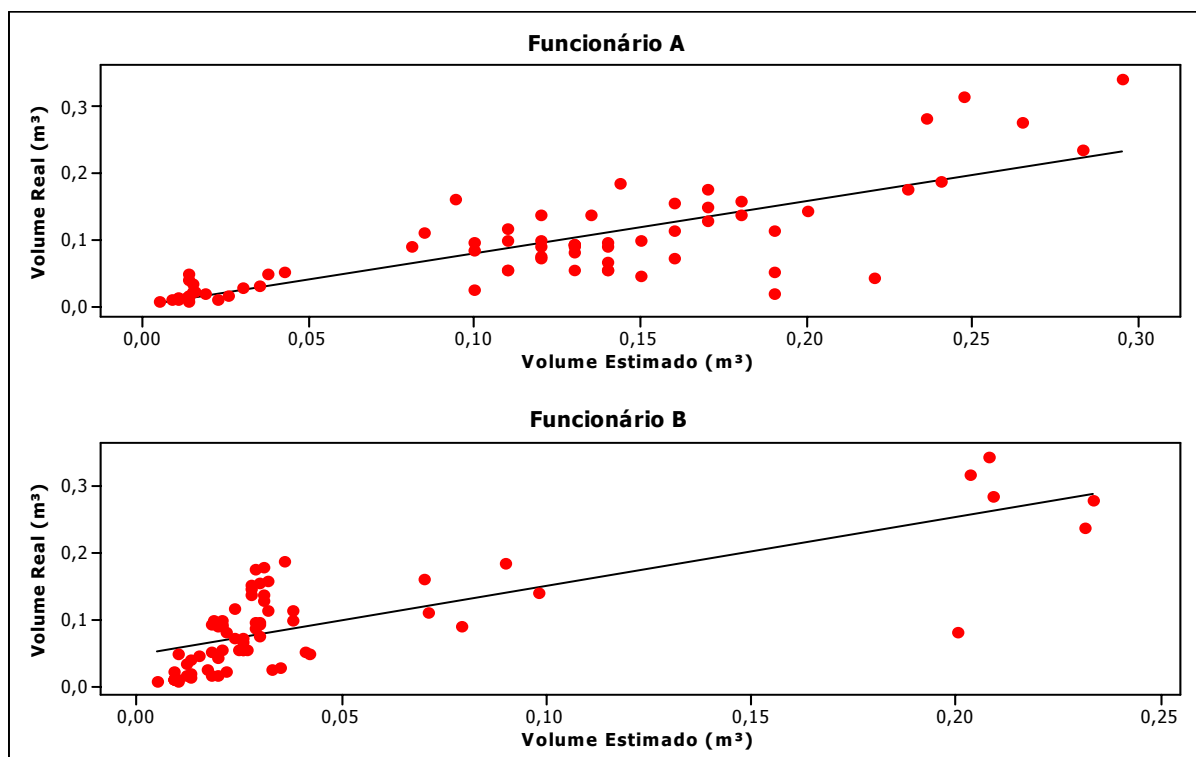


Figura 10: Diagrama de dispersão entre o Volume Real e as estimações de volumes visuais feitas pelos funcionários A e B.

Tabela 9: Resumo dos resultados das medições visuais de volume feitas pelos funcionários A e B.

Modelo	R ² (em %)	ρ	Distribuição Normal dos Resíduos?
Funcionário A	63,7	0,801	Não
Funcionário B	57,5	0,763	Não

A partir da tabela 9 acima, conclui-se que os resíduos de ambas estimações não possuem distribuição de probabilidade normal. Em relação aos coeficientes de determinação, as medições visuais de volume não explicam muito bem o volume real, tendo em vista que os coeficientes ajustados foram de 63,7% e 57,5% respectivamente para os funcionários A e B. As medições possuem coeficientes de correlação lineares bons, ou seja, as medições feitas pelos funcionários A e B possuem uma coerência com aumentos e reduções de volume real.

Abaixo segue uma análise de variância das medições e do volume real.

Tabela 10: Análise de variância do volume real e os volumes estimados visualmente pelos funcionários A e B.

Volume	N	Média	D.P.	Há diferença significativa?
Real	70	0,092	0,075	Sim, p-valor < 0,001
Funcionário A	70	0,117	0,076	
Funcionário B	70	0,044	0,056	

As medições feitas pelos funcionários A, B e o volume real são significativamente diferentes entre si (p-valor < 0,001). A medição feita pelo funcionário B difere tanto dos volumes reais, quanto das medições feitas pelo funcionário A.

A partir dessa análise conclui-se que os valores medidos são bastante heterogêneos.

4.3.2 Análise das alturas estimadas visualmente pelos funcionários A e B

Outro procedimento no presente trabalho foi a estimaco visual da altura das árvores feitas pelos funcionários A e B, no qual consistiu na estimaco visual de cada árvore abatida, e tendo logo em seguida os valores reais de altura.

Esse dado é importante para o presente trabalho em decorrência das equaces volumétricas de dupla entra possuem como variáveis independentes os valores de *dap* e de altura, sendo esta última medida através de procedimentos indiretos, como visto anteriormente, e sendo um procedimento demorado e com problemas operacionais.

A seguir os resultados obtidos pelo presente trabalho para os dois funcionários da empresa.

Tabela 11: Coeficientes e R^2 ajustado da regresso linear de variável dependente a Altura Real e variável independente as mediçes visuais de altura feitas pelos funcionários A e B.

Mediço	Coeficientes		R^2 (em %)
	β_0	β_1	
Funcionário A	0,887	0,925	85,3%
Funcionário B	3,218	0,820	78,8%

Ambas as regresses lineares feitas com as mediçes de alturas pelos funcionários A e B foram significativas em relaço aos valores reais das alturas (p-valores < 0,001), sendo calculadas através da estatística F.

As mediçes feitas pelos funcionários A e B obtiveram coeficientes de determinaço em relaço a altura real de 85,3% e 78,8% respectivamente, ou seja, o grau de explicaço das avaliaçes visuais foram relativamente boas para os valores reais das alturas.

A seguir será apresentada a análise dos resíduos das regressões lineares das medições feitas pelos funcionários A e B.

