



**Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal**

**DESEMPENHO SILVICULTURAL DE ÁRVORE INDIVIDUAL DE  
EUCALIPTO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS PELO AJUSTE  
DE MODELOS VOLUMÉTRICOS**

**ÉDIPO FERNANDES DOS SANTOS**

Brasília

Setembro/2017



**Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal**

**DESEMPENHO SILVICULTURAL DE ÁRVORE INDIVIDUAL DE  
EUCALIPTO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS PELO AJUSTE  
DE MODELOS VOLUMÉTRICOS**

**ÉDIPO FERNANDES DOS SANTOS**

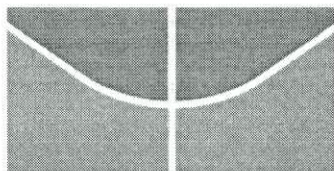
Orientador: Dr. Mauro Eloi Nappo

Coorientadora: Eng. Florestal Mirella Basileu de Oliveira Lima

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de Engenharia  
Florestal da Universidade de Brasília como  
parte das exigências para obtenção do título de  
Engenheiro Florestal.

Brasília

Setembro/2017



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

## DESEMPENHO SILVICULTURAL DE ÁRVORE INDIVIDUAL DE EUCALIPTO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS PELO AJUSTE DE MODELOS VOLUMÉTRICOS

Estudante: Édipo Fernandes dos Santos

Matrícula: 12/0115778

Orientador: Prof. Dr. Mauro Eloi Nappo

Menção: SS

---

Prof. Dr. Mauro Eloi Nappo  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador

---

Mirella Basileu de Oliveira Lima  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Coorientadora

---

Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Membro da Banca

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ter me concedido essa oportunidade.

Aos meus familiares, em especial a minha mãe e meus irmãos, por terem me apoiado e me dado força todos os dias para vencer mais este desafio.

Aos meus orientadores Mauro Eloi Nappo e Mirella Basileu de Oliveira Lima, por terem aceitado me orientar, e por todos os conhecimentos e ensinamentos que me passaram.

Ao seu Geraldo da FAL, pelo apoio dado aos campos realizados no início do meu projeto.

Aos meus irmãos, Eduardo e Rosana, e meus amigos, Isabella e Heitor, pelo apoio e companhia nos campos desse projeto.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal, pelos aprendizados e ensinamentos e pelo tempo de dedicação a cada aluno.

As secretárias do Departamento de Engenharia Florestal, Flávia e Milena, por todo apoio e dedicação no atendimento das minhas demandas no decorrer do curso.

Aos meus amigos que ganhei durante o curso, Arthur, Isabella (Zabella), Fernanda, Sara, Luíza, Loyane e Samuel.

E a todos os colegas da Engenharia Florestal.

# Sumário

<b>RESUMO.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVO .....</b>	<b>4</b>
<b>3. HIPÓTESE .....</b>	<b>4</b>
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
<b>4.1. Espaçamento.....</b>	<b>4</b>
<b>4.2. Delineamento sistemático tipo “leque” .....</b>	<b>5</b>
<b>4.3. Teste de identidade de modelos .....</b>	<b>6</b>
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>7</b>
<b>5.1. Caracterização da área de estudo.....</b>	<b>7</b>
<b>5.2. Coleta de dados .....</b>	<b>8</b>
<b>5.3. Análise de dados.....</b>	<b>12</b>
<b>5.4. Teste de identidade de modelos .....</b>	<b>13</b>
<b>5.4.1. Modelos lineares .....</b>	<b>14</b>
<b>5.4.2. Modelos não lineares .....</b>	<b>15</b>
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>6.1. Análise de dados.....</b>	<b>16</b>
<b>6.2. Análise silvicultural de árvore individual.....</b>	<b>45</b>
<b>6.3. Teste de identidade de modelos .....</b>	<b>46</b>
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>

## RESUMO

A cadeia produtiva madeireira exige cada vez mais alto potencial produtivo dos povoamentos florestais, com a finalidade de manter a alta competitividade de mercado. O objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho silvicultural de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos e idades, a partir de diferentes modelos volumétricos, em povoamento experimental com delineamento sistemático tipo “leque”. Foram ajustados modelos volumétricos lineares e não lineares, de simples e dupla entrada para árvores individuais em 12 espaçamentos diferentes, em três idades distintas. Após o ajuste dos modelos volumétricos, foram selecionados os melhores modelos da terceira idade de cada espaçamento e realizados o teste de identidade de modelos (TIM), a partir de modelos completos, acrescido da variável Dummy, e modelos reduzidos para cada espaçamento. Concluiu-se que o desempenho silvicultural variou entre as idades em todos os espaçamentos do povoamento; o espaçamento e a idade do povoamento podem interferir no melhor modelo volumétrico; na terceira idade, os modelos de Spurr e Stoate foram os modelos mais representativos de acordo com o desempenho silvicultural por árvore individual; e alguns espaçamentos apresentaram desempenho silvicultural semelhante ao longo dos anos, em relação às suas características dendrométricas, o que permitiu ajustar equações reduzidas dessas idades, para estimar o volume desses espaçamentos ao longo dos anos.

**PALAVRAS-CHAVES:** Silvicultura, Variável Dummy, Delineamento tipo “leque”, Espaçamento e Roda de Nelder.

## **ABSTRACT**

The timber productive chain demands increasingly high productive potential of the forest settlements, with the purpose of maintaining the high market competitiveness. The objective of this work was to evaluate the silvicultural performance of a clonal hybrid of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* in different spacings and ages, starting from different volumetric models, in experimental settlement with a systematic design type "fan". Volumetric models linear and nonlinear were adjusted, of single and double entrance for individual trees in 12 different spacings, at three different ages. After the adjustment of the volumetric models, the best models of the third age of each spacing were selected and accomplished the model identity test (TIM), starting from complete models, added the Dummy variable, and reduced models for each spacing. It was concluded that the silvicultural performance varied among the ages in all of the settlement spacings; the spacing and the age of the settlement can interfere in the best volumetric model; in the third age, the models of Spurr and Stoate were the most representative models, according with the silvicultural performance per individual tree; and some spacings presented similar silvicultural performance along of the years, in relation their dendrometric characteristics, the one that allowed to adjust the reduced equations of those ages, to estimate the volume those spacings along the years.

**KEYWORDS:** Forestry, Dummy variable, Design type "fan", Spacing and Nelder wheel.

# 1. INTRODUÇÃO

A produção madeireira vem exigindo cada vez mais alto potencial produtivo dos povoamentos florestais, a fim de se manter um mercado competitivo. Um dos principais gêneros plantados no Brasil é o *Eucalyptus*, devido ao seu alto potencial adaptativo as condições climáticas e edáficas, por seu rápido crescimento, e por apresentar diversificada gama de usos de suas madeiras (Vidaurre *et al.*, 2015).

A silvicultura é um dos principais eixos do setor florestal e trata-se de uma ciência que visa otimizar a produção florestal através das atividades de implantação, manutenção, condução e manejo de florestas plantadas e nativas, para se obter produtos em quantidade e qualidade para determinado uso, em menor tempo e custo, que preserve a capacidade produtiva para o futuro. Assim, aliar ganhos de qualidade e produtividade em povoamentos florestais é o constante desafio da silvicultura (Balloni e Simões, 1980).

Atrelando ganho de qualidade e produtividade, o espaçamento de plantio é uma das principais linhas de pesquisas, pois exerce um dos papéis fundamentais no estabelecimento, condução da floresta e custos de produção, além de influenciar na taxa de crescimento das plantas, no aproveitamento dos recursos disponíveis no ambiente, no recobrimento do solo, no manejo do povoamento e no valor e na qualidade da madeira produzida (Leles *et al.*, 1998; Nascimento *et al.*, 2012). Dependendo do espaçamento empregado, podem-se obter diferentes respostas de crescimento ao longo dos anos. Assim, conhecer o crescimento da floresta ao longo do tempo é de extrema importância para o planejador florestal, que pode tomar decisões mais seguras em relação às épocas oportunas de realizar as práticas silviculturais (Pacheco *et al.*, 2015).

Empresas de base florestal vêm desenvolvendo técnicas que buscam aumentar a produtividade dos plantios, com enfoque identificação de espaçamentos e novas técnicas de manejo, além de utilizarem espécies adaptadas as condições edafoclimáticas da região (Assis *et al.*, 1999). Com isso, grande parte das empresas de base florestal estão investindo em domesticação de novas espécies e em programas de melhoramento genético, utilizando técnicas de hibridação e clonagem (Tonini *et al.*, 2004) e conseqüentemente em sistemas e práticas silviculturais que potencializem a produtividade.



Assim, a avaliação de desenvolvimento silvicultural de espécies em diferentes práticas possibilita identificar as possibilidades de melhor uso da floresta para os diversos fins a que se possa destinar.

## **2. OBJETIVO**

Avaliar o desempenho silvicultural de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos e idades, a partir de diferentes modelos volumétricos, em povoamento experimental com delineamento sistemático tipo “leque”.

## **3. HIPÓTESE**

Um único modelo volumétrico pode ser aplicado para diferentes espaçamentos e idades de plantio.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. Espaçamento**

A escolha do melhor espaçamento para cada sítio tem por objetivo proporcionar para cada indivíduo plantado o espaço suficiente para se obter a melhor produtividade e qualidade com menor custo e no menor tempo (Scolforo, 1998 e Tonini, 2003).

Segundo Balloni e Simões (1980), a escolha do espaçamento de plantio não deve ser levada em consideração apenas pela utilização final da madeira, mas por diversos outros fatores tanto ecológicos e fisiológicos, quanto silviculturais e econômicos.

O espaçamento está interligado diretamente com o crescimento horizontal das árvores, de acordo com os resultados encontrados por Sanqueta *et al.* (2003), Chies (2005), Leite *et al.* (2006), Oliveira *et al.* (2009), Pezzuti (2011) e Vidaurre *et al.* (2015), quanto maior o espaçamento, maior o crescimento em diâmetro dos indivíduos do povoamento nos primeiros anos, comparado aos indivíduos de povoamentos de espaçamentos mais adensados, que sofrem maior competição por espaço. Além disso, a área basal, variável derivada do diâmetro das árvores, é maior com o aumento da densidade de árvores no povoamento, até o momento que se inicia a competição entre as mesmas (Pacheco *et al.*, 2015).

A altura máxima dos indivíduos é uma expressão do genótipo no sítio onde se desenvolve. O espaçamento, desde que não represente condição extrema de competição ou de falta dela, não influencia a altura máxima, no entanto deve ser observado que o espaçamento influencia na velocidade do crescimento em altura, sendo maior velocidade em menor espaçamento e menor velocidade em maior espaçamento de plantio (Hawley & Smith, 1954).

O volume também é influenciado pelo espaçamento, e é esperado que em espaçamentos mais densos a produção volumétrica máxima seja alcançada em menor idade, sendo que esta variável é controlada pelo tempo que o povoamento leva para atingir a completa ocupação do local, e também pela capacidade produtiva do local de instalação e as características da espécie, além da densidade de plantio (Nappo, 2012).

#### **4.2. Delineamento sistemático tipo “leque”**

O uso de um delineamento experimental é a utilização dos princípios básicos da experimentação, que é a repetição, a casualização e o controle local, que foram propostos por Ronald Aylmer Fisher, entre os anos de 1919 e 1925 (Duarte, 1996). Apesar das contribuições e avanços na pesquisa científica, os experimentos propostos por Fisher, atualmente, na prática, podem inviabilizar o número e o tamanho dos ensaios, dados os custos e outros problemas quanto a disponibilidade de áreas e de recursos para a instalação, manutenção e avaliação dos experimentos (Oda, 2005).

Nelder (1962) propôs uma alternativa para superar as dificuldades encontradas nos delineamentos experimentais tradicionais, que foram os delineamentos sistemáticos com fator quantitativo contínuo. Entre os delineamentos propostos por Nelder (1962), o delineamento sistemático tipo “leque” foi um dos mais destacados, e já foi empregado em diversas culturas, inclusive em culturas florestais como descrito por Stape (1995), Oda-Souza *et al.* (2008), Santos (2011) e Moraes *et al.* (2013).

Um das principais vantagens deste delineamento é que este permite avaliar um maior número de espaçamentos possíveis em menores áreas experimentais, reduzindo os custos e facilitando o manejo do experimento. Porém, segundo Bar-Hen (2002), existem duas restrições para os delineamentos sistemáticos, a primeira é devido o arranjo sistemático não ser casualizado, impossibilitando o uso de análises estatística convencionais, e a segunda é devido o aparecimento de falhas ou mortalidade de

indivíduos no experimento, ocasionando a modificação do espaçamento e a área vital dos indivíduos vizinhos. Sendo que Nelder (1962) já havia relatado a respeito das falhas ou mortalidades existentes no delineamento, devendo ser removidas as cinco observações, a falha ou o indivíduo morto e suas quatro vizinhas imediatas.

Segundo Stape (1995), o delineamento sistemático tipo “leque” possui atrativos para a área florestal, devido às vantagens de compacidade, abrangência e facilidade de manejo, porém, existe instabilidade de análise, interpretação e extrapolação dos resultados obtidos na experimentação. No entanto, Stape (1995) e Stape e Binkley (2010), realizaram estudos e constataram que a metodologia proposta por Nelder (1962) fornecem as mesmas informações de respostas quando comparados com o delineamento de blocos casualizado.

### **4.3. Teste de identidade de modelos**

O Teste de Identidade de Modelos – TIM, descrito por Graybill (1976) e testado por Regazzi (1993, 1999), Cabacinha (2003) e Martins *et al.* (2015), para modelos lineares consiste em reduzir a soma de quadrados e realizar uma análise estatística através do teste F, com o intuito de constatar se há diferença significativa entre as regressões ajustadas para o modelo completo e a regressão ajustada para o modelo reduzido.

Conforme o teste da razão de verossimilhança proposto por Rao (1973), Regazzi (2003) apresentou a aplicação desse teste em modelos de regressão não linear, com aproximação dada pela estatística qui-quadrado ( $\chi^2$ ). Convém salientar que Regazzi (2003) admitiu apenas um valor observado de Y para cada um de X, conforme metodologia já utilizada por Regazzi anteriormente.

