

**IVAN CLEITON DE OLIVEIRA SILVA**

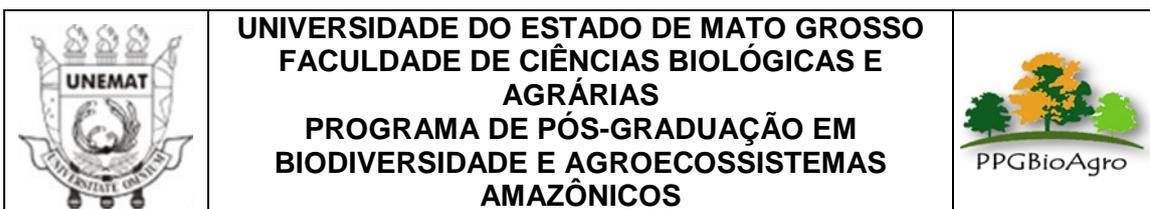
**EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS E FATOR DE  
FORMA PARA ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS  
NA AMAZÔNIA MERIDIONAL, MATO GROSSO**

**Dissertação de Mestrado**

**ALTA FLORESTA-MT**

**2018**

	IVAN CLEITON DE OLIVEIRA SILVA	Diss. MESTRADO	PPGBioAgro 2018



**IVAN CLEITON DE OLIVEIRA SILVA**

**EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS E FATOR DE  
FORMA PARA ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS  
NA AMAZÔNIA MERIDIONAL, MATO GROSSO**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Orientadora: Prof.(a) Dra. Juliana Garlet  
Coorientador: Prof. Dr. Vinícius Augusto Morais

**ALTA FLORESTA-MT**

**2018**

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO, CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Catalogação na fonte: Walter Clayton de Oliveira CRB1/2049

SILVA, Ivan Cleiton de Oliveira .  
S586e      Equações Volumétricas e Fator de Forma para Espécies  
Florestais Nativas na Amazônia Meridional, Mato Grosso. / Ivan  
Cleiton de Oliveira Silva - Alta Floresta, 2019.  
86 f.; 30 cm.(ilustrações) Il. color. (sim)

Trabalho de Conclusão de Curso  
(Dissertação/Mestrado) - Curso de Pós-graduação Stricto Sensu  
(Mestrado Acadêmico) Biodiversidade e Agroecossistemas  
Amazônicos, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias,  
Câmpus de Alta Floresta, Universidade do Estado de Mato  
Grosso, 2019.  
Orientador: Dra. Juliana Garlet  
Coorientador: Dr. Vinícius Augusto Morais

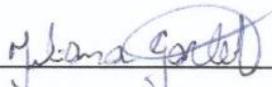
1. Madeiras Nativas. 2. Cubagem. 3. Manejo Florestal. 4.  
Equações de Volume. 5. Volumetria. I. Ivan Cleiton de Oliveira  
Silva. II. Equações Volumétricas e Fator de Forma para Espécies  
Florestais Nativas na Amazônia Meridional, Mato Grosso.: .  
CDU 630\*2(817.2)

# EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS E FATOR DE FORMA PARA ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL, MATO GROSSO.

Ivan Cleiton de Oliveira Silva

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Aprovada em: 13 de dezembro de 2018.



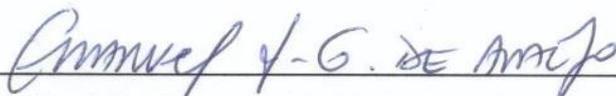
Prof. Dra. Juliana Garlet

Orientadora – UNEMAT/ PPGBioAgro



Prof. Dr. Vinícius Augusto Morais

UNEMAT/ PPGBioAgro



Prof. Dr. Emanuel José Gomes de Araújo

UFRRJ/ Silvicultura/Instituto de Floresta



Prof. Dra. Ivone Vieira da Silva

UNEMAT/ PPGBioAgro

À minha esposa e filhos,

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus nosso senhor que nos protege.

A minha esposa Jociane Rosseto de Oliveira Silva por estar sempre ao meu lado nesta caminhada.

Aos meus filhos Giovana Rosseto de Oliveira Silva, Gustavo Rosseto de Oliveira Silva, Andrew Matheus de Souza Oliveira e Marceley Karoline Amorim de Oliveira, motivos de enfrentar esta etapa de minha vida.

Aos meus pais Mauro Narciso da Silva e Leodina Oliveira da Silva, pelos ensinamentos de vida.

A minha orientadora Dr<sup>a</sup>. Juliana Garlet pelo apoio e orientação nesta caminhada.

Ao meu Co-orientador Dr<sup>o</sup>. Vinícius Augusto Moraes pelas orientações no desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), pela oportunidade oferecida.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos (PPGBioAgro), pelos ensinamentos recebidos.

A Carla Alessandra pela ajuda neste trabalho.

A minha sogra Adelina Machado Rosseto que sempre esteve presente.

Aos meus colegas de curso, por juntos seguir esta jornada.

“Quando o machado entrou na floresta, as árvores  
disseram:  
- O cabo é dos nossos!!!”

Provérbio Turco

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
RESUMO.....	xii
ABSTRACT .....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
2.1. Amazônia legal e meridional.....	04
2.2. Manejo florestal.....	04
2.3. Base florestal do estado de Mato Grosso .....	06
2.4. Características das espécies florestais deste estudo .....	07
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	11
3.1. Área de estudo.....	11
3.2. Ajuste de volume e fator de forma com casca. ....	12
3.2.1. Cubagem rigorosa da parte aérea.....	12
3.2.2. Modelos matemáticos para estimativa de volume .....	15
3.2.3. Fator de forma.....	16
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	17
4.1. Cubagem rigorosa da parte aérea .....	17
4.2. Modelos matemáticos para estimativa de volume por espécie.....	17
4.2.1. <i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke .....	17
4.2.2. <i>Ormosia paraensis</i> Ducke .....	21

4.2.3. <i>Qualea paraensis</i> Ducke .....	25
4.2.4. <i>Ocotea puberula</i> (Reich.) Nees .....	28
4.2.5. <i>Erisma uncinatum</i> Warm. ....	32
4.2.6. <i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke .....	35
4.2.7. <i>Dipeteryx odorata</i> (Aubl.) Willd. ....	39
4.2.8. <i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr. ....	42
4.2.9. <i>Trattinnickia burseraefolia</i> Mart. ....	46
4.2.10. <i>Aspidosperma eburneum</i> Alemão ex Saldanha .....	50
4.2.11. <i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth. ....	53
4.2.12. Mix das espécies estudadas .....	56
4.3. Fator de forma .....	60
5. CONCLUSÕES.....	62
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

## LISTA DE TABELAS

TABELAS	Página
1. Valores médios, mínimos e máximos das variáveis dendrométricas diâmetro à altura do peito (DAP), altura e volume das árvores das espécies na Amazônia Meridional.....	14
2. Relação dos modelos matemáticos de simples e dupla entrada para estimar volume comercial das onze espécies nativas na Amazônia Meridional.....	15
3. Número de árvores, valores médios do DAP e volume comercial calculado pelo método de Smalian para 219 árvores de 11 espécies da região na Amazônia Meridional.....	17
4. Equações de volume ajustadas para a espécie <i>Hymenolobium petraeum</i> na Amazônia Meridional.....	18
5. Equações de volume ajustadas para a espécie <i>Ormosia paraensis</i> na Amazônia Meridional.....	21
6. Equações de volume ajustadas para a espécie <i>Qualea paraensis</i> na Amazônia Meridional.....	25
7. Equações de volume ajustadas para a espécie <i>Ocotea puberula</i> na Amazônia Meridional.....	28
8. Equações de volume ajustadas para a espécie <i>Erisma uncinatum</i> na Amazônia Meridional.....	32
9. Equações de volume ajustadas para a espécie <i>Cedrelinga cateniformis</i> na Amazônia Meridional.....	35
10. Equações de volume ajustadas para a espécie <i>Dipteryx odorata</i> na Amazônia Meridional.....	39
11. Equações de volume ajustadas para a espécie <i>Apuleia leiocarpa</i> na Amazônia Meridional.....	42
12. Equações de volume ajustadas para a espécie <i>Trattinnickia burseraefolia</i> na Amazônia Meridional.....	46
13. Equações de volume ajustadas para a espécie <i>Aspidosperma eburneum</i> na Amazônia Meridional.....	50
14. Equações de volume ajustadas para a espécie <i>Bowdichia nitida</i> na Amazônia Meridional.....	53

15.	Equações de volume ajustadas para o mix de espécies estudadas na Amazônia Meridional.....	56
16.	Estimativa do fator de forma para volume comercial para as árvores de 11 espécies florestais na Amazônia Meridional.....	61

## LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Página
1. Mapa de localização e dimensão da área do Plano de Manejo Florestal Sustentável, município de Tabaporã/MT.....	12
2. Ilustração do procedimento de cubagem rigorosa pelo método de Smalian.....	13
3. Volumes observado e estimado para a espécie <i>Hymenolobium petraeum</i> na Amazônia Meridional.....	19
4. Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie <i>Hymenolobium petraeum</i> na Amazônia Meridional.....	20
5. Volumes observado e estimado para a espécie <i>Ormosia paraensis</i> na Amazônia Meridional.....	23
6. Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie <i>Ormosia paraensis</i> na Amazônia Meridional.....	24
7. Volumes observado e estimado para a espécie <i>Qualea paraensis</i> na Amazônia Meridional.....	26
8. Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie <i>Qualea paraensis</i> na Amazônia Meridional.....	27
9. Volumes observado e estimado para a espécie <i>Ocotea peberula</i> na Amazônia Meridional.....	30
10. Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie <i>Ocotea puberula</i> na Amazônia Meridional.....	31
11. Volumes observado e estimado para a espécie <i>Erisma uncinatum</i> na Amazônia Meridional.....	33
12. Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie <i>Erisma uncinatum</i> na Amazônia Meridional.....	34
13. Volumes observado e estimado para a espécie <i>Cedrelinga cateniformis</i> na Amazônia Meridional.....	37

14.	Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie <i>Cedrelinga cateniformis</i> na Amazônia Meridional.....	38
15.	Volumes observado e estimado para a espécie <i>Dipteryx odorata</i> na Amazônia Meridional.....	40
16.	Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie <i>Dipteryx odorata</i> na Amazônia Meridional.....	41
17.	Volumes observado e estimado para a espécie <i>Apuleia leiocarpa</i> na Amazônia Meridional.....	44
18.	Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie <i>Apuleia leiocarpa</i> na Amazônia Meridional.....	45
19.	Volumes observado e estimado para a espécie <i>Trattinnickia burseraefolia</i> na Amazônia Meridional.....	48
20.	Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie <i>Trattinnickia burseraefolia</i> na Amazônia Meridional.....	49
21.	Volumes observado e estimado para a espécie <i>Aspidosperma eburneum</i> na Amazônia Meridional.....	51
22.	Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie <i>Aspidosperma eburneum</i> na Amazônia Meridional.....	52
23.	Volumes observado e estimado para a espécie <i>Bowdichia nitida</i> na Amazônia Meridional.....	54
24.	Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie <i>Bowdichia nitida</i> na Amazônia Meridional.....	55
25.	Volumes observado e estimado para o mix de espécies na Amazônia Meridional.....	58
26.	Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para o mix das espécies estudadas na Amazônia Meridional.....	59

## LISTA DE SIGLAS

**CIPEM** Centro das Indústrias Produtoras e Exportadoras de Madeira do Estado de Mato Grosso

**CONAMA** Conselho Nacional do Meio Ambiente

**CPPF** Coordenação de Pesquisas em Produtos Florestais

**EMBRAPA** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**DAP** Diâmetro a altura do peito

**IBGE** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**INPA** Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

**MCT** Ministério da Ciência e Tecnologia

**PMFS** Plano de Manejo Florestal Sustentável

**PRODEAGRO** Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso

**UPA** Unidade de Produção Anual

**ha** Hectare(s)

**FF** Fator de forma

## RESUMO

SILVA, Ivan Cleiton de Oliveira M.Sc. Universidade do Estado de Mato Grosso, Dezembro de 2018. **Equações volumétricas e fator de forma para espécies florestais nativas na Amazônia Meridional, Mato Grosso.**

Orientadora: Juliana Garlet. Coorientador: Vinícius Augusto Moraes.

Uma das formas de utilização dos recursos madeiráveis que a floresta Amazônica oferece é a exploração através de projetos de manejo florestal sustentável. O objetivo deste trabalho foi ajustar equações volumétricas e fator de forma para onze espécies comerciais na Amazônia Meridional no norte de Mato Grosso. Para a cubagem, as árvores foram abatidas e arrastadas até o pátio de estocagem onde foram mensurados as variáveis dendrométricas altura e diâmetros (DAP a 1,30 m do solo). O número de árvores por espécie variou de 12 a 33. O método empregado para estimativa volumétrica foi o de Smalian. Foram testados 8 modelos matemáticos de simples e dupla entrada cujas variáveis independentes foram DAP e altura comercial. Os ajustes tiveram como variável dependente o volume comercial, por espécie e para o mix de espécies. Todas as estatísticas foram analisadas conjuntamente com os gráficos de volume observado e estimado e os de dispersão dos resíduos e a média dos resíduos. Foi calculado o fator de forma por espécie e para o mix das espécies. O volume total calculado para as 219 árvores cubadas pelo método de Smalian foi de 898,74 m<sup>3</sup> e volume médio de 4,11 m<sup>3</sup>. Dos modelos matemáticos testados, por espécie, as equações que apresentaram melhores estimativas foram as de dupla entrada, sendo elas Schumacher-Hall, Meyer e Naslund. Para a equação de volume de Schumacher-Hall, os valores do coeficiente de determinação ajustado e erro de estimativa para sete espécies, respectivamente, foram: *Ormosia paraensis*:  $R^2_{aj} = 0,994$  e  $S_{yx} = 0,6371$  m<sup>3</sup>; *Qualea paraensis*:  $R^2_{aj} = 0,921$  e  $S_{yx} = 0,4584$  m<sup>3</sup>; *Ocotea puberula*:  $R^2_{aj} = 0,985$  e  $S_{yx} = 0,1057$  m<sup>3</sup>; *Erismia uncinatum*:  $R^2_{aj} = 0,963$  e  $S_{yx} = 0,5665$  m<sup>3</sup>; *Cedrelinga cateniformis*:  $R^2_{aj} = 0,985$  e  $S_{yx} = 0,3666$  m<sup>3</sup>; *Dipteryx odorata*:  $R^2_{aj} = 0,985$  e  $S_{yx} = 0,1727$  m<sup>3</sup>; e *Bowdichia nitida*:  $R^2_{aj} = 0,996$  e  $S_{yx} = 0,3481$  m<sup>3</sup>. O modelo proposto por Naslund que resultou nos melhores ajustes de equações e valores do coeficiente de determinação ajustado para duas espécies, respectivamente, foram: *Hymenolobium petraeum*:

$R^2_{aj} = 0,998$  e  $S_{yx} = 0,1942 \text{ m}^3$ ; e *Trattinnickia burseraefolia*:  $R^2_{aj} = 0,996$  e  $S_{yx} = 0,5283 \text{ m}^3$ . O modelo matemático de Meyer que resultou nas melhores equações e valores do coeficiente de determinação ajustado e erro de estimativa para duas espécies, respectivamente, foram: *Apuleia leiocarpa*:  $R^2_{aj} = 0,997$  e  $S_{yx} = 0,2074 \text{ m}^3$ ; e *Aspidosperma eburneum*:  $R^2_{aj} = 0,996$  e  $S_{yx} = 0,0834 \text{ m}^3$ . O modelo que melhor se ajustou para o mix de espécies foi o de Schumacher-Hall e o coeficiente de determinação ajustado foi de  $R^2_{aj} = 0,983$  e erro de estimativa de  $S_{yx} = 0,4083 \text{ m}^3$ . O modelo de Schumacher-Hall apresentou maior precisão nos ajustes para sete das espécies estudadas, Naslund para duas e Meyer para duas espécies. Para o mix de espécies o modelo de Schumacher-Hall foi o que obteve a melhor precisão nos ajustes de volumes. Para as espécies avaliadas, utilizar o fator de forma individualmente por espécie.

Palavras-chave: madeiras nativas, cubagem, manejo florestal, equações de volume, volumetria.

## ABSTRACT

SILVA, Ivan Cleiton de Oliveira M.S. Universidade do Estado de Mato Grosso, December of 2018. **Volumetric equations and form factor for native forest species in Southern Amazonia, Mato Grosso.**

Adviser: Juliana Garlet. Coadviser: Vinícius Augusto Morais.

One of the ways of using the wood resources that the Amazon forest offers is the exploitation through sustainable forest management projects. The objective of this work was to adjust volumetric equations and form factor for eleven commercial species in the Southern Amazon in the north of Mato Grosso. To verify the volume, the trees were cut down and dragged to the storage yard where they were measured the dendrometric variables: height and diameter at breast height (DBH at 1.30 m from the soil). The number of trees per species ranged from 12 to 33. The Smalian method was used for volumetric estimation. Eight mathematical models of simple and double entry were tested, whose independent variables were DBH and commercial height. The adjustments were based on the commercial volume, by species and for the mix of species. All the statistics were analyzed together with the graphs of observed and estimated volume and the dispersion of the residues and the mean of the residues. The form factor was calculated by species and for the species mix. The total volume calculated for the 219 trees covered by the Smalian method was 898.74 m<sup>3</sup> and an average volume of 4.11 m<sup>3</sup>. From the mathematical models tested, by species, the equations that presented the best estimates were those of double entry, being Schumacher-Hall, Meyer and Naslund. For the Schumacher-Hall volume equation, the adjusted coefficient of determination and estimated error for seven species, respectively, were: *Ormosia paraensis*:  $R^2_{aj} = 0,994$  and  $S_{yx} = 0,6371$  m<sup>3</sup>; *Qualea paraensis*:  $R^2_{aj} = 0,921$  and  $S_{yx} = 0,4584$  m<sup>3</sup>; *Ocotea puberula*:  $R^2_{aj} = 0,985$  and  $S_{yx} = 0,1057$  m<sup>3</sup>; *Erismia uncinatum*:  $R^2_{aj} = 0,963$  and  $S_{yx} = 0,5665$  m<sup>3</sup>; *Cedrelinga cateniformis*:  $R^2_{aj} = 0,985$  and  $S_{yx} = 0,3666$  m<sup>3</sup>; *Dipteryx odorata*:  $R^2_{aj} = 0,985$  and  $S_{yx} = 0,1727$  m<sup>3</sup>; and *Bowdichia nitida*:  $R^2_{aj} = 0,996$  e  $S_{yx} = 0,3481$  m<sup>3</sup>. The model proposed by Naslund that resulted in the best adjustments of equations and values of the adjusted coefficient of determination and estimation error for two species, respectively, were: *Hymenolobium petraeum*:  $R^2_{aj} = 0,998$

and  $S_{yx} = 0,1942 \text{ m}^3$ ; and *Trattinnickia burseraefolia*:  $R^2_{aj} = 0,996$  and  $S_{yx} = 0,5283 \text{ m}^3$ ; Meyer's mathematical model that resulted in the best equations and values of the adjusted coefficient of determination and estimation error for two species, respectively, were: *Apuleia leiocarpa*:  $R^2_{aj} = 0,997$  and  $S_{yx} = 0,2074 \text{ m}^3$ ; and *Aspidosperma eburneum*:  $R^2_{aj} = 0,996$  and  $S_{yx} = 0,0834 \text{ m}^3$ . The model that best fit the mix of species was that of Schumacher-Hall and the adjusted coefficient of determination and estimation error was  $R^2_{aj} = 0.983$  and  $S_{yx} = 0.4083 \text{ m}^3$ . The Schumacher-Hall model presented higher precision in the adjustments for seven of the species studied, Naslund for two and Meyer for two species. For the species mix the Schumacher-Hall model was the one that obtained the best precision in the volume adjustments. For the evaluated species, use the form factor individually by species.

Key words: native woods, scaling, forest management, volume equations, volumetry.

## 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia Brasileira é a maior extensão de floresta tropical do mundo, e a sua variedade de recursos naturais ocorre em consequência das diferentes associações vegetais que crescem sob a influência de fatores ambientais intrínsecos a cada ecossistema que forma esse bioma (LIMA et al., 2014). Dada a riqueza e diversidade, essas florestas tornam-se alvo da exploração controlada e predatória de recursos madeiráveis e não-madeiráveis.

Uma das formas de utilização dos recursos madeiráveis que a floresta Amazônica oferece é a exploração através de projetos de manejo florestal sustentáveis, que visam explorar a matéria-prima com menor impacto possível. Para que os impactos ambientais sejam minimizados na execução desses projetos, faz-se necessário conhecer o potencial volumétrico que as áreas que serão exploradas possuem.

Nas florestas nativas, o conhecimento cada vez mais preciso do estoque florestal está intimamente ligado a definição de critérios, sendo estes: que espécies manejar, se a floresta tem potencial de produção e sobretudo na conservação e preservação ambiental. Seja em áreas de florestas de grande porte, ou em áreas de cerrado o uso correto dos fundamentos de biometria florestal podem constituir-se num dos grandes instrumentos de auxílio no controle do desmatamento (SCOLFORO & MELO, 1997).

O manejador florestal deve alinhar suas decisões em informações biológicas, econômicas, sociais, ambientais e de mercado, de modo a propiciar que a sustentabilidade desta prática, perpetue a atividade florestal no local onde o empreendimento estiver sendo executado (SCOLFORO, 1998) e quando bem manejadas as florestas de produção garantem a maximização dos multiprodutos advindos da madeira (FAVALESSA, 2011) tendo o volume de madeira em toras o produto principal.

Nesse contexto, o volume total, comercial ou de partes da árvore são variáveis de interesse a serem estimadas em florestas sujeitas à prática do manejo florestal sustentável e estimando-se estes volumes com precisão, os planos de manejo, as análises de investimento e as tomadas de decisão também serão precisas (RUFINI et al., 2010)

Para a obtenção dos volumes é necessário a realização do inventário florestal 100%, que consiste na medição, das variáveis dendrométricas diâmetro e altura, de todas as espécies de interesse comercial existentes em uma área de exploração anual (MATO GROSSO, 2014) visando planejar as operações florestais e as estimativas da quantidade e da distribuição da madeira disponível (LEITE & ANDRADE, 2002).

Quantificar volumes reais propicia obter equações de volume, fator de forma e funções de afilamento, que serão utilizados nas estimativas do volume de árvores individuais (SCOLFORO & FIGUEIREDO FILHO, 1998). É importante obter equações de volume específicas para cada área de avaliação, pois a quantificação incorreta dos estoques volumétricos ocasiona perdas econômicas, comprometendo o planejamento florestal (GAMA et al., 2017).

Um dos métodos mais usuais de estimativa do volume comercial é o fator de forma, que considera a conicidade das árvores estabelecendo a relação entre o volume de madeira e o volume cilíndrico estimado utilizando-se a área transversal da árvore à 1,30 metros do solo (DAP) e a altura do fuste comercial (THAINES et al., 2010). O fator de forma fornece estimativas confiáveis, desde que se controle a tipologia florestal, espécie e classe diamétrica, mas essa é uma opção que deve ser utilizada nas situações em que não se tenha nenhuma informação sobre o fator de forma da árvore ou, ainda, quando for necessário rapidez no trabalho de inventário (FIGUEIREDO; SCHROEDER; PAPA, 2009).

O fator de forma único, utilizado nos planos de manejo florestal sustentável pode gerar erros de sub e super estimativas, dependendo da conicidade da árvore cujo volume foi estimado. Assim, os erros de volumetria levam a liberação errônea de volume a ser explorado, levando a uma sobra ou falta de volume nos planos de manejo aprovados pelo órgão ambiental competente.

Entretanto, no Brasil, as pesquisas, que tem como foco analisar o perfil do tronco das árvores, são voltadas, principalmente, para as espécies exóticas comerciais dos gêneros *Eucalyptus*, *Pinus* e *Tectona grandis* (MACHADO; CONCEIÇÃO; FIGUEIREDO, 2002; DRESCHER et al., 2014; MIRANDA; JÚNIOR; GOUVEIA, 2015).

O ajuste de equações volumétricas ou mesmo do fator de forma, únicos por espécie, são valiosas ferramentas para condução de planos de manejo sustentáveis, uma vez que será possível obter estimativas volumétricas mais próximas do real, desde que os mesmos sejam ajustados em diferentes regiões do Estado, contemplando as diferenças fisionômicas e características específicas de cada região.