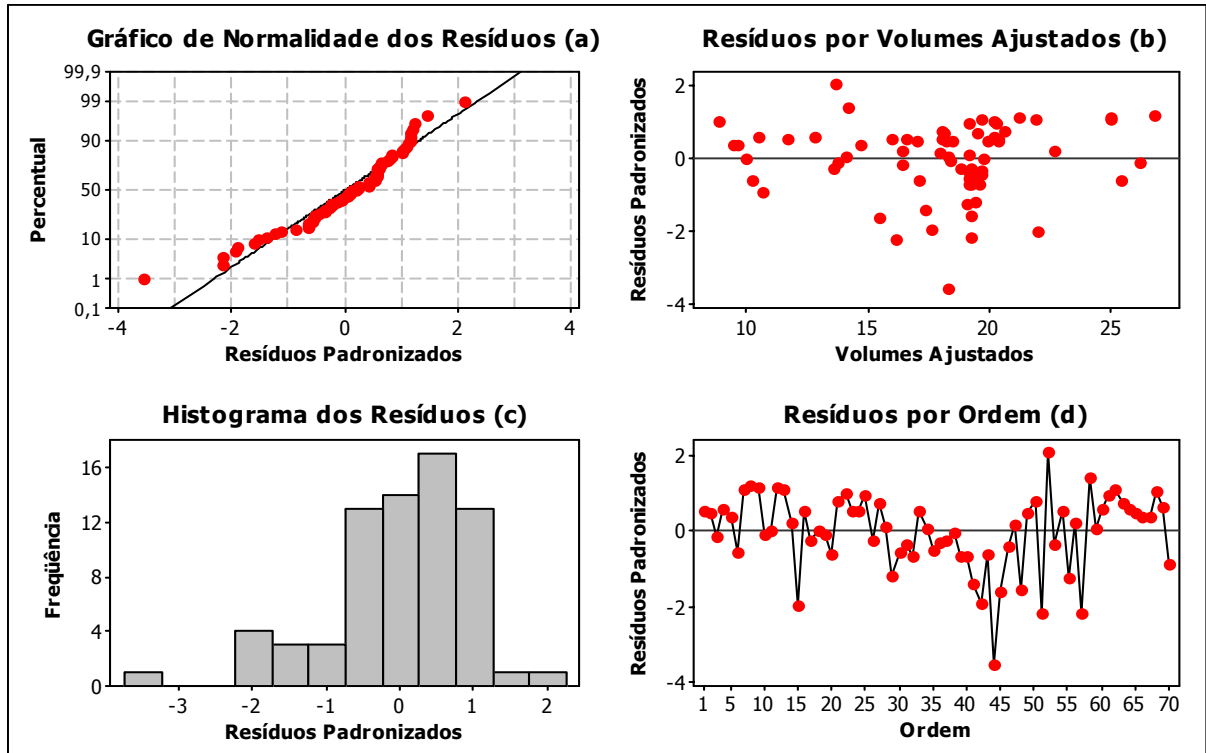


Figura 11: Análise dos resíduos gerados pelas medições de altura do Funcionário A

Conforme o gráfico (a), os resíduos padronizados das medições de altura feitas pelo funcionário A em relação as alturas reais possuem distribuição de probabilidade normal ($p\text{-valor} = 0,51$).

A regressão apresentou seis valores não usuais para os volumes estimados visualmente pelo funcionário A, sendo observados nos gráficos (b) e (d).

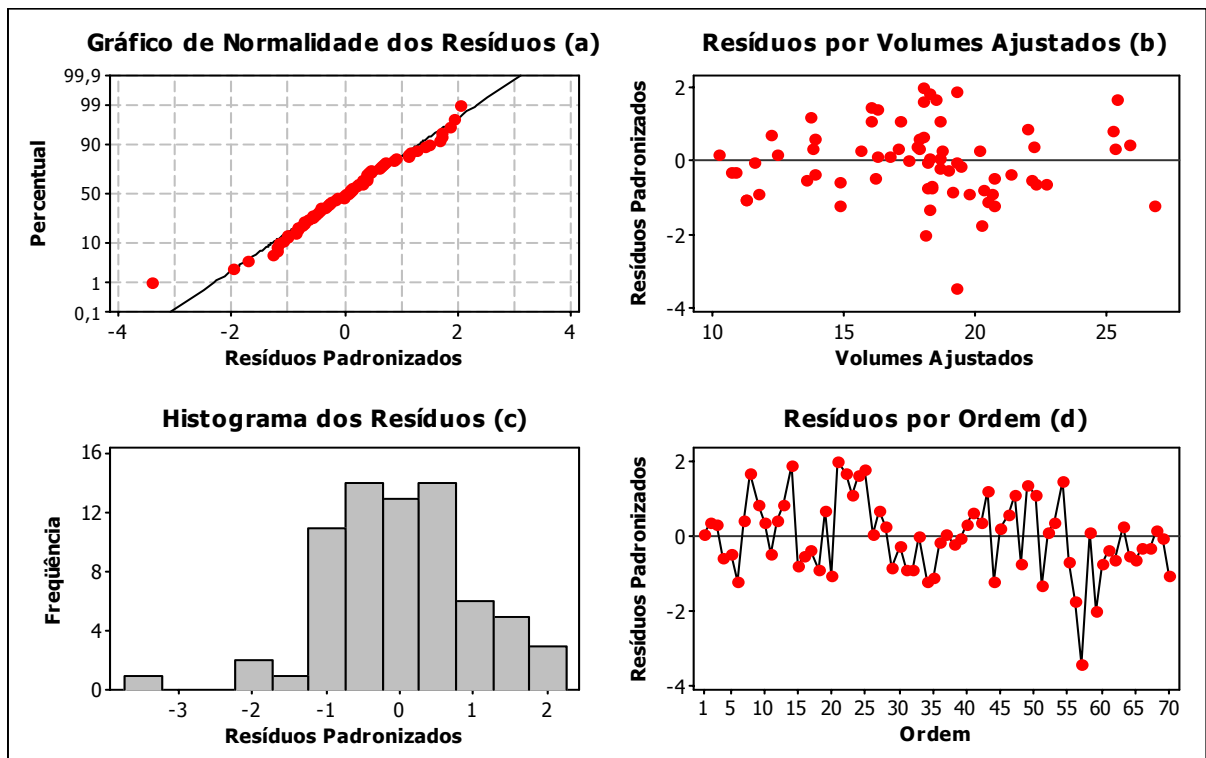


Figura 12: Análise dos resíduos gerados pelas medições de altura do Funcionário B.

O teste de normalidade dos resíduos das estimativas visuais do funcionário B em relação aos valores reais das alturas foi diagnosticado distribuição normal de probabilidade dos resíduos padronizados ($p\text{-valor} = 0,51$).

O teste de regressão linear diagnosticou três observações de alturas visuais não usuais, conforme gráficos (b) e (d).

A seguir será apresentada uma análise dos coeficientes de correlação lineares das estimativas visuais de altura dos funcionários A e B em relação aos valores reais de alturas.

Tabela 12: Correlação entre a Altura Real e as estimações de alturas visuais feitas pelos funcionários A e B.

Estimativa	Correlação	P-valor
Funcionário A	0,925	< 0,001
Funcionário B	0,890	< 0,001

As medições visuais das alturas feitas pelos funcionários A e B foram significativamente associadas linearmente as medições reais de altura (p-valores < 0,001). O coeficiente de correlação do funcionário A foi de 0,925, sendo uma correlação forte. As medições visuais do funcionário B tiveram uma correlação linear com as alturas reais de 0,89, ou seja, menores que as feitas pelo funcionário A, porém um coeficiente de correlação bom.