Regazzi & Silva (2004) utilizaram o teste da razão de verossimilhança com aproximações pelas estatísticas qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e F, além de testar a identidade de modelos de regressão não-linear para delineamento inteiramente casualizado. Com o trabalho realizado, os autores concluíram que para um número total de observações suficientemente grande ( $N > 120$ ) as duas aproximações são praticamente equivalentes, já para amostras menores, deve ser utilizada a aproximação pela estatística F, pois apresenta erro tipo I menor, independentemente do número de observações. Além disso, Regazzi & Silva (2010) testaram novamente o teste da razão de verossimilhança com

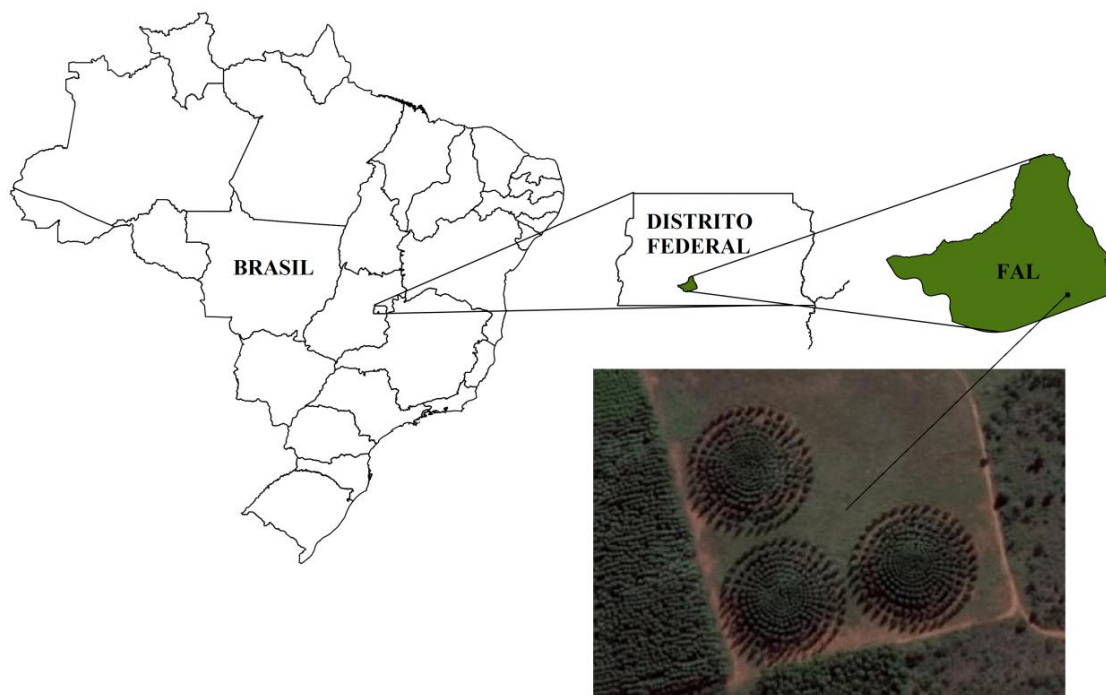
aproximações pelas estatísticas qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e F, e confirmaram que a estatística F deve ser preferida.

Scolforo (1993, 2005) propõem o teste de identidade de modelos associados a variáveis Dummy, para agrupar parâmetros ajustados de grupos distintos de dados e avalia-los através de análise de covariância, pelo teste estatístico F.

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **5.1. Caracterização da área de estudo**

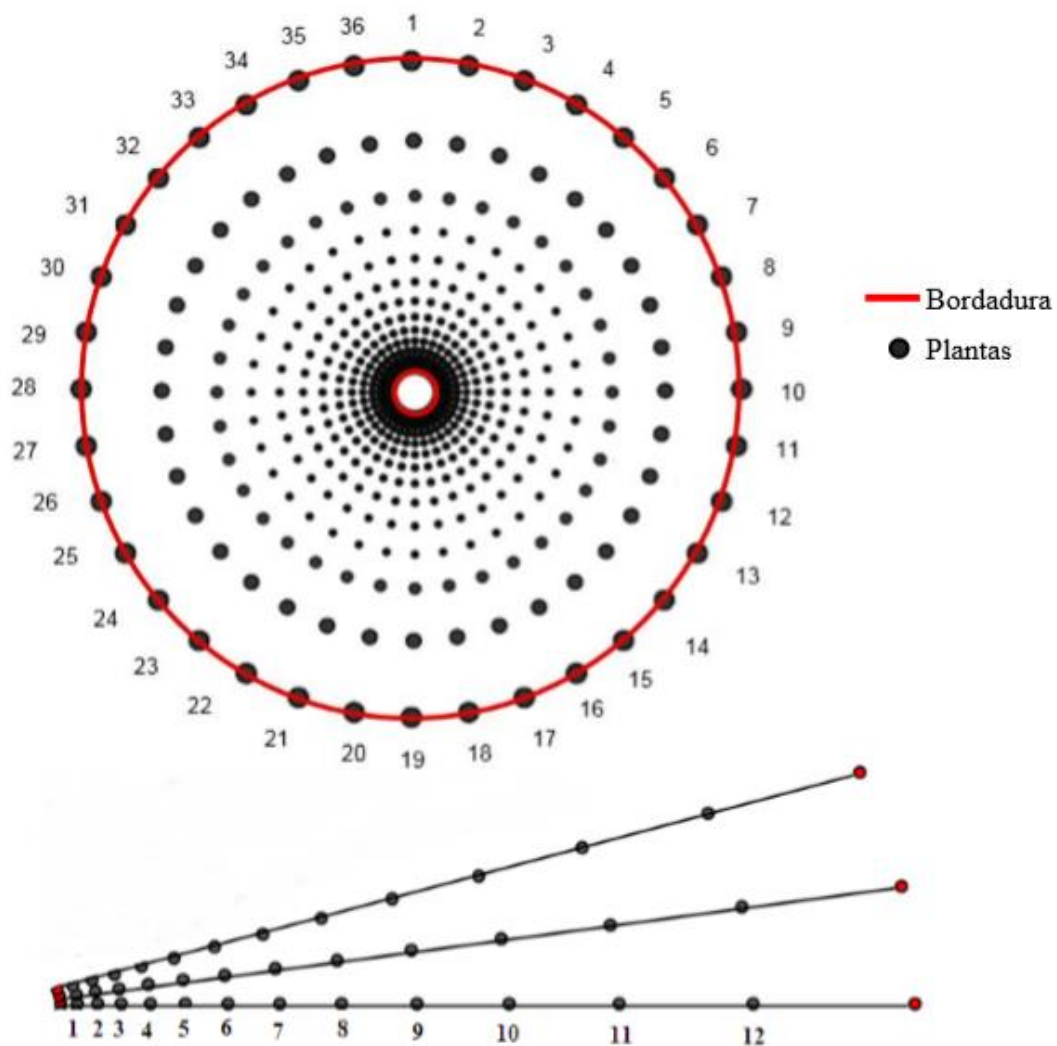
O estudo experimental foi realizado na Fazenda Água Limpa – FAL (Figura 5.1), pertencente à Universidade de Brasília – UnB, que possui cerca de 4.390 ha de extensão territorial. Os solos da Fazenda são considerados profundos – Latossolos Vermelhos – em sua grande parte, e a altitude média é de 1.100 metros. O clima predominante do Distrito Federal, segundo Köppen-Geiger (Alvares *et al.*, 2013) é o Clima Tropical de Savana – Aw. A precipitação média da região está entorno de 1.600 mm por ano, tendo a maior concentração das chuvas no período de dezembro a março. As temperaturas médias podem variar dos 18°C a 30°C durante as estações de inverno e verão, respectivamente, e 21°C como a média anual.



**Figura 5.1** – Localização geográfica do experimento ( $15^{\circ} 58' 03''\text{S}$  e  $47^{\circ} 54' 18''\text{O}$ ), na Fazenda Água Limpa (FAL), em Brasília – DF. Imagem obtida no programa Google Earth – Data da imagem: 03 de maio de 2017.

## 5.2. Coleta de dados

Os dados são oriundos do experimento instalado pelo professor Dr. Mauro Eloi Nappo e pelo professor Dr. Renato Vinicius Oliveira Castro, em delineamento sistemático em formato de “leque”, como proposto por Nelder (1962) e testado por Stape (1995), no mês de dezembro de 2013, utilizando um híbrido clonal EAC 1528 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*). Foram instalados três blocos do experimento com 14 círculos concêntricos (incluindo as bordas) e 36 árvores em cada círculo (Figura 5.2). Cada bloco foi considerado uma repetição e cada círculo foi considerado o espaçamento (tratamentos). Na Tabela 5.1, encontram-se a área vital de cada planta, a área da parcela de cada espaçamento e a densidade de plantas que cada espaçamento representa em hectares.



**Figura 5.2** - Croqui da instalação do experimento em delineamento sistemático tipo “leque” com 14 espaçamentos e 36 árvores de um híbrido clonal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. FONTE: RODRIGUES (2017).

**Tabela 5.1** – Área vital, área da parcela e densidade de plantas por hectare de cada espaçamento.

<b>Espaçamento</b>	<b>Área Vital (m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>)</b>	<b>Densidade (planta ha<sup>-1</sup>)</b>
1	0,50	20.000
2	0,77	12.987
3	1,17	8.547
4	1,76	5.682
5	2,64	3.788
6	3,94	2.538
7	5,86	1.706
8	8,69	1.151
9	12,86	778
10	19,00	526
11	28,01	357
12	41,25	242

Os dados de diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura total (Ht) de todos os indivíduos foram coletados por Rodrigues (2017), a cada quatro meses após o plantio do povoamento, em que, no primeiro levantamento, a variável diâmetro não foi obtida, pois os indivíduos não possuíam altura acima de 1,30 metros.

Em seguida, foi realizada a cubagem em pé de cinco árvores por espaçamento e bloco, medindo os diâmetros das seções de 0,5 metros do fuste, da base até os 5 metros de altura, nos meses 16º, 24º e 36º. A seleção dos indivíduos procedeu-se da seguinte forma: foram feitas médias aritméticas para cada espaçamento e selecionadas as cinco árvores que apresentavam o DAP igual ou próximo ao DAP médio de cada espaçamento. Na Tabela 5.2, consta a estatística descritiva das variáveis DAP e Ht por espaçamento para cada idade, sendo que o coeficiente de variação, para fins de análise, foi classificado, segundo Pimentel-Gomes (1985), em muito baixo (< 5,0%), baixo (5,0 – 10,0%), médio (10,0 – 20,0%) e alto (> 20,0%).

**Tabela 5.2** – Estatística descritiva das variáveis DAP e Ht por espaçamento para cada idade.

Mês	Espaçamento	Média		Máximo		Mínimo		Coef. Variação (%)	
		DAP	Ht	DAP	Ht	DAP	Ht	DAP	Ht
16	1	3,98	8,38	4,50	9,20	3,50	7,90	6,2418	4,7775
16	2	4,77	9,01	5,30	9,50	4,30	8,20	6,8517	4,8662
16	3	5,32	9,35	5,90	10,50	4,80	8,00	7,3559	7,2722
16	4	6,30	9,92	6,90	10,60	6,00	9,10	4,4896	4,4629
16	5	6,68	10,07	7,10	11,40	6,30	8,70	3,6756	6,8312
16	6	7,03	9,89	7,80	11,50	6,50	8,80	6,3053	8,1344
16	7	7,30	9,57	8,30	10,60	6,40	8,20	8,3486	8,0816
16	8	7,28	8,88	8,40	10,00	6,20	7,90	10,6045	7,8275
16	9	7,33	8,44	8,10	9,30	6,50	7,50	7,2124	7,4641
16	10	7,47	8,16	8,00	9,10	6,60	7,25	6,1416	7,0559
16	11	7,25	7,69	8,30	9,00	6,40	6,50	8,8646	8,5725
16	12	7,05	7,46	8,00	8,70	6,10	6,20	8,0789	9,0888
24	1	4,05	9,49	4,70	10,40	3,20	8,30	9,0343	5,8170
24	2	5,27	10,90	6,20	12,20	4,30	10,00	10,2739	6,2495
24	3	6,09	11,84	7,00	12,30	4,40	10,20	11,0869	4,6725
24	4	7,55	13,02	8,10	14,20	7,10	11,40	4,2124	4,8320
24	5	8,28	13,37	9,00	14,60	7,90	12,30	3,3915	4,8324
24	6	9,11	13,63	9,90	15,00	8,70	12,30	3,9967	4,7219
24	7	9,77	13,58	10,80	15,00	8,70	12,00	6,0903	5,8824
24	8	10,11	12,97	11,50	14,90	8,80	11,50	7,8649	6,6193
24	9	10,27	11,99	11,30	13,70	9,40	8,20	5,7820	11,3080
24	10	10,65	11,56	11,80	13,20	9,40	9,80	6,4770	9,6553
24	11	10,31	10,45	11,40	12,16	8,90	8,80	7,4285	8,5178
24	12	10,05	9,71	11,00	10,42	9,00	8,70	5,9071	6,1433
36	1	4,22	10,17	4,70	10,90	3,20	8,30	9,3165	6,9175
36	2	5,72	12,21	7,50	14,70	4,50	10,60	16,4691	9,9974
36	3	7,19	13,76	9,00	16,00	4,70	10,40	17,4815	11,1536
36	4	9,29	16,09	10,60	17,20	8,30	15,20	7,0478	4,2283
36	5	10,66	16,58	11,70	17,50	10,00	16,10	4,5240	2,5200
36	6	11,35	16,66	12,30	17,50	10,70	15,60	3,9254	3,3558
36	7	12,22	16,52	13,10	17,70	10,90	15,10	4,6928	5,4103
36	8	12,63	16,15	13,90	17,30	11,50	15,00	5,1444	4,5844
36	9	13,23	15,69	14,00	17,00	12,40	14,10	3,6311	5,4681
36	10	13,95	15,05	14,90	17,00	12,70	13,30	5,3235	7,6968
36	11	13,86	14,15	16,00	15,60	12,20	12,20	7,5809	6,8423
36	12	14,31	13,53	15,70	15,00	12,60	12,10	6,2433	6,3869



Com os dados de cubagem, foi calculado o volume de cada árvore pelo método de Smalian (5.1), e a partir dos 5 metros de altura até a ponteira, utilizou-se a fórmula do cone (5.2).

$$V = \frac{AS1 + AS2}{2} L \quad (5.1)$$

Onde:

AS1 = Área seccional da base da seção (m<sup>2</sup>);

AS2 = Área seccional obtida na extremidade da seção (m<sup>2</sup>);

L = Comprimento da seção (m);

V = Volume da seção.

$$Vp = \frac{1}{3} ASn * l \quad (5.2)$$

Onde:

ASn = Área seccional da base do cone (m<sup>2</sup>);

l = Comprimento do ponta (m);

Vp = Volume do ponta.