Embora na região norte mato-grossense ocorra a exploração de várias espécies florestais, neste estudo trabalhou-se com as onze espécies que tiveram aptidão para serem exploradas na área cedida para o estudo, ressaltando-se que o critério considerado foi a autorização do órgão ambiental competente. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi ajustar equações volumétricas e fator de forma para espécies florestais comerciais na Amazônia Meridional no norte de Mato Grosso.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Amazônia legal e meridional**

A Amazônia é caracterizada pela presença de paisagens naturais, dicotômicas entre o comportamento hidrológico e de flora e fauna. É considerada do ponto de vista global como tropical e a paisagem abiótica de características distintas, alertando para a fragilidade de sua biodiversidade e de seus ecossistemas (FERREIRA & SALATI, 2005). Os mesmos autores mencionam que, tanto política quanto economicamente, a região amazônica brasileira teve seu recorte geográfico institucionalizado como Amazônia legal a partir de da Lei nº 5.173, de 27 de outubro de 1966, incluindo além de toda a região Norte (estados do Amazonas, Pará, Acre, Amapá, Rondônia, Roraima) parte sul e oeste do estado do Maranhão, o norte do estado do Tocantins e do estado de Mato Grosso. Essa Lei previa tratamento especial nos processos de colonização ali a serem estabelecidos, com vistas à não descaracterização desse espaço geográfico. Ao longo do tempo, esta mesma Amazônia legal tem sido objeto de atribuição de uma infinidade de órgãos que vai do controle ambiental ao ordenamento territorial.

Devido a necessidade de conter o avanço do desmatamento na Amazônia, o governo brasileiro instituiu, através da Portaria nº 332, de 25 de agosto de 2011, o mosaico da Amazônia Meridional, abrangendo as seguintes áreas, localizadas na região limítrofe entre os Estados do Amazonas, Mato Grosso e Rondônia (BRASIL, 2011).

### **2.2 Manejo Florestal**

O manejo florestal é a principal atividade econômica que possibilita a manutenção da cobertura florestal natural e estimula o manejo e o interesse pela floresta, sendo fator decisivo para inibir o uso de terras que impliquem em desflorestamento (BRAZ et al., 2008).

Segundo Scolforo (1998), o manejo florestal está centrado no conceito da utilização de forma sensata e sustentada dos recursos florestais, de modo que as gerações futuras possam usufruir pelo menos dos mesmos benefícios da geração presente.

A necessidade de quantificação do estoque de matéria-prima florestal em florestas nativas busca métodos eficientes de estimativa do volume comercial de madeira das árvores, que possibilitem quantificar o estoque presente e futuro de maneira eficiente e precisa, contribuindo nas decisões silviculturais que culminem na máxima produção e rentabilidade da floresta (THAINES et al., 2010).

A estimativa volumétrica de uma espécie arbórea pode ser realizada de duas formas mais usuais. A primeira delas, e mais precisa, utiliza modelos matemáticos ajustados com dados de cubagem rigorosa advindos de árvores amostras, que gerarão equações de volume. Estas necessitam de valores de diâmetro ou a combinação de diâmetro e altura medidas em campo para estimativa volumétrica. A segunda metodologia utiliza-se de um fator de forma, que é uma correção do volume do cilindro determinado a partir do diâmetro e altura da árvore em questão (CHAPMAN & MAYER, 1949).

Os primeiros estudos de medição de árvores e povoamentos, da forma das árvores das diferentes espécies florestais, métodos para quantificação do volume e estudos de crescimento e produção datam do século XVIII. Porém ainda hoje, o tema engloba uma série de pesquisadores e cientistas envolvidos no desenvolvimento de técnicas precisas de medição e quantificação das variáveis diâmetro, altura, volume, peso, copa e os múltiplos produtos da madeira que as árvores e os povoamentos podem propiciar. Os estudos de crescimento e produção têm apresentado grandes evoluções nas últimas décadas, principalmente a modelagem da estrutura diamétrica das florestas plantadas e também das florestas nativas, sejam ou não de composição variada em espécie e idade, e sujeitas ou não a regimes de manejo (SCOLFORO & THIERSCH, 2004).

A quantificação do volume sólido em formações florestais é imprescindível para a implementação de planos de manejo sustentável das florestas. Para quantificar esse volume, executa-se o inventário florestal. Este consiste na aplicação de técnicas de amostragem para estimar o volume real para a área total (FRANCEZ et al, 2010). Quando se refere aos povoamentos florestais naturais, mede-se toda a população (censo florestal 100%). Assim têm-

se parâmetros da quantidade e da distribuição de madeira disponível (FRANCEZ et al, 2010), facilitando o planejamento das operações florestais.

Gomes e Garcia (1993) afirmam que as equações para a determinação de volume sólido de espécies florestais são de uso geral e indispensáveis na Silvicultura. Como todas elas são empíricas faz-se necessário ajustá-las com frequência para adaptá-las a diferentes espécies, idades, distribuição e regiões. A vantagem das equações de volume é o cálculo de volume sólido, árvore a árvore, através de modelos matemáticos testados para apresentar os menores erros possíveis (COUTO & BASTOS, 1987).

As equações volumétricas constituem em um dos procedimentos mais eficientes na estimativa do volume em árvores em pé, e o procedimento de maior uso na estimativa do volume individual é o emprego de equações em que o volume é a variável dependente, associado às variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como diâmetro a 1,30 do solo (DAP com casca) e altura total ou comercial (MACHADO, CONCEIÇÃO; FIGUEIREDO, 2002).

Equações matemáticas foram propostas e utilizadas para estimar o volume de povoamentos florestais: Kopecky-Gehhardt, Berkhout, B. Husch (BARROS & SILVA JÚNIOR, 2009), Takata, Prodan, Compreensiva, Meyer modificado, Dissecu-Meyer (OLIVEIRA et al., 2017) entre outras. Apesar da eficiência de algumas equações, estas nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições das populações florestais, sendo recomendável testá-las e, por meio de testes estatísticos, elege-se a equação de melhor resultado (THOMAS et al., 2006).

Nos estados que compõem a região norte do Brasil existem vários trabalhos recentes disponíveis na literatura científica que analisam equações volumétricas ajustadas a partir de árvores cubadas a campo para um mix de espécies nativas (BARROS & SILVA JÚNIOR, 2009; LIMA et. al., 2014; SILVA & SANTANA, 2014; GIMENEZ et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2017), porém para o estado de Mato Grosso, poucos são os trabalhos desenvolvidos neste sentido (COLPINI, 2008; COLPINI et al., 2009; MIRANDA et al., 2014) e as análises não são realizadas por espécie, individualmente.

### **2.3 Base Florestal no Estado de Mato Grosso**

De acordo com Torezzan (2018) o CIPEM estima que a madeira do Mato Grosso é oriunda de 3,2 milhões de hectares de florestas manejadas e a expectativa é de chegar a 6 milhões de hectares até 2030. A atividade agrega mais de 6 mil produtores, sendo cerca de 1.800 indústrias e comércios que empregam mais de 90 mil pessoas direta e indiretamente por todo o estado. Ao todo 44 municípios Mato-grossenses tem como base econômica a atividade florestal, colocando o setor na 4ª posição do ranking da economia estadual. Em 2017, a produção totalizou mais de 5 milhões de metros cúbicos de madeira de origem sustentável. Já o volume comercializado no ano atingiu 6,34 milhões de metros cúbicos, dos quais cerca de 72 mil m<sup>3</sup> foram exportados rendendo uma receita de US\$ 149,6 milhões.

Segundo Monteiro et al. (2012), entre os anos de 2011 e 2012 foram exploradas 197.748 hectares de florestas no Mato Grosso. No entanto, destes, apenas 46% (91.085 ha) foram autorizados, sendo que a área não autorizada cresceu em 63% em comparação ao período de 2010-2011. Em 2013 a Câmara Técnica Florestal do estado de Mato Grosso publicou a resolução nº 002, que dispõe sobre Planos de Manejo Florestal Sustentável aprovados a partir de 24 de março de 2009 (MATO GROSSO, 2013) devido as novas exigências da Resolução do CONAMA nº 406 (BRASIL, 2009) que determina que para exploração da segunda UPA, deverão ser apresentados os cálculos de volume mediante equação de volume para as espécies a serem exploradas. Estas resoluções reconhecem as falhas nas estimativas apresentadas pelos detentores dos PMFS e estabelece normas para estimativa volumétrica.

#### **2.4 Características das espécies florestais deste estudo**

Das espécies florestais estudadas, seis (6) pertencem a família Fabaceae: cedro-amazonense, champanhe, anjelim-pedra, garapeira, anjelim-tento, sucupira-amarela. Duas (2) espécies florestais da família Vochysiaceae: cedrinho e cambará. As famílias Apocynaceae, Lauraceae e Burseraceae foram representadas por uma (1) espécie respectivamente: peroba-amarela, canelão e morcegueira.

Família Fabaceae: *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke (Cedro-amazonense) possui distribuição em toda a Amazônia. Habita em lugares

úmidos como nas matas altas de terra firme. É uma madeira de baixa densidade, cerne e alburno pouco distintos, de cor creme-róseo. Empregada na construção leve, moveis, acabamentos, assoalhos, engradados, paletes, caixas, compensados, torneados e laminados (LOUREIRO et al., 2000).

*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. (Champanhe) ocorre na região Amazônica desde o Estado do Acre até o Maranhão, na floresta pluvial de terra firme e de várzea. Possui cerne marrom-amarelado distinto do alburno marrom-muito-pálido, madeira pesada, secagem ao ar livre lenta e rápida em estufa, difícil processamento mecânico, resistente a fungos, insetos e brocas, sendo indicada para a construção civil, dormentes, construção naval e móveis (LORENZI, 1998).

*Hymenolobium petraeum* Ducke (Angelim-pedra) apresenta ocorrência em toda região Amazônica. Possui cerne marrom-amarelado claro, distinto do alburno marrom-pálido. Madeira de densidade média, secagem muito rápida em estufa, fácil de trabalhar acabamento de regular a bom na plaina, madeira durável. Com uso na construção civil, móveis e outros (SOUZA; MAGLIANO & CAMARGOS, 1997).

*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr (Garapeira) tem ocorrência no Brasil na Amazônia, Mata Atlântica, Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Rio Grande do Sul, Rondônia e São Paulo. Madeira moderadamente pesada, dura, fácil de trabalhar, de longa durabilidade, podendo entretanto ser atacada por cupins. Empregada na construção civil, postes, moirões, dormentes, vigas de pontes (LORENZI, 1992).

*Ormosia paraensis* Ducke (Angelim-tento) é encontrada na região Amazônica e Estado do Mato Grosso. Madeira de densidade média, cerne alaranjado-pálido, bem diferenciado do alburno de cor cinza com reflexos creme, a secagem é tida como rápida, madeira de processamento regular a fácil. Seu uso está relacionado a construção civil interna como caibros, vigas, tabuados e caixotarias (LOUREIRO; FREITAS & FREITAS, 1997).

*Bowdichia nitida* Spruce ex Benth. (Sucupira-amarela) ocorre em toda a Amazônia. Possui cerne marrom-chocolate quando recém cortado tornando marrom-escuro após a secagem, madeira pesada, secagem em estufa muito

rápida e ao ar muito difícil, moderadamente difícil de ser trabalhada, durável e resistente ao ataque de fungos e cupins da de madeira seca, baixa resistência às brocas marinhas. Utilizada para móveis, laminados decorativos, esquadrias, lambris, vigas, caibros, assoalhos, dormentes, pontes e outros (SOUZA; MAGLIANO & CAMARGOS, 1997).

Família Vochysiaceae: *Erismia uncinatum* Warm. (Cedrinho) apresenta ocorrência no Brasil na Amazônia, Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia. Possui cerne marrom-avermelhado-claro distinto do alburno cinza-claro a marrom-acinzentado-claro, anéis de crescimento distintos, madeira leve, secagem rápida em estufa, fácil de aplinar, serrar e lixar e baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos. É utilizada na construção civil e naval, móveis, molduras, chapas, caixas, engradados, e outros (SOUZA et al., 1997).

*Qualea paraensis* Ducke (Cambará) apresenta distribuição na região amazônica, na floresta pluvial de terra firme. É mais frequente no Estado no Amazonas. Madeira moderadamente pesada, macia ao corte, textura média, pouco resistente, de baixa resistência ao apodrecimento quando em ambientes externos. A madeira é empregada para construção civil interna, caixotaria, para confecção de remos e canoas (LORENZI, 1998).

*Aspidosperma eburneum* Allemão ex Saldanha (Peroba-amarela) pertence à família Apocynaceae, a ocorrência é desde a Amazônia até os estados de São Paulo e Minas gerais. Madeira moderadamente pesada, dura, pouco resistente fácil de trabalhar, de baixa durabilidade quando exposta. Utilizada na construção civil como caibros, vigas e esteios (LORENZI, 1998).

*Ocotea puberula* (Reich.) Nees (Canelão) pertence à família Lauraceae é encontrada no Brasil em Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Decidual nas formações Montana e Baixo-montana da Amazônia. Possui madeira leve, baixa resistência mecânica, moderadamente resistente a apodrecimento e ao ataque de organismos xilófagos, com alburno e cerne indistintos. É usada para construção civil leve, móveis, portas, forro, e tabuado (CARVALHO, 2003).

*Trattinnickia burseraefolia* Mart. (Morcegueira) pertence à família Burseraceae, é verificada na Amazônia, Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso,

Pará, Rondônia. Possui cerne e alburno pouco distintos de cor marrom-rosado-claro, secagem rápida em estufa, fácil de serrar moderadamente fácil de aplainar. Sendo utilizada na construção civil, caixas, engradados, móveis, divisórias e outros (SOUZA; MAGLIANO & CAMARGOS, 1997).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de estudo**

O estudo foi realizado em um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) com área de 1.408,24 ha aprovado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA/MT), localizado entre as coordenadas geográficas 11°32'13" S e 56°36'53" W, região norte do estado de Mato Grosso (Figura 1).

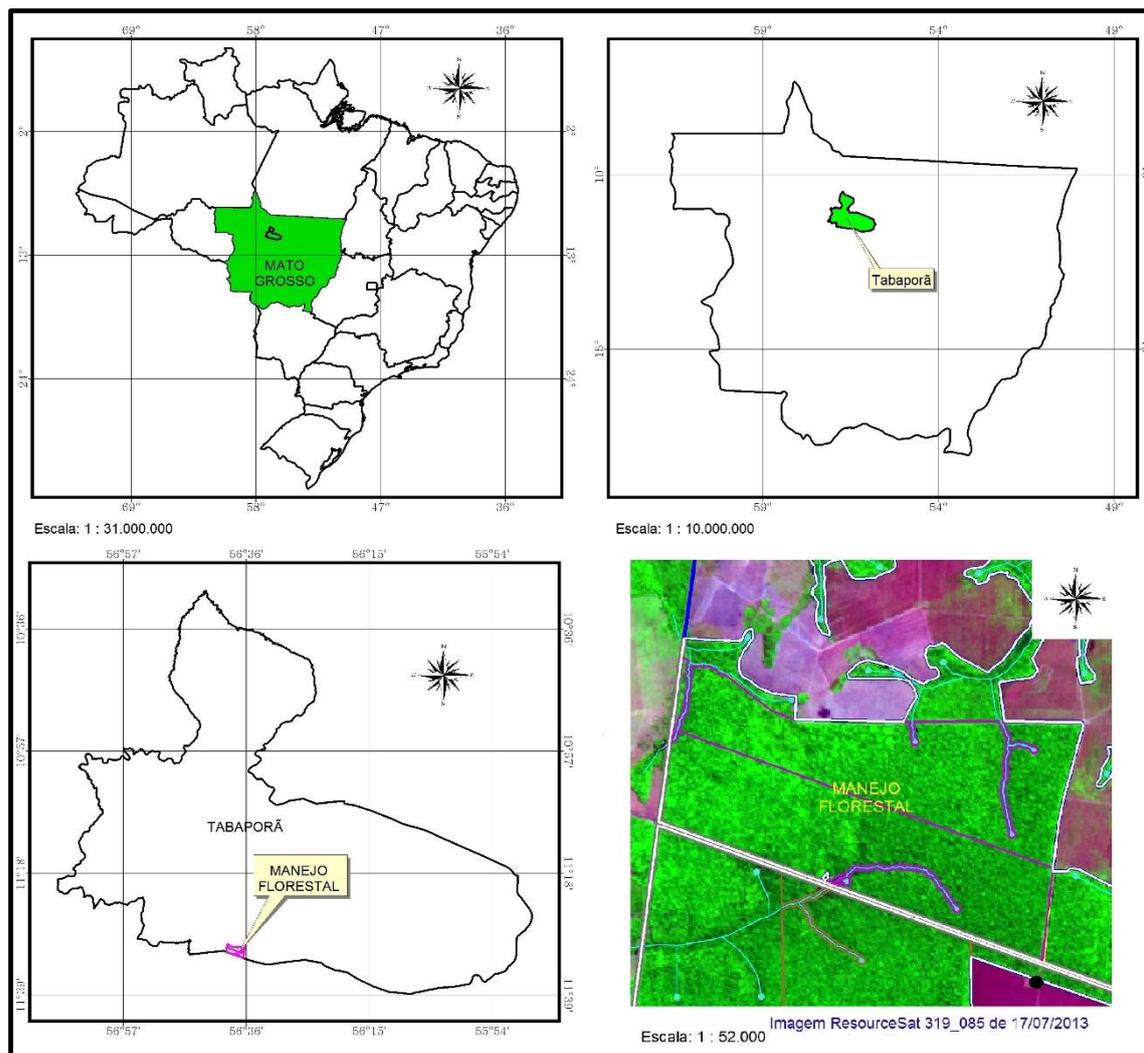
De acordo com Brasil (2018) o município localiza-se entre os paralelos 10° e 12° e meridianos 57° e 58° com área territorial de 8.448,004 km<sup>2</sup> e em 2017 na produção econômica destacou-se a agricultura (culturas de arroz, milho e soja), além da extração vegetal de madeira em tora nativa, com aproximadamente 86.800 m<sup>3</sup> extraídos.

O clima da região é do tipo Am, tropical chuvoso com estação seca no período de maio a agosto e precipitação nos meses de setembro a março em torno de 2.500 a 2.800 mm. A temperatura média varia de 22 a 24° C (ALVARES et al., 2014). Os solos são classificados como do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, com textura média, dotados de médio a baixo teor de argila (MOREIRA & VASCONCELOS, 2007).

A vegetação predominante é composta por Floresta associada ao Planalto dos Parecis, com contato de Floresta Ombrófila/Floresta Estacional (MATO GROSSO, 2018).

A área do projeto encontra-se inserida na micro-bacia hidrográfica do Rio Batelão afluente direto do Rio Apiacás que é afluente do Rio Teles Pires, pertencendo à grande Bacia Hidrográfica Amazônica. Em particular a área é banhada por córregos sem denominação definida.

As espécies, objeto de estudo, foram escolhidas por serem amplamente exploradas e comercializadas por indústrias de transformação de base florestal na região da Amazônia Meridional devido seu valor comercial.



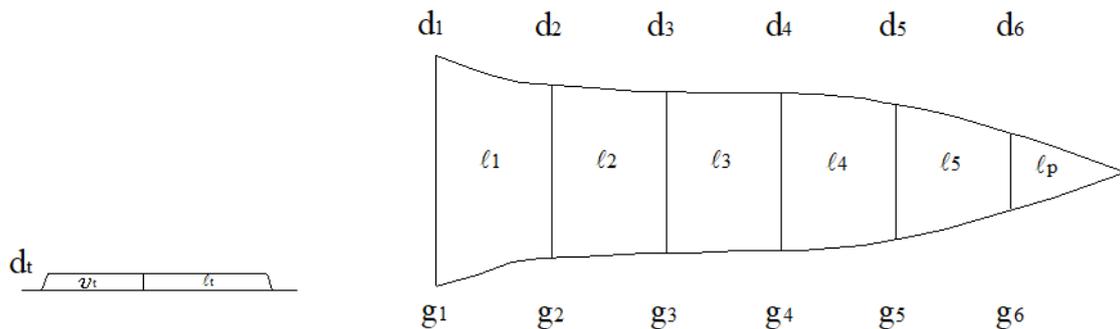
**Figura 1.** Mapa de localização e dimensão da área do Plano de Manejo Florestal Sustentável, município de Tabaporá/MT.

### 3.2 Ajuste de volumes e fator de forma com casca

#### 3.2.1 Cubagem rigorosa da parte aérea

As medidas dos diâmetros para cubagem rigorosa foram tomadas nas seguintes alturas: 0 m, 0,30m, 0,70m, 1,30m, 2,00m e posteriormente de dois em dois metros (Figura 2). O método empregado para estimativa volumétrica foi o de Smalian (CHAPMAN & MEYER, 1949).

Para a mensuração dos diâmetros e o comprimento do fuste comercial foi utilizado trena.



**Figura 2.** Ilustração do procedimento de cubagem rigorosa pelo método de Smalian (SCOLFORO & THIERSCH, 2004).

sendo:

$d_{is}$ : diâmetros tomados nos extremos das seções

$l_i$ : comprimento das seções (m)

$l_t$ : altura do toco (m)

$l_p$ : comprimento da ponta (m)

$g_{is}$ : áreas seccionais dos extremos das seções (m<sup>2</sup>)

$v_{is}$ : volume das seções (m<sup>3</sup>)

O volume comercial da árvore foi obtido pelo somatório dos volumes das seções ( $v_i$ ).

Para fins de cálculo do volume da árvore de seções de tamanhos desiguais ( $l$  diferentes), adotou-se o seguinte procedimento (SCOLFORO & THIERSCH, 2004):

$$v_1 = \left( \frac{g_1 + g_2}{2} \right) \cdot l_1 \quad (1)$$

$$v_2 = \left( \frac{g_2 + g_3}{2} \right) \cdot l_2$$

$$v_3 = \left( \frac{g_3 + g_4}{2} \right) \cdot l_3$$

$$v_4 = \left( \frac{g_4 + g_5}{2} \right) \cdot l_4$$

$$v_5 = \left( \frac{g_5 + g_6}{2} \right) \cdot l_5$$

As estatística básica das variáveis mensuradas estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Valores médios, mínimos e máximos das variáveis dendrométricas diâmetro à altura do peito (DAP), altura e volume das árvores mensuradas de diferentes espécies na Amazônia Meridional.

Espécies	N.º de árvores	DAP (cm)			ALTURA (m)			VOLUME (m <sup>3</sup> )		
		Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo
<i>Hymenolobium petraeum</i>	23	67,64	48,26	110,75	10,80	7,30	14,30	3,30	1,36	9,04
<i>Ormosia paraensis</i>	12	83,10	51,15	131,14	9,72	4,30	13,10	5,01	0,80	12,93
<i>Qualea paraensis</i>	28	68,51	49,18	95,59	13,85	10,73	17,40	3,96	1,82	9,18
<i>Ocotea puberula</i>	22	57,60	33,23	69,66	8,85	4,20	11,30	2,06	0,79	3,04
<i>Erisma uncinatum</i>	26	75,40	43,70	123,79	13,36	8,70	19,50	4,83	1,16	13,08
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	33	86,31	53,51	148,36	10,29	4,20	17,44	4,83	1,04	15,66
<i>Dipteryx odorata</i>	18	67,24	51,91	95,93	10,49	7,10	14,34	2,98	1,39	6,30
<i>Apuleia leiocarpa</i>	14	86,00	61,70	126,59	9,94	6,75	14,13	5,37	1,79	11,91
<i>Trattinnickia burseraefolia</i>	16	88,73	52,25	166,77	11,79	4,20	15,62	6,40	0,85	21,89
<i>Aspidosperma eburneum</i>	15	61,27	47,16	90,60	8,41	5,10	12,12	2,23	0,78	5,92
<i>Bowdichia nitida</i>	12	81,02	52,79	113,93	10,78	6,20	13,10	4,74	1,24	10,38
<b>Total Geral</b>	<b>219</b>	<b>74,32</b>	<b>33,23</b>	<b>166,77</b>	<b>11,01</b>	<b>4,20</b>	<b>19,50</b>	<b>4,11</b>	<b>0,78</b>	<b>21,89</b>

### 3.2.2 Modelos matemáticos para estimativa do volume

Foram testados oito modelos volumétricos de simples e dupla entrada (Tabela 2).

**Tabela 2.** Relação dos modelos matemáticos de simples e dupla entrada para estimar o volume comercial das onze espécies nativas na Amazônia Meridional.

Nº da Equação	Modelo matemático	Autor
1	$V = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(DAP^2) + e_i$	Hohenadl-Krenn
2	$V = \beta_0 + \beta_1(DAP^2 H) + e_i$	Spurr
3	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 H + e_i$	Stoate (australiana)
4	$V = \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 DAP H^2 + \beta_4 H^2 + e_i$	Naslund
5	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAP H + \beta_4 DAP^2 H + \beta_5 H + e_i$	Meyer
6	$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 Ln(DAP) + \beta_2 Ln(H) + Ln(e_i)$	Schumacher-Hall (log)
7	$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 Ln(DAP) + \beta_2 \left(\frac{1}{DAP}\right) + Ln(e_i)$	Brenac
8	$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 Ln(DAP^2 H) + Ln(e_i)$	Spurr (log)

Onde:  $\beta_0 \dots, \beta_5$  = parâmetros dos modelos a serem ajustados; DAP = diâmetro (cm) medido à 1,30 metros do solo (m); H = altura comercial (m); V = volume comercial (m<sup>3</sup>) das equações ajustadas; Ln = logaritmo natural;  $e_i$  = erro de estimativa. Simples entrada: modelo 1 e 7. Dupla entrada: 2, 3, 4, 5, 6, 8.