Abaixo seguem os diagramas de dispersão das medições visuais de altura feitas pelos funcionários em relação aos valores reais de altura.

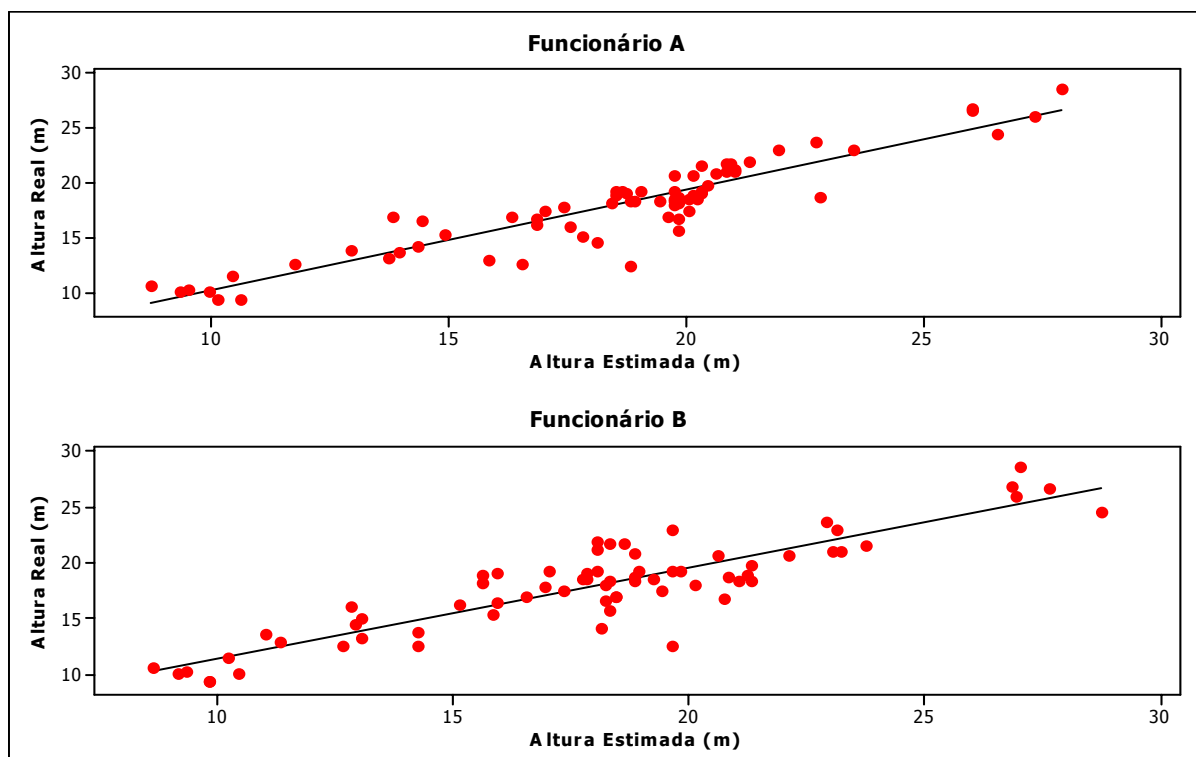


Figura 13: Diagrama de dispersão entre a Altura Real e as estimações de alturas visuais feitas pelos funcionários A e B.

Tabela 13: Resumo dos resultados das medições visuais de altura feitas pelos funcionários A e B.

Modelo	R² (em %)	ρ	Distribuição Normal dos Resíduos?
Funcionário A	85,3%	0,925	Sim
Funcionário B	78,8%	0,890	Sim

A partir da tabela 13 constata-se que ambas medições visuais de alturas feitas pelos funcionários A e B possuem distribuição de probabilidade normal dos resíduos.

Os coeficientes de determinação ajustados das medições foram de 85,3% e 78,8% respectivamente para cada funcionário, sendo coeficientes considerados bons.

O coeficiente de correlação linear de 0,925 para as medições feitas pelo funcionário A, é considerado um índice muito bom, já o coeficiente de correlação linear de 0,89 do funcionário B é considerada bom.

Abaixo segue a tabela de análise de variância das medições.

Tabela 14: Análise de variância da altura real e as alturas estimadas visualmente pelos funcionários A e B.

Volume	N	Média	D.P.	Há diferença significativa?
Real	70	17,87	4,26	Não, p-valor = 0,737
Funcionário A	70	18,37	4,26	
Funcionário B	70	17,86	4,62	

A partir da análise de variância constata-se que as medições de alturas feitas pelos funcionários A e B são significativamente iguais aos valores reais de altura (p-valor = 0,737).

4.3.3 Modelo de Stoate com valores reais de *dap* e valores estimados visualmente pelos funcionários A e B.

A equação de dupla entrada escolhida para a simulação com as alturas estimadas visualmente pelos funcionários A e B foi a equação volumétrica de Stoate, cujo modelo já foi apresentado anteriormente.

Foi utilizado na simulação, as alturas estimadas visualmente pelos funcionários A e B, e dados reais de *dap*. Como as estimativas visuais de altura são diferentes entre os funcionários, espera-se que as estimações de volume geradas através da equação volumétrica de Stoate com estimações de alturas feitas pelos funcionários A e B.

Os resultados das estatísticas descritivas serão apresentados na tabela a seguir:

Tabela 15: Coeficientes e R^2 ajustado da regressão linear de variável dependente o Volume Real e variável independente os volumes estimados pelo modelo de Stoate com valores reais de *dap* e alturas estimadas visualmente pelos funcionários A e B.

Medição	Coeficientes		R^2 (em %)
	β_0	β_1	
Funcionário A	- 0,00368	1,01	96,5
Funcionário B	0,00727	0,916	92,0

Através da regressão linear, constata-se que ambas as estimativas (Funcionários A e B) são significantes em relação ao volume real (p-valores < 0,001), calculados através da estatística F.

A partir da mesma regressão linear, constata-se que os volumes gerados através do modelo de Stoate com estimativas visuais de alturas do Funcionário A, foram melhores estimados os volumes em relação aos resultados do Funcionário B,

sendo os coeficientes de determinação ajustados (R^2) 96,5% e 92,0% respectivamente para cada funcionário.

A seguir será apresentada a análise dos resíduos gerados para cada uma das estimativas.