### 5.3. Análise de dados

Com os volumes, as alturas totais e os DAP de todas as árvores cubadas, foram ajustados modelos volumétricos lineares e não lineares, de simples e duplas entradas para árvores individuais (Tabela 5.3), com base no método da estimativa de Levenberg-Marquardt (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963). O software estatístico utilizado foi o Statistica 8.0 (Statsoft, 2007).

**Tabela 5.3** – Modelos testados para estimativa do volume das árvores.

<b>Modelo</b>	<b>Autor</b>
$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \varepsilon$	Spurr
$V = \beta_0 + DAP^{\beta_1} + H^{\beta_2} + \varepsilon$	Schumacher-Hall
$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 H + \varepsilon$	Stoate
$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \varepsilon$	Kopecky-Gehrhardt
$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$	Hohenadl & Krenn
$V = \beta_0 + DAP^{\beta_1} + \varepsilon$	Husch

Segundo Schneider *et. al.* (1988), para escolher o melhor modelo volumétrico para cada espaçamento/idade, devem ser levados em consideração os seguintes critérios e em suas respectivas ordens de importância: 1º - Análise gráfica dos resíduos – erro relativo (%), na qual foi observado o comportamento residual dos dados no gráfico de resíduos, onde quanto mais próximo do eixo X, o erro está mais próximo de zero, logo menor o erro da estimativa; 2º - Erro Padrão da Estimativa em percentagem (Sxy%), sendo que quanto mais próximo de zero melhor o modelo, pois ele indica o quão próximo os valores estimados estão dos valores observados; e 3º - Coeficiente de Determinação Ajustado ( $R^2$  ajust), quanto mais próximo de 1 melhor o modelo, pois ele mostra o quanto as variáveis dependentes estão sendo explicadas pelas variáveis independentes.

#### **5.4. Teste de identidade de modelos**

Após o ajuste dos modelos volumétricos, foram selecionados os melhores modelos da terceira idade de cada espaçamento para realizar o teste de identidade de modelos (TIM), proposto por Graybill (1976) e adaptado por Scolforo (1993, 2005), que acrescentou as variáveis Dummy ao teste. O teste foi utilizado para verificar a possibilidade de uma única equação por espaçamento representar a relação volumétrica para todas as idades agrupadas, essa sendo considerada a hipótese nula ( $H_0$ ). O teste de identidade de modelos foi realizado de maneira similar entre os modelos lineares e não lineares.

O software estatístico utilizado foi o Statistica 8.0 (Statsoft, 2007), com interface com o Excel 2010 (Microsoft Office, 2010).

Tanto para os modelos lineares quanto para os modelos não lineares, foi utilizada a metodologia de redução de soma de quadrados associada a variáveis Dummy, como descrito por Scolforo (1993, 2005), para os modelos completos do TIM.

O teste de identidade de modelos se baseia na rejeição de  $H_0$  a partir do teste estatístico F, quando F calculado for maior que F tabelado (Regazzi, 1999). O teste pode ser obtido através da análise de covariância apresentado na Tabela 5.4.

**Tabela 5.4** - Análise de covariância para o teste de identidade de modelos. Fonte: SCOLFORO (2005).

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fcalc.</b>
Modelo completo	$(hp)$	$SQReg_{(completo)}$		
Modelo reduzido	$p$	$SQReg_{(reduzido)}$		
Diferença	$(h - 1)p$	$SQReg_{(completo)} - SQReg_{(reduzido)}$	$\frac{SQ_{(diferença)}}{(h - 1)p}$	$\frac{QM_{(diferença)}}{QM_{(resíduos)}}$
Resíduo	$n - hp$	$SQT_{(completo)} - SQReg_{(completo)}$	$\frac{SQ_{(resíduos)}}{(n - hp)}$	
Total	$n$	$SQT_{(completo)}$		

Onde:  $h$  = número de parâmetros do modelo completo;  $p$  = número de parâmetros do modelo reduzido;  $n$  = número de observações;  $GL$  = graus de liberdade;  $SQ$  = soma de quadrados;  $QM$  = quadrado médio;  $Fcalc.$  = estatística F.

Segundo Regazzi (1999), a não rejeição da hipótese  $H_0$  permite concluir que, de acordo com o nível de significância adotado ( $\alpha = 0,05$ ), as equações são idênticas. Assim, a equação reduzida pode ser usada como estimativa de todas as idades.

#### 5.4.1. Modelos lineares

Para o teste de identidade de modelos, foram ajustados modelos lineares de simples e dupla entrada para árvores individuais empregando as variáveis Dummy (Tabela 5.5).

**Tabela 5.5** – Modelos volumétricos lineares de simples e dupla entrada empregando-se as variáveis Dummy. Fonte: SCOLFORO (2005).

Modelo	Autor
$V = \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_3 + \beta_4 DAP^2 H D_1 + \beta_5 DAP^2 H D_2 + \beta_6 DAP^2 H D_3 + \varepsilon$	Spurr
$V = \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_3 + \beta_4 DAP^2 H D_1 + \beta_5 DAP^2 H D_2 + \beta_6 DAP^2 H D_3 + \beta_7 DAP^2 D_1 + \beta_8 DAP^2 D_2 + \beta_9 DAP^2 D_3 + \beta_{10} H D_1 + \beta_{11} H D_2 + \beta_{12} H D_3 + \varepsilon$	Stoate
$V = \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_3 + \beta_4 DAP^2 D_1 + \beta_5 DAP^2 D_2 + \beta_6 DAP^2 D_3 + \varepsilon$	Kopezky-Gehrhardt
$V = \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_3 + \beta_4 DAP D_1 + \beta_5 DAP D_2 + \beta_6 DAP D_3 + \beta_7 DAP^2 D_1 + \beta_8 DAP^2 D_2 + \beta_9 DAP^2 D_3 + \varepsilon$	Hohenadl & Krenn

#### 5.4.2. Modelos não lineares

Para o teste de identidade de modelos, foram ajustados modelos não lineares de simples e dupla entrada para árvores individuais empregando as variáveis Dummy (Tabela 5.6).

**Tabela 5.6** – Modelos volumétricos não lineares de simples e dupla entrada empregando-se as variáveis Dummy. Fonte: SCOLFORO (2005).

Modelo	Autor
$V = [\beta_1 DAP^{\beta_2} H^{\beta_3}] D_1 + [\beta_4 DAP^{\beta_5} H^{\beta_6}] D_2 + [\beta_7 DAP^{\beta_8} H^{\beta_9}] D_3 + \varepsilon$	Schumacher-Hall
$V = [\beta_1 DAP^{\beta_2}] D_1 + [\beta_3 DAP^{\beta_4}] D_2 + [\beta_5 DAP^{\beta_6}] D_3 + \varepsilon$	Husch

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Análise de dados

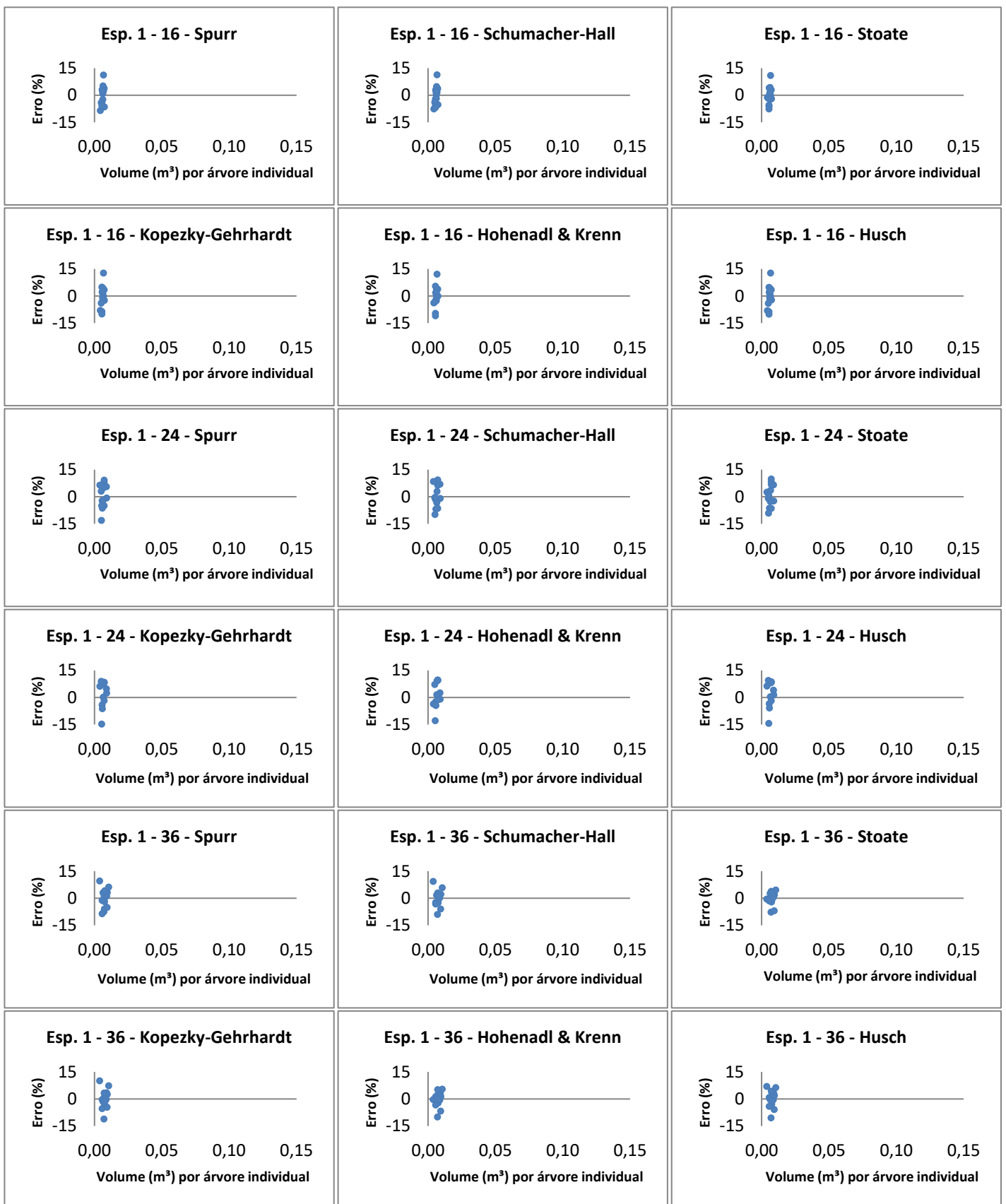
Os coeficientes das equações volumétricas, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da média percentual de cada modelo testado para o espaçamento 1 (0,50 m<sup>2</sup>), em suas diferentes idades, encontram-se na Tabela 6.1.

**Tabela 6.1** – Coeficientes e estatística de precisão do ajuste das equações volumétricas para o espaçamento 1.

Esp.	Idade (meses)	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	R <sup>2</sup> ajustado	S <sub>xy</sub> (%)
1	16	Spurr	0,00132	0,00004			0,8241	5,57
1	16	Schumacher-Hall	0,00017	1,64850	0,61974		0,8242	5,56
1	16	<u>Stoate</u>	-0,01718	-0,00010	0,00122	0,00212	0,8362	5,37
1	16	Kopezky-Gehrhardt	0,00027	0,00037			0,7942	6,02
1	16	Hohenadl & Krenn	-0,01487	0,00759	-0,00058		0,7889	6,10
1	16	Husch	0,00044	1,89475			0,7950	6,01
1	24	<u>Spurr</u>	0,00044	1,89475			0,8677	7,80
1	24	Schumacher-Hall	0,00003	1,56597	1,41503		0,8628	7,95
1	24	Stoate	0,00354	0,00007	-0,00039	-0,00022	0,8559	8,14
1	24	Kopezky-Gehrhardt	-0,00069	0,00044			0,8074	9,41
1	24	Hohenadl & Krenn	0,01219	-0,00652	0,00126		0,8084	9,39
1	24	Husch	0,00027	2,27669			0,8113	9,32
1	36	Spurr	-0,00004	0,00004			0,9542	4,90
1	36	Schumacher-Hall	0,00008	2,37828	0,49725		0,9590	4,64
1	36	<u>Stoate</u>	0,00800	0,00008	-0,00030	-0,00093	0,9625	4,43
1	36	Kopezky-Gehrhardt	-0,00202	0,00053			0,9497	5,14
1	36	Hohenadl & Krenn	0,01031	-0,00617	0,00130		0,9554	4,83
1	36	Husch	0,00016	2,64975			0,9559	4,81

Onde: Esp. = Espaçamento; Modelo = modelo selecionado para cada idade do espaçamento 1.

A figura 6.1 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume das árvores do espaçamento 1, para os seis modelos ajustados, como critério na escolha do melhor ajuste.



**Figura 6.1** – Resíduos em função do volume por árvore individual para as equações volumétricas ajustadas para o espaçamento 1 (0,50 m<sup>2</sup>) em diferentes idades.

Após a análise dos gráficos e das estatísticas de ajuste e precisão de cada modelo testado para o espaçamento 1, pode-se observar que para as três idades analisadas no espaçamento 1, os modelos de dupla entrada (Spurr, Schumacher-Hall e Stoate) apresentaram menores erros padrão e os maiores coeficientes de determinação ajustado, comparado aos modelos de simples entrada (Kopecky-Gehrhardt, Hohenadl & Krenn e Husch).

Aos 16 meses de idade, o modelo de Stoate foi o mais preciso e com menor dispersão dos resíduos. Para a idade de 24 meses, o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o modelo de Spurr, mesmo apresentando distribuição dos resíduos semelhante ao modelo de Schumacher-Hall, porém, os dados estatísticos de precisão foram melhores para este modelo. Já na idade de 36 meses, o modelo de Stoate foi o que melhor desempenhou quanto às estatísticas de precisão e a distribuição gráfica dos resíduos. Entretanto, os demais modelos apresentaram uma alta similaridade entre os coeficientes de determinação ajustado, além disso, a idade de 36 meses foi a que apresentou os menores erros padrão para o espaçamento 1.

Em relação à análise das variáveis dendrométricas para o espaçamento 1, nas três idades o DAP apresentou coeficiente de variação baixo (5,0 – 10,0%) para os dados amostrados, já a altura (Ht) apresentou coeficiente de variação muito baixo (< 5,0%) para a idade de 16 meses e baixo para as demais idades.