O critério de seleção das equações foi com base no coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro da estimativa dos resíduos ( $S_{yx}$ ) (m<sup>3</sup>), erro da estimativa percentual ( $S_{yx}$ ) (%) e na análise gráfica da Dispersão dos resíduos.

Para calcular o coeficiente de determinação ajustado utilizou-se a equação:

$$R^2_{aj} = 1 - \left( \frac{n - 1}{n - 1 - p} \right) * \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} \quad (2)$$

sendo:

$R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;

n = número de observações;

p = número de variáveis independentes do modelo em análise;

SQ<sub>res</sub> = soma de quadrados dos resíduos;

SQ<sub>tot</sub> = soma de quadrados total.

Para calcular o erro de estimativa ( $S^{yx}$ ) utilizou-se a expressão a seguir:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum(v_i - \hat{v}_i)^2}{n - p - 1}} \quad (3)$$

sendo:

$S_{yx}$  = erro de estimativa;

$v_i$  = valor observado;

$\hat{v}_i$  = valor estimado;

$n$  = número de observações;

$p$  = número de variáveis independentes do modelo em análise.

As equações foram ajustadas por espécie e para o mix (das 11 espécies).

### 3.2.3 Fator de forma

Foi calculado o fator de forma (ff) por espécie e para o mix de espécies.

$$ff = \frac{V_{obs}}{V_{cil}} \quad (4)$$

Em que:

$V_{obs}$  = volume observado (cubagem rigorosa);

$V_{cil}$  = volume do cilindro, utilizando o diâmetro (DAP).

Os cálculos foram realizados no software R versão 2.12.2. Os dados foram tabulados e os gráficos de volumes observados e estimados, e a dispersão dos resíduos dos modelos ajustados foram elaborados em planilha Excel®.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Cubagem rigorosa da parte aérea

O volume total observado nas 219 árvores cubadas pelo foi de 898,74 m<sup>3</sup> e o volume médio foi de 4,11 m<sup>3</sup>. A média do diâmetro foi de 74,30 cm, sendo o menor 57,60 cm e o maior 88,73 cm, e número mínimo de 12 árvores por espécie e o máximo de 33 árvores (Tabela 3).

**Tabela 3.** Número de árvores, valores médios do DAP e volume comercial calculado pelo método de Smalian para 219 árvores de 11 espécies da região na Amazônia Meridional.

<b>Espécies</b>	<b>DAP médio (cm)</b>	<b>Volume médio (m<sup>3</sup>)</b>
<i>Hymenolobium petraeum</i>	67,64	3,30
<i>Ormosia paraensis</i>	83,10	5,01
<i>Qualea paraensis</i>	68,51	3,96
<i>Ocotea puberula</i>	57,60	2,06
<i>Erismia uncinatum</i>	75,40	4,83
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	86,31	4,83
<i>Dipteryx odorata</i>	67,24	2,98
<i>Apuleia leiocarpa</i>	86,00	5,37
<i>Trattinnickia burseraefolia</i>	88,73	6,40
<i>Aspidosperma eburneum</i>	61,27	2,23
<i>Bowdichia nitida</i>	81,02	4,74
<b>TOTAL</b>	<b>74,30</b>	<b>4,11</b>

### 4.2 Modelos matemáticos para estimativa de volumes por espécie

#### 4.2.1 *Hymenolobium petraeum* (Angelim-pedra)

Para a espécie *Hymenolobium petraeum* o DAP médio foi de 67,64 cm, altura média de 10,80 m e volume médio de 3,30 m<sup>3</sup>. Na Tabela 4 são observadas as equações ajustadas com seus respectivos coeficientes de regressão.

**Tabela 4.** Equações de volume ajustadas para a espécie *Hymenolobium petraeum* na Amazônia Meridional.

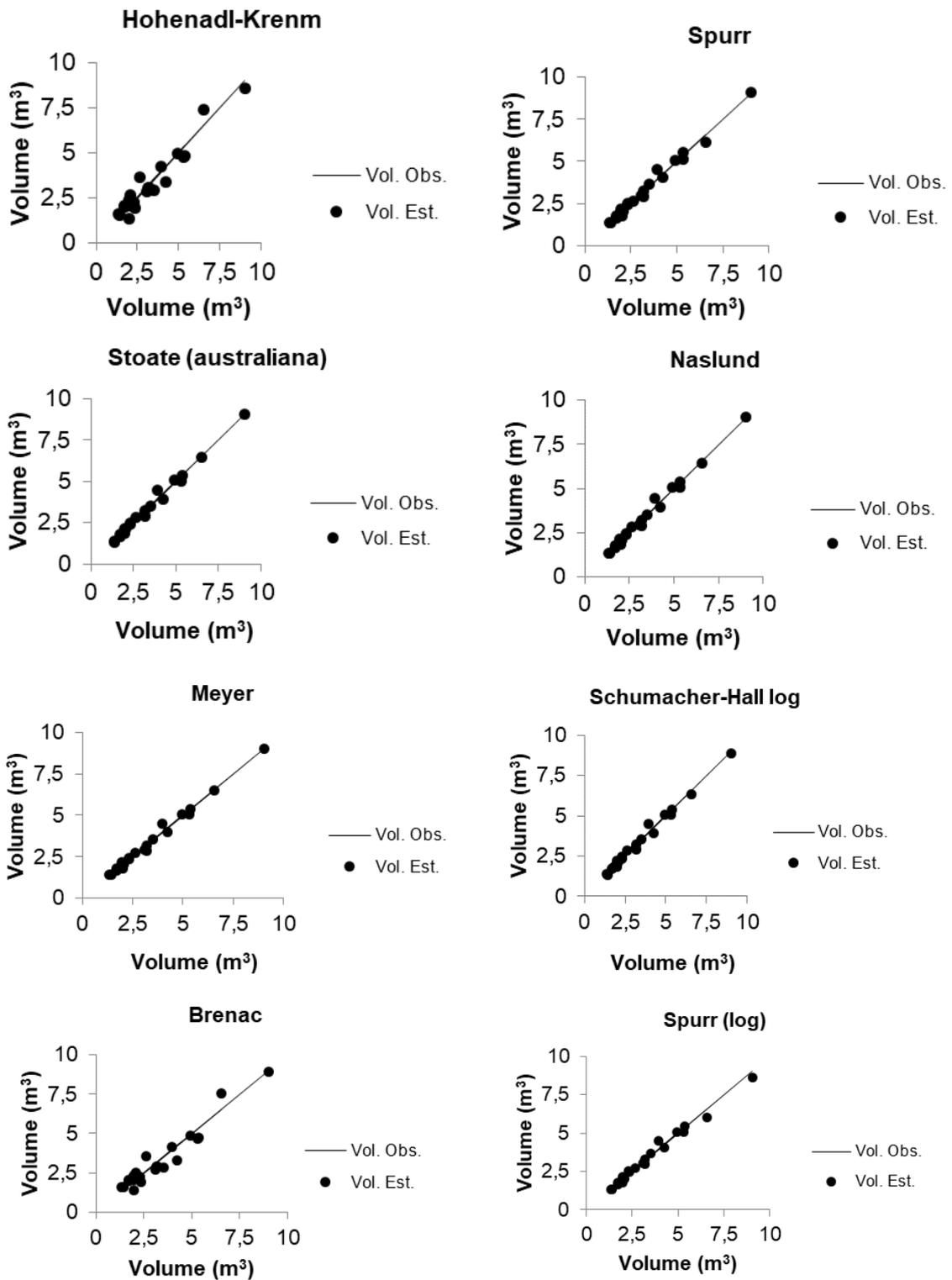
Eq.	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$ (m <sup>3</sup> )	$S_{yx}$ (%)
1	-1,699349	0,039369	0,000484	-	-	-	0,926	0,5164	15,66
2	0,343000	0,000054	-	-	-	-	0,988	0,2061	6,25
3	-0,084630	0,000190	0,000040	0,026080	-	-	0,990	0,1898	5,75
4	-	0,000207	0,000040	-0,000004	0,001710	-	0,998	0,1942	5,89
5	3,289834	-0,097891	0,000860	0,007477	-0,000011	-0,230242	0,989	0,1968	5,97
6	-8,459440	1,861370	0,731210	-	-	-	0,987	0,1930	5,85
7	-6,345000	1,861000	-25,397000	-	-	-	0,880	0,5277	16,00
8	-8,265000	0,868850	-	-	-	-	0,984	0,2440	7,40

Eq.: equação;  $\beta_0$  ...,  $\beta_5$  = parâmetros dos modelos ajustados;  $R^2_{aj}$ : coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$ : erro da estimativa;  $S_{yx}$ : erro da estimativa percentual.

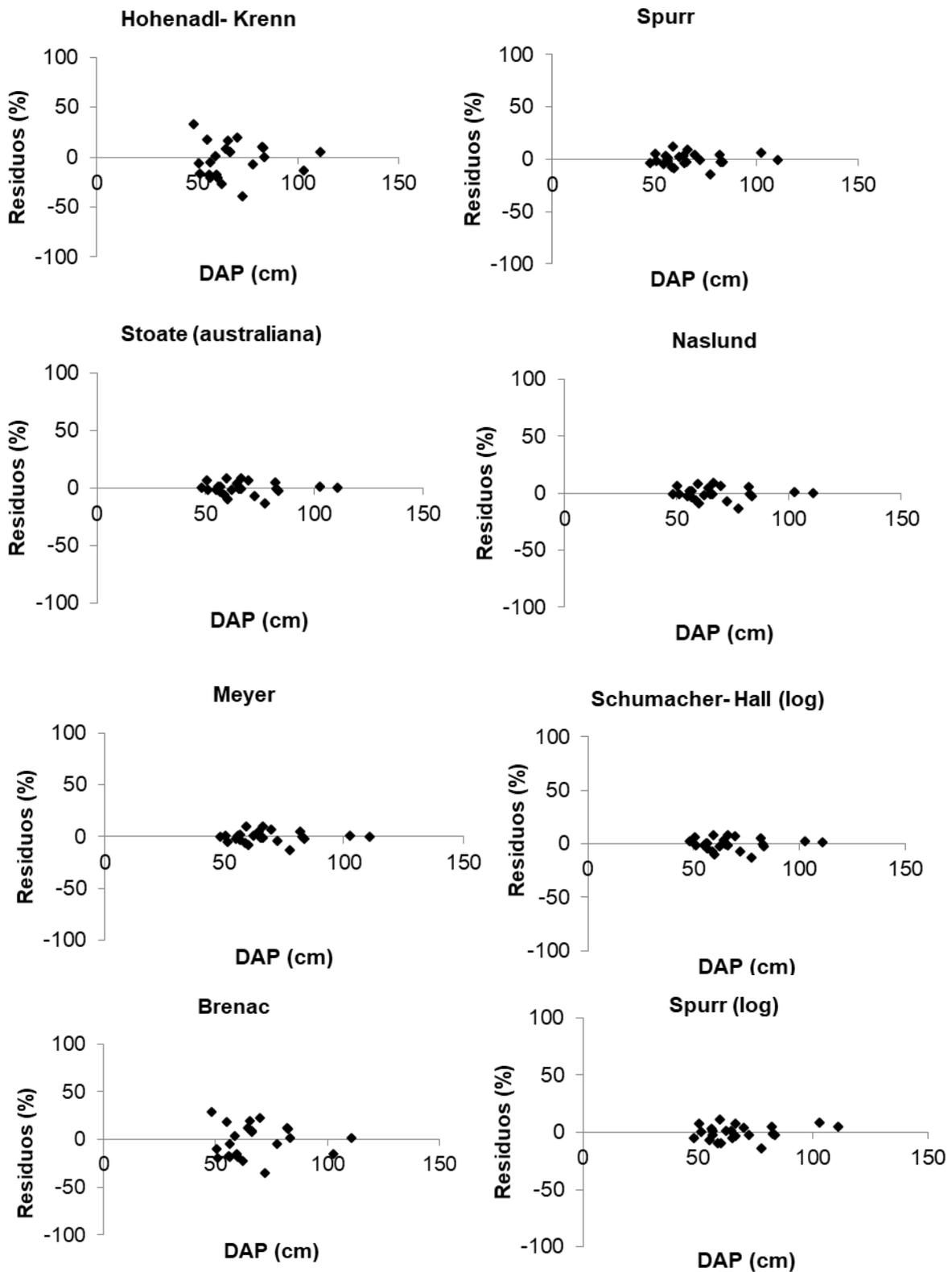
Todos os ajustes apresentaram bons valores de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), variando de 0,880 a 0,998. O erro da estimativa variou de 0,1930 a 0,5277 m<sup>3</sup> e o erro da estimativa percentual variou de 5,75 a 16%.

Observa-se que para as equações de simples entrada houve coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), de 0,926 para a equação 1 e 0,880 para a equação 7, sendo estas as de maior erro e menores valores de  $R^2_{aj}$ . Analisando os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 3) e os de Dispersão dos resíduos (Figura 4) a equação 1 foi a que melhor se ajustou aos dados, pois apresentou melhor distribuição e menor tendência de estimativas.

Para as equações de dupla entrada os modelos de melhor ajuste foram as equações 4 com  $R^2_{aj}$  de 0,998 e  $S_{yx}$ % de 5,89% e equação 3 com  $R^2_{aj}$  de 0,990 e  $S_{yx}$ % de 5,75%. Analisando os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 3) e os de Dispersão dos resíduos (Figura 4) selecionou-se a equação 4 como a de melhor ajuste, pois apresentou maior precisão dos dados analisados.



**Figura 3.** Volumes observado e estimado para a espécie *Hymenolobium petraeum* na Amazônia Meridional.



**Figura 4.** Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie *Hymenolobium petraeum* na Amazônia Meridional.

Colpini et al. (2009) testaram modelos na região de Cotriguaçu/MT em uma floresta com características semelhantes a deste trabalho e obtiveram resultados para o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) superiores a 90%. Higuchi et al. (2008a) e Higuchi et al. (2008b) afirmam que o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) deve ser maior que 90% e o erro de estimativa percentual ( $S_{yx}\%$ ) em torno de 10% para a volumetria de espécies nativas. Estes valores atestam a maior eficiência e a adequabilidade da equação.

#### 4.2.2 *Ormosia paraensis* (Angelim-tento)

Para a espécie *Ormosia paraensis*, os resultados médios das variáveis dendrométricas foram: DAP de 83,10 cm, altura 9,72m e volume de 5,10 m<sup>3</sup>. As equações ajustadas com seus respectivos parâmetros de regressão para a espécie podem ser observadas na Tabela 5.

**Tabela 5.** Equações de volume ajustadas para a espécie *Ormosia paraensis* na Amazônia Meridional.

Eq.	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$ (m <sup>3</sup> )	$S_{yx}$ (%)
1	1,196612	-0,052641	0,001068	-	-	-	0,971	0,7000	13,97
2	0,253600	0,000056	-	-	-	-	0,978	0,6152	12,28
3	-0,402700	0,000332	0,000032	0,015030	-	-	0,978	0,6204	30,71
4	-	-0,000092	0,000106	-0,000607	0,024780	-	0,993	0,5896	11,77
5	2,010000	-0,101400	0,001159	-0,000940	0,000012	0,240200	0,976	0,6460	12,89
6	-8,880290	1,900680	0,835490	-	-	-	0,994	0,6371	12,71
7	-0,029400	0,740700	-144,423400	-	-	-	0,938	0,7947	15,86
8	-8,732700	0,913560	-	-	-	-	0,994	0,6479	12,93

Eq.: equação;  $\beta_0$  ...,  $\beta_5$  = parâmetros dos modelos ajustados;  $R^2_{aj}$ : coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$ : erro da estimativa;  $S_{yx}\%$ : erro da estimativa percentual.

Os resultados demonstram um coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), variando de 0,971 a 0,994, erro de 0,5896 a 0,7947 e erro % de 11,77 a 30,71% sendo estes valores considerados elevados. Os valores de  $R^2_{aj}$  estão acima de 90% demonstrando eficácia dos modelos testados, porém com erro da estimativa percentual elevado.

A equação de simples entrada com melhores resultados foi a equação 1 com um coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) de 0,971 e a equação 7

de 0,938. Porém ao analisar os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 5) e dispersão de resíduos dos modelos ajustados para a espécie (Figura 6), a equação 1 foi a que obteve menor tendência na estimativa, pois a equação de Brenac tende a subestimar o volume.

Para os modelos de dupla entrada as equações que apresentaram melhores ajustes foram a equação 6 com um coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) de 0,994 e erro% de 12,71% e a equação 8 com  $R^2_{aj}$  de 0,994 e erro % de 12,93%.

Thaines et al. (2010) obtiveram resultados inferiores no valor do  $R^2_{aj}$  de 0,910 na equação de Spuur e 0,920 de Schumacher-Hall. Já para Colpini et al. (2009) os valores foram próximos aos determinados neste estudo, sendo o de  $R^2_{aj}$ , 0,966 para Schumacher-Hall e 0,969 para Stoate.

Analisando os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 5) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para a espécie (Figura 6), a equação 6 foi o que melhor estimou o volume, com maior precisão, tendo pouca variação de subestimativa ou superestimativa e pouca dispersão dos resíduos.

Ressalta-se que apesar das estatísticas apresentadas anteriormente serem boas indicadores da qualidade dos ajustes, a análise gráfica de resíduos é fundamental, visto que erros podem ocorrer em determinados cenários e não serem detectados (MIGUEL et al., 2015), pois estas auxiliam na seleção da melhor equação de ajuste para determinação de volumes.

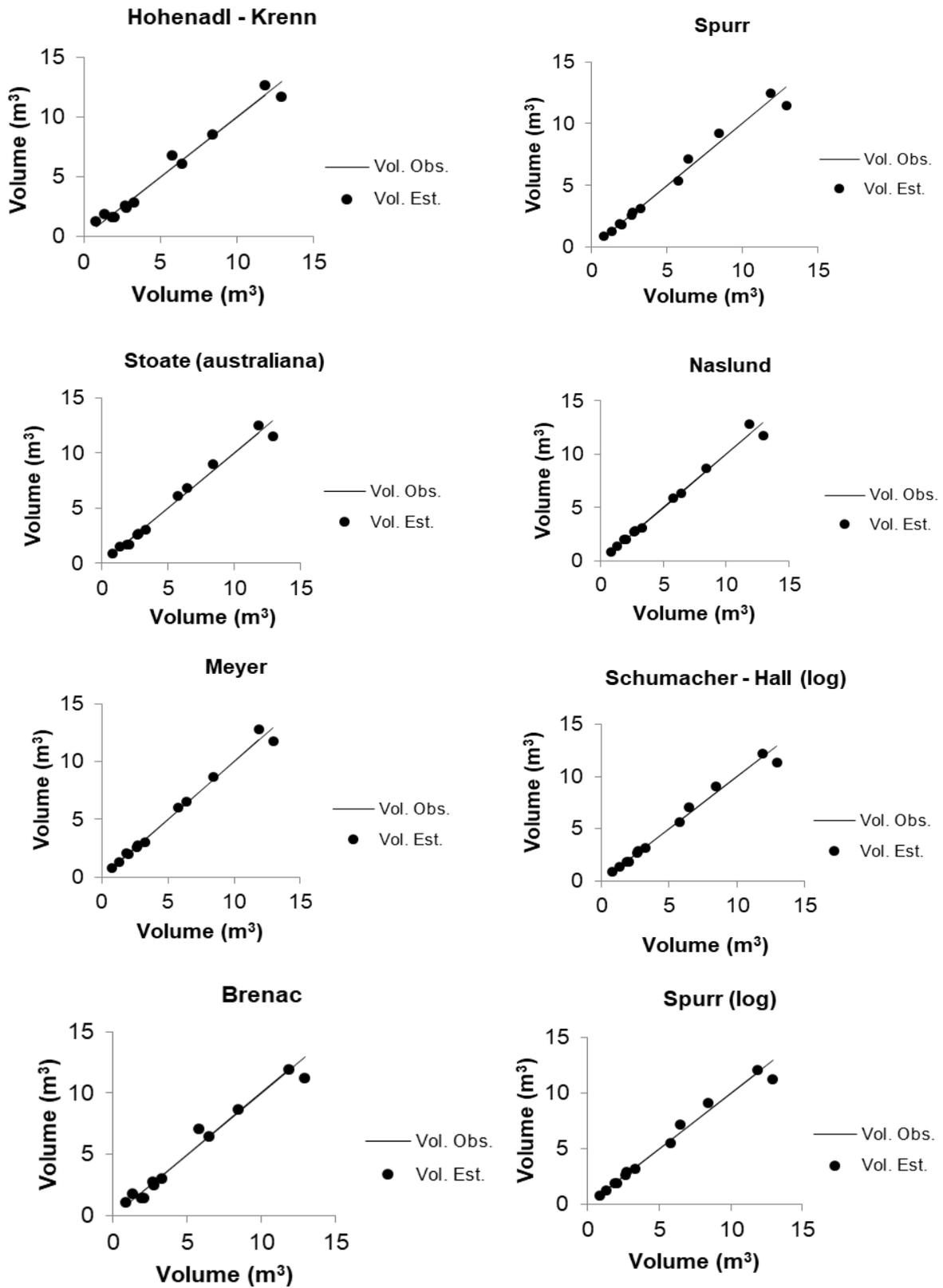
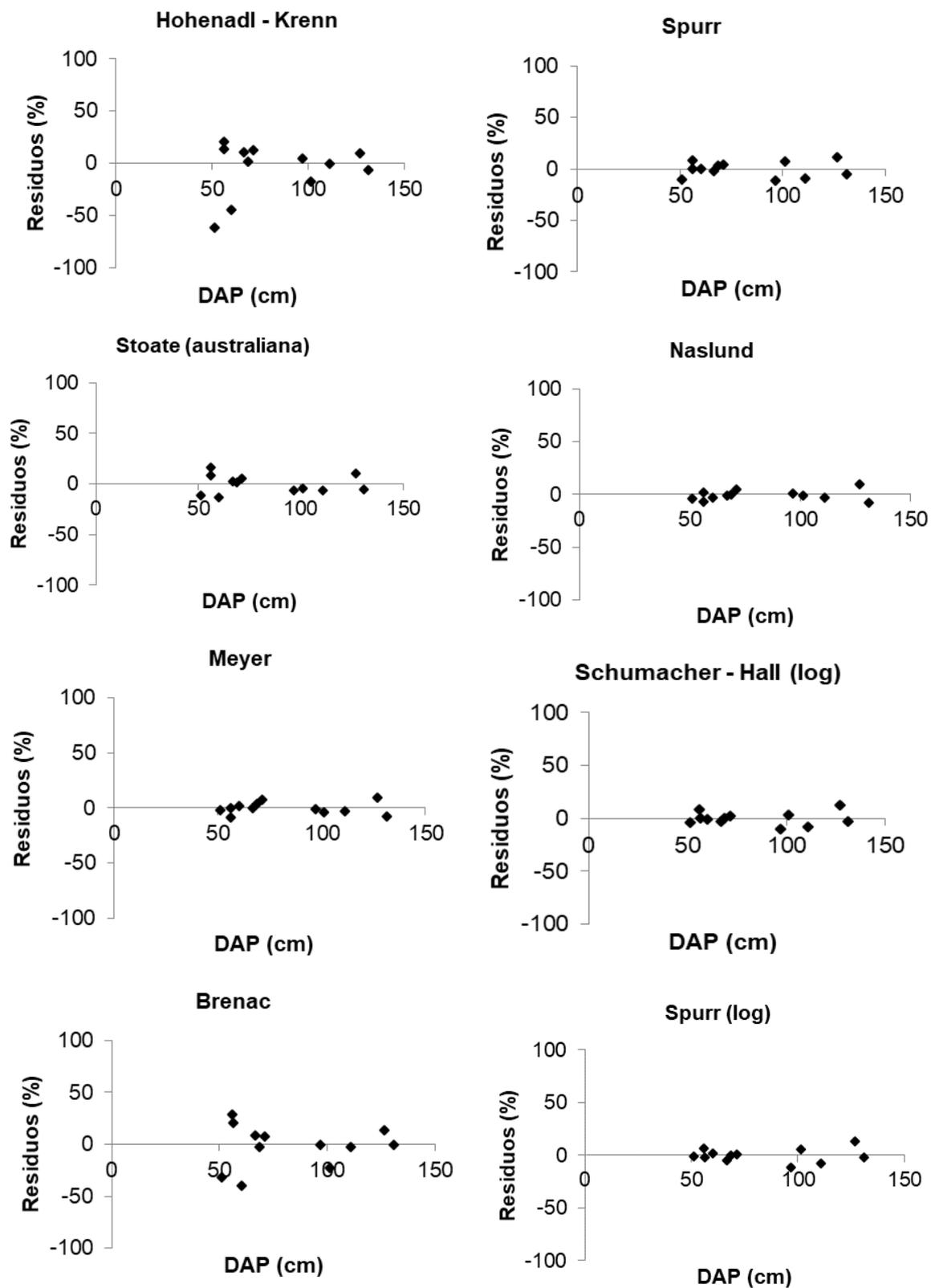


Figura 5. Volumes observado e estimado para a espécie *Ormosia paraensis* na Amazônia Meridional.