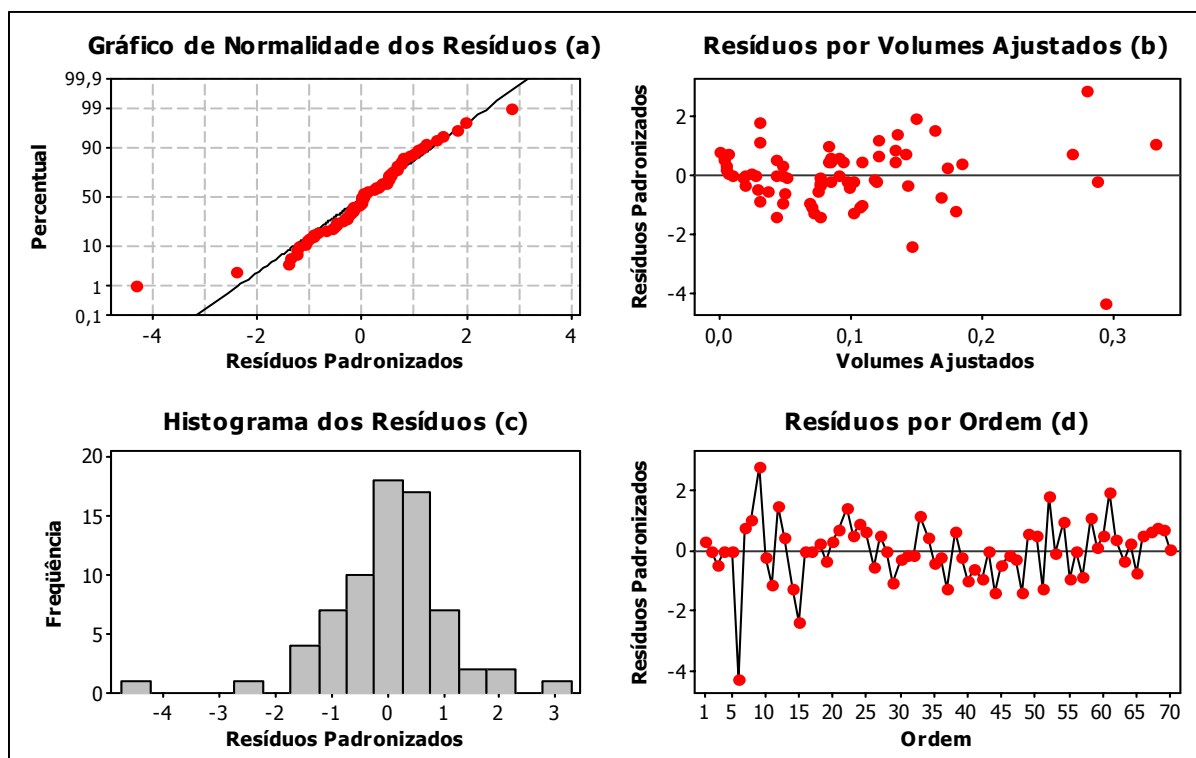


Figura 14: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Stoa com medições reais de *dap* e medições visuais de alturas feitas pelo Funcionário A.

Através do teste de normalidade e observações do gráfico (a) acima, constata-se que os resíduos padronizados das estimativas de volume geradas através das avaliações visuais de altura do Funcionário A não possui distribuição de probabilidade normal dos resíduos padronizados (p-valor – 0,022)

O modelo gerou seis observações não usuais, sendo elas observadas através dos gráficos (b) e (d). Essas observações não usuais são aquelas cujos volumes são mais elevados, ou seja, o modelo não explica muito bem estimativas de volumes elevados.

A seguir será apresentado os resultados da análise dos resíduos gerados através das estimativas do modelo de Stoaate com medições visuais de alturas feitas pelo Funcionário B.

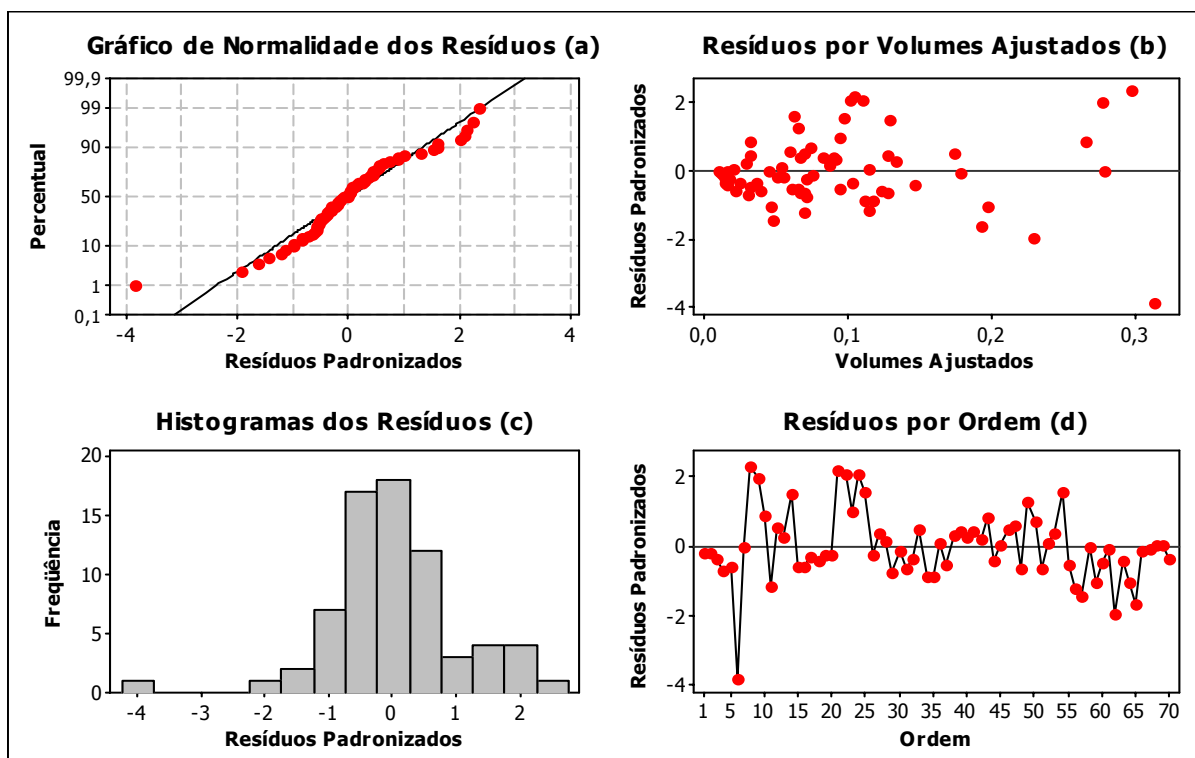


Figura 15: Análise dos resíduos gerados pelo modelo de Stoaate com medições reais de *dap* e medições visuais de alturas feitas pelo Funcionário B.

Constatou-se a través do teste de normalidade e gráfico (a), que os resíduos padronizados das estimativas geradas pelo modelo de Stoaate com medições visuais de alturas feitas pelo funcionário B não possui distribuição de probabilidade normal ($p\text{-valor} < 0,005$).

As estimativas geradas pelo funcionário B geraram oito observações não usuais, sendo um número maior que as estimativas geradas pelo funcionário A (seis observações). As observações não usuais foram as de maiores volumes, sendo visualizadas a partir do gráfico (b).