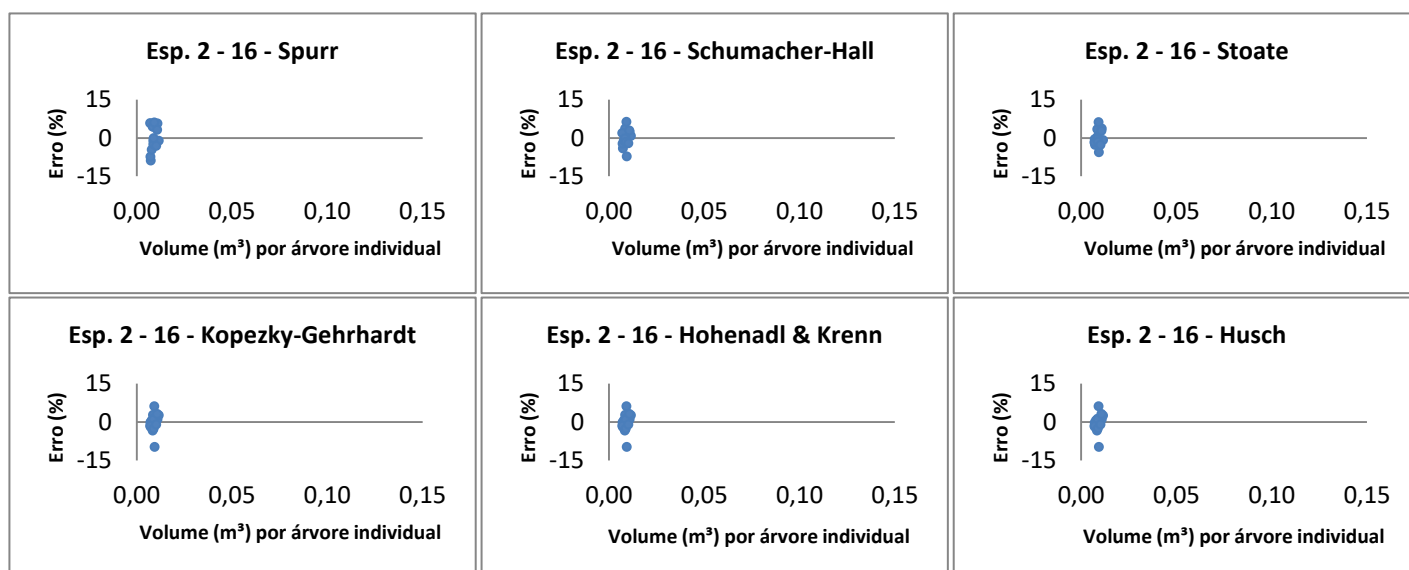
Os coeficientes das equações volumétricas, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da média percentual de cada modelo testado para o espaçamento 2 (0,77 m<sup>2</sup>), em suas diferentes idades, encontram-se na Tabela 6.2.

**Tabela 6.2** – Coeficientes e estatística de precisão do ajuste das equações volumétricas para o espaçamento 2.

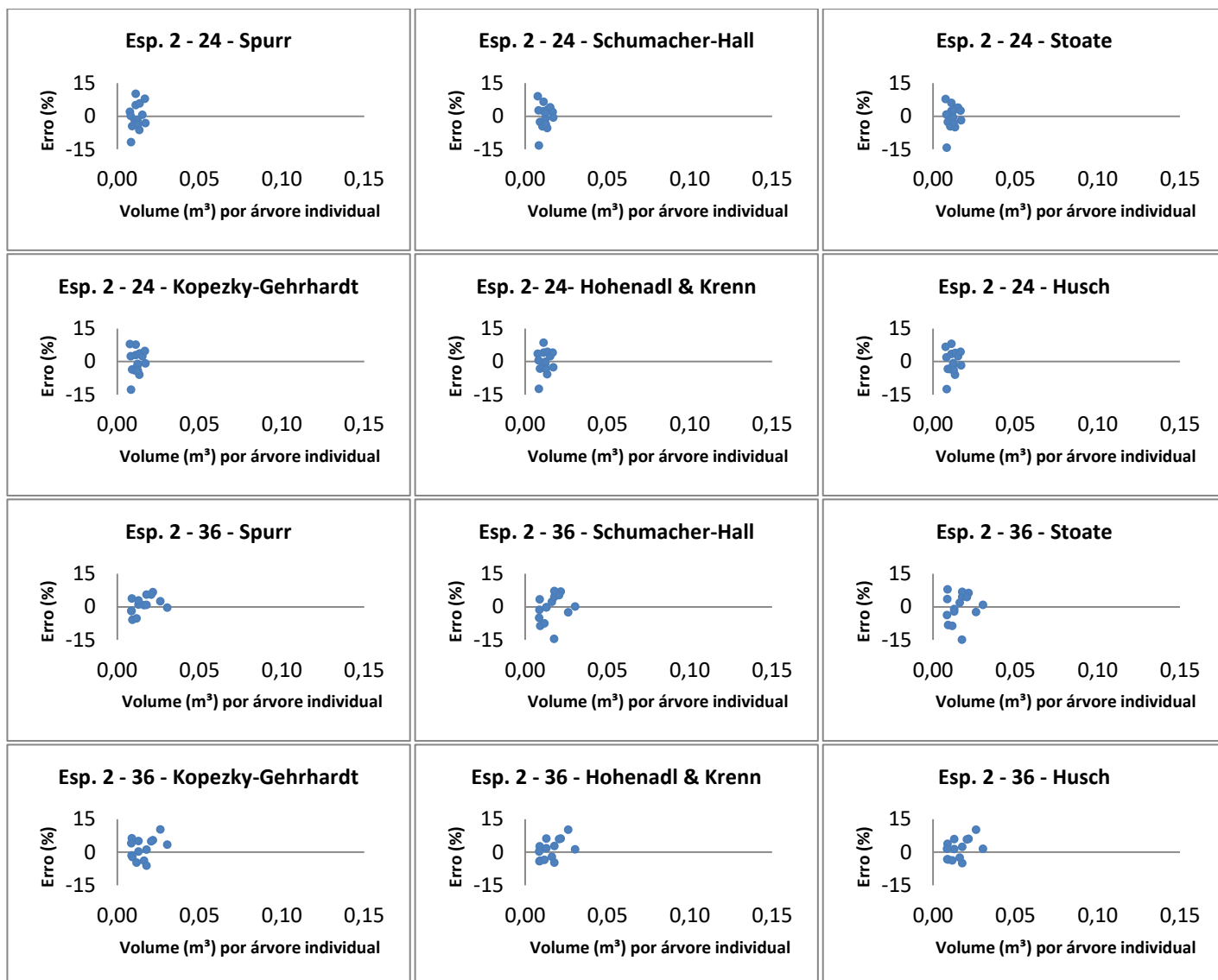
Esp.	Idade (meses)	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	R <sup>2</sup> ajustado	S <sub>xy</sub> (%)
2	16	Spurr	0,00014	0,00004			0,9027	4,70
2	16	Schumacher-Hall	0,00014	2,11991	0,37451		0,9419	3,63
2	16	Stoate	0,01517	0,00009	-0,00043	-0,00173	0,9454	3,52
2	16	Kopecky-Gehrhardt	-0,00057	0,00042			0,9314	3,95
2	16	Hohenadl & Krenn	-0,00071	0,00006	0,00041		0,9257	4,11
2	16	Husch	0,00032	2,12698			0,9314	3,95
2	24	Spurr	0,00100	0,00004			0,9420	5,94
2	24	Schumacher-Hall	0,00057	2,83117	-0,70434		0,9611	4,86
2	24	Stoate	0,01480	0,00003	0,00025	-0,00184	0,9566	5,14
2	24	Kopecky-Gehrhardt	-0,00231	0,00051			0,9580	5,05
2	24	Hohenadl & Krenn	0,01192	-0,00546	0,00103		0,9580	5,06
2	24	Husch	0,00022	2,40928			0,9600	4,94
2	36	Spurr	0,00063	0,00004			0,9672	7,48
2	36	Schumacher-Hall	0,00002	1,48562	1,63118		0,9726	6,84
2	36	Stoate	-0,01322	0,00003	-0,00002	0,00149	0,9702	7,13
2	36	Kopecky-Gehrhardt	-0,00359	0,00059			0,9306	10,88
2	36	Hohenadl & Krenn	0,00779	-0,00400	0,00093		0,9269	11,17
2	36	Husch	0,00021	2,46536			0,9326	10,73

Onde: Esp. = Espaçamento; Modelo = modelo selecionado para cada idade do espaçamento 2.

A figura 6.2 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume das árvores do espaçamento 2, como critério na escolha do melhor ajuste.







**Figura 6.2** – Resíduos em função do volume por árvore individual para as equações volumétricas ajustadas para o espaçamento 2 ( $0,77 \text{ m}^2$ ) em diferentes idades.

Com a análise dos gráficos e das estatísticas de ajuste e precisão de cada modelo testado para o espaçamento 2, pode-se observar que os modelos de dupla e simples entrada apresentaram resultados bem próximos nas duas primeiras idades, sendo que na terceira idade mensurada os modelos apresentaram discrepância em si, apresentando maior erro padrão da estimativa para os modelos de simples entrada comparado aos demais modelos. No 16º mês de idade, o modelo de Stoate foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e as estatísticas de precisão. No 24º mês, o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o modelo de Schumacher-Hall que apresentou a distribuição gráfica dos resíduos semelhante ao modelo de Stoate, sendo que os dados estatísticos de precisão foram melhores para o modelo de Schumacher-Hall. Já no 36º mês, o modelo de Schumacher-Hall foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica

dos resíduos e a estatística de precisão, os demais modelos de dupla entrada apresentaram similaridade entre os coeficientes de determinação ajustado entre eles. Diferentemente do espaçamento 1, a idade de 16 meses foi a que apresentou os menores erros padrão da estimativa.

A análise das variáveis dendrométricas para o espaçamento 2 apresentou para o DAP, coeficiente de variação baixo para a idade de 16 meses e médio (10,0 – 20,0%) para as demais idades, já a altura (Ht) apresentou coeficiente de variação muito baixo para a idade de 16 meses e baixo para as demais idades.

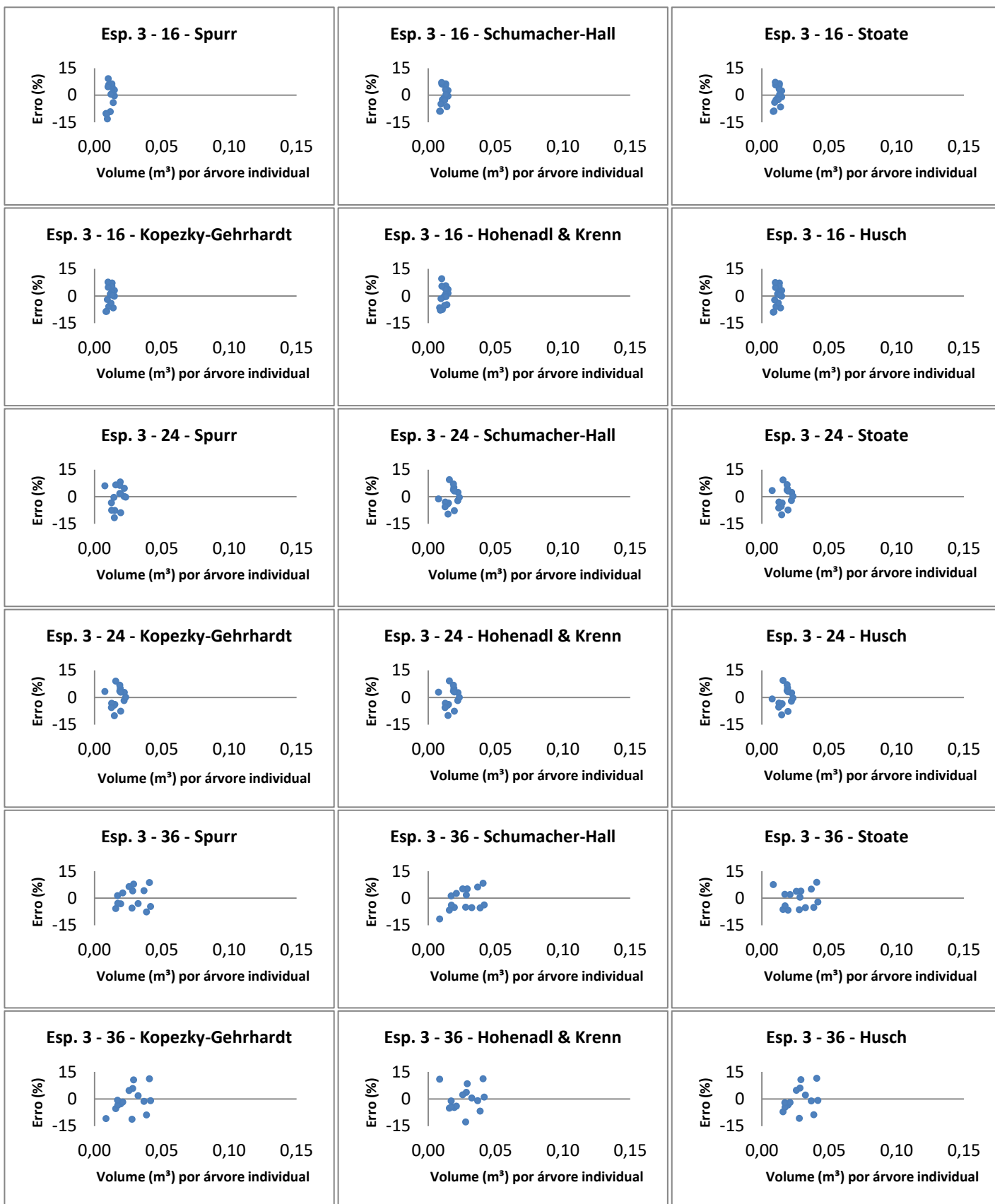
Os coeficientes das equações volumétricas, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da média percentual de cada modelo testado para o espaçamento 3 (1,17 m<sup>2</sup>), em suas diferentes idades, encontram-se na Tabela 6.3.