**Figura 6.** Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie *Ormosia paraensis* na Amazônia Meridional.

### 4.2.3 *Qualea paraensis* (Cambará)

Para a espécie *Qualea paraensis* o valor médio de DAP foi de 68,58cm, a altura de 13,85m e o volume de 3,96m<sup>3</sup>. As equações ajustadas com seus respectivos parâmetros de regressão para a espécie podem ser observadas na Tabela 6.

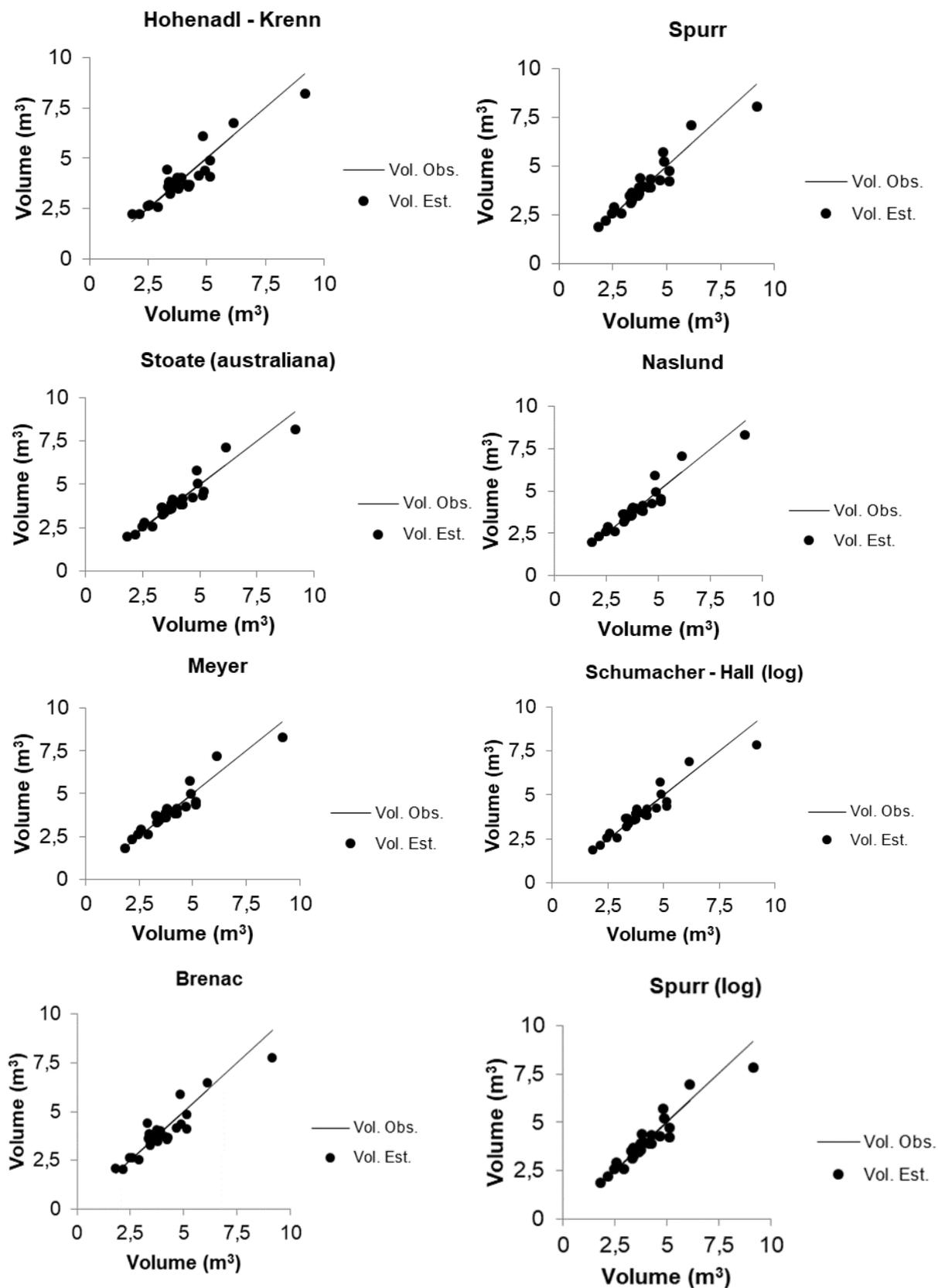
**Tabela 6.** Equações de volume ajustadas para a espécie *Qualea paraensis* na Amazônia Meridional.

Eq.	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$ (m <sup>3</sup> )	$S_{yx}$ (%)
1	4,242361	-0,129050	0,001786	-	-	-	0,836	0,5658	14,29
2	0,336100	0,000054	-	-	-	-	0,894	0,4556	11,51
3	1,425000	-0,000052	0,000060	-0,091420	-	-	0,891	0,4605	11,64
4	-	-0,000180	0,000103	-0,000334	0,012350	-	0,988	0,4626	11,69
5	-22,640000	0,684000	-0,004854	-0,050560	0,000410	1,702000	0,886	0,4724	11,94
6	-8,527500	1,880900	0,732900	-	-	-	0,921	0,4584	11,58
7	-11,105000	2,768000	50,782000	-	-	-	0,840	0,5767	14,57
8	-8,626480	0,900200	-	-	-	-	0,920	0,4626	11,69

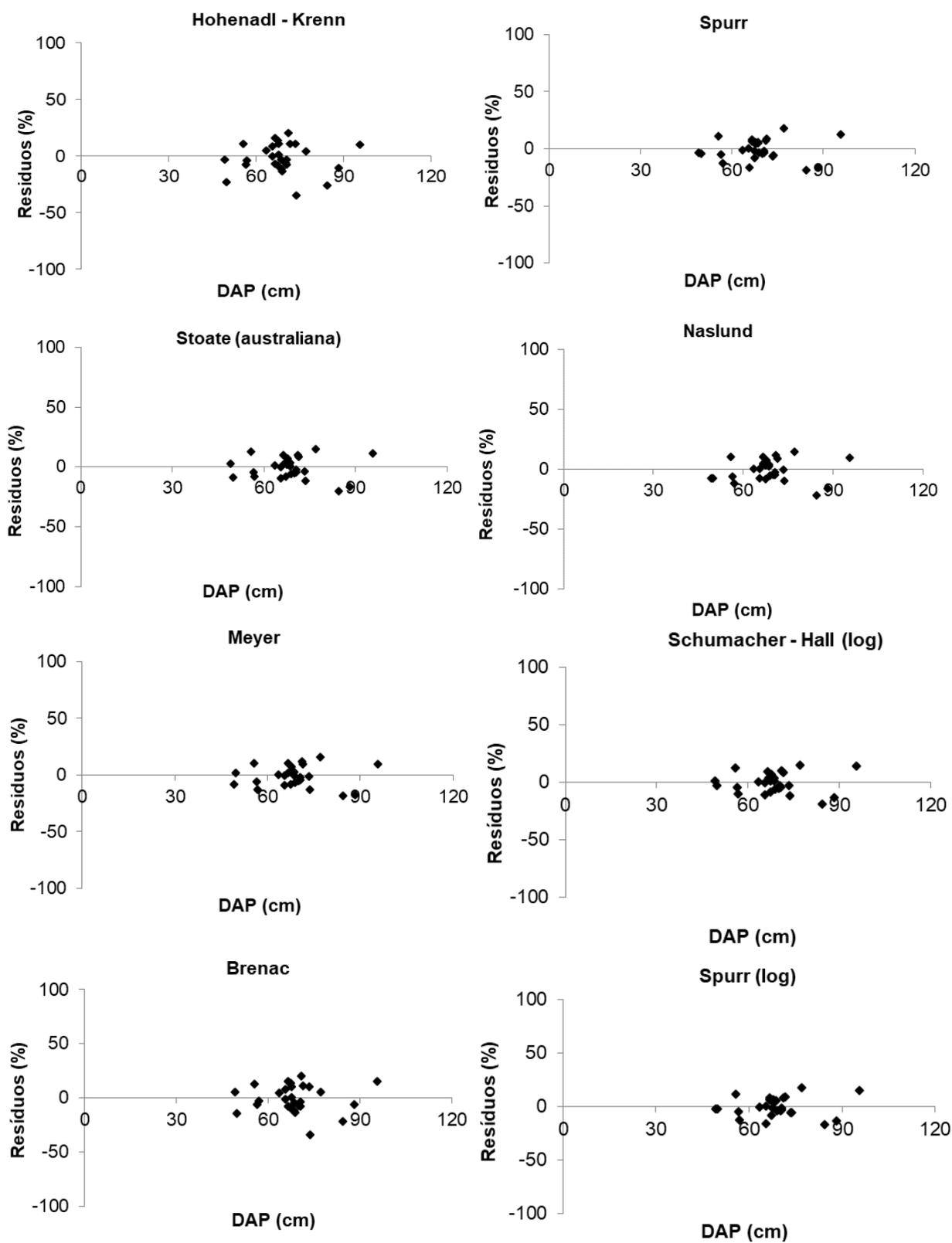
Eq.: equação;  $\beta_0$  ...,  $\beta_5$  = parâmetros dos modelos ajustados;  $R^2_{aj}$ : coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$ : erro da estimativa;  $S_{yx}$ : erro da estimativa percentual.

Ao interpretar os resultados, o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), variou de 0,836 a 0,988, o erro de estimativa de 0,4556 a 0,5767 m<sup>3</sup> e o erro % de 11,51 a 14,57%. Apenas três equações de ajuste tiveram os valores de  $R^2_{aj}$  acima de 90%, sendo elas as equações 4, 6 e 2: Naslund, Schumacher-Hall e Spurr (log), com valores de 0,988, 0,921, e 0,920, respectivamente.

A equação 7 obteve valor de 0,840 m<sup>3</sup> e erro% de 14,57% e para a equação 1, o  $R^2_{aj}$  foi de 0,836 m<sup>3</sup> e erro% de 14,29%. Ao analisar os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 7) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para a espécie (Figura 8), observa-se que a equação 1 apresentou melhor ajuste tendo menor dispersão dos resíduos.



**Figura 7.** Volumes observado e estimado para a espécie *Qualea paraensis* na Amazônia Meridional.



**Figura 8.** Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie *Qualea paraensis* na Amazônia Meridional.

Para os modelos de dupla entrada os maiores valores de  $R^2_{aj}$  foram para a equação 4 (0,988) e 6 (0,921). Corroboram com esses resultados Thaines et al. (2010) que obtiveram valores semelhantes com os apresentados para a espécie *Qualea paraensis*, cujo coeficiente de determinação ajustado foi de 0,910 para a equação de Spuur e 0,920 para Schumacher-Hall.

Ao analisar os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 7) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para a espécie (Figura 8), a equação 6 foi a que estimou, com maior precisão, tendo pouca variação de subestimativa ou superestimativa. De acordo com Higuchi et al. (2008a), os modelos matemáticos, tanto de simples quanto de dupla entrada, que apresentam as melhores distribuições de resíduos são os modelos logaritmizados.

#### 4.2.4 *Ocotea puberula* (Canelão)

Para a espécie *Ocotea puberula* os valores médios das variáveis dendrométricas foram: DAP de 57,60cm, altura de 8,85 e volume de médio 2,06m<sup>3</sup>. As equações ajustadas e seus respectivos parâmetros de regressão são apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Equações de volume ajustadas para a espécie *Ocotea puberula* na Amazônia Meridional.

Eq.	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$ (m <sup>3</sup> )	$S_{yx}$ (%)
1	1,773509	-0,071486	0,001299	-	-	-	0,775	0,3202	15,54
2	0,142300	0,000064	-	-	-	-	0,969	0,1185	5,75
3	-0,332800	0,000223	0,000044	0,037290	-	-	0,974	0,1096	5,32
4	-	0,000075	0,000067	-0,000088	0,002562	-	0,998	0,1123	5,45
5	2,725000	-0,119200	0,001367	0,012700	-0,000079	0,285900	0,971	0,1157	5,61
6	-9,047170	1,974470	0,801400	-	-	-	0,985	0,1057	5,13
7	-18,694000	4,279000	115,693000	-	-	-	0,758	0,3211	15,58
8	-8,898500	0,933500	-	-	-	-	0,976	0,1178	5,72

Eq.: equação;  $\beta_0$  ...,  $\beta_5$  = parâmetros dos modelos ajustados;  $R^2_{aj}$ : coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$ : erro da estimativa;  $S_{yx}$ : erro da estimativa percentual.

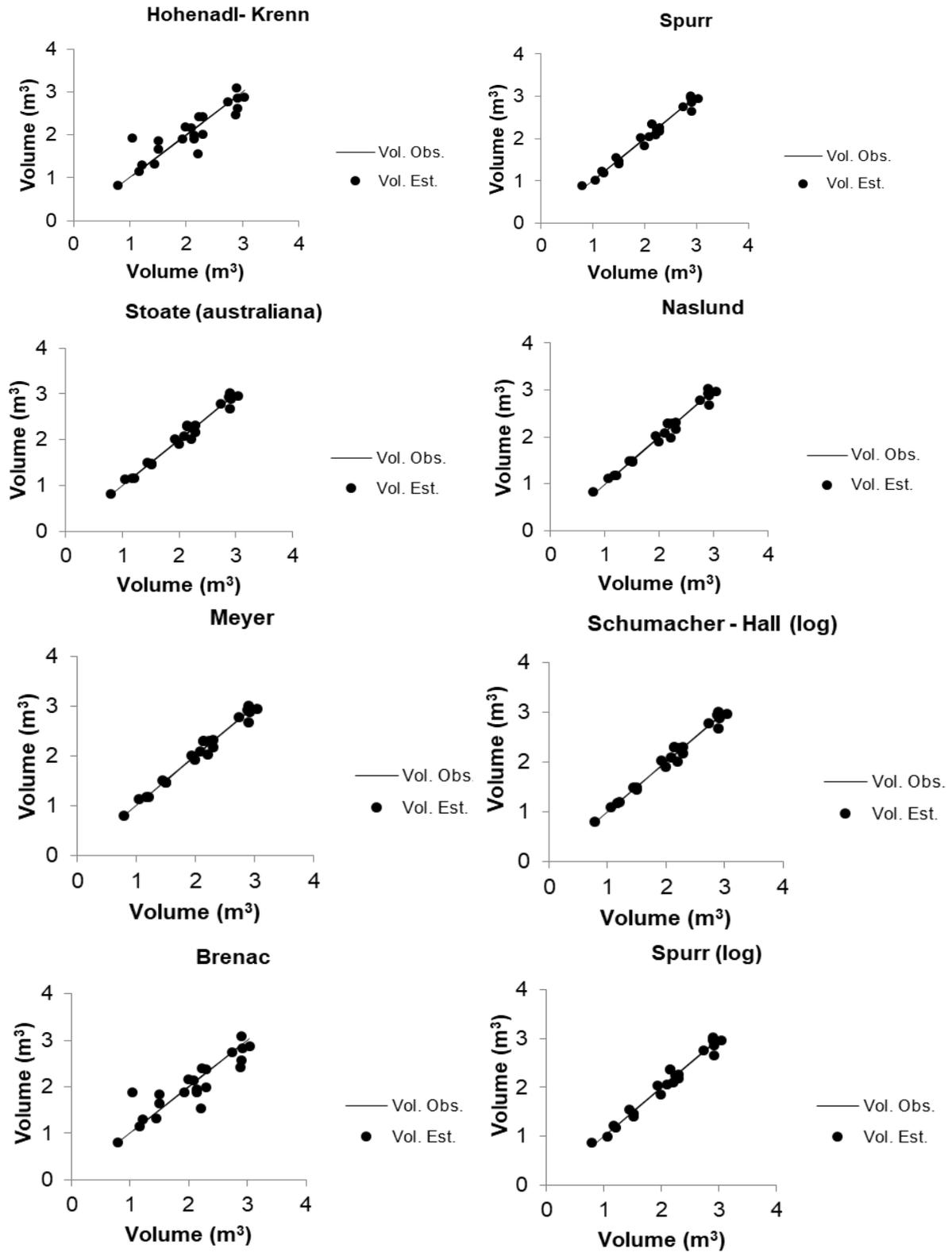
Os valores do coeficiente de determinação ajustado variaram de 0,758 a 0,998; erro da estimativa de 0,1057 a 0,3211 m<sup>3</sup> e o erro da estimativa percentual de 5,13 a 15,58%.

Observa-se que a maioria das equações tiveram os valores de  $R^2_{aj}$  acima de 90%, com exceção das equações 1 e 7, pois estas são as equações de simples entrada. Dentre elas a que melhor ajustou a variável independente DAP, foi a equação 1, com coeficiente de determinação ajustado de 0,775. A mesma apresentou melhor Dispersão dos resíduos em comparação com a equação 7 (Figura 10).

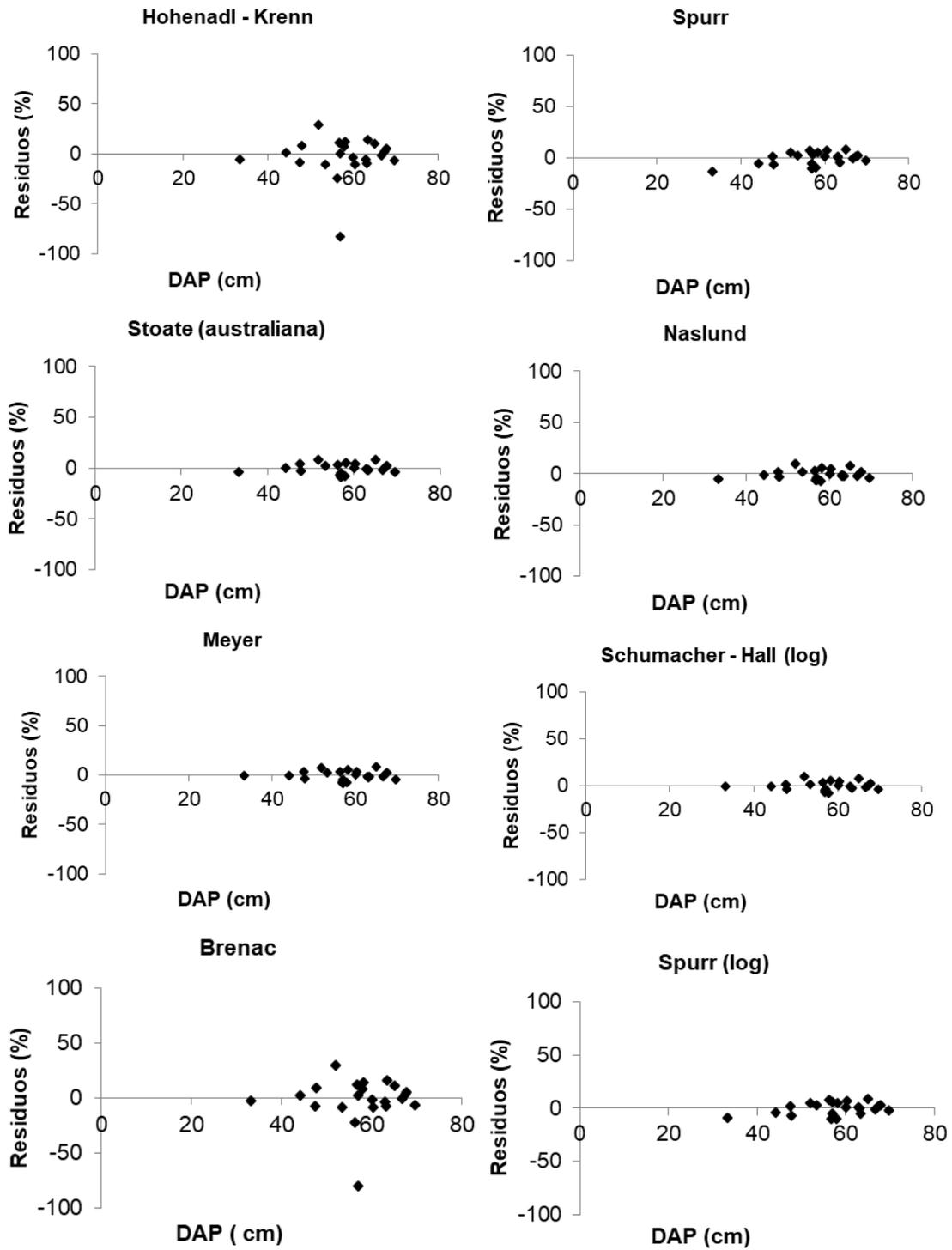
Para as equações de dupla entrada, os coeficientes de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) e erro da estimativa percentual foi de 0,998 e 5,45% e 0,985 e 5,13% para as equações 4 e 6 respectivamente (Tabela 7).

Em um estudo de caso na Amazônia central, Fernandes et al. (2017), obteve melhores resultados para a equação de dupla entrada de Schumacher-Hall, com  $R^2_{aj}$  de 0,98 e erro percentual de estimativa de 2,9% para a espécie *Swietenia macrophylla*. Ribeiro, Gama e Melo (2014) também observaram valores satisfatórios para a equação Schumacher- Hall, com  $R^2_{aj}$  de 0,941 e  $S^{yx}$ % de 17,06%.

Ao analisarmos os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 9) e dispersão de resíduos dos modelos ajustados para a espécie (Figura 10), a equação de ajuste de volume que estimou com maior precisão foi a equação 6. Os modelos matemáticos utilizados para ajuste de equações volumétricas devem ter uma boa distribuição de resíduos, onde as diferenças entre os valores estimados e observados, positivos e negativos têm que se distribuir uniformemente ao longo da curva estimada (HIGUCHI, 2008a).



**Figura 9.** Volumes observado e estimado para a espécie *Ocotea peberula* na Amazônia Meridional.



**Figura 10.** Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie *Ocotea puberula* na Amazônia Meridional.

#### 4.2.5 *Erismia uncinatum* (Cedrinho)

Analisando os dados da espécie *Erismia uncinatum*, os valores médios das variáveis dendrométricas foram: DAP de 75,40cm, altura de 13,36 e volume de 4,83m<sup>3</sup>. As equações ajustadas com seus respectivos parâmetros de regressão para a espécie são observadas na Tabela 8.

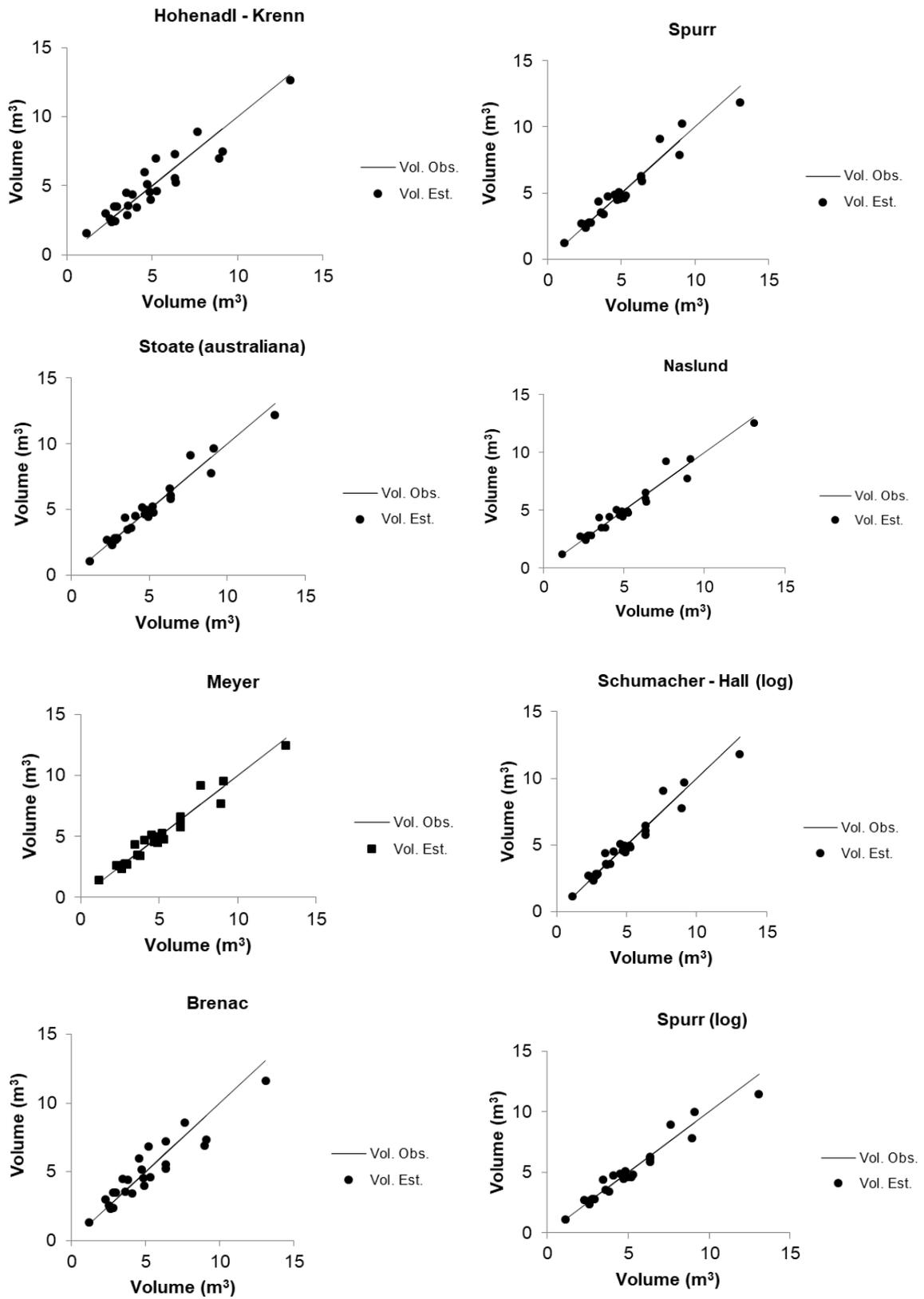
**Tabela 8.** Equações de volume ajustadas para a espécie *Erismia uncinatum* na Amazônia Meridional.