A seguir será apresentada a análise de correlação linear entre os volumes estimados através do modelo de Stoate com medições de alturas feitas pelos funcionários A e B.

Na tabela a seguir será apresentada a tabela com os resultados estatísticos da análise de correlação linear.

Tabela 16: Correlação entre o Volume Real e as estimações de volumes feitas através do modelo de Stoate com medições visuais de altura dos funcionários A e B.

Estimativa	Correlação	P-valor
Funcionário A	0,982	< 0,001
Funcionário B	0,960	< 0,001

Os volumes estimados pelo modelo de Stoate com medições visuais de altura feitas pelos funcionários A e B obtiveram correlação linear significativas em relação ao volume real (p -valores < 0,001). As estimativas feitas através das medições visuais de altura do funcionário A obtiveram melhores resultados em relação as estimativas feitas através das medições de alturas feitas pelo funcionário B, sendo os coeficientes de correlação lineares 0,982 e 0,96 respectivamente.

Abaixo será apresentado os digramas de dispersão das duas estimativas.

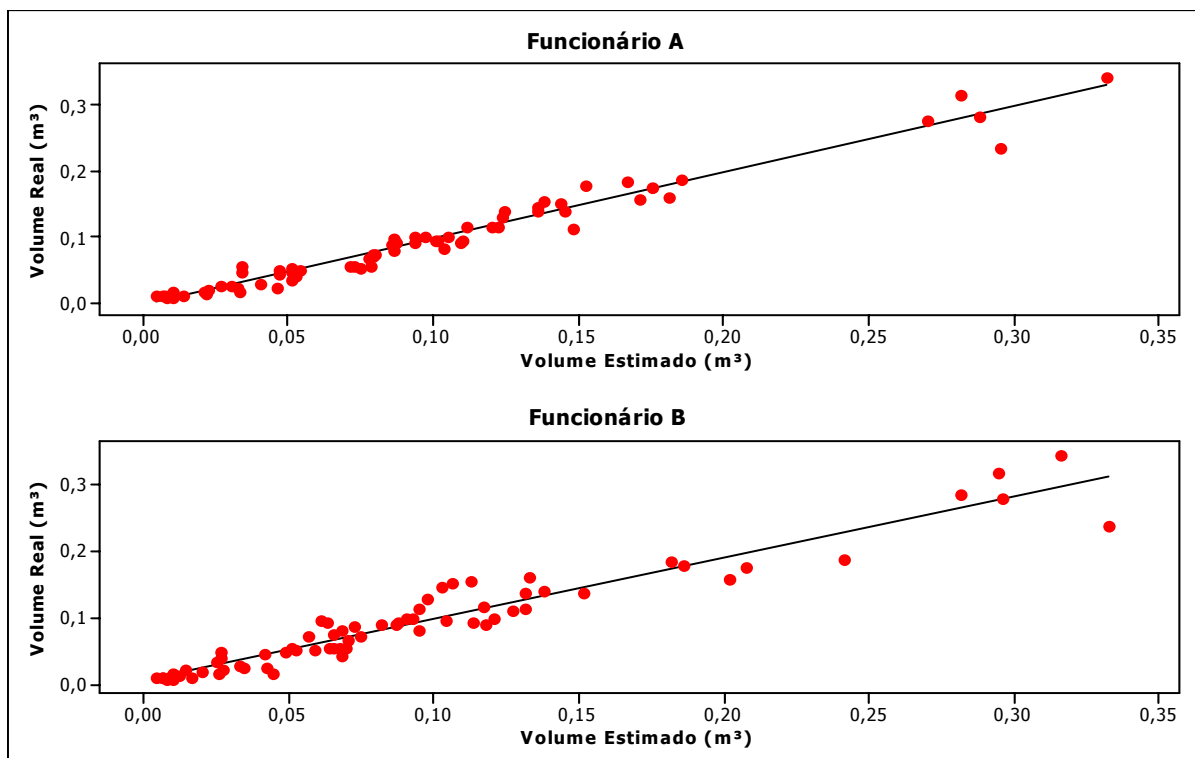


Figura 16: Diagramas de dispersão entre o Volume Real e as estimações de volumes feitas através do modelo de Stoate com medições visuais de altura dos funcionários A e B.

Tabela 17: Resumo dos resultados das medições de volumes através do modelo de Stoate com valores reais de *dap* e alturas estimadas pelos funcionários A e B.

Modelo	R ² (em %)	ρ	Distribuição Normal dos Resíduos?
Funcionário A	96,5	0,982	Não
Funcionário B	92,0	0,960	Não

Os resultados com o modelo de Stoate utilizando valores reais de *dap* e valores estimados visualmente de alturas pelos funcionários A e B obtiveram distribuição de probabilidade não normal dos resíduos. Conforme a tabela acima os coeficientes de determinação de ambas medições foram elevados, sendo eles, 96,5% e 92,0% respectivamente para cada funcionário. Os coeficientes de correlação das medições também foram elevados, sendo os coeficientes 0,982 e 0,96 respectivamente para cada funcionário.

Abaixo segue a análise de variância dos resultados.

Tabela 18: Análise de variância dos volumes reais e das medições de volumes através do modelo de Stoate com valores reais de *dap* e alturas estimadas pelos funcionários A e B.

Volume	N	Média	D.P.	Há diferença significativa?
Real	70	0,092	0,075	Não, p-valor = 0,966
Funcionário A	70	0,095	0,074	
Funcionário B	70	0,093	0,079	

A partir da análise de variância constata-se que as medições de volumes calculadas através do modelo de Stoate com valores reais de *dap* e alturas estimadas visualmente pelos funcionários A e B são significativamente iguais aos valores reais de altura (p-valor = 0,966).

4.4 RESULTADOS *BOOTSTRAP*

O presente trabalho como visto anteriormente, tem como objetivo principal a utilização do Estimador de Razão Generalizado na condução do inventário florestal. Para tanto, optou-se a utilização do teste não-paramétrico *Bootstrap* para a estimação do intervalo de confiança das estimativas.

A utilização do Estimador de Razão Generalizado é em decorrência da possibilidade de aumento na intensidade amostral da variável barata em questão, sendo assim possível a redução do intervalo de confiança das estimativas geradas.

Abaixo serão apresentados três cenários possíveis de utilização do método na condução do inventário florestal.

No primeiro cenário, serão utilizados os valores visuais de volume estimados pelos funcionários A e B.

Em seguida será apresentado os resultados com o modelo de Stoate, utilizando-se de informações reais de *dap* e estimativas visuais de alturas feitas pelos funcionários A e B.

No ultimo cenário, será utilizado valores reais de *dap* através do modelo de Hohenald-Krenm (modelo de uma entrada).

Vale salientar que a proposta do presente trabalho é aumentar a intensidade amostral de uma maneira rápida e objetiva, ou seja, com medições não muito precisas mas que com o auxílio do Estimador de Razão Generalizado e de posse com os valores reais das 70 árvores cubadas rigorosamente, e o acréscimo de 254 árvores referentes as medições “baratas”, para que possa-se melhorar as estimativas volumétricas.