**Tabela 6.3** – Coeficientes e estatística de precisão do ajuste das equações volumétricas para o espaçamento 3.

Esp.	Idade (meses)	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	R <sup>2</sup> ajustado	Sxy (%)
3	16	Spurr	0,00194	0,00004			0,8551	6,55
3	16	Schumacher-Hall	0,00021	2,11653	0,22541		0,9032	5,35
3	16	Stoate	0,00500	0,00003	0,00014	-0,00061	0,8956	5,56
3	16	<u>Kopezky-Gehrhardt</u>	-0,00143	0,00047			0,9051	5,30
3	16	Hohenadl & Krenn	-0,03893	0,01414	-0,00086		0,9049	5,30
3	16	Husch	0,00028	2,22651			0,9038	5,34
3	24	Spurr	-0,00040	0,00004			0,9368	6,24
3	24	Schumacher-Hall	0,00027	2,33747	-0,03085		0,9446	5,84
3	24	Stoate	-0,00496	-0,00001	0,00067	0,00017	0,9407	6,04
3	24	<u>Kopezky-Gehrhardt</u>	-0,00262	0,00053			0,9495	5,57
3	24	Hohenadl & Krenn	-0,00200	-0,00021	0,00054		0,9453	5,80
3	24	Husch	0,00025	2,33022			0,9489	5,61
3	36	Spurr	0,00324	0,00003			0,9659	6,95
3	36	Schumacher-Hall	0,00006	1,53453	1,16141		0,9701	6,52
3	36	<u>Stoate</u>	-0,01935	0,00001	0,00029	0,00187	0,9701	6,51
3	36	Kopezky-Gehrhardt	-0,00256	0,00055			0,9553	7,97
3	36	Hohenadl & Krenn	-0,02341	0,00601	0,00013		0,9572	7,79
3	36	Husch	0,00037	2,15659			0,9526	8,20

Onde: Esp. = Espaçamento; Modelo = modelo selecionado para cada idade do espaçamento 3.

A figura 6.3 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume das árvores do espaçamento 3, como critério na escolha do melhor ajuste.



**Figura 6.3** – Resíduos em função do volume por árvore individual para as equações volumétricas ajustadas para o espaçamento 3 (1,17 m<sup>2</sup>) em diferentes idades.

Com a análise dos gráficos e das estatísticas de ajuste e precisão de cada modelo testado para o espaçamento 3, pode-se observar que para as três idades analisadas no espaçamento 3, os modelos de dupla e simples entrada apresentaram similaridade tanto na distribuição gráfica dos resíduos quanto na estatística de precisão nas idades. Para os 16º e 24º meses de idade, o modelo de Kopezky-Gehrhardt foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e as estatísticas de precisão. Já o 36º mês, o modelo de Stoate foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e a estatística de precisão.

A análise das variáveis dendrométricas para o espaçamento 3 apresentou para o DAP, coeficiente de variação baixo para a idade de 16 meses e médio para as demais idades, já a altura (Ht) apresentou coeficiente de variação baixo para a idade de 16 meses, muito baixo para a idade de 24 meses e médio para a idade de 36 meses.

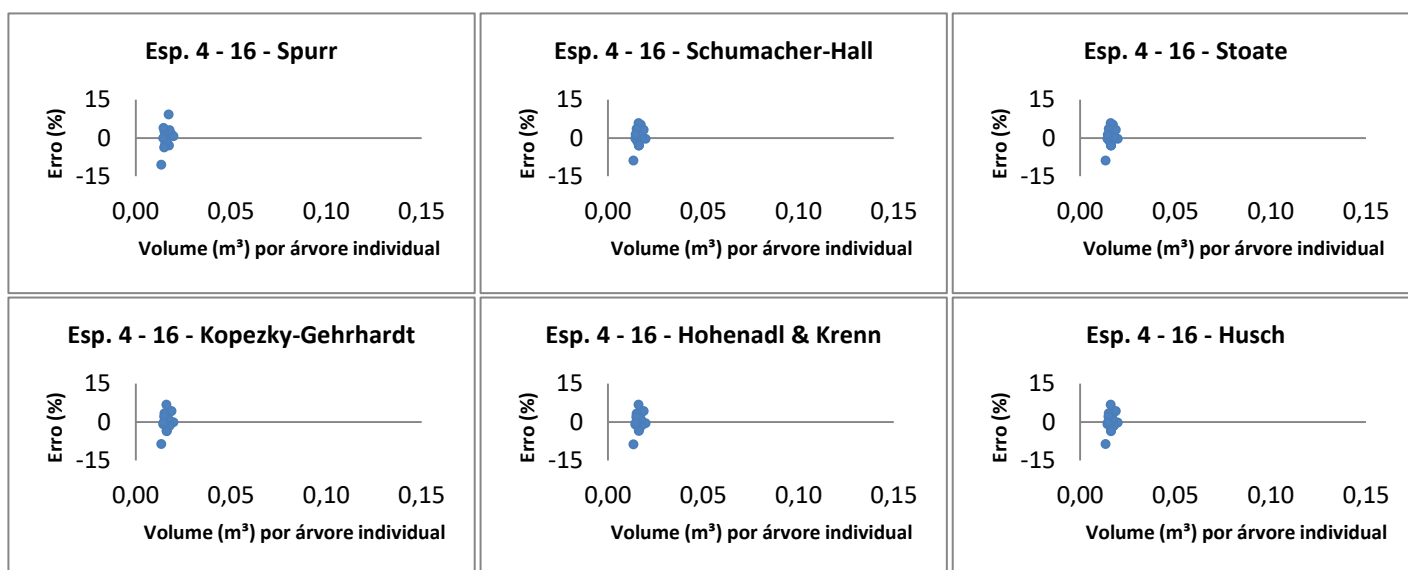
Os coeficientes das equações volumétricas, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da média percentual de cada modelo testado para o espaçamento 4 (1,76 m<sup>2</sup>), em suas diferentes idades, encontram-se na Tabela 6.4.

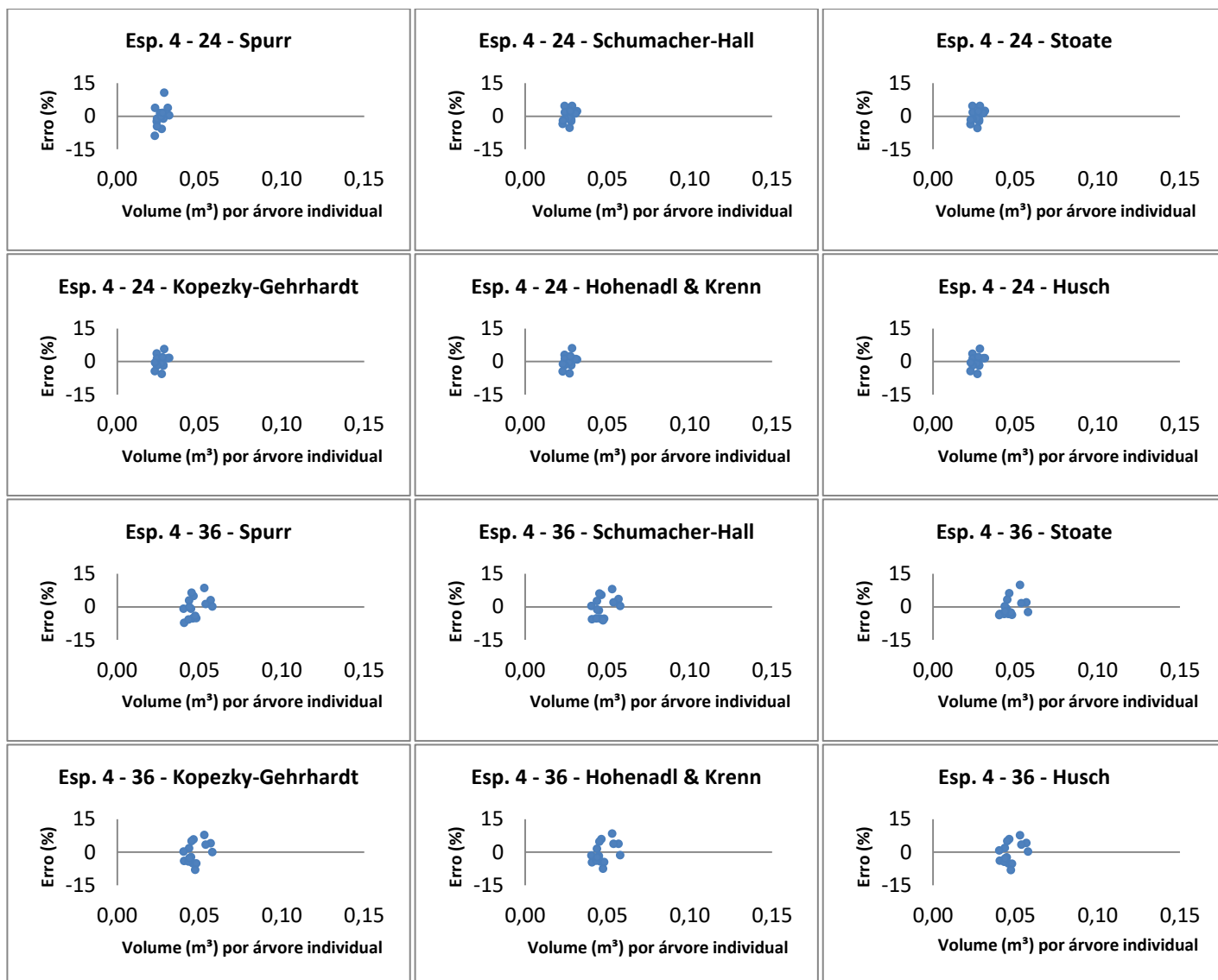
**Tabela 6.4** – Coeficientes e estatística de precisão do ajuste das equações volumétricas para o espaçamento 4.

Esp.	Idade (meses)	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	R <sup>2</sup> ajustado	S <sub>xy</sub> (%)
4	16	Spurr	0,00287	0,00003			0,8294	4,39
4	16	Schumacher-Hall	0,00019	2,09112	0,25059		0,8742	3,77
4	16	Stoate	0,00194	0,00002	0,00026	-0,00027	0,8635	3,93
4	16	Kopezky-Gehrhardt	-0,00170	0,00045			0,8744	3,77
4	16	Hohenadl & Krenn	0,01190	-0,00428	0,00079		0,8642	3,92
4	16	<u>Husch</u>	0,00028	2,20623			0,8745	3,77
4	24	Spurr	0,00709	0,00003			0,7799	4,65
4	24	Schumacher-Hall	0,00033	2,38646	-0,17399		0,9052	3,05
4	24	Stoate	-0,00523	-0,00001	0,00063	0,00003	0,8952	3,21
4	24	Kopezky-Gehrhardt	-0,00333	0,00052			0,9075	3,01
4	24	Hohenadl & Krenn	0,06655	-0,01852	0,00175		0,9021	3,10
4	24	<u>Husch</u>	0,00028	2,25559			0,9079	3,00
4	36	Spurr	0,01922	0,00002			0,8202	4,90
4	36	Schumacher-Hall	0,00092	1,33544	0,34787		0,8035	5,12
4	36	<u>Stoate</u>	0,21530	0,00015	-0,00208	-0,01226	0,8319	4,73
4	36	Kopezky-Gehrhardt	0,01248	0,00040			0,8124	5,00
4	36	Hohenadl & Krenn	0,08695	-0,01586	0,00124		0,8018	5,14
4	36	Husch	0,00172	1,48591			0,8098	5,04

Onde: Esp. = Espaçamento; Modelo = modelo selecionado para cada idade do espaçamento 4.

A figura 6.4 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume das árvores do espaçamento 4, como critério na escolha do melhor ajuste.





**Figura 6.4** – Resíduos em função do volume por árvore individual para as equações volumétricas ajustadas para o espaçamento 4 (1,76 m<sup>2</sup>) em diferentes idades.

Com a análise dos gráficos e das estatísticas de ajuste e precisão de cada modelo testado para o espaçamento 4, nas idades de 16 e 24 meses, o modelo de Husch foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e as estatísticas de precisão. Já na idade de 36 meses, o modelo de Stoate foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e a estatística de precisão.

A análise das variáveis dendrométricas para o espaçamento 4 apresentou para o DAP, coeficiente de variação muito baixo para a idade de 16 meses e baixo para as demais idades, já a altura (Ht) apresentou coeficiente de variação muito baixo para todas idades.

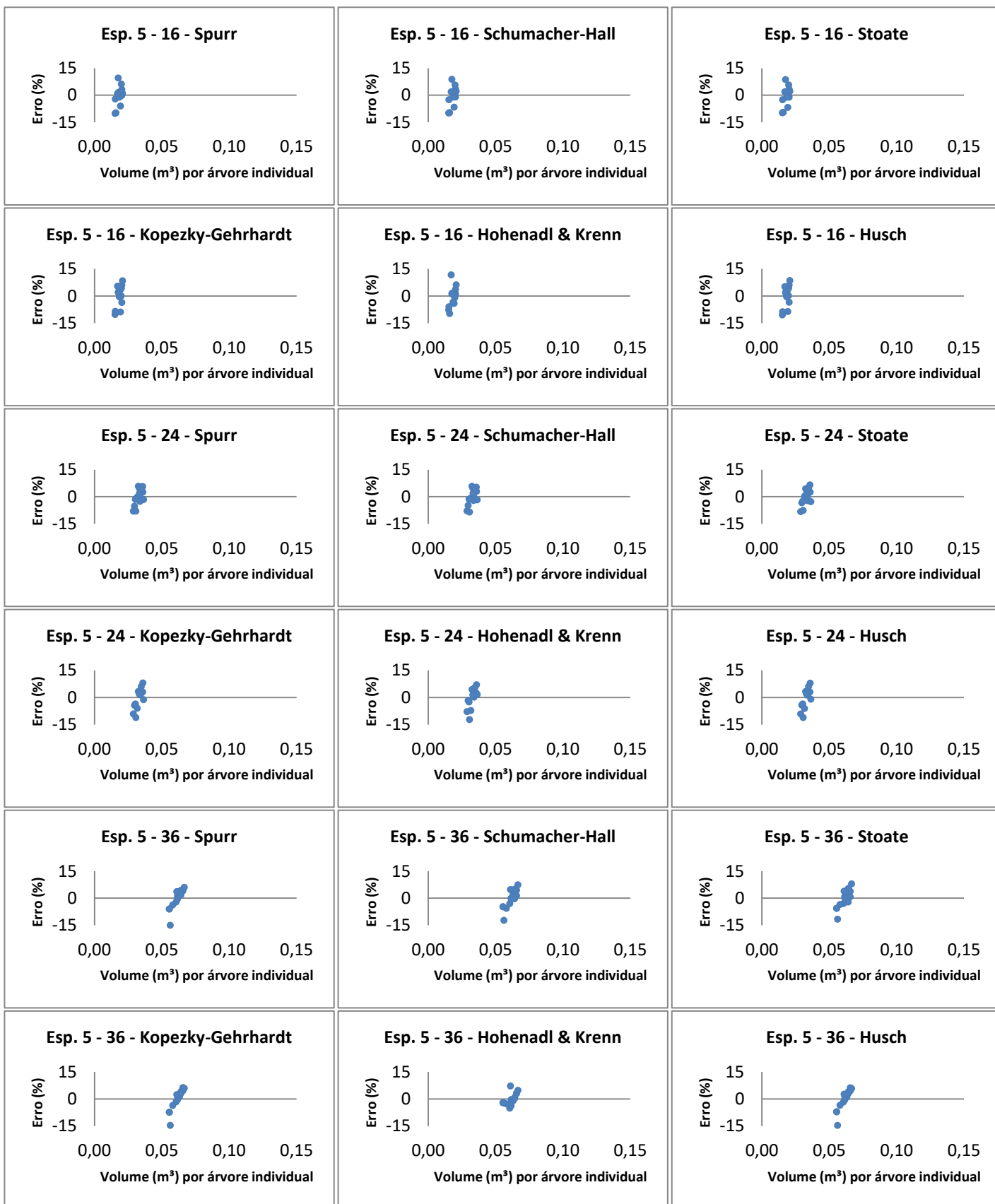
Os coeficientes das equações volumétricas, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da média percentual de cada modelo testado para o espaçamento 5 (2,64 m<sup>2</sup>), em suas diferentes idades, encontram-se na Tabela 6.5.