Eq.	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$ (m <sup>3</sup> )	$S_{yx}$ (%)
1	0,607082	-0,018197	0,000932	-	-	-	0,861	0,9394	19,45
2	0,319700	0,000055	-	-	-	-	0,945	0,5895	12,21
3	-0,570800	0,000296	0,000036	0,050660	-	-	0,949	0,5671	11,74
4	-	-0,000006	0,000075	-0,000198	0,008620	-	0,989	0,5662	11,73
5	6,749000	-0,216900	0,001797	0,013950	-0,000062	0,411000	0,947	0,5775	11,96
6	-8,744520	1,904970	0,780280	-	-	-	0,963	0,5665	11,73
7	-3,788000	1,378000	-49,152000	-	-	-	0,866	0,9576	19,83
8	-8,784750	0,916420	-	-	-	-	0,961	0,5997	12,42

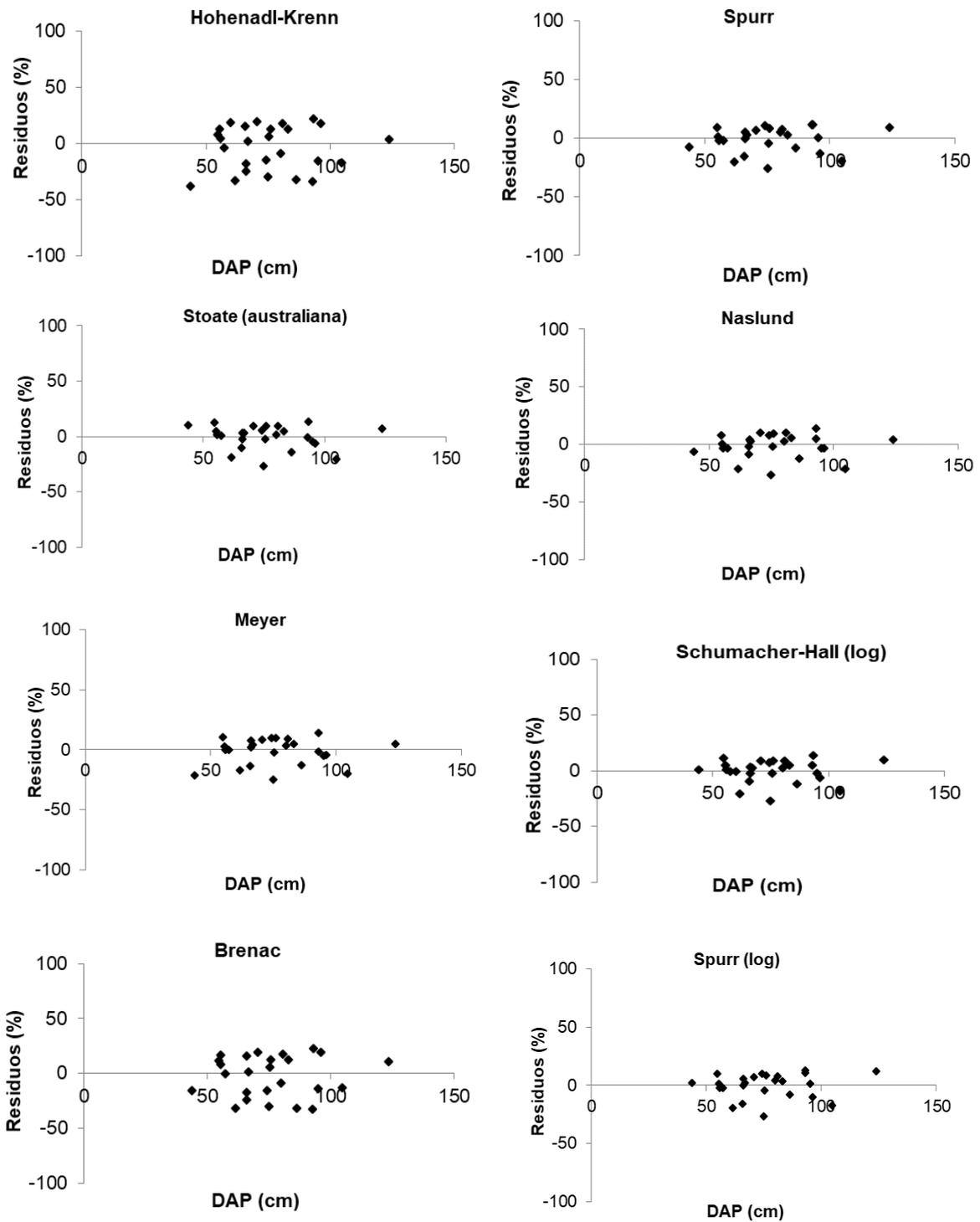
Eq.: equação;  $\beta_0$  ...,  $\beta_5$  = parâmetros dos modelos ajustados;  $R^2_{aj}$ : coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$ : erro da estimativa;  $S_{yx}$ : erro da estimativa percentual.

Para os oito modelos testados, o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), variou de 0,861 a 0,989, o erro da estimativa de 0,5662 a 0,9576 m<sup>3</sup> e o  $S_{yx}$ % de 11,73 a 19,83%. A maioria dos modelos tiveram os valores de  $R^2_{aj}$  acima de 90%, com exceção das equações 1 e 7.

As equações de simples entrada apresentaram  $R^2_{aj}$  de 0,861 e coeficiente de variação de 19,45% para equação 1 e 0,866 e 19,83% para a equação 7. Porém analisando os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 11) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para a espécie (Figura 12) a equação 1 foi a que melhor se ajustou.



**Figura 11.** Volumes observado e estimado para a espécie *Erisma uncinatum* na Amazônia Meridional.



**Figura 12.** Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie *Erismia uncinatum* na Amazônia Meridional.

Para as equações de dupla entrada observou-se coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) de 0,989 e 0,963, e  $S_{yx}\%$  de 11,73% e 11,73% para as equações 4 e 6, respectivamente. Fernandes et al. (2017) também concluíram que a equação de Schumacher-Hall apresentou o melhor desempenho nas estimativas de volume total para a espécie *Carapa guianensis*.

Os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 11) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para a espécie (Figura 12) demonstraram melhor estimativa para a equação 6.

#### 4.2.6 *Cedrelinga cateniformis* (Cedro-amazonense)

Para espécie *Cedrelinga cateniformis* os valores do DAP médio foi de 86,31cm, a altura média foi de 10,29 m e volume médio foi de 4,83 m<sup>3</sup>. Na Tabela 9 são observadas as equações ajustadas com seus respectivos parâmetros de regressão.

**Tabela 9.** Equações de volume ajustadas para a espécie *Cedrelinga cateniformis* na Amazônia Meridional.

Eq.	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$ (m <sup>3</sup> )	$S_{yx}$ (%)
1	0,187834	-0,011250	0,000700	-	-	-	0,819	1,3835	28,62
2	0,213200	0,000055	-	-	-	-	0,980	0,4641	9,60
3	-0,657800	0,000185	0,000041	0,056130	-	-	0,988	0,3523	7,29
4	-	0,000070	0,000056	0,000084	0,003647	-	0,996	0,3674	7,60
5	3,890000	-0,099970	0,000691	0,008225	-0,000001	0,317600	0,988	0,3507	7,25
6	-9,366800	1,994750	0,842160	-	-	-	0,985	0,3666	7,58
7	-10,686000	2,610000	41,864000	-	-	-	0,774	1,4020	29,00
8	-9,188330	0,949520	-	-	-	-	0,981	0,4592	9,50

Eq.: equação;  $\beta_0$  ...,  $\beta_5$  = parâmetros dos modelos ajustados;  $R^2_{aj}$ : coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$ : erro da estimativa;  $S_{yx}\%$ : erro da estimativa percentual.

Os resultados de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), variaram de 0,774 a 0,996, o erro da estimativa variou de 0,3507 a 1,4020 e o erro da estimativa percentual variou de 7,25 a 29,00%. Os valores de  $R^2_{aj}$  acima de 90% para a maioria dos modelos, com exceção para os modelos de simples entrada.

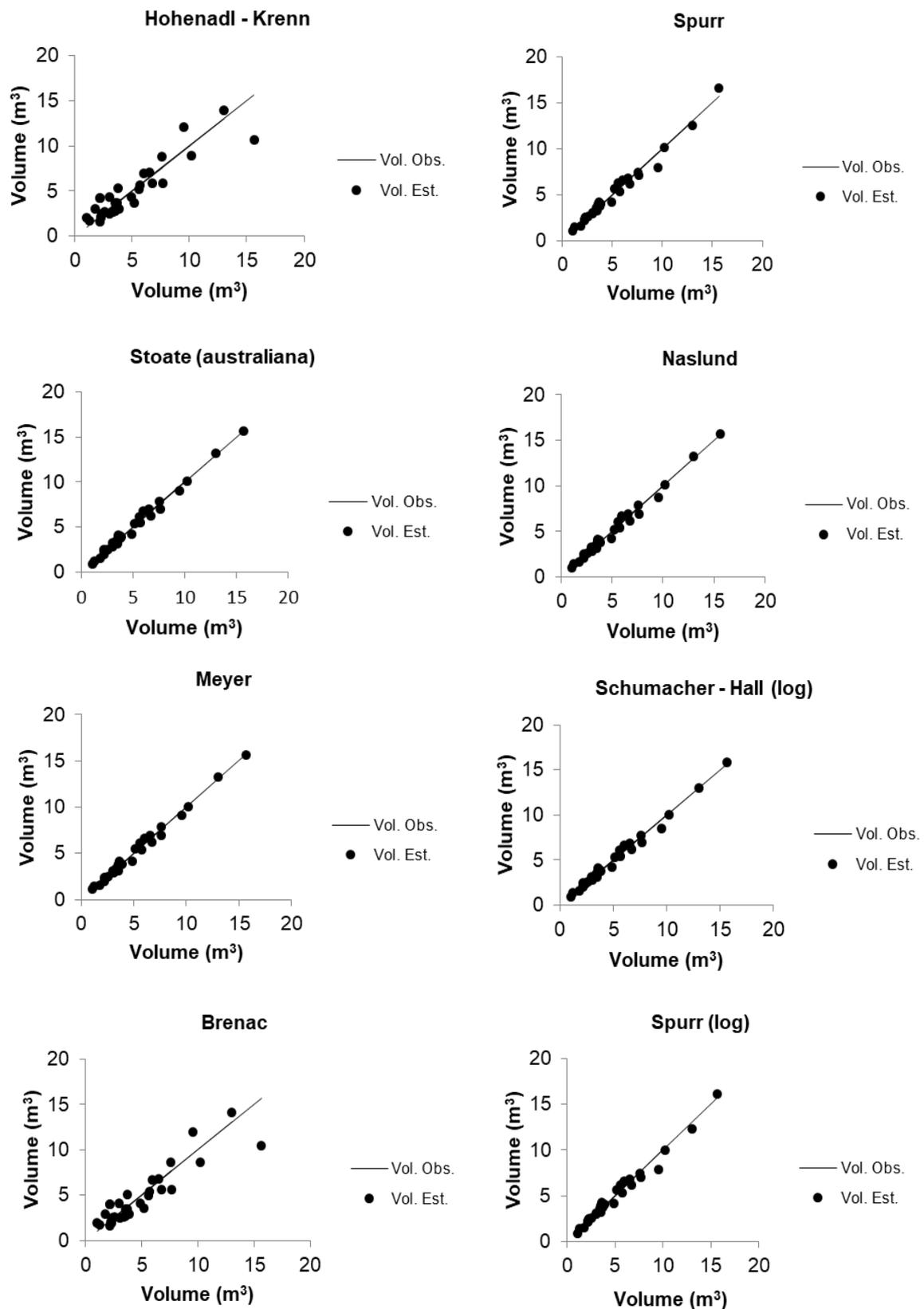
As equações de simples entrada apresentaram  $R^2_{aj}$  de 0,819 e 0,774 e erro da estimativa percentual de 28,62 % e 29,00% para a equação 1 e 7,

respectivamente. Dentre elas a equação 1 foi a mais satisfatória devido ao melhor ajuste para a espécie estudada, quando analisados os gráficos dos volumes observado e estimado (Figura 13) e a dispersão dos resíduos (Figura 14).

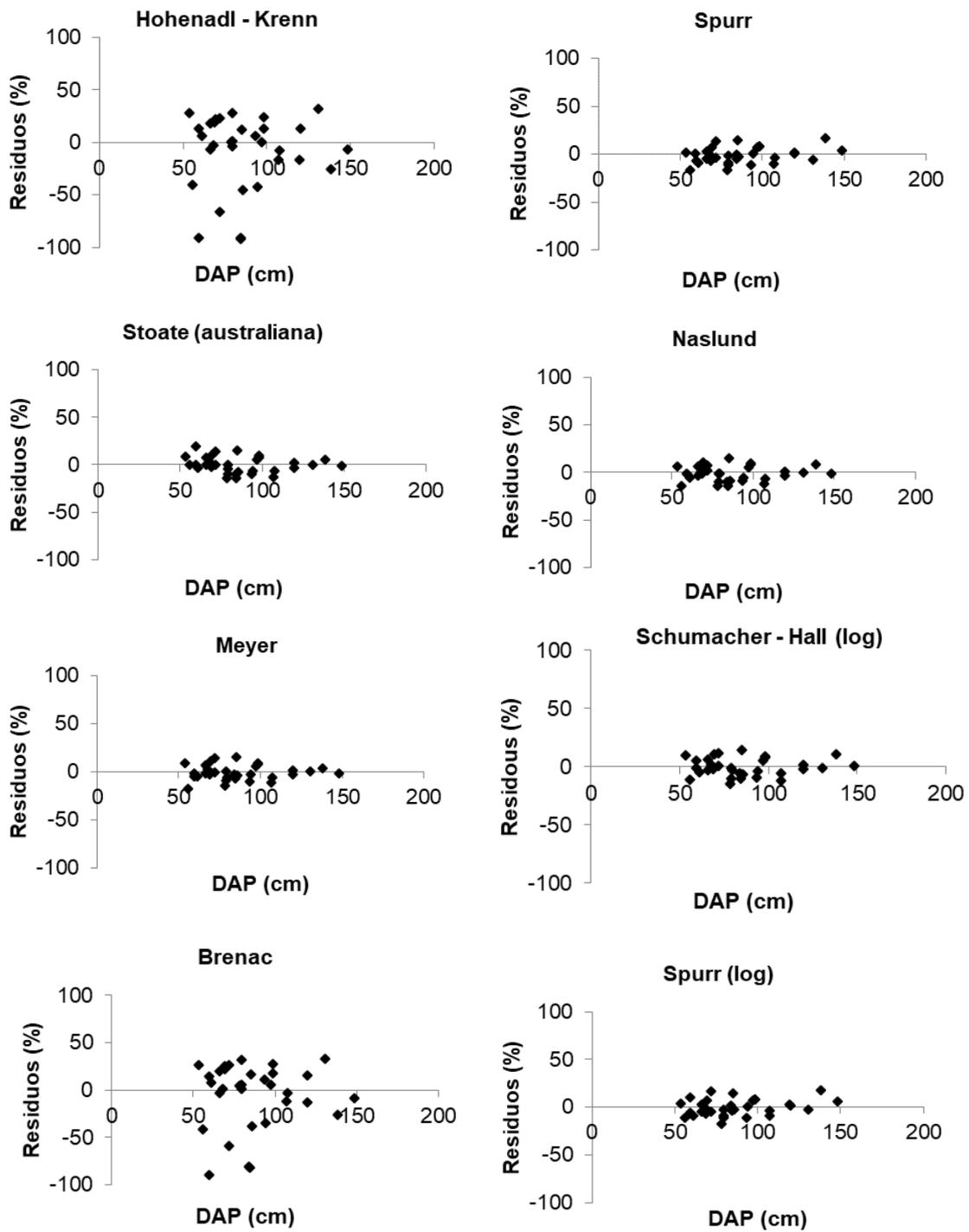
Em relação as equações de dupla entrada, os melhores ajustes foram as equações 4 e 6 ( $R^2_{aj}$  de 0,996 e 0,985, respectivamente). Porém, observa-se que em relação ao erro da estimativa e o  $S_{yx}\%$  houve pouca diferença nos valores estimados para a equação 6 (0,3666 m<sup>3</sup> e 7,58%) e para a equação 4 (0,3674 m<sup>3</sup> e 7,60%).

Os valores observados neste trabalho são próximos ao verificado por Colpini et al. (2009) onde os valores de  $R^2_{aj}$  foi de 0,966 para a equação de Schumacher–Hall. Corroborando com os resultados, Gomes (2008) observou que entre as equações de dupla entrada, o modelo de Schumacher-Hall original obteve os melhores ajustes, com  $R^2_{aj}$  de 0,95 e  $S_{yx}\%$  de 5,18% sendo superior aos modelos de única entrada.

Analisando os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 13) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para a espécie (Figura 14) selecionou-se a equação 6, pois foi o que estimou, com maior exatidão, tendo pouca variação de subestimativa ou superestimativa.



**Figura 13.** Volumes observado e estimado para a espécie *Cedrelinga cateniformis* na Amazônia Meridional.



**Figura 14.** Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie *Cedrelinga cateniformis* na Amazônia Meridional.

#### 4.2.7 *Dipteryx odorata* (Champanhe)

Para a espécie *Dipteryx odorata*, os valores médios obtidos para as variáveis DAP, altura e volume foram 67,24 cm, 10,49 m e 2,98 m<sup>3</sup>, respectivamente. Na Tabela 10, tem-se os resultados das equações ajustadas com seus respectivos parâmetros de regressão.

**Tabela 10.** Equações de volume ajustadas para a espécie *Dipteryx odorata* na Amazônia Meridional.

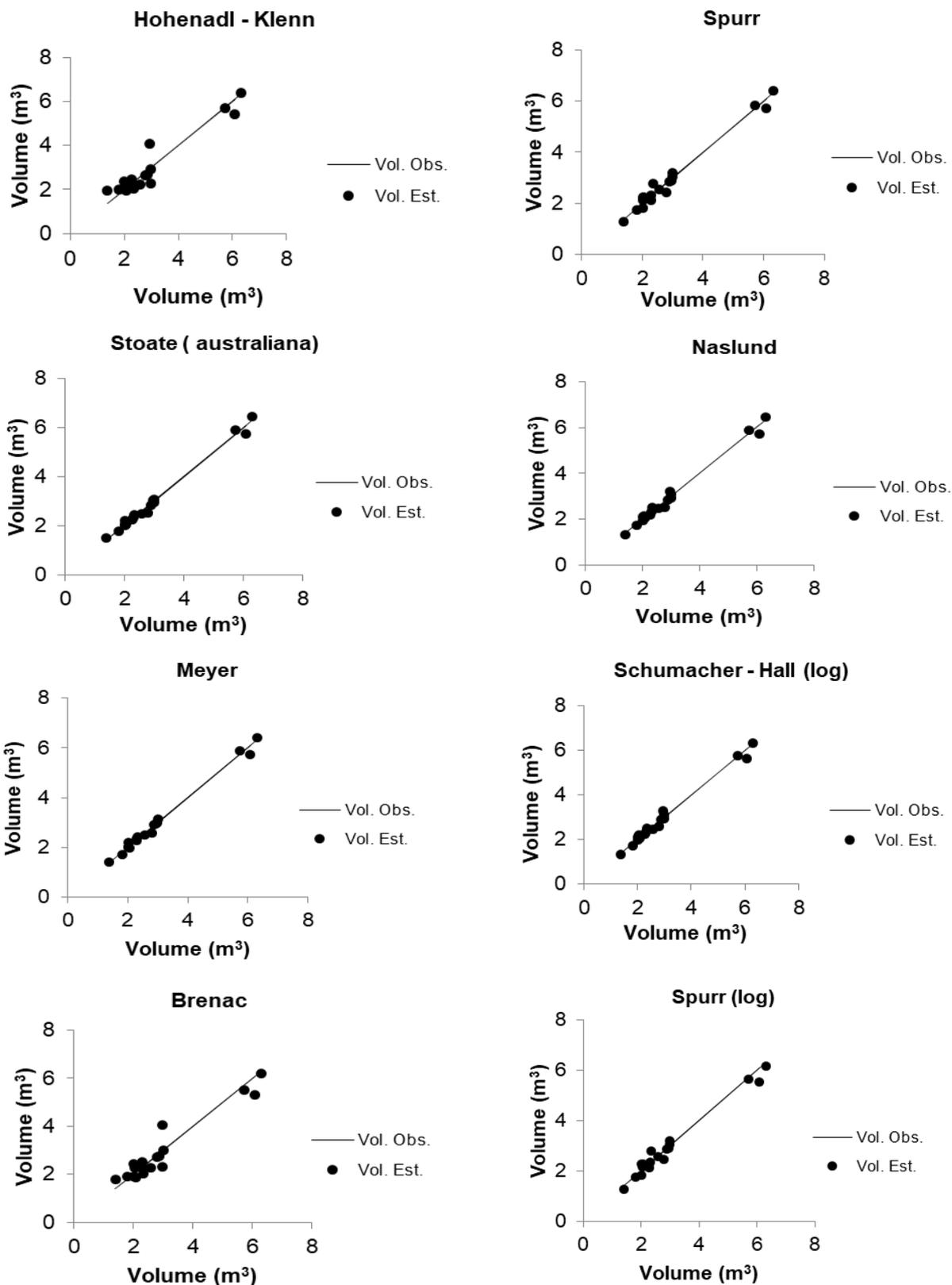
Eq.	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$ (m <sup>3</sup> )	$S_{yx}$ (%)
1	6,593073	-0,193037	0,001992	-	-	-	0,908	0,4490	15,08
2	0,219300	0,000055	-	-	-	-	0,980	0,2089	7,02
3	1,177000	-0,000083	0,000065	-0,101200	-	-	0,990	0,1516	5,09
4	-	0,000108	0,000057	-0,000099	0,003352	-	0,997	0,1788	6,01
5	-2,6380292	0,121495	-0,001043	-0,006101	0,000119	0,073885	0,989	0,1525	5,12
6	-8,770120	1,969480	0,651920	-	-	-	0,985	0,1727	5,80
7	-21,405000	4,668000	184,770000	-	-	-	0,858	0,4548	15,28
8	-8,581380	0,894790	-	-	-	-	0,962	0,2340	7,86

Eq.: equação;  $\beta_0$  ...,  $\beta_5$  = parâmetros dos modelos ajustados;  $R^2_{aj}$ : coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$ : erro da estimativa;  $S_{yx}$ : erro da estimativa percentual.