4.4.1 Resultados com a simulação *Bootstrap* utilizando os valores estimados visualmente pelos funcionários A e B.

Como dito anteriormente, os funcionários A e B estimaram visualmente os volumes das 70 árvores abatidas, e num momento posterior fez-se a estimação visual de 254 árvores através da estimação visual, sendo estas ultimas, não se tendo os valores reais cubados rigorosamente.

A estimação visual no caso do presente trabalho será a variável barata empregada no Estimador de Razão Generalizado.

Os resultados de ambos funcionários segue na tabela abaixo.

Tabela 19: Análise de variância entre o volume real e os resultados com o uso do Estimador de Razão Generalizado via *Bootstrap* com base nas estimativas visuais de volumes feitas pelos funcionários A e B.

Volumes	Média	L. I.	L.S.	Há diferença significativa?
Real	0,092	0,074	0,11	Sim, p-valor < 0,001
Funcionário A	0,003	0,002	0,004	
Funcionário B	0,044	0,036	0,053	

A partir da tabela acima, verifica-se que as estimações visuais dos volumes calculadas através do Estimador de Razão Generalizado dos funcionários A e B são significativamente diferentes dos volumes reais ($p\text{-valor} < 0,001$), sendo ambas medições com intervalos de confiança menores que os valores de volumes reais.

As medições feitas pelo funcionário B foram melhores que as feitas pelo funcionário A, mas ambas diferentes dos valores reais.

Abaixo seguem os histogramas dos valores estimados para a presente situação.

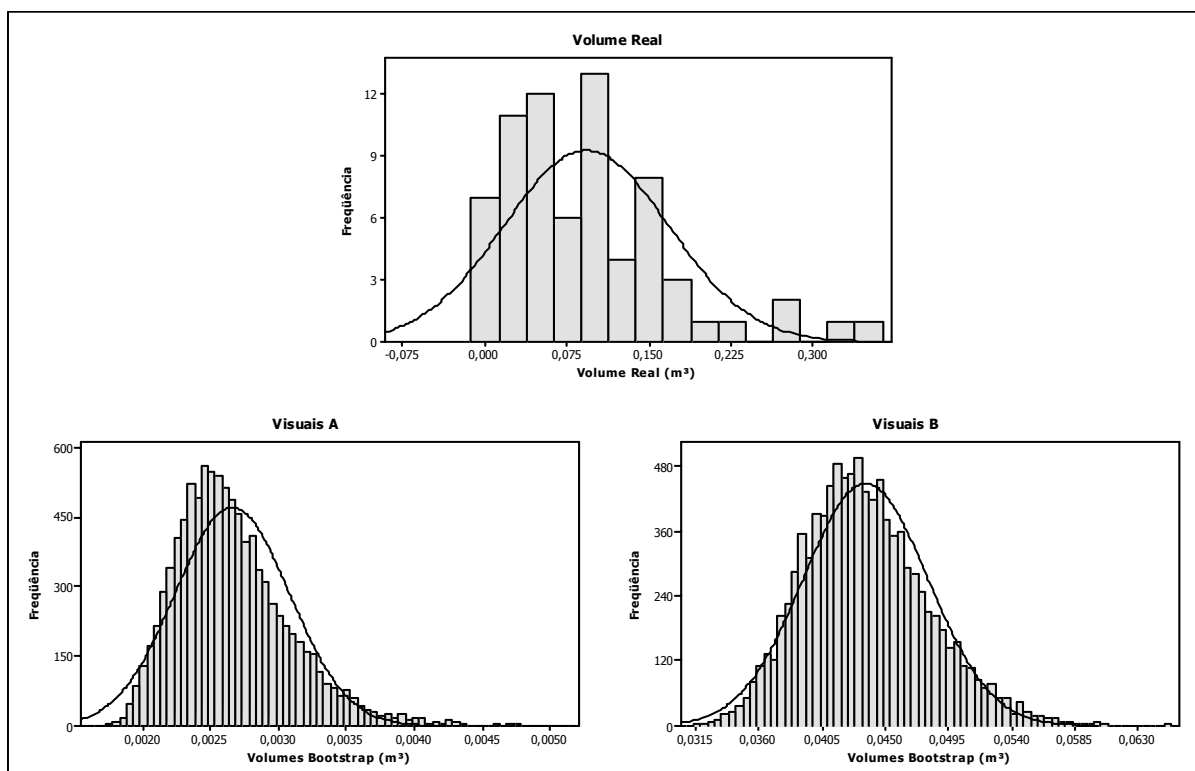


Figura 17: Histograma do volume real, volumes estimados visualmente pelos Funcionários A e B através do ERG e *Bootstrap*.

Esses resultados são explicados em decorrência de os funcionários não possuírem uma noção muito clara dos volumes das árvores. Porém os resultados de correlação linear feitos com os valores das 70 árvores cubadas rigorosamente demonstrou os volumes estimados visualmente por ambos funcionários possuírem um índice elevado, mesmo que as medições não sejam calibradas. Seguindo o raciocínio, caso os funcionários tivessem uma performance uniforme em relação as medições visuais de volume, os resultados da presente simulação também seriam melhores.

4.4.2 Resultados com a simulação *Bootstrap* utilizando o modelo de Stocate com medições visuais de alturas feitas pelos funcionários A e B.

Como definido anteriormente, a equação volumétrica de dupla entrada escolhida para as simulações foi o modelo de Stocate. Para a utilização do presente modelo, foi utilizado as medições visuais de altura feitas pelos funcionários A e B.

Para a utilização do Estimador de Razão Generalizado (ERG) foi feita uma cubagem rigorosa com 70 árvores no qual foi medido através da mesma o Volume Real de cada árvore, e também as estimativas visuais de alturas das mesmas, sendo comparados os volumes obtidos através da cubagem e os volumes estimados pelo modelo de Stocate com medições de alturas visuais feitas pelos funcionários.

De posse desses resultados, constatou-se anteriormente que os volumes reais possuem coeficiente de correlação linear significativamente associado aos valores reais obtidos através da cubagem rigorosa.

Os resultados empregando o Estimador de Razão Generalizado estão a seguir.

Tabela 20: Análise de variância entre o volume real e os resultados com o uso do Estimador de Razão Generalizado via *Bootstrap* com base nas no modelo de Stoate com valores reais de *dap* e alturas estimadas visualmente pelos funcionários A e B.

Volumes	Média	L. I.	L.S.	Há diferença significativa?
Real	0,092	0,074	0,110	Sim, p-valor< 0,001
Funcionário A	0,095	0,093	0,098	
Funcionário B	0,093	0,087	0,981	

Com a utilização do modelo de Stoate com valores reais de *dap* e valores visuais de alturas estimadas pelos funcionários A e B, o acréscimo de 254 árvores melhorou a acurácia das estimativas.