**Tabela 6.5** – Coeficientes e estatística de precisão do ajuste das equações volumétricas para o espaçamento 5.

<b>Esp.</b>	<b>Idade (meses)</b>	<b>Modelo</b>	<b><math>\beta_0</math></b>	<b><math>\beta_1</math></b>	<b><math>\beta_2</math></b>	<b><math>\beta_3</math></b>	<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	<b>S<sub>xy</sub> (%)</b>
5	16	<u>Spurr</u>	0,00523	0,00003			0,7422	5,08
5	16	Schumacher-Hall	0,00022	1,58726	0,61670		0,7245	5,25
5	16	Stoate	-0,00337	0,00001	0,00024	0,00070	0,7008	5,47
5	16	Kopezky-Gehrhardt	-0,00156	0,00045			0,6123	6,23
5	16	Hohenadl & Krenn	-0,43658	0,12982	-0,00922		0,6975	5,50
5	16	Husch	0,00032	2,13198			0,6108	6,24
5	24	<u>Spurr</u>	0,01009	0,00003			0,5833	4,51
5	24	Schumacher-Hall	0,00030	1,43810	0,64643		0,5523	4,68
5	24	Stoate	0,21879	0,00025	-0,00301	-0,01583	0,5321	4,78
5	24	Kopezky-Gehrhardt	0,01139	0,00032			0,3721	5,54
5	24	Hohenadl & Krenn	-0,29490	0,07286	-0,00401		0,3665	5,56
5	24	Husch	0,00203	1,31921			0,3762	5,52
5	36	<u>Spurr</u>	0,04385	0,00001			0,1507	5,52
5	36	Schumacher-Hall	0,00157	0,45195	0,92501		0,1908	5,38
5	36	Stoate	0,43561	0,00024	-0,00384	-0,02379	0,1317	5,58
5	36	Kopezky-Gehrhardt	0,04658	0,00013			0,0693	5,77
5	36	<u>Hohenadl &amp; Krenn</u>	-1,04837	0,20457	-0,00941		0,6244	3,67
5	36	Husch	0,01822	0,51431			0,0936	5,70

Onde: Esp. = Espaçamento; Modelo = modelo selecionado para cada idade do espaçamento 5.

A figura 6.5 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume das árvores do espaçamento 5, como critério na escolha do melhor ajuste.



**Figura 6.5** – Resíduos em função do volume por árvore individual para as equações volumétricas ajustadas para o espaçamento 5 (2,64 m<sup>2</sup>) em diferentes idades.



Com a análise dos gráficos e das estatísticas de ajuste e precisão de cada modelo testado para o espaçamento 5, nos 16º e 24º meses de idade, o modelo de Spurr foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e as estatísticas de precisão. Já o 36º mês de idade, o modelo de Hohenadl & Krenn foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e a estatística de precisão. Uma peculiaridade que esse espaçamento apresentou foi o baixo coeficiente de determinação ajustado, que foi diminuindo com a evolução da idade do povoamento, apesar de manter um baixo erro padrão da estimativa para todos os modelos ajustados.

A análise das variáveis dendrométricas para o espaçamento 5 apresentou para o DAP, coeficiente de variação muito baixo para as idades de 16 e 24 meses e baixo para a idade de 36 meses, já a altura (Ht) apresentou coeficiente de variação muito baixo para todas idades.

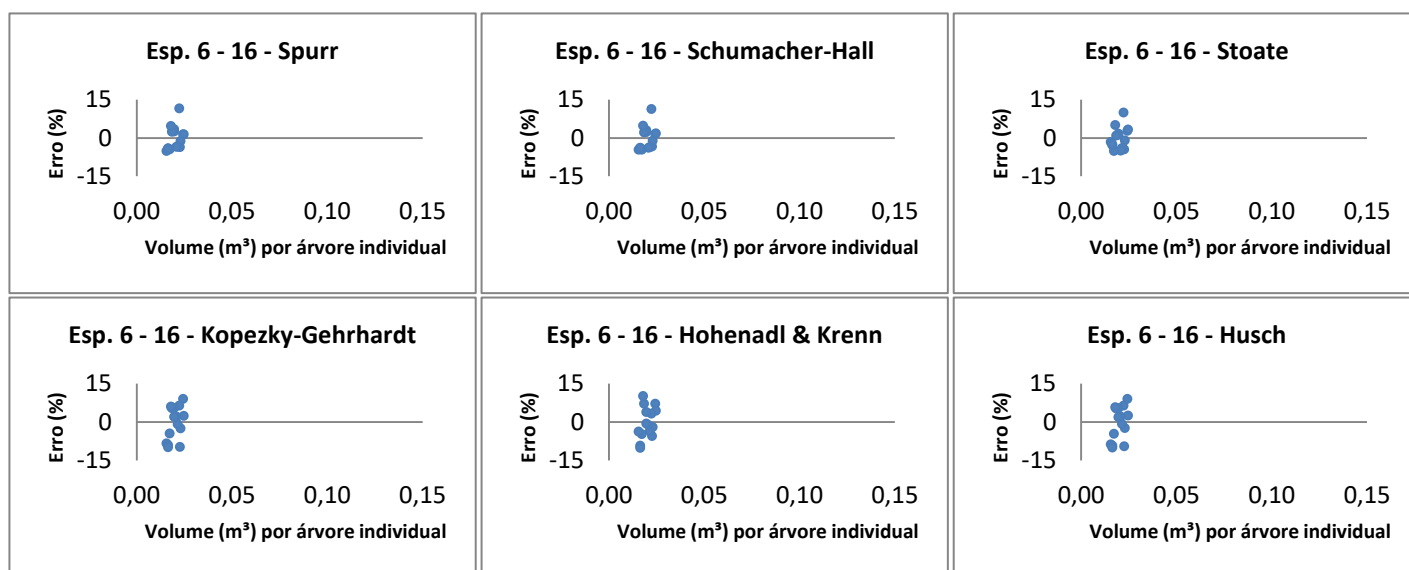
Os coeficientes das equações volumétricas, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da média percentual de cada modelo testado para o espaçamento 6 (3,94 m<sup>2</sup>), em suas diferentes idades, encontram-se na Tabela 6.6.

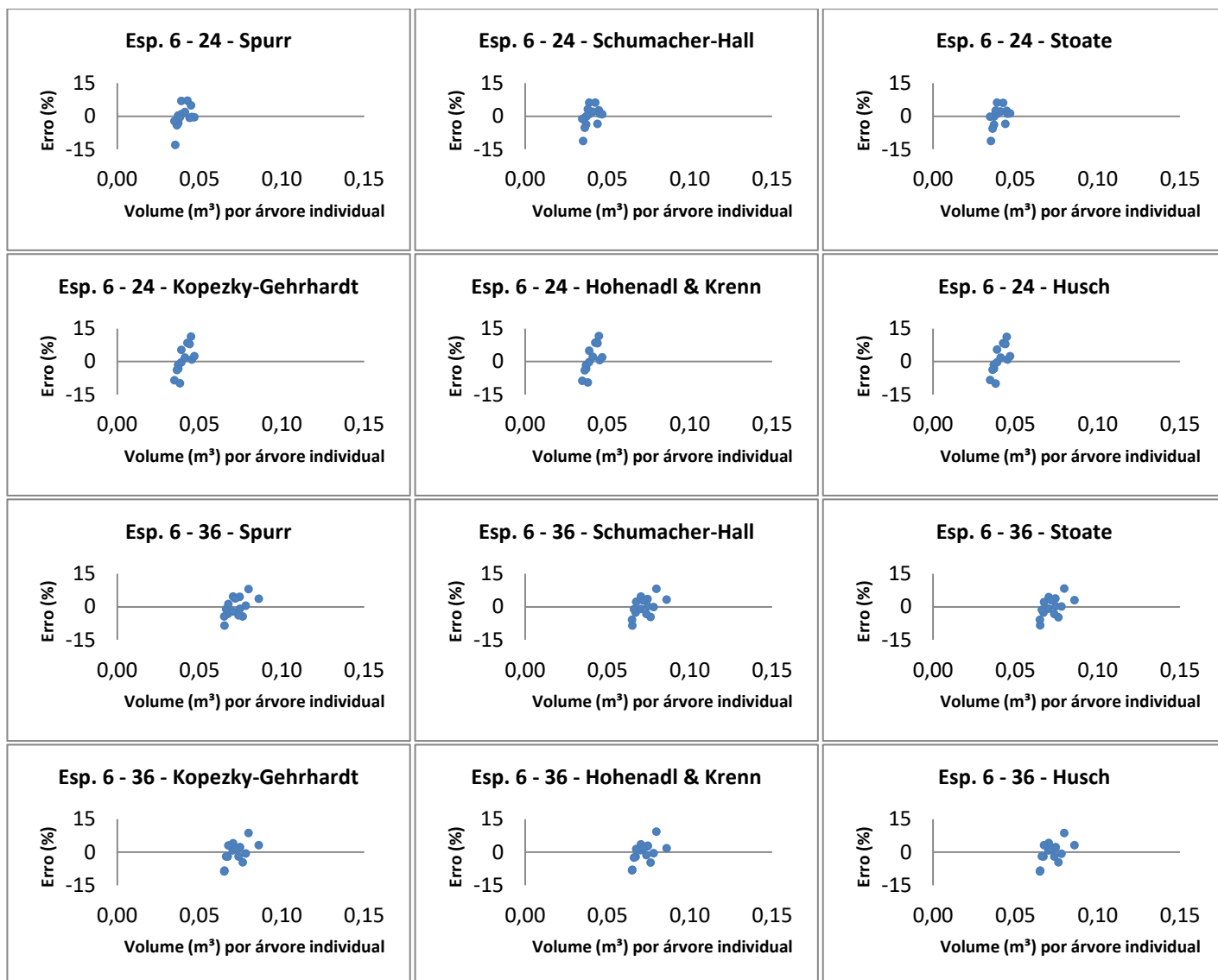
**Tabela 6.6** – Coeficientes e estatística de precisão do ajuste das equações volumétricas para o espaçamento 6.

Esp.	Idade (meses)	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	R <sup>2</sup> ajustado	S <sub>xy</sub> (%)
6	16	Spurr	0,00539	0,00003			0,8916	4,88
6	16	Schumacher-Hall	0,00022	1,44131	0,74674		0,8864	4,99
6	16	Stoate	-0,04207	-0,00007	0,00094	0,00484	0,8854	5,02
6	16	Kopezky-Gehrhardt	-0,00098	0,00042			0,7974	6,67
6	16	Hohenadl & Krenn	-0,18747	0,05253	-0,00326		0,8207	6,27
6	16	Husch	0,00035	2,07411			0,7966	6,68
6	24	Spurr	0,00295	0,00003			0,7657	4,77
6	24	Schumacher-Hall	0,00004	1,65370	1,22760		0,7797	4,62
6	24	Stoate	-0,07801	-0,00003	0,00081	0,00627	0,7624	4,80
6	24	Kopezky-Gehrhardt	0,00741	0,00039			0,4100	7,57
6	24	Hohenadl & Krenn	0,08603	-0,01696	0,00130		0,3619	7,87
6	24	Husch	0,00106	1,64099			0,4097	7,57
6	36	Spurr	0,02227	0,00002			0,6869	4,63
6	36	Schumacher-Hall	0,00047	1,56251	0,43815		0,6693	4,76
6	36	Stoate	0,09058	0,00005	-0,00040	-0,00439	0,6407	4,96
6	36	Kopezky-Gehrhardt	0,00957	0,00049			0,6697	4,76
6	36	Hohenadl & Krenn	0,34359	-0,05819	0,00302		0,6515	4,89
6	36	Husch	0,00104	1,74687			0,6689	4,76

Onde: Esp. = Espaçamento; Modelo = modelo selecionado para cada idade do espaçamento 6.

A figura 6.6 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume das árvores do espaçamento 6, como critério na escolha do melhor ajuste.





**Figura 6.6** – Resíduos em função do volume por árvore individual para as equações volumétricas ajustadas para o espaçamento 6 (3,94 m<sup>2</sup>) em diferentes idades.

Com a análise dos gráficos e das estatísticas de ajuste e precisão de cada modelo testado para o espaçamento 6, nas idades de 16 e 36 meses, o modelo de Spurr foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e as estatísticas de precisão. Já na idade de 24 meses, o modelo de Schumacher-Hall foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e a estatística de precisão. Os modelos de simples entrada apresentaram menores coeficientes de determinação ajustado e maiores erros padrão para as duas primeiras idades mensuradas, sendo que na última idade tanto a distribuição gráfica dos resíduos quanto a estatística de precisão foram semelhantes entre os modelos.

A análise das variáveis dendrométricas para o espaçamento 6 apresentou para o DAP, coeficiente de variação baixo para a idade de 16 meses e muito baixo para as demais

idades, já a altura (Ht) apresentou coeficiente de variação baixo para a idade de 16 meses e muito baixo para as demais idades.