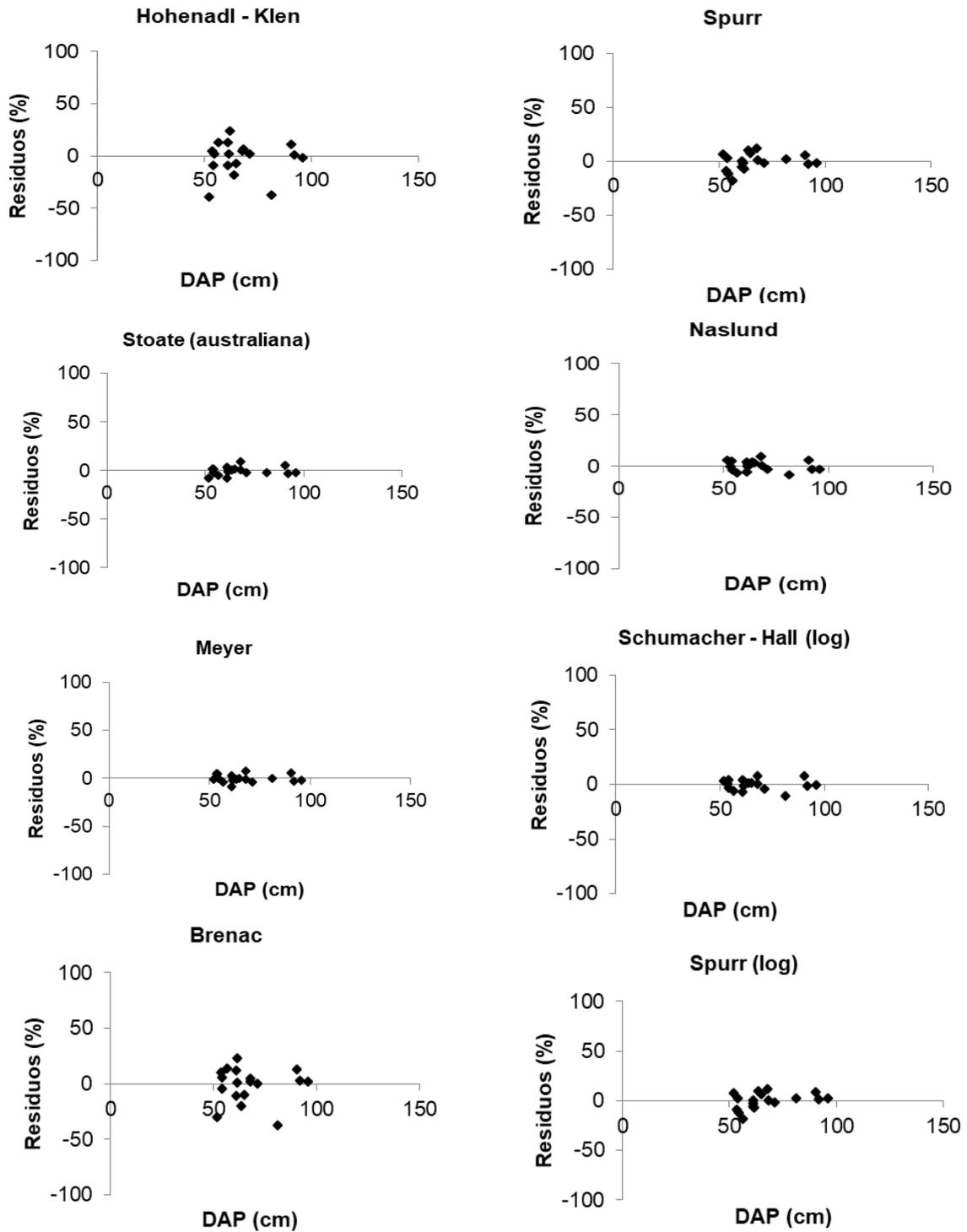
O coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) para a espécie *D. odorata*, variou de 0,858 a 0,997. O erro da estimativa mínimo foi de 0,1516 m<sup>3</sup> e o máximo de 0,4548 m<sup>3</sup> e o erro de estimativa percentual variou de 5,09% a 15,28%. De todos os modelos testados, somente o  $R^2_{aj}$  da equação 7 foi inferior a 0,900.

Dentre as duas equações de simples entrada, a equação 7 apresentou tendência a superestimar os volumes observados e estimados e a dispersão dos resíduos (Figuras 15 e 16). A equação 1 não apresentou a mesma tendência, mostrando-se a melhor equação de simples entrada.

Para as seis equações de dupla entrada, os  $R^2_{aj}$  foram maiores para as equações 3 (0,990) e 4 (0,997). Porém ao analisar o erro da estimativa, os menores valores foram para a equação 3 (0,1516 m<sup>3</sup>) e 5 (0,1525 m<sup>3</sup>), assim como os valores do erro da estimativa percentual (5,09% e 5,12%). Contudo ao avaliar o comportamento dos volumes observado e estimado e dispersão dos resíduos, selecionou-se a equação 6, pois esta apresentou os melhores ajustes (Figuras 15 e 16).



**Figura 15.** Volumes observado e estimado para a espécie *Dipteryx odorata* na Amazônia Meridional.



**Figura 16.** Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie *Dipteryx odorata* na Amazônia Meridional.

#### 4.2.8 *Apuleia leiocarpa* (Garapeira)

Os valores médios de DAP, altura comercial e volume para a espécie *Apuleia leiocarpa* foram de 86,00cm, 9,94m e 5,37m<sup>3</sup>, respectivamente para as árvores mensuradas. Os valores das equações ajustadas com seus respectivos parâmetros de regressão podem ser visualizadas na Tabela 11.

**Tabela 11.** Equações de volume ajustadas para a espécie *Apuleia leiocarpa* na Amazônia Meridional.

Eq.	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$ (m <sup>3</sup> )	$S_{yx}$ (%)
1	-0,928568	0,012396	0,000650	-	-	-	0,962	0,6980	13,01
2	0,099870	0,000064	-	-	-	-	0,991	0,3460	6,45
3	2,582000	-0,000370	0,000010	-0,247400	-	-	0,993	0,3096	5,77
4	-	-0,000080	0,000092	-0,000002	0,000240	-	0,997	0,3829	7,14
5	-12,870000	0,406800	-0,002954	-0,028800	0,000290	0,802000	0,997	0,2074	3,87
6	-9,163970	2,036130	0,724720	-	-	-	0,993	0,3653	6,81
7	-4,111000	1,449000	-64,421000	-	-	-	0,942	0,7016	13,08
8	-9,272200	0,967600	-	-	-	-	0,988	0,3544	6,61

Eq.: equação;  $\beta_0$  ...,  $\beta_5$  = parâmetros dos modelos ajustados;  $R^2_{aj}$ : coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$ : erro da estimativa;  $S_{yx}$ : erro da estimativa percentual.

O coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) para a espécie variou de 0,942 a 0,997. O erro de estimativa variou de 0,2074 m<sup>3</sup> a 0,7016 m<sup>3</sup> e o erro de estimativa percentual de 3,87 a 13,08%. Todas as equações analisadas tiveram os valores de  $R^2_{aj}$  acima de 0,90.

Das duas equações de simples entrada a equação 1 foi a que melhor se ajustou para a espécie estudada, com  $R^2_{aj}$  de 0,962 e  $S_{yx}$ % de 13,01%. Analisando os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 17) e dispersão de resíduos (Figura 18), a equação 7 apresentou tendência a superestimar os volumes.

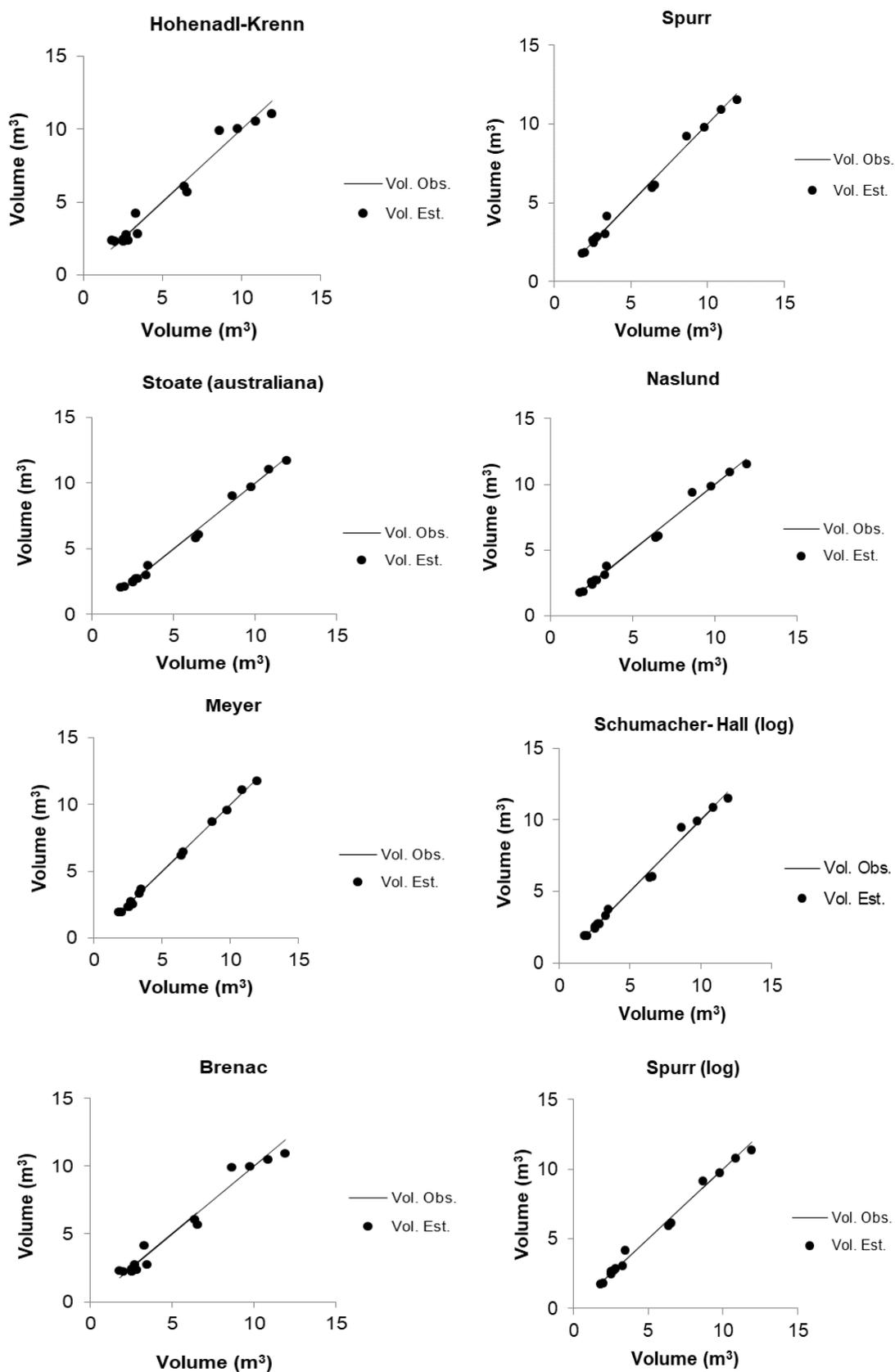
Lima et al. (2014), analisando ajuste para o volume do fuste da espécie *Mora paraensis* observaram tendenciosidade para estimativa volumétrica para o modelo de Brenac, fazendo com que apenas a variável DAP não explique satisfatoriamente a variação do volume, propiciando valores altos para os resíduos.

Para as equações de dupla entrada, as equações 4 e 5 obtiveram os melhores valores para o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) de 0,997

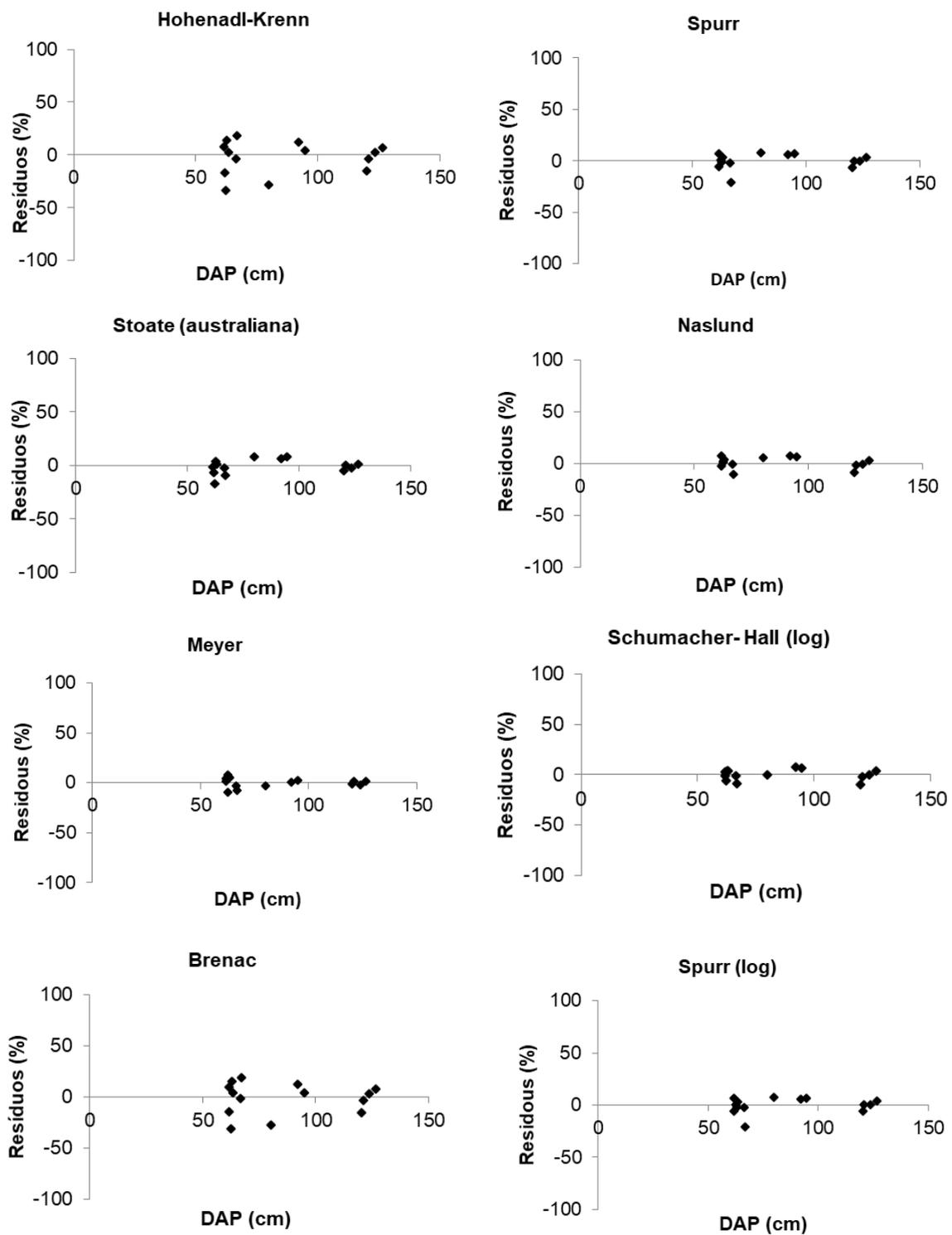
para ambos. O erro da estimativa foi de 0,3829 m<sup>3</sup> e 0,2074 m<sup>3</sup> e o S<sub>yx</sub>% de 7,14% e 3,87%, respectivamente.

Avaliando equações de volume, Santos et al. (2006) verificaram que os modelos propostos por Naslund e Meyer foram satisfatórios para as árvores de espécies nativas com diâmetros médios acima de 30cm, apresentando valores de R<sup>2</sup><sub>aj</sub> de 0,994 para Naslund e 0,9825 para Meyer. Porém Silva et al. (2017) analisando a distribuição residual dos dados, pode-se observar que o modelo de Meyer, mesmo tendo menor S<sub>yx</sub>% não mostrou ajuste satisfatório, devido a elevada tendência subestimando o volume.

Ao analisar os gráficos de volume observado e estimado (Figura 17) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para a espécie *Apuleia leiocarpa* (Figura 18) a equação 5 foi a que estimou com maior exatidão. A análise gráfica dos resíduos demonstrou distribuição dos pontos, em sua maior parte, concentrados em torno da reta de erro.



**Figura 17.** Volumes observado e estimado para a espécie *Apuleia leiocarpa* na Amazônia Meridional.



**Figura 18.** Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie *Apuleia leiocarpa* na Amazônia Meridional.

#### 4.2.9 *Trattinnickia burseraefolia* (Morcegueira)

Para a espécie *Trattinnickia burseraefolia* os valores médios foram de: 88,73 cm para o DAP, 11,79 m para a altura e 6,40 m<sup>3</sup> para o volume. Os parâmetros estatísticos para as equações de volume ajustadas podem ser observados na Tabela 12.

**Tabela 12.** Equações de volume ajustadas para a espécie *Trattinnickia burseraefolia* na Amazônia Meridional.

Eq.	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$ (m <sup>3</sup> )	$S_{yx}$ (%)
1	-1,150864	0,011866	0,000752	-	-	-	0,970	0,8503	13,28
2	0,693300	0,000052	-	-	-	-	0,987	0,5626	8,78
3	-0,722400	0,000185	0,000038	0,112200	-	-	0,987	0,5572	8,70
4	-	0,000314	0,000002	0,000417	-0,016260	-	0,996	0,5283	8,25
5	-2,527000	0,112500	-0,001036	-0,000200	0,000088	0,138400	0,987	0,5514	8,61
6	-8,838100	1,874300	0,868800	-	-	-	0,982	0,5451	8,51
7	3,624900	0,107800	-204,354000	-	-	-	0,932	1,1887	18,56
8	-8,760200	0,915600	-	-	-	-	0,983	0,5033	7,86

Eq.: equação;  $\beta_0$  ...,  $\beta_5$  = parâmetros dos modelos ajustados;  $R^2_{aj}$ : coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$ : erro da estimativa;  $S_{yx}$ : erro da estimativa percentual.

Conforme observado, as oito equações demonstraram um coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) variando de 0,932 a 0,996. O erro da estimativa variou de 0,5033 m<sup>3</sup> a 1,1887 m<sup>3</sup> e o  $S_{yx}$ % foi de 7,86% a 18,56%. Todos os modelos analisados para esta espécie tiveram os valores de  $R^2_{aj}$  acima de 90%.

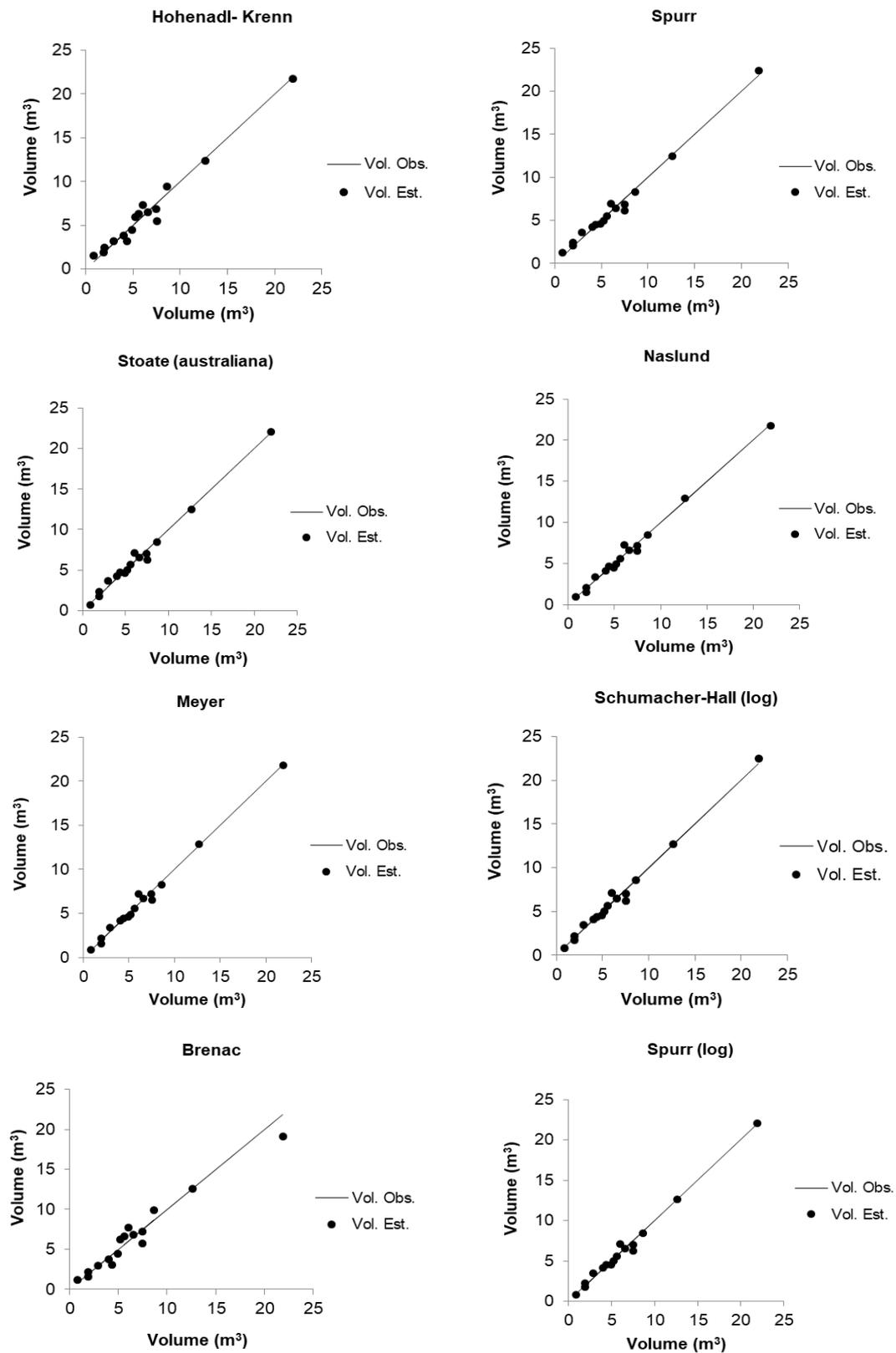
As equações de simples entrada apresentaram  $R^2_{aj}$  de 0,970 e 0,932 e erro da estimativa percentual de 13,28 % e 18,56% para a equação 1 e 7. Para a equação de simples entrada, a equação 1 foi a que melhor se ajustou para a espécie estudada, considerando a análise dos gráficos de volumes observado e estimado (Figura 19) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para a espécie (Figura 20).

Para as equações de dupla entrada, a equação 4 apresentou o coeficiente de determinação ajustado de 0,996, erro da estimativa de 0,5283 m<sup>3</sup> e erro de estimativa percentual de 8,25%. A equação 6 (Meyer) apresentou um  $R^2_{aj}$  de 0,987, erro da estimativa 0,5514 m<sup>3</sup> e  $S_{yx}$ % de 8,61%.

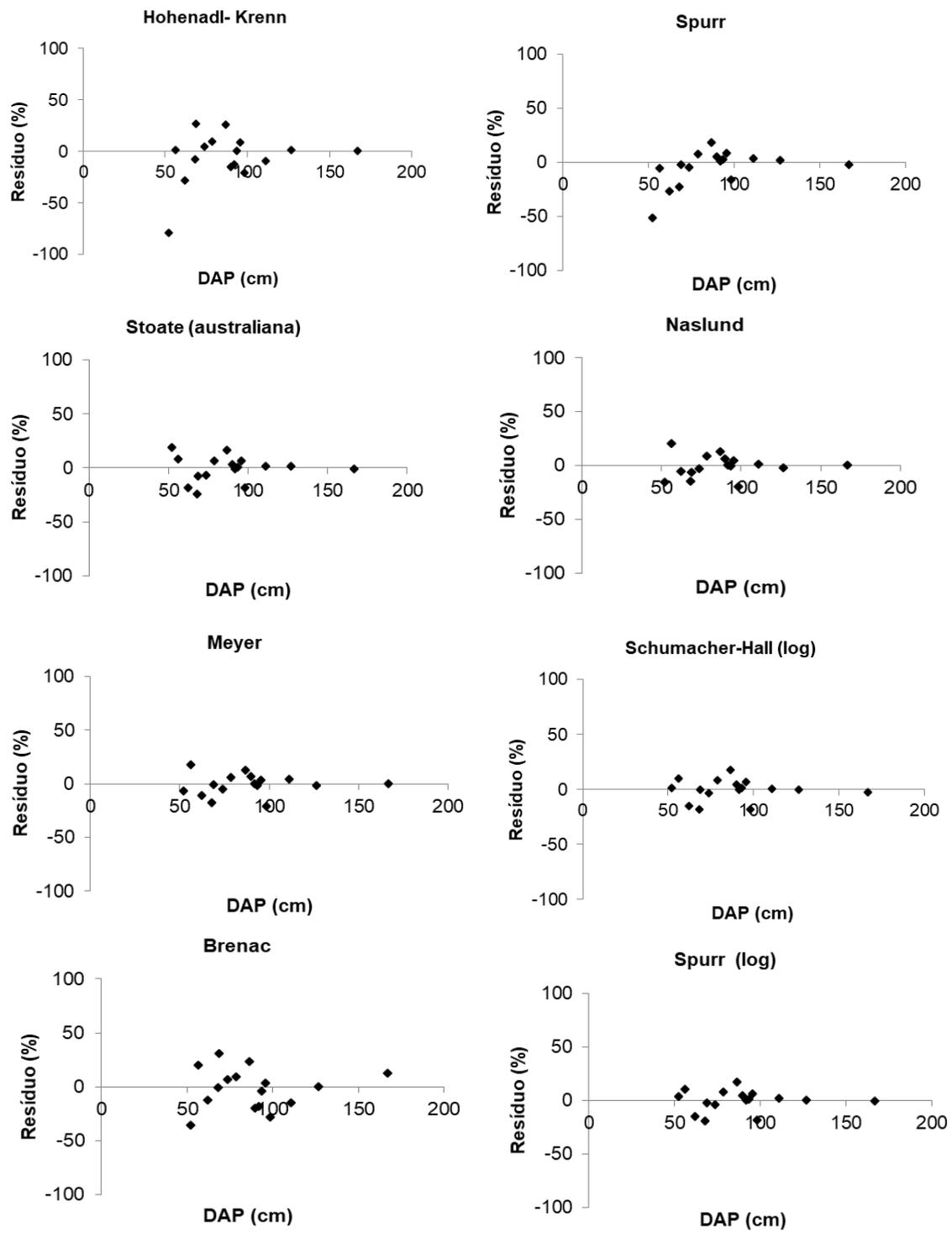
Ao analisar os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 19) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para a espécie (Figura 20), a

equação 4 foi a que apresentou melhor distribuição e menor valor de erro padrão de estimativa.