Através da análise de variância, constatou-se que as estimativas geradas pelos funcionários não são significativamente iguais aos valores reais de volumes.

As estimativas calculadas através das medições de alturas feitas pelo funcionário A foram melhores nas estimativas do que em relação ao funcionário B, tendo em vista ter originado um intervalo de confiança menor.

Abaixo seguem os histogramas das estimativas.

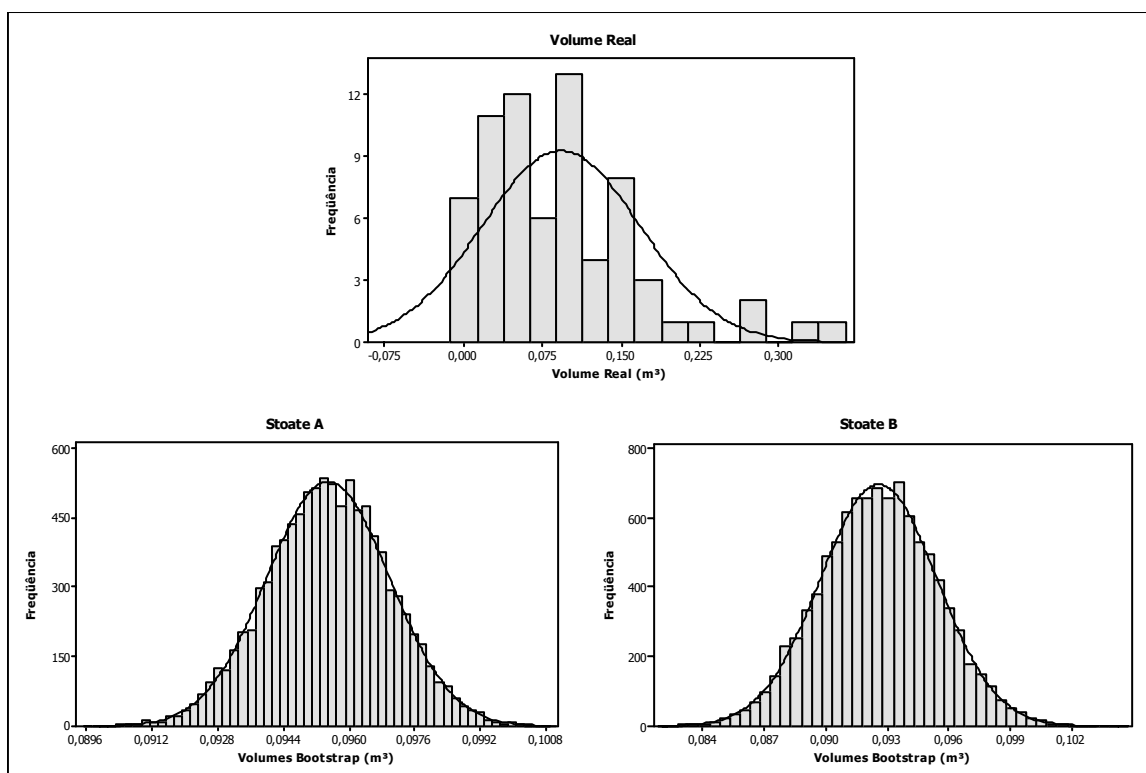


Figura 18: Histograma do volume real, volumes estimados através do modelo de Stoaite com valores reais de *dap* e estimativas visuais de alturas feitas pelos Funcionários A e B através do ERG e *Bootstrap*.

Como visto anteriormente as estimações visuais de altura e consequentemente dos volumes calculados anteriormente pelo modelo de Stoaite com valores de alturas estimados visualmente pelos funcionários A e B foram bem correlacionadas com os volumes reais das 70 árvores cubadas rigorosamente.

Com vista nos resultados a partir do acréscimo da 254 árvores, as estimativas foram melhoradas tanto para o funcionário A, quanto para o funcionário B.

4.4.3 Resultados com a simulação Bootstrap com a utilização do modelo de Hohenald-Krenm utilizando-se de valores reais de *dap*.

O último resultado foi a simulação com a equação de uma entrada de Hohenald-Krenm, sendo a mesma utilizando apenas valores de *dap*. Como visto anteriormente as medições reais de *dap* são rápidas e bem correlacionadas com o volume das árvores.

Abaixo segue os resultados obtidos com o emprego do Estimador de Razão Generalizado com o acréscimo das 254 árvores amostradas.

Tabela 21: Análise de variância entre o volume real e os resultados com o uso do Estimador de Razão Generalizado via *Bootstrap* com base nas no modelo de Hohenald-Krenm com valores reais de *dap*.

Volumes	Média	L. I.	L.S.	Há diferença significativa?
Real	0,092	0,074	0,110	Não,
Modelo	0,092	0,086	0,097	p-valor = 0,439

As estimativas geradas através da equação volumétrica de Hohenald-Krenm a partir do acréscimo das 254 árvores na amostra e utilizando-se do Estimador de Razão Generalizado melhorou as estimativas de volume real feitas anteriormente com os dados reais de volume.