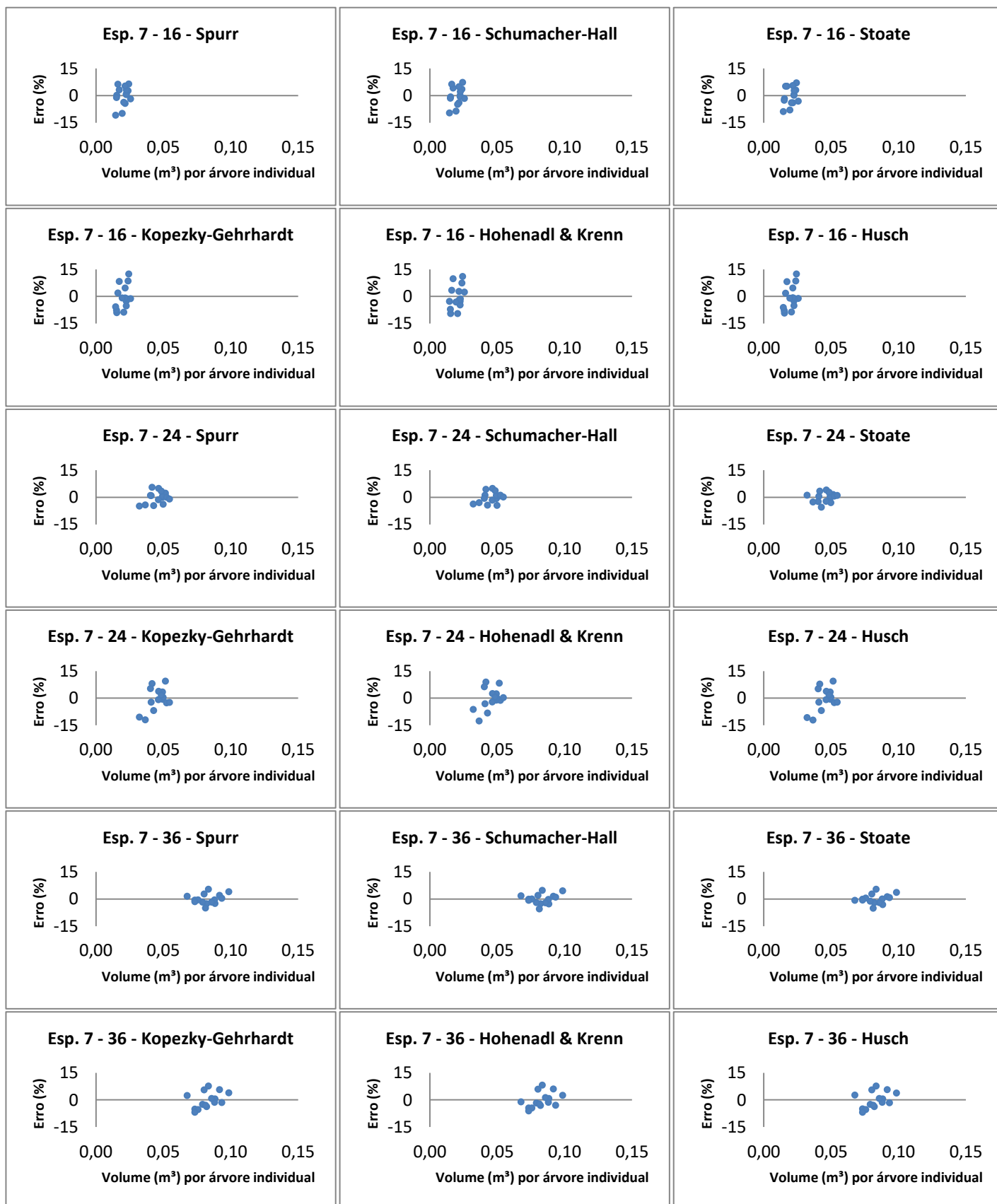
Os coeficientes das equações volumétricas, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da média percentual de cada modelo testado para o espaçamento 7 (5,86 m<sup>2</sup>), em suas diferentes idades, encontram-se na Tabela 6.7.

**Tabela 6.7** – Coeficientes e estatística de precisão do ajuste das equações volumétricas para o espaçamento 7.

Esp.	Idade (meses)	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	R <sup>2</sup> ajustado	Sxy (%)
7	16	<u>Spurr</u>	0,00372	0,00003			0,9182	5,11
7	16	Schumacher-Hall	0,00015	1,70406	0,68254		0,9143	5,23
7	16	Stoate	0,01618	0,00005	-0,00020	-0,00142	0,9080	5,42
7	16	Kopezky-Gehrhardt	-0,00014	0,00038			0,8488	6,94
7	16	Hohenadl & Krenn	-0,06497	0,01803	-0,00086		0,8485	6,95
7	16	Husch	0,00038	1,99776			0,8488	6,94
7	24	<u>Spurr</u>	0,00729	0,00003			0,9437	3,25
7	24	Schumacher-Hall	0,00010	1,51746	1,01777		0,9470	3,15
7	24	<u>Stoate</u>	-0,11047	-0,00006	0,00121	0,00899	0,9554	2,89
7	24	Kopezky-Gehrhardt	-0,00157	0,00049			0,8222	5,77
7	24	Hohenadl & Krenn	-0,17099	0,03492	-0,00130		0,8217	5,78
7	24	Husch	0,00042	2,05139			0,8218	5,78
7	36	<u>Spurr</u>	0,02228	0,00002			0,9159	2,94
7	36	Schumacher-Hall	0,00028	1,34247	0,83334		0,9069	3,10
7	36	Stoate	0,13701	0,00007	-0,00085	-0,00670	0,9072	3,09
7	36	Kopezky-Gehrhardt	0,00110	0,00055			0,8002	4,54
7	36	Hohenadl & Krenn	0,30304	-0,04995	0,00261		0,7976	4,57
7	36	Husch	0,00057	1,98893			0,8000	4,54

Onde: Esp. = Espaçamento; Modelo = modelo selecionado para cada idade do espaçamento 7.

A figura 6.7 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume das árvores do espaçamento 7, como critério na escolha do melhor ajuste.



**Figura 6.7** – Resíduos em função do volume por árvore individual para as equações volumétricas ajustadas para o espaçamento 7 (5,86 m<sup>2</sup>) em diferentes idades.

Com a análise dos gráficos e das estatísticas de ajuste e precisão de cada modelo testado para o espaçamento 7, nas idades de 16 e 36 meses, o modelo de Spurr foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e as estatísticas de precisão. Já na idade de 24 meses, o modelo de Stoate foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e a estatística de precisão. Os modelos de simples entrada apresentaram menores coeficientes de determinação ajustado e maiores erros padrão para todas as idades mensuradas.

A análise das variáveis dendrométricas para o espaçamento 7 apresentou para o DAP, coeficiente de variação baixo para as idades de 16 e 24 meses e muito baixo para a idade de 36 meses, já a altura (Ht) apresentou coeficiente de variação baixo para todas idades.

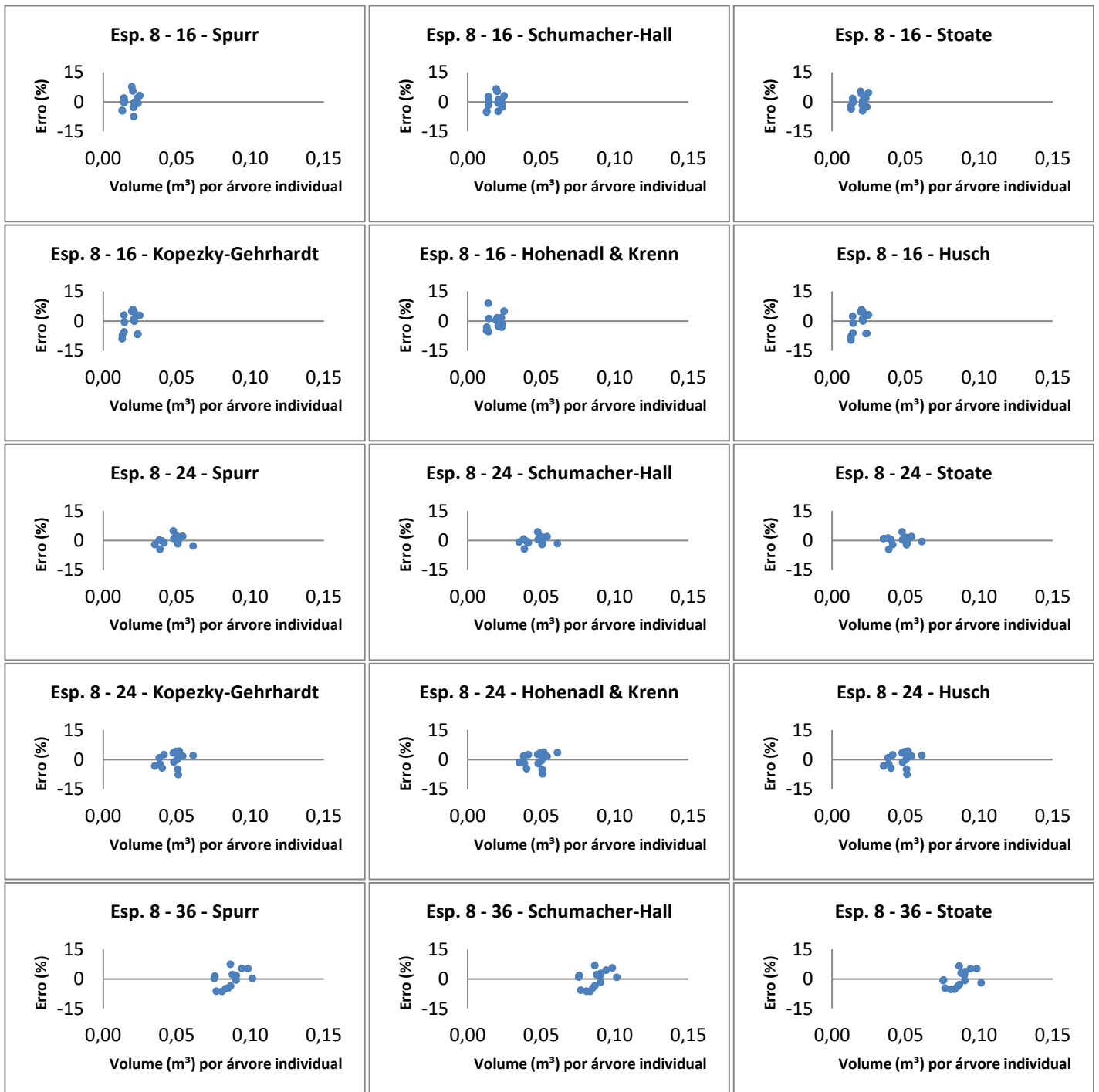
Os coeficientes das equações volumétricas, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da média percentual de cada modelo testado para o espaçamento 8 (8,69 m<sup>2</sup>), em suas diferentes idades, encontram-se na Tabela 6.8.

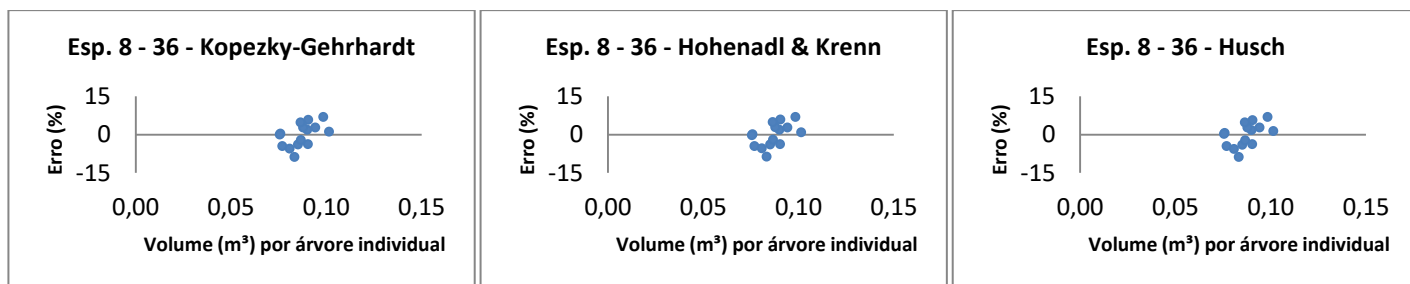
**Tabela 6.8** – Coeficientes e estatística de precisão do ajuste das equações volumétricas para o espaçamento 8.

<b>Esp.</b>	<b>Idade (meses)</b>	<b>Modelo</b>	<b><math>\beta_0</math></b>	<b><math>\beta_1</math></b>	<b><math>\beta_2</math></b>	<b><math>\beta_3</math></b>	<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	<b>S<sub>xy</sub> (%)</b>
8	16	Spurr	0,00296	0,00003			0,9647	4,09
8	16	Schumacher-Hall	0,00015	1,80185	0,57251		0,9711	3,69
8	16	<u>Stoate</u>	-0,03333	-0,00005	0,00077	0,00415	0,9720	3,64
8	16	Kopezky-Gehrhardt	-0,00023	0,00036			0,9413	5,27
8	16	Hohenadl & Krenn	-0,08072	0,02244	-0,00119		0,9715	3,67
8	16	Husch	0,00036	1,99118			0,9412	5,27
8	24	Spurr	0,01377	0,00002			0,9745	2,40
8	24	<u>Schumacher-Hall</u>	0,00030	1,43215	0,67314		0,9791	2,17
8	24	Stoate	-0,03094	-0,00001	0,00043	0,00348	0,9775	2,25
8	24	Kopezky-Gehrhardt	0,00312	0,00043			0,9334	3,87
8	24	Hohenadl & Krenn	-0,06240	0,01309	-0,00022		0,9315	3,93
8	24	Husch	0,00064	1,85833			0,9339	3,86
8	36	<u>Spurr</u>	0,03581	0,00002			0,7508	4,44
8	36	Schumacher-Hall	0,00104	1,28774	0,41542		0,7287	4,63
8	36	Stoate	0,20412	0,00008	-0,00097	-0,01085	0,7283	4,63
8	36	Kopezky-Gehrhardt	0,02204	0,00041			0,7174	4,72
8	36	Hohenadl & Krenn	0,05782	-0,00570	0,00063		0,6942	4,91
8	36	Husch	0,00198	1,49002			0,7167	4,73

Onde: Esp. = Espaçamento; Modelo = modelo selecionado para cada idade do espaçamento 8.

A figura 6.8 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume das árvores do espaçamento 8, como critério na escolha do melhor ajuste.





**Figura 6.8** – Resíduos em função do volume por árvore individual para as equações volumétricas ajustadas para o espaçamento 8 (8,69 m<sup>2</sup>) em diferentes idades.

Com a análise dos gráficos e das estatísticas de ajuste e precisão de cada modelo testado para o espaçamento 8, foi observado uma alternância dos modelos com o passar do tempo. No 16º mês de idade, o modelo de Stoate foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e as estatísticas de precisão. No 24º mês, o melhor modelo pelos parâmetros analisados foi o de Schumacher-Hall. Já no 36º mês, o modelo de Spurr foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e a estatística de precisão. Além disso, na idade de 36 meses foi observada uma diminuição nos coeficientes de determinação ajustado dos modelos.