Miranda et al. (2014) avaliaram a estimativa de volume para duas espécies florestais da região norte de Mato Grosso, sendo uma delas a *Trattinnickia burseraefolia* e concluíram que a equação de Stoate foi a que obteve melhor precisão de ajuste ao estimar o volume comercial. As equações de ajuste podem ser distintas em relação a região, pois a forma de levantamento dos dados a campo, os valores mínimos e máximos de DAP e altura comercial podem influenciar as estimativas de ajuste volumétricos e determinar qual a equação terá melhor ajuste para a mesma espécie.



**Figura 19.** Volumes observado e estimado para a espécie *Trattinnickia burseraefolia* na Amazônia Meridional.



**Figura 20.** Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie *Trattinnickia burseraefolia* na Amazônia Meridional.

#### 4.2.10 *Aspidosperma eburneum* (Peroba-amarela)

Para a espécie *Aspidosperma eburneum*, os resultados médios das variáveis dendrométricas foram 61,27 cm para DAP, para altura de 8,41m e o volume foi de 2,23m<sup>3</sup>. As observações das equações ajustadas com seus respectivos parâmetros de regressão podem ser observadas na Tabela 13. O coeficiente de determinação ajustado para todas as equações estimadas variou de 0,882 a 0,997 e o erro da estimativa de 0,1067 m<sup>3</sup> a 1,8065 m<sup>3</sup>. Já o erro da estimativa percentual variou de 3,74 a 48,66%. Com exceção da equação 7, as demais tiveram valores de R<sup>2</sup><sub>aj</sub> acima de 90%.

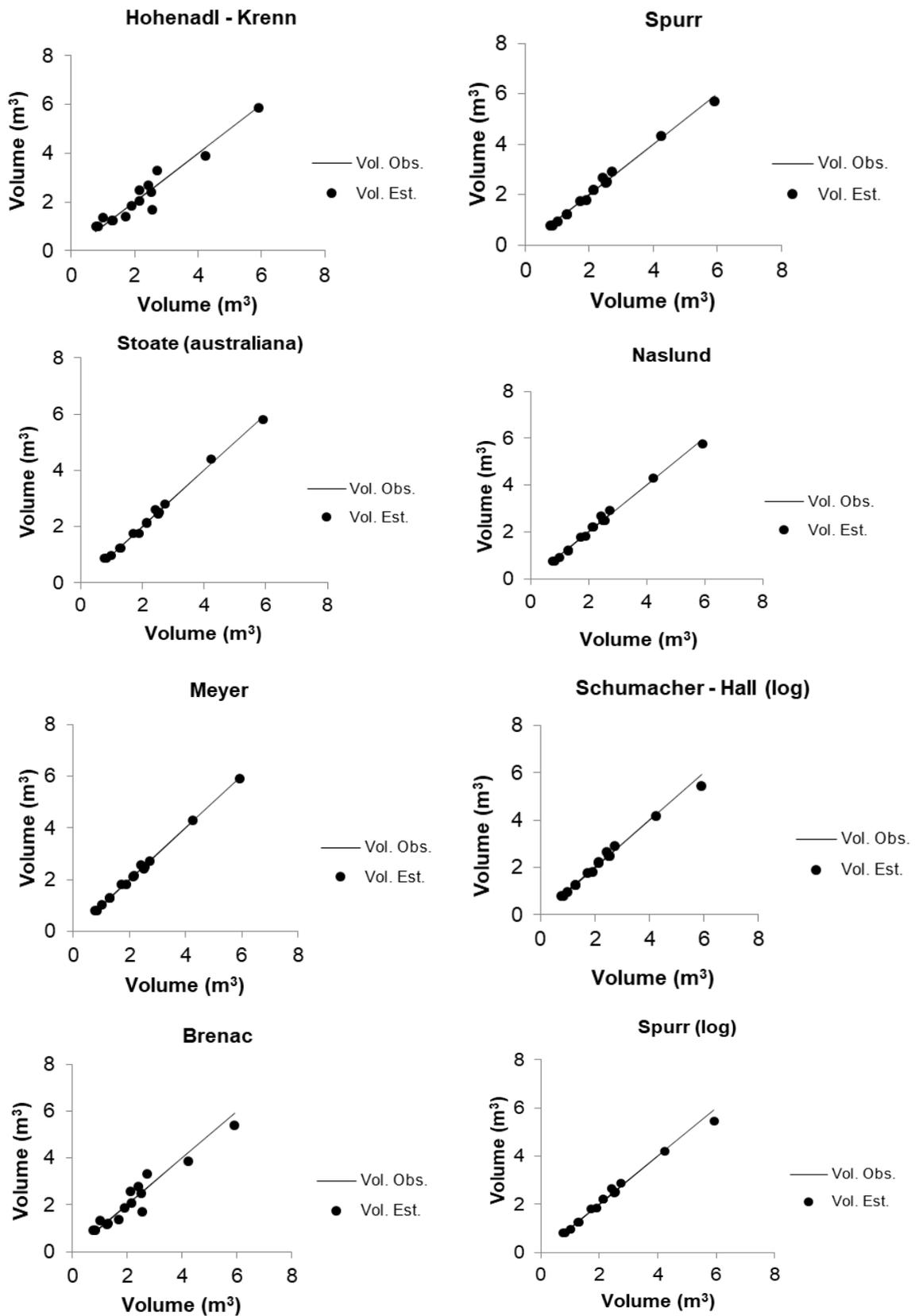
**Tabela 13.** Equações de volume ajustadas para a espécie *Aspidosperma eburneum* na Amazônia Meridional.

Eq.	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> (m <sup>3</sup> )	S <sub>yx</sub> (%)
1	1,322973	-0,067659	0,001298	-	-	-	0,919	0,3857	17,28
2	0,045330	0,000063	-	-	-	-	0,992	1,0865	48,66
3	0,862800	-0,000273	0,000089	-0,080940	-	-	0,994	0,1067	4,78
4	-	-0,000036	0,000074	-0,000092	0,003276	-	0,997	0,1390	6,23
5	-8,642045	0,305264	-0,002639	-0,036368	0,000365	1,079014	0,996	0,0834	3,74
6	-8,978630	1,882700	0,914180	-	-	-	0,992	0,1661	7,44
7	3,197580	0,082950	-170,973920	-	-	-	0,882	0,4228	18,94
8	-8,921010	0,930220	-	-	-	-	0,993	0,1634	7,32

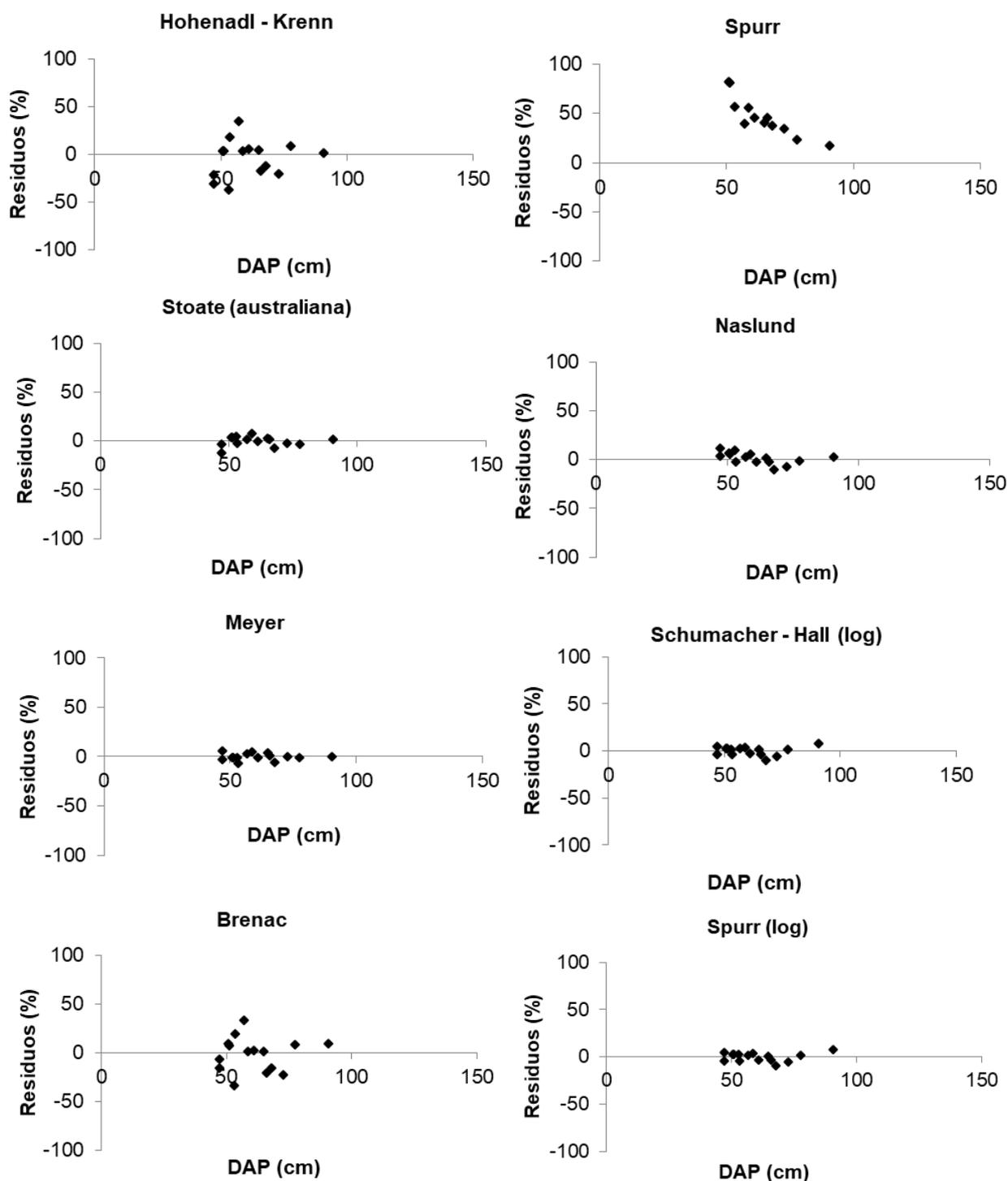
Eq.: equação;  $\beta_0$  ...,  $\beta_5$  = parâmetros dos modelos ajustados; R<sup>2</sup><sub>aj</sub>: coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub>: erro da estimativa; S<sub>yx</sub>: erro da estimativa percentual.

Analisando as de simples entrada, a equação 1 apresentou um R<sup>2</sup><sub>aj</sub> de 0,919 e S<sub>yx</sub>% de 17,28%. Para a equação 7, o valor de R<sup>2</sup><sub>aj</sub> foi de 0,882 e S<sub>yx</sub>% de 18,94%. Observando os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 20) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado (Figura 21), a equação 1 foi o que melhor se ajustou para a espécie estudada.

Nas equações de dupla entrada, as equações 4 e 5 apresentaram os melhores valores de R<sup>2</sup><sub>aj</sub> e S<sub>yx</sub>%. Analisando em conjunto com os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 20) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para a espécie (Figura 21), a equação 5 foi a que estimou com maior precisão.



**Figura 21.** Volumes observado e estimado para a espécie *Aspidosperma eburneum* na Amazônia Meridional.



**Figura 22.** Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie *Aspidosperma eburneum* na Amazônia Meridional.

Segundo Lima et al., (2014) os modelos de dupla entrada de Schumacher – Hall e Meyer foram os que apresentaram melhores resultados para a floresta estadual do Amapá, Brasil.

#### 4.2.11 *Bowdichia nitida* (Sucupira-amarela)

As árvores da espécie *Bowdichia nitida* foram apresentaram DAP médio de 81,02cm, altura e volume médios de 10,72m e 4,74m<sup>3</sup>, respectivamente.

Os parâmetros de regressão podem ser vistos na Tabela 14. Das oito equações ajustadas o R<sup>2</sup><sub>aj</sub> variou de 0,963 a 0,996, ou seja, todas com valores acima de 90%. O erro da estimativa variou de 0,3287 m<sup>3</sup> a 0,4935 m<sup>3</sup> e o erro da estimativa percentual de 6,94% a 10,42%.

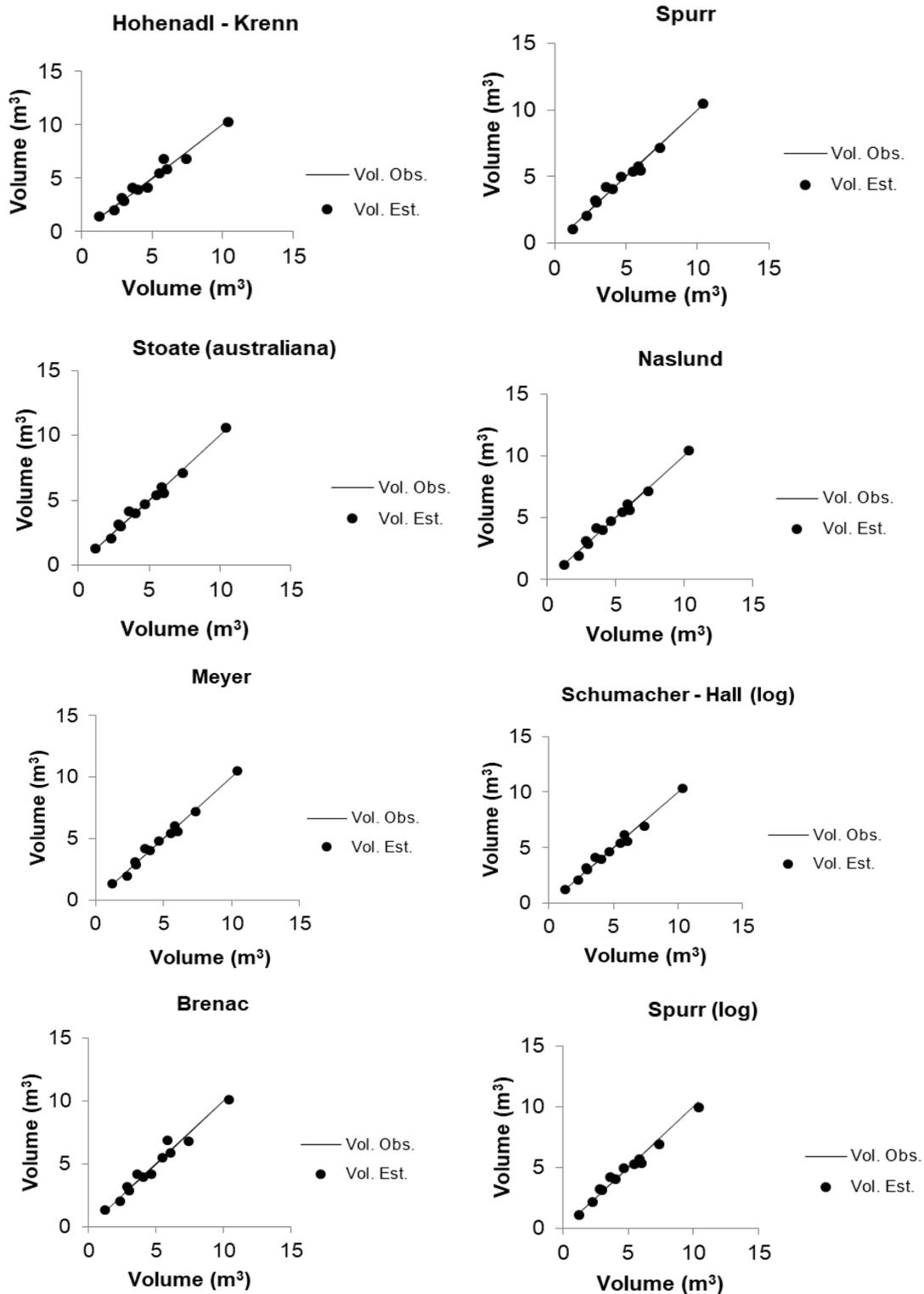
**Tabela 14.** Equações de volume ajustadas para a espécie *Bowdichia nitida* na Amazônia Meridional.

Eq.	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	S <sub>yx</sub> (m <sup>3</sup> )	S <sub>yx</sub> (%)
1	0,572873	-0,044701	0,001141	-	-	-	0,963	0,4845	10,23
2	-0,020400	0,000062	-	-	-	-	0,982	0,3354	7,08
3	0,501000	0,000125	0,000057	-0,089480	-	-	0,983	0,3287	6,94
4	-	0,000360	0,000015	0,000323	-0,018130	-	0,996	0,3481	7,35
5	5,156000	-0,112300	0,000755	0,013250	-0,000017	0,649100	0,978	0,3707	7,82
6	-9,588000	2,203700	0,579100	-	-	-	0,982	0,3296	6,96
7	-3,485000	1,397000	-93,657000	-	-	-	0,966	0,4935	10,42
8	-9,075150	0,944590	-	-	-	-	0,976	0,3872	8,17

Eq.: equação;  $\beta_0$  ...,  $\beta_5$  = parâmetros dos modelos ajustados; R<sup>2</sup><sub>aj</sub>: coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub>: erro da estimativa; S<sub>yx</sub> %: erro da estimativa percentual.

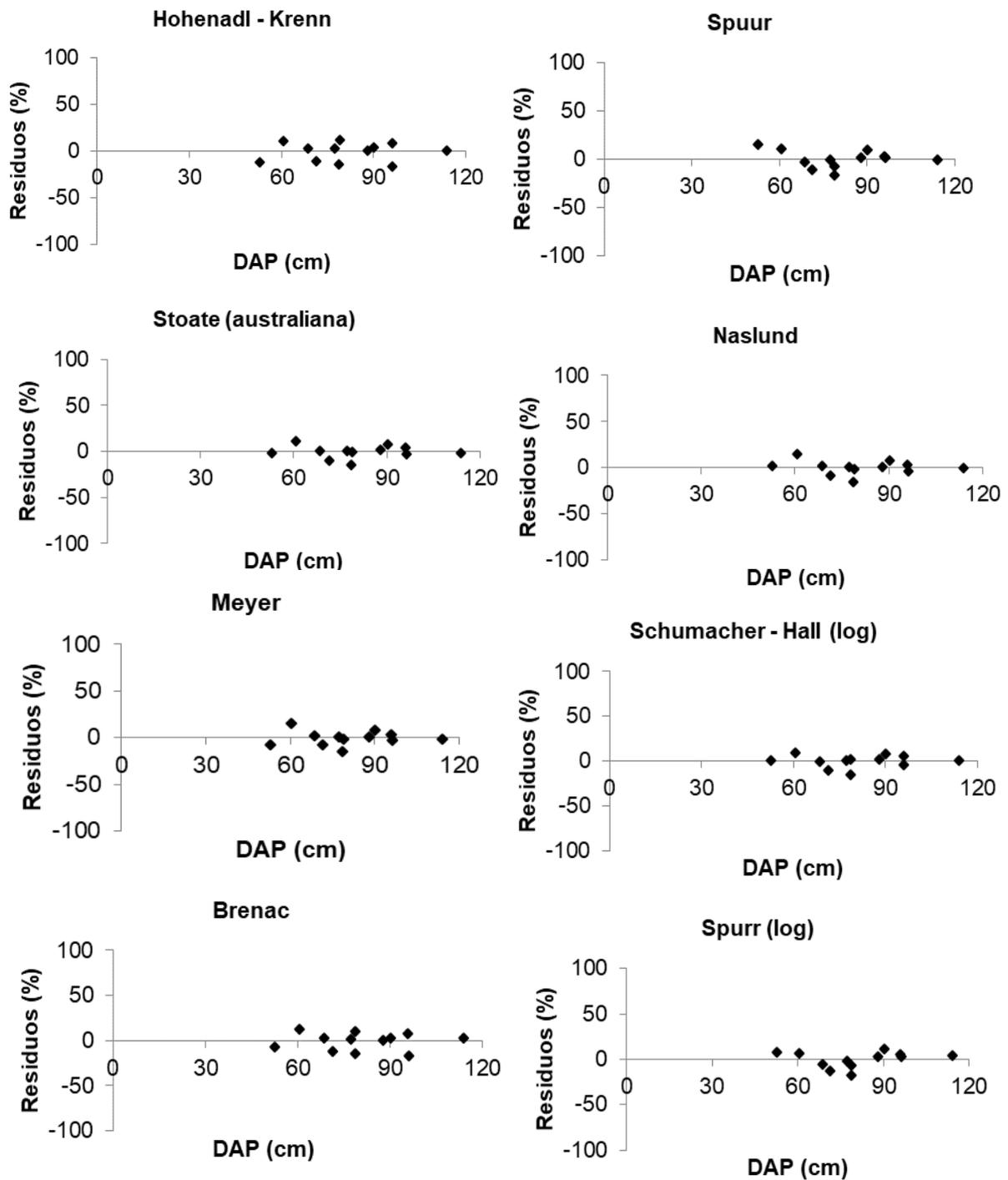
Entre as duas equações de simples entrada, a equação 1 foi o que melhor se ajustou para a espécie estudada considerando os parâmetros estatísticos de regressão e a análise dos gráficos de volumes observado e estimado (Figura 20) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para a espécie (Figura 21) A equação 7apresentou tendência a superestimar os volumes.

Das seis equações de dupla entrada, apresentaram melhores resultados as equações 4 (R<sup>2</sup><sub>aj</sub> de 0,996; S<sub>yx</sub> de 0,3481m<sup>3</sup>; S<sub>yx</sub>% de 7,35%), 6 (R<sup>2</sup><sub>aj</sub> 0,982; S<sub>yx</sub> 0,3296 m<sup>3</sup>; S<sub>yx</sub>% 6,96%) e 2 (R<sup>2</sup><sub>aj</sub> 0,982; S<sub>yx</sub> 0,3354 m<sup>3</sup>; S<sub>yx</sub>% 7,08%)



**Figura 23.** Volumes observado e estimado para a espécie *Bowdichia nitida* na Amazônia Meridional.

Ao analisar os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 23) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para a espécie (Figura 24) selecionou-se a equação 6.



**Figura 24.** Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para a espécie *Bowdichia nitida* na Amazônia Meridional.

#### 4.2.12 Mix das 11 espécies

Para o mix das espécies os parâmetros das equações ajustadas são apresentados na Tabela 15. Analisando os parâmetros individualmente, o maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), foi de 0,993 para a equação 4. Porém o menor erro da estimativa foi de 0,4060 m<sup>3</sup> e o percentual foi de 9,88% para a equação 5.

**Tabela 15.** Equações de volume ajustadas para o mix de espécies estudadas na Amazônia Meridional.

Eq.	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$ (m <sup>3</sup> )	$S_{yx}$ (%)
1	-0,595800	0,009079	0,000675	-	-	-	0,894	0,9416	22,90
2	0,328700	0,000055	-	-	-	-	0,976	0,4529	11,02
3	-0,346500	0,000199	0,000040	0,045870	-	-	0,980	0,4112	10,00
4	-	0,000171	0,000043	-0,000004	0,001450	-	0,993	0,4153	10,10
5	2,436000	-0,066910	0,000560	0,006420	0,000006	0,225600	0,980	0,4060	9,88
6	-8,867950	1,910260	0,814070	-	-	-	0,983	0,4083	9,93
7	-5,762600	1,745900	-33,515300	-	-	-	0,850	0,9475	23,05
8	-8,748150	0,913627	-	-	-	-	0,981	0,4524	11,00

Eq.: equação;  $\beta_0$  ...,  $\beta_5$  = parâmetros dos modelos ajustados;  $R^2_{aj}$ : coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$ : erro da estimativa;  $S_{yx}$ : erro da estimativa percentual.

O padrão de valores para as equações de simples entrada não foi alterado em função da análise ser do mix de espécies e não individualmente. O coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) foi inferior a 0,90 para as equações de simples entrada. Ao analisar os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 25) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para as espécies (Figura 26), das duas equações de simples entrada, a equação 1 foi a que melhor se ajustou para o mix de espécies. Esta equação de simples entrada também foi a que melhor se ajustou para as onze espécies, quando estudadas individualmente.

As equações de simples entrada utilizam apenas DAP como variável independente e as de dupla entrada utilizam o DAP e H como variáveis independentes, combinadas ou não. Segundo Higuchi (2008b) ambas produzem bons ajustes.