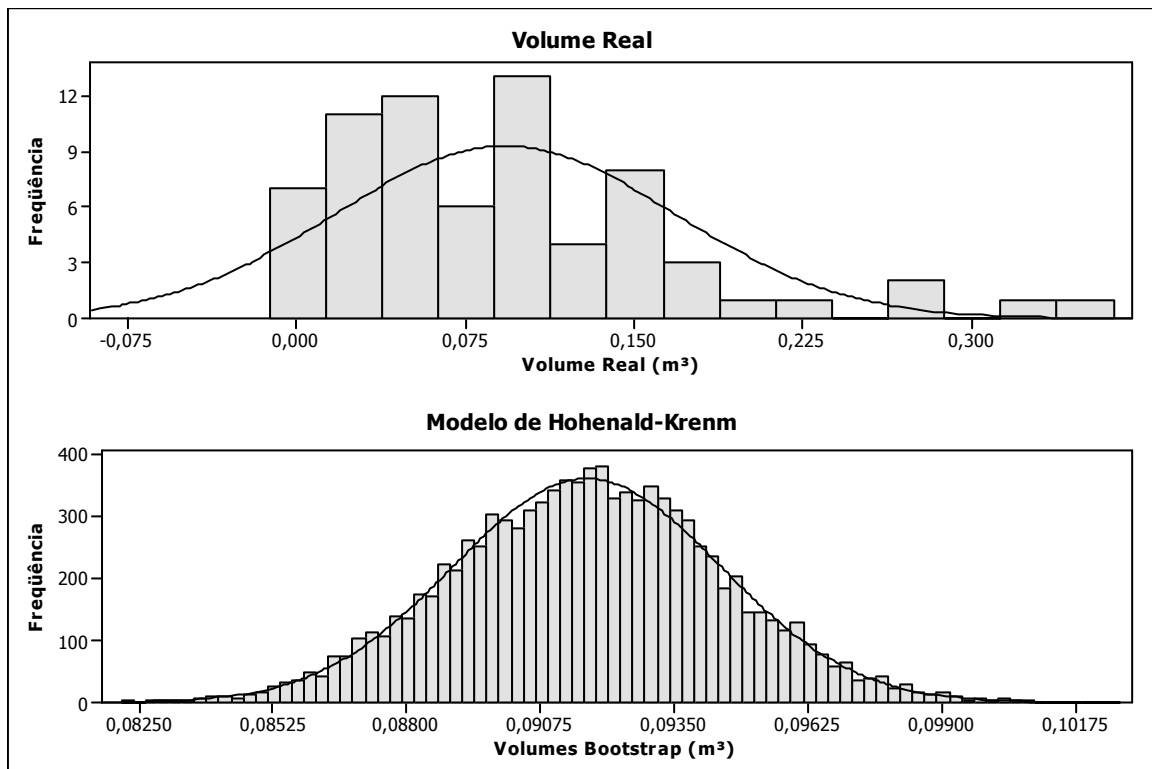


Figura 19: Histograma do volume real e dos volumes estimados através do modelo de Hohenald-Krenm com valores reais de *dap* e estimativas através do ERG e *Bootstrap*.

5. CONCLUSÕES

O Estimador de Razão Generalizado foi eficaz no aumento da precisão de estimativa do volume médio de madeira na área estudada, comprovada pelo intervalo de confiança obtido através das medições feitas com o modelo de Stoate utilizando dados reais de *dap* e alturas estimadas pelos funcionários A e B.

Os modelos de dupla entrada tiveram um desempenho melhor que os modelos de uma entrada, além disso, os modelos de dupla entrada não geraram resíduos tão grandes na estimação das árvores mais volumosas.

A utilização do Estimador de Razão Generalizado clássico seria o uso de volumes estimados diretamente para as árvores, neste quesito, o ERG não apresentou um desempenho desejável, provavelmente devido ao fato dos trabalhadores envolvidos não estarem acostumados a avaliar o volume de madeira numa árvore. Isso ficou evidenciado pelo baixo coeficiente de correlação linear entre o volume estimado visualmente pelos funcionários e o volume real das árvores.

Quando estimamos o volume das árvores através dos valores reais de *dap* e valores de alturas estimados visualmente pelos funcionários, através do modelo de dupla entrada de Stoate, obtivemos ótimos resultados decorrente da adequação dos modelos de dupla entrada, evidenciados em seus coeficientes de correlação linear em relação aos volumes reais, e as altas correlações entre as estimativas visuais de alturas feitas pelos funcionários, em decorrência de que os funcionários estarem constantemente medindo e registrando os valores de alturas das árvores, mas não tendo os valores de volumes das mesmas.

Assim surgem duas opções, sendo o uso das estimativas visuais feitas pelos funcionários e valores reais de *dap* via um modelo de dupla entrada e a utilização do ERG para o aumento da precisão da estimativa do volume das árvores.

Outra possibilidade seria o treinamento dos funcionários na avaliação do volume das árvores, isto é, um funcionário acostumado a “chutar” o volume tendo o valor calculado do volume da árvore ao lado com periódicas correções via cubagem rigorosa, certamente gerará volumes estimados mais próximos do real.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2005**. Brasília, 2006, 80p.

BACHA, C. J. C., BARROS, A. L. M. de. **Scientia Florestalis**. Reflorestamento no Brasil: evolução recente e perspectivas para o futuro.n.26, p. 191-203, dez. 2004.

BISCOLA, J. **Aplicação do Método Bootstrap na Estimação da Variância do Estimador de Razão**. Campinas: 1985. Dissertação de Mestrado. Departamento de Estatística – IMECC – UNICAMP.

BOLFARINE, H., BUSSAB, W. O. **Elementos de amostragem**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

BUSSAB, W. O., MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. São Paulo: Saraiva, 2004.

CABACINHA, C. D. **Um Método para a Realização do Inventário Florestal Suprimindo a Cubagem Rigorosa**. Lavras: 2003. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Florestal – UFLA.

CESARO, A; ENGEL, O. A.; FINGER, C. A. G; SCHNEIDER, P. R. Comparação dos métodos de amostragem de área fixa, relascopia, e de seis árvores, quanto a eficiência, no inventário florestal de um povoamento de *Pinus sp.* **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 97-108, 1994.

COCHRAN, W. G. M. *Sampling Techniques*. 3ª ed. New York: Jonh Wiley, 1977.

COUTO, H. T. Z. do, BASTOS, N. L. M. **IPEF**. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucapypthus* no Estado de São Paulo. n. 37, p. 33-44, dez. 1987.

COUTO, H. T. Z. do, BASTOS, N. L. M. **IPEF**. Erros na medição de altura em povoamentos de *Eucalyptus* em região plana. n.39, p.21-31, ago.1988.

COUTO, H. T. Z. do, BATISTA, J. L. F, RODRIGUES, L. C. E. **Documentos Florestais**. Mensuração e Gerenciamento de Pequenas Florestas. Piracicaba (5): 1-37, nov. 1989.

FERREIRA, C. A, MELLO, H. do A., KAJIYA, S. **IPEF**. Estimativa do volume de madeira aproveitável para celulose em povoamentos de *Eucalyptus* spp: Determinação de equações para o cálculo do volume de povoamentos de *Eucalyptus* spp. n 14, p.29-50, 1977

GOMES, F. P., GARCIA, C. H. **IPEF série técnica**. A determinação de equações volumétricas na engenharia florestal. Piracicaba, 9(26): 1-36, março 1993.

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

LEITE, H. G, ANDRADE, V. C. L.de. **Revista Árvore**. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. V. 26, n 3, p 321-328, 2002.

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

MATTOS, R. L. G.; VALENÇA, A. C. V. **BNDES setorial**. Reestruturação do setor de papel e celulose. Rio de Janeiro, n. 10, p. 253-268, set. 1999.

McTAGUE, J. P.; BATISTA, J. L. F.; STEINER, L. H. Equações de volume total, comercial e forma do tronco para plantações de *Eucalyptus* nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. **IPEF**. n. 41/42, p. 56-63, jan/dez. 1989.

MENDES, K. G. S. (1991). **O Estimador de Razão em Cadeia**. Campinas: 1991. Dissertação de Mestrado. Departamento de Estatística – IMECC – UNICAMP.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Mensuração Florestal 2: Volumetria**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 126 p.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 341p. (Curso de pós-graduação “lato sensu” (especialização) a distância: manejo de Florestas Plantadas e Florestas Nativas).

THOMAS, C., ANDRADE, C. M., SCHNEIDER, P. R., FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 16, n.3, p319-327, 2006.

VIEIRA, A. A. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Botucatu, Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1984.