Analisando as equações de dupla entrada, as melhores equações para o mix de espécies foram a equação 4, com  $R^2_{aj}$  de 0,993, erro da estimativa

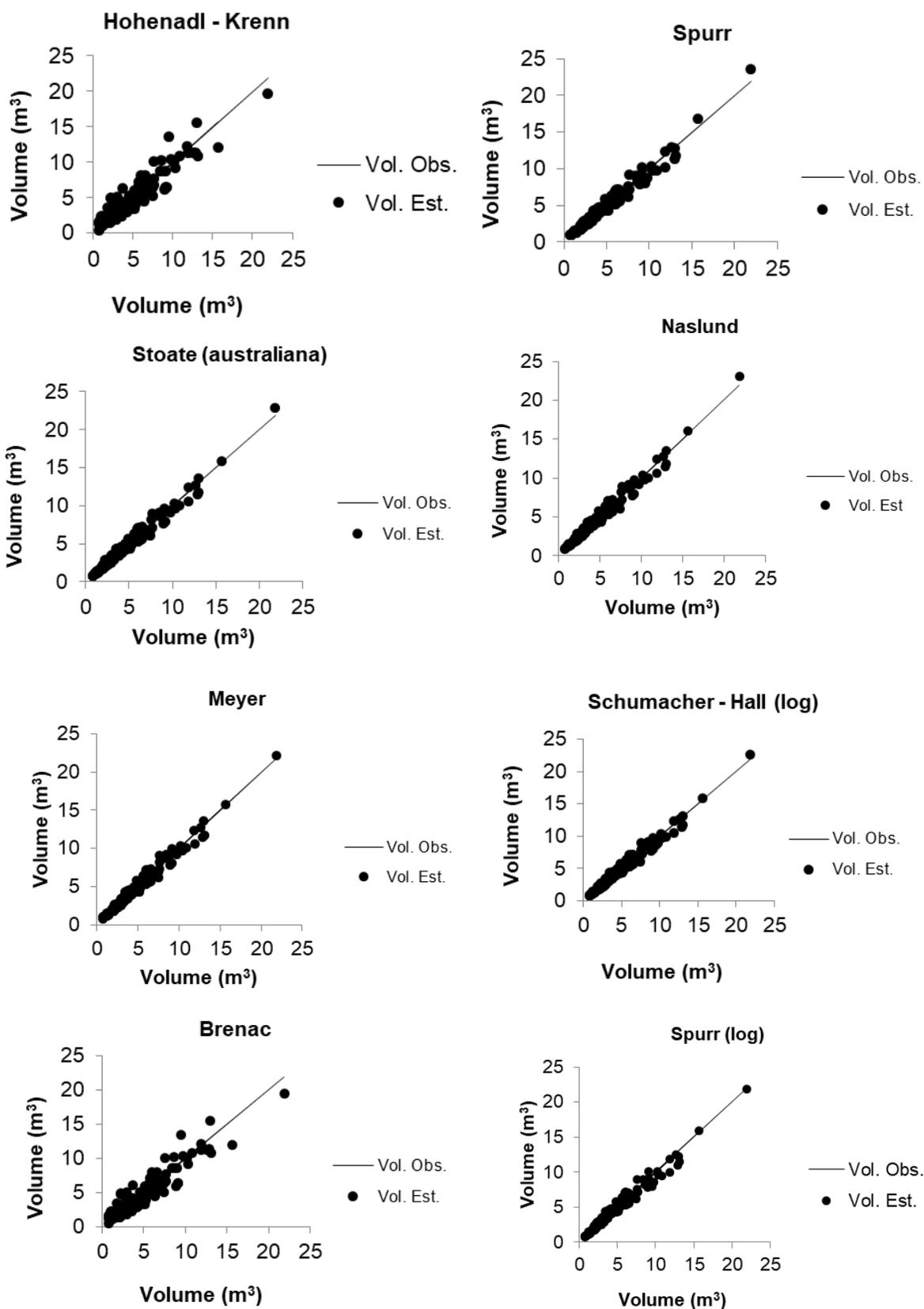
de 0,4153 m<sup>3</sup>, erro da estimativa percentual de 10,10% e equação 6, com valores para R<sup>2</sup><sub>aj</sub> de 0,983, erro da estimativa 0,4083 m<sup>3</sup> e S<sub>yx</sub>% de 9,88%.

Conforme os gráficos de volumes observado e estimado (Figura 25) e dispersão de resíduos dos modelos ajustado para a espécie (Figura 26) selecionou-se a equação 6, que estimou com maior precisão os dados analisados.

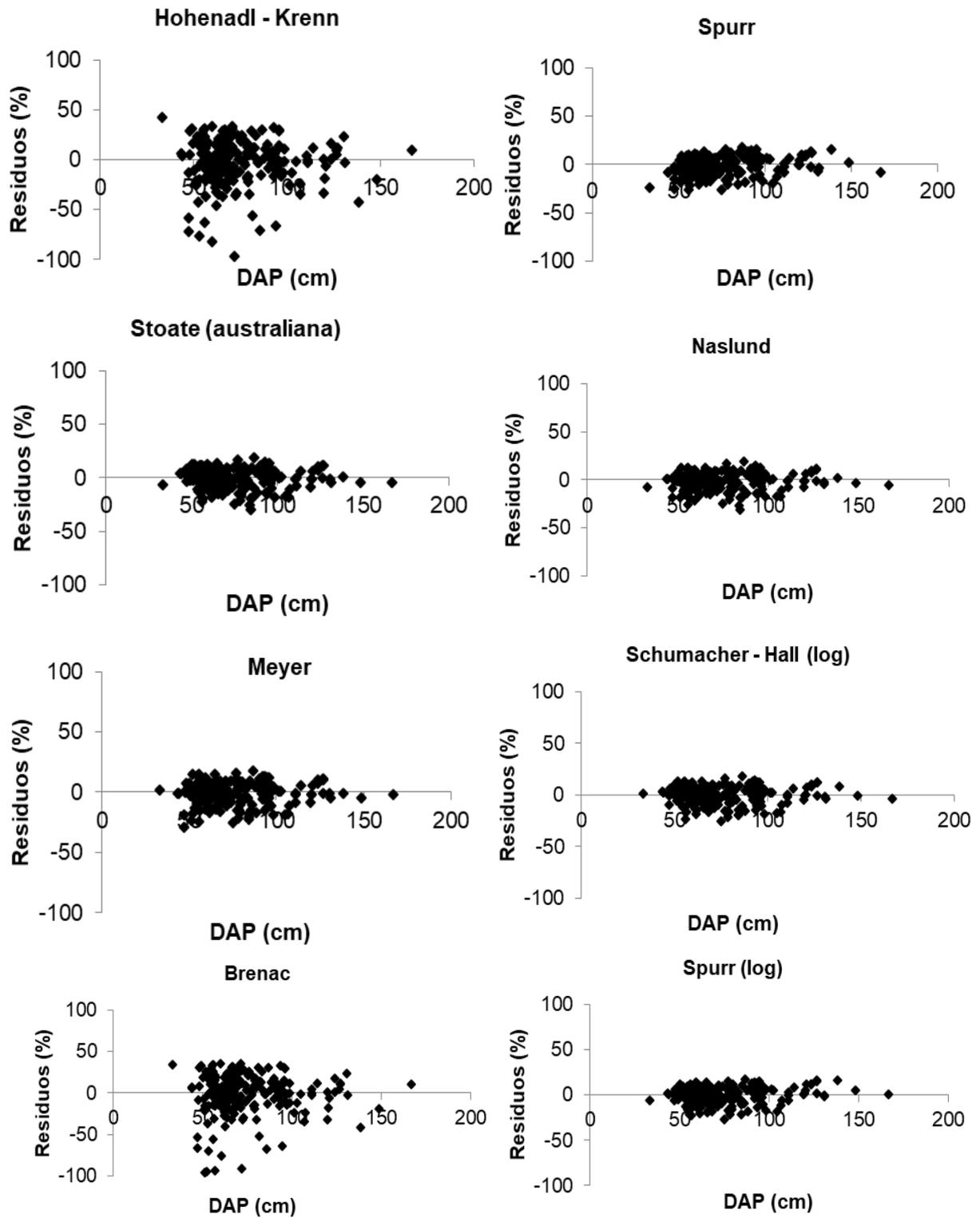
Ao avaliar individualmente as espécies estudadas, a equação 6 (Schumacher-Hall) apresentou maior exatidão nos ajustes para sete espécies (*Ormosia paraensis*, *Qualea paraensis*, *Ocotea puberula*, *Erismia uncinatum*, *Cedrelinga cateniformis*, *Dipteryx odorata* e *Bowdichia nítida*) a equação 4 (Naslund) para duas (*Hymenolobium petraeum* e *Trattinnickia burseraefolia*) e a equação 5 (Meyer) para duas espécies (*Apuleia leiocarpa* e *Aspidosperma eburneum*). Observa-se que a equação 6 (Schumacher-Hall) apresentou maior precisão para estimar o volume em função dos diâmetros e altura total das árvores porque os parâmetros da equação consideram as variáveis dendrométricas utilizadas na fórmula básica para cálculo de volume de madeira em tora.

Gomes (2008) verificou que para um mix de 53 espécies a equação de dupla entrada de Schumacher-Hall original obteve o melhor ajuste para medição de árvores derrubadas. A mesma equação foi a selecionada por Colpini et al. (2009) para um mix de 16 espécies, em Thaines et al. (2010) na região do Amazonas com um mix de 15 espécies para árvores derrubadas. Silva e Santana (2014) também avaliaram um mix de árvores abatidas e selecionaram a equação de Schumacher-Hall. Ribeiro et al. (2014) para um mix de 12 espécies na Floresta Nacional dos Tapajós e Correia, Fantini e Piazza (2017), para um mix de 40 espécies em floresta secundária no litoral de Santa Catarina, verificaram que Schumacher-Hall destacou-se entre os demais.

Nos últimos 45 anos os modelos volumétricos mais avaliados no Brasil foram Schumacher-Hall, Stoate, Spurr, Meyer, Naslund, Ogaya, Takata e Honer. Dentre esses, 41% mostraram superioridade do método de Schumacher-Hall (ANDRADE, 2017).



**Figura 25.** Volumes observado e estimado para o mix de espécies na Amazônia Meridional.



**Figura 26.** Dispersão dos resíduos obtidos pelo cálculo do volume observado para o mix das espécies na Amazônia Meridional.

### 4.3 Fator de forma

Conforme observado na Tabela 16, foram estimados o fator de forma por espécie e para o mix das espécies para obtenção do volume comercial. O fator de forma médio foi de 0,7978, sendo o mínimo de 0,7454 e máximo 0,8821.

O fator de forma deve ser utilizado individualmente para cada espécie evitando o uso do fator de forma médio para as espécies analisadas, pois tende a superestimar o volume de madeira comercial. 55% das espécies objeto desse estudo, obtiveram fator de forma inferior à média. Possui uma relação mais próxima da forma cilíndrica as espécies *Ocotea puberula*, *Apuleia leiocarpa*, *Aspidosperma eburneum*, e *Hymenolobium petraeum* e *Ormosia parensis* pois o fator de forma individual variou de 0,8002 a 0,8821, enquanto para a espécie *Cedrelinga cateniformis* a conicidade é maior, cujo fator de forma foi de 0,7454

Figueiredo, Schroeder e Papa (2009), avaliando o fator de forma médio para várias espécies comerciais da Amazônia encontraram valores médio, mínimo e máximo de 0,874, 0,804 e 0,927 respectivamente. Entretanto, Colpini et al. (2009) observaram fatores de forma médio de 0,7424 para espécies analisadas no noroeste de Mato Grosso. Ressalta-se que o fator de forma requerido pelos órgãos ambientais é de 0,7 para espécies da Amazônia (BRASIL, 2009).

Segundo Scolforo e Figueiredo Filho (1998) o fator de forma é influenciado pela espécie, sítio, espaçamento e idade por isso deve-se ter cautela ao utilizar um único fator de forma. É uma informação útil em avaliações expedidas de volume aproveitável de árvores para produção de madeira serrada (CORREIA et al., 2017).

**Tabela 16.** Estimativa do fator de forma para volume comercial para as árvores de 11 espécies florestais na Amazônia Meridional.

Espécies	Nº amostra	Média FF	Variância FF	Desvio - Padrão	Variância da média	Erro padrão da média	Coeficiente de Erro	IC inferior	IC superior	
							Variação (%)			
<i>Hymenolobium petraeum</i>	23	0,8058	0,0067	0,0817	0,0241	0,0170	0,0353	10,14	0,7705	0,8411
<i>Ormosia paraensis</i>	12	0,8002	0,0069	0,0834	0,0134	0,0241	0,0530	10,42	0,7472	0,8531
<i>Qualea paraensis</i>	28	0,7607	0,0051	0,0711	0,0118	0,0134	0,0276	9,35	0,7331	0,7883
<i>Ocotea puberula</i>	22	0,8821	0,0031	0,0552	0,0162	0,0118	0,0245	6,26	0,8576	0,9066
<i>Erisma uncinatum</i>	26	0,7709	0,0068	0,0824	0,0125	0,0162	0,0333	10,69	0,7377	0,8042
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	33	0,7454	0,0052	0,0719	0,0172	0,0125	0,0255	9,64	0,7200	0,7709
<i>Dipteryx odorata</i>	18	0,7774	0,0053	0,0729	0,0161	0,0172	0,0363	9,38	0,7411	0,8136
<i>Apuleia leiocarpa</i>	14	0,8375	0,0036	0,0602	0,0237	0,0161	0,0348	7,19	0,8028	0,8723
<i>Trattinnickia burseraefolia</i>	16	0,7741	0,0090	0,0948	0,0136	0,0237	0,0505	12,25	0,7236	0,8246
<i>Aspidosperma eburneum</i>	15	0,8308	0,0028	0,0525	0,0206	0,0136	0,0291	6,32	0,8018	0,8599
<i>Bowdichia nitida</i>	12	0,7906	0,0051	0,0713	0,0000	0,0206	0,0453	9,02	0,7452	0,8359
Mix	219	0,7978	0,0068	0,0824	0,0000	0,0056	0,0110	10,33	0,7868	0,8088
<b>Total</b>	438									
Máximo	219	0,8821	0,0090	0,0948	0,0241	0,0241	0,0530	12,25	0,8576	0,9066
Minimo	12	0,7454	0,0028	0,0525	0,0000	0,0056	0,0110	6,26	0,7200	0,7709
Média	36,5	0,7978	0,0055	0,0725	0,0141	0,0160	0,0338	9,25	0,7639	0,8316

## **5. CONCLUSÕES**

O modelo de Schumacher-Hall apresentou maior precisão nos ajustes para sete das espécies estudadas, Naslund para duas e Meyer para duas espécies.

Para o mix de espécies o modelo de Schumacher–Hall foi o que obteve a melhor precisão nos ajustes de volumes.

Para as espécies avaliadas, utilizar o fator de forma individualmente por espécie.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C.A.; J.L., STAPE; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; GERD SPAROVEK, G. Koopen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Gebruder Borntraeger, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2014.

ANDRADE, V. C. L. Modelos volumétricos de dupla entrada para aplicar em povoamentos florestais brasileiros. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, 2017.

BARROS, P. L. C; SILVA JÚNIOR, A. T. Equação de volume para árvores de uma floresta tropical densa no município de Anapu, Oeste do Estado do Pará, Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 51, n. 1, 2009.

BRASIL. Resolução nº 406, de 06 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável- PMFS com fins madeiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. **D.O.U.**, 06/02/2009. Seção 1.

BRASIL. Portaria nº 332, de 25 de agosto de 2011. Considerando o disposto no Decreto no 4.340, de 22 de agosto de 2001, reconhece o Mosaico da Amazônia Meridional. **D.O.U.**, 26/08/2011. Seção 1.

BRASIL. IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/porto-dos-gauchos/panorama>>. Acesso: 20 jun. 2018.

BRAZ, E.M.; FIGUEIREDO, E.O.; D'OLIVEIRA, M.V.N; PASSOS, C.A.M. Manejo florestal de precisão: modelo digital de exploração e manejo de florestas naturais. In: FIGUEIREDO, E.O.; BRAZ, E.M.; D'OLIVEIRA, M.V.N (Eds). **Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal**. 2ª Ed. Rio Branco: EMBRAPA Acre, 2008.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: EMBRAPA; Informação Tecnológica; Colombo: EMBRAPA Florestas. 2003.

CHAPMAN, H.H.; MEYER, W.H. **Forest Mensuration**. New York, McGraw-Hill Book Company, INC., 1949.

COLPINI, C. **Dinâmica e prognose da produção de uma floresta de contato Ombrófila Aberta/Estacional Semidecidual**. 2008. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

COLPINI, C.; TRAVAGIN, D.P.; SOARES, T.S.; SILVA, V.S.M. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. **Acta Amazonica**, v. 39, n.1, p.97-104, 2009.

CORREIA, J; FANTINI, A.; PIAZZA, G. Equações volumétricas e fator de forma e de casca para florestas secundárias do litoral de Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, p. 1-12, 2017.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no estado de São Paulo. **Revista IPEF**, n.37, p.33-44,1987.

DRESCHER, R.; GAVA, F. H.; PELISSARI, A. L.; ACOSTA, F. C.; SILVA, V.S.M. Equações volumétricas para *Tectona grandis* Linn F. em povoamentos jovens no estado de Mato Grosso. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v.1, n.2, p.65-70, 2014.

FAVALESSA, C. M. C. **Funções de afilamento segmentadas e não segmentadas para povoamentos de *Tectona grandis* L. f. no município de Rosário Oeste – MT.** 2011. 126f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

FERNANDES, A. M. V.; GAMA, J. R. V.; RODE, R.; MELO, L. O. Equações volumétricas para *Carapa guianensis* Aubl. e *Swietenia macrophylla* King em sistema silvipastoril na Amazônia. **Nativa**, Sinop, v.5, n.1, p.73-77, 2017.

FERREIRA, A. M. M.; SALATI, E. Forças de transformação do ecossistema amazônico. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 54, p. 25-44, 2005.

FIGUEIREDO E. O; SCHROEDER R.; PAPA D.A. **Fatores de Forma para 20 Espécies Florestais Comerciais da Amazônia.** Comunicado Técnico nº 173. Rio Branco: Embrapa/Acre, 2009.

FRANCEZ, L. M. B.; SOUZA, D. V.; TAKEHANA, C. L. I.; BARROS, P. L. C. **Manual para análise de inventário florestal e equação de volume em projetos de manejo florestal sustentável – PMFS.** Belém: Secretaria de Estado de Meio Ambiente, 2010. 66 p.

GAMA, J.R.V; SOUZA, A.L.; VIEIRA, D.S.; LEITE, H.G. Equações de volume para uma floresta ombrófila aberta, município de Codó, estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.12, n.4, p. 535-542, 2017.

GIMENEZ, B. O. **Equações volumétricas e o modelo que utiliza o fator de forma médio: um estudo de caso na Amazônia central.** 2013. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais Tropicais) – Instituto Espacial de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2013.

GIMENEZ, B. O.; DANIELLI, F. E.; OLIVEIRA, C. K.; HIGUCHI, N. Equações volumétricas para espécies comerciais madeireiras do sul do estado de Roraima. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 291-301, 2015.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. A. **Determinação de equações volumétricas na Engenharia Florestal.** Série Técnica IPEF, Piracicaba, v. 9, n.26. 1993, 36p.

GOMES, J. M. **Modelos para estimar o volume de madeira da Reserva Extrativista Auatí-Paraná, região do Alto Solimões, Fonte Boa (AM)**. 2008. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais Tropicais) – Instituto Espacial de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2008.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; LIMA, A. J. N. **Biometria Florestal**. Manaus: INPA/CPST. 2008a. 141p.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; SILVA, R. P.; LIMA, N. A.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; FELSEMBURGH, C. A.; TRIBUZY, E. S. **Noções Básicas de Manejo Florestal**. Manaus: INPA. 2008b. 270p.

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

LIMA, R.B. APARÍCIO, O. S.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, W. C.; GUEDES, M. C.; OLIVEIRA, C. P.; SILVA, D. A. S.; BATISTA, A. P. B. Volumetria e classificação da capacidade produtiva para *Mora paraensis* (Ducke) no estuário amapaense. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p.141-154, 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum. 1992.

\_\_\_\_\_. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2 ed. Nova Odessa: Plantarum. 1998.

LOUREIRO, A. A.; FREITAS, J.A.; FREITAS, C.A.A. **Essências madeireiras da Amazônia**. Vol. 3. Manaus: MCT/INPA-CPPF, 1997.

LOUREIRO, A. A.; FREITAS, J. A.; RAMOS, K. B. L.; FREITAS, C. A. A. **Essências Madeireiras da Amazônia**. Vol. 4. Manaus: MCT/INPA-CPPF, 2000.

MATO GROSSO. PRODEAGRO. **Relatório técnico de vegetação consolidado para o estado de Mato Grosso**. Parte 2: Sistematização das Informações Temáticas. 2002. Disponível em: <<http://www.dados.mt.gov.br/publicacoes/dsee/vegetacao/vegetacao/DSEE-VG-RT-002.pdf>>. Acesso: 22 jun. 2018.

MATO GROSSO. Decreto nº 2152, de 12 de fevereiro de 2014. Regulamenta a Lei Complementar nº 233, de 21 de dezembro de 2005 no que diz respeito aos procedimentos de elaboração, análise e acompanhamento dos Planos de Manejo Florestal Sustentável Madeireiro no Estado de Mato Grosso. **D.O.E.**, 12/02/2014, Seção 1.

MATO GROSSO. Câmara Técnica Florestal. Resolução n.º 002, de 01 de julho de 2013. Dispõe sobre Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) aprovado após o decreto 1.862 de 24 de março de 2009 no Estado de Mato Grosso. **D.O.E.**, 01/07/2013.

- MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 4, n. 2, p. 185-197, 2002.
- MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. T.; VALE, A. T.; PEREIRA, R. S. Redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira e biomassa do cerradão com dados de satélite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.9, 2015.
- MIRANDA, D. L. C., PARO, B. A. V., COSTA, G. R. Estimativa do volume em árvores de *Hymenaea courbaril* L. e *Trattinnickia burseraefolia* Mart. no norte de Mato Grosso. **Revista Nativa**, Sinop, v. 02, n. 04, p.219-223, 2014.
- MIRANDA, D. L. C.; JUNIOR V. B.; GOUVEIA, D. M. Fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Plena**, Aracaju, v.11, n. 03, p. 1-8, 2015.
- MONTEIRO, A., CONRADO, D., CARDOSO, D., VERÍSSIMO, A., & SOUZA Jr., C. 2014. **Boletim Transparência Manejo Florestal do Estado do Mato Grosso (2011 – 2012)**. Belém: Imazon, 2012.
- MOREIRA, M.L.C.; VASCONCELOS, T.N.N. **Mato Grosso: Solos e Paisagens**. Cuiabá/MT: Entrelinhas, 2007.
- OLIVEIRA, R. C.; RODE, R.; GAMA, J. R. V.; ALMEIDA, E. C. Equações volumétricas para *Couratari stellata* A.C Smith (Tauari) na Floresta Nacional do Tapajós. **Nativa**, Sinop, v. 5, n. 2, p. 138-144, 2017.
- RIBEIRO, R. B. S.; GAMA, J. R. V.; MELO, L. O. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 605-612, 2014.
- RUFINI, A.L.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D.; MELLO, J.M. Equações volumétricas para o cerrado sensu stricto, em Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2010.
- SANTOS, K.; SANQUETTA, C. R. EISFIELD, R. L.; WATZLAWICK, L. F.; ZILLOTTO, M. A. B. Equações volumétricas por classe diamétrica para algumas espécies de folhosas da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v.8, n.1, p. 99-112, 2006.
- SCOLFORO, J. R. S., **Manejo florestal**. Lavras, UFLA/FAEPE. 1998.
- SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Biometria florestal: medição e volumetria de árvores**. Lavras, UFLA/FAEPE. 1998.

SCOLFORO, J. R. S., MELO, J.M. **Inventário florestal**. Lavras, UFLA/FAEPE. 1997.

SCOLFORO, J. R. S., THIERSCH. C. R. **Biometria florestal: medição, volumetria e gravimetria**. Lavras, UFLA/FAEPE. 2004.

SILVA, E. N.; SANTANA, A. C. Modelos de regressão para estimação do volume de árvores comerciais, em florestas de Paragominas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 5, p.631-636, 2014.

SILVA, R. C.; MELO, L. O.; XIMENES, L. C.; SILVA, R. B. Ajuste de equações volumétricas para diferentes seccionamentos de tora em uma floresta sob manejo florestal comunitário. **Acta Tecnológica**, São Luís, v.12, n. 2, p. 85-102, 2017.

SOUZA, M. H. MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. A. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília: IBAMA. Laboratório de Produtos Florestais.1997

THAINES, F. BRAZ. E. M., MATTOS, P. P., THAINES, A. A. R. Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do rio Ituxi, Lábrea, AM. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30, n.64, p.283-289, 2010.

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, p.319-327, 2006.

TOREZZAN, D. **Floresta manejada no norte de Mato Grosso é um oásis na paisagem dominada por outros cultivos**. Disponível em: <https://www.cipem.org.br/floresta-manejada-no-norte-de-mato-grosso-e-um-oasis-na-paisagem-dominada-por-outros-cultivos/> Acesso: 20 jun. 2018.