A análise das variáveis dendrométricas para o espaçamento 8 apresentou para o DAP, coeficiente de variação médio para a idade de 16 meses e baixo para as demais idades, já a altura (Ht) apresentou coeficiente de variação baixo para as idades de 16 e 24 meses e muito baixo para a idade de 36 meses.

Os coeficientes das equações volumétricas, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da média percentual de cada modelo testado para o espaçamento 9 (12,86 m<sup>2</sup>), em suas diferentes idades, encontram-se na Tabela 6.9.

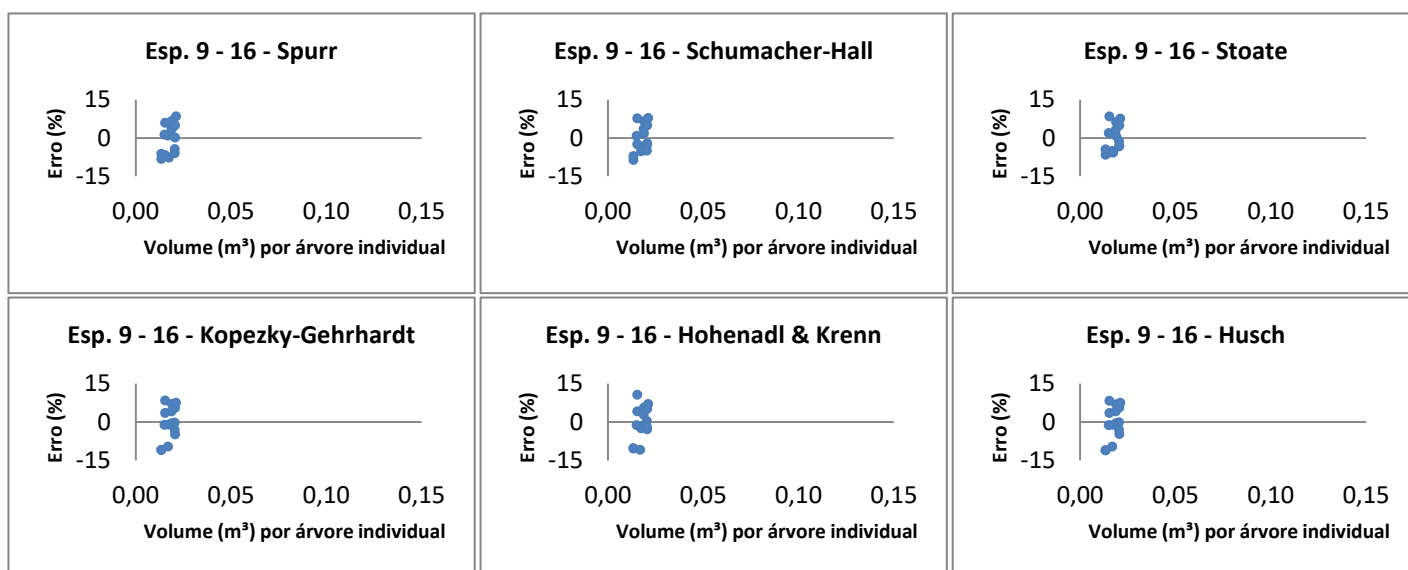


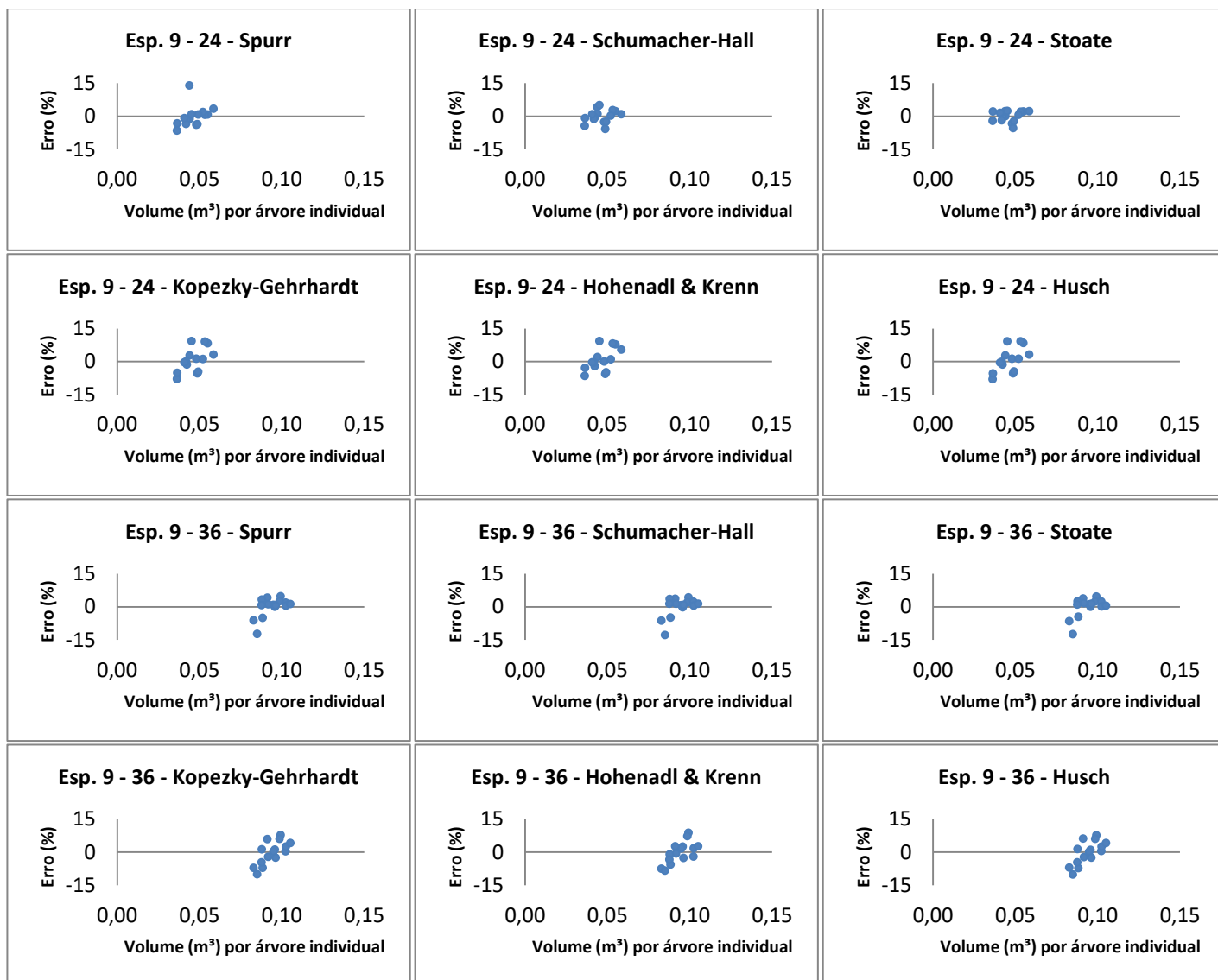
**Tabela 6.9** – Coeficientes e estatística de precisão do ajuste das equações volumétricas para o espaçamento 9.

Esp.	Idade (meses)	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	R <sup>2</sup> ajustado	S <sub>xy</sub> (%)
9	16	Spurr	0,00447	0,00003			0,8459	5,95
9	16	Schumacher-Hall	0,00022	1,70647	0,46576		0,8592	5,69
9	16	Stoate	-0,02723	-0,00005	0,00069	0,00352	0,8550	5,77
9	16	Kopezky-Gehrhardt	0,00049	0,00032			0,8253	6,34
9	16	Hohenadl & Krenn	-0,05188	0,01445	-0,00067		0,8182	6,47
9	16	Husch	0,00038	1,93404			0,8256	6,33
9	24	Spurr	0,01129	0,00003			0,8925	4,61
9	24	Schumacher-Hall	0,00013	1,98164	0,51726		0,9479	3,21
9	24	Stoate	-0,06210	-0,00003	0,00075	0,00537	0,9587	2,86
9	24	Kopezky-Gehrhardt	-0,00248	0,00046			0,7294	7,31
9	24	Hohenadl & Krenn	-0,19591	0,03773	-0,00137		0,7139	7,52
9	24	Husch	0,00035	2,09777			0,7291	7,32
9	36	Spurr	0,04222	0,00002			0,6448	4,32
9	36	Schumacher-Hall	0,00125	1,02256	0,60866		0,6100	4,53
9	36	Stoate	0,13451	0,00005	-0,00056	-0,00563	0,5854	4,67
9	36	Kopezky-Gehrhardt	0,02759	0,00038			0,4601	5,33
9	36	Hohenadl & Krenn	1,16236	-0,17185	0,00688		0,4798	5,23
9	36	Husch	0,00240	1,41932			0,4559	5,35

Onde: Esp. = Espaçamento; Modelo = modelo selecionado para cada idade do espaçamento 9.

A figura 6.9 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume das árvores do espaçamento 9, como critério na escolha do melhor ajuste.





**Figura 6.9** – Resíduos em função do volume por árvore individual para as equações volumétricas ajustadas para o espaçamento 9 (12,86 m<sup>2</sup>) em diferentes idades.

Com a análise dos gráficos e das estatísticas de ajuste e precisão de cada modelo testado para o espaçamento 9, foi observado uma alternância dos modelos com o passar do tempo. No 16º mês de idade, o modelo de Schumacher-Hall foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e as estatísticas de precisão. No 24º mês, o melhor modelo pelos parâmetros analisados foi o de Stoate. Já no 36º mês, o modelo de Spurr foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e a estatística de precisão, além disso, na idade de 36 meses foi observada uma diminuição nos coeficientes de determinação ajustado dos modelos. Os modelos de simples entrada estão apresentando maiores erros padrão da estimativa, comparados aos modelos de dupla entrada.

A análise das variáveis dendrométricas para o espaçamento 9 apresentou para o

DAP, coeficiente de variação médio para as idades de 16 e 24 meses e baixo para a idade de 36 meses, já a altura (Ht) apresentou coeficiente de variação baixo para as idades de 16 e 36 meses e médio para a idade de 24 meses.

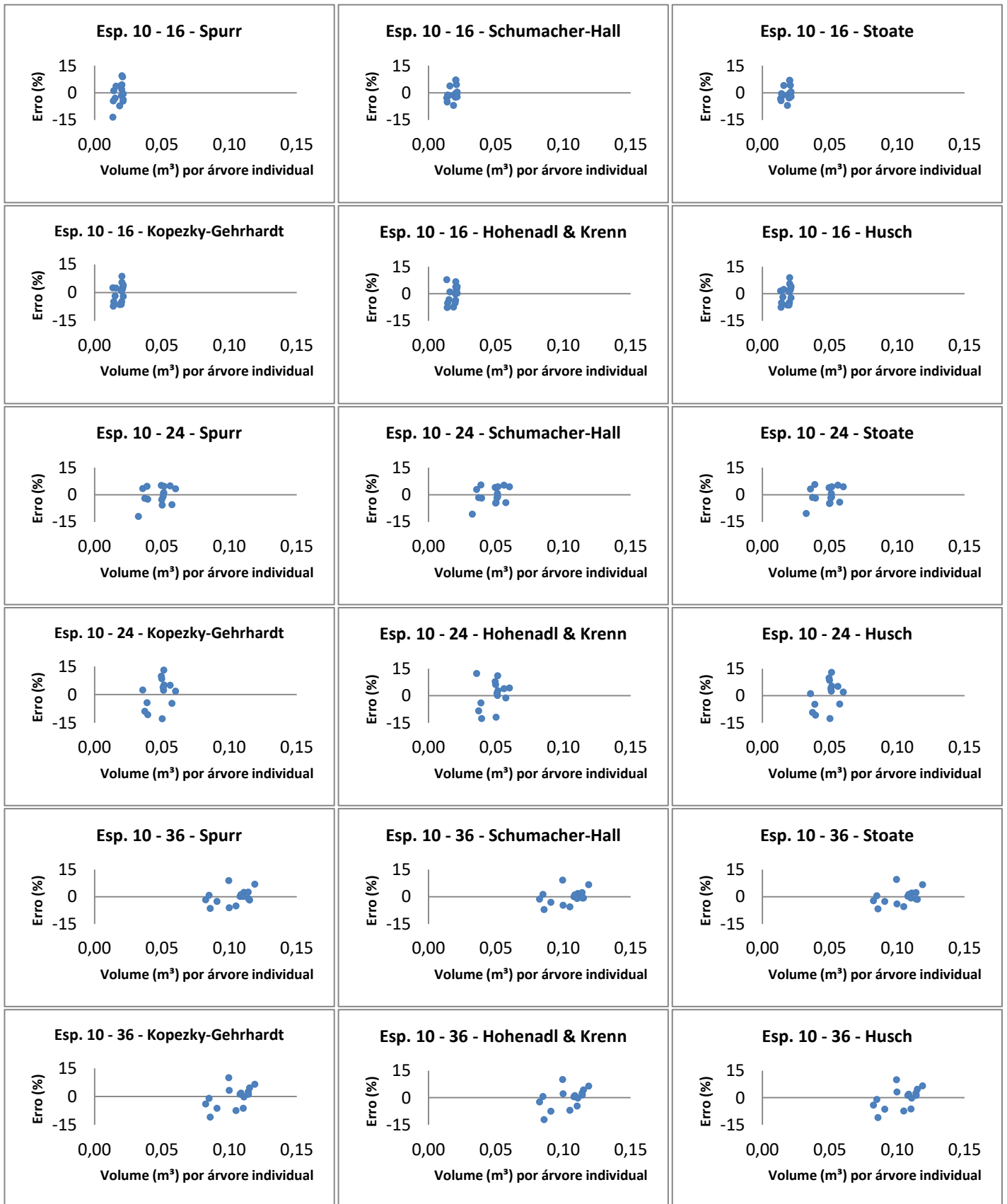
Os coeficientes das equações volumétricas, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da média percentual de cada modelo testado para o espaçamento 10 (19,00 m<sup>2</sup>), em suas diferentes idades, encontram-se na Tabela 6.10.

**Tabela 6.10** – Coeficientes e estatística de precisão do ajuste das equações volumétricas para o espaçamento 10.

Esp.	Idade (meses)	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	R <sup>2</sup> ajustado	S <sub>xy</sub> (%)
10	16	Spurr	0,00072	0,00004			0,8567	6,10
10	16	<u>Schumacher-Hall</u>	0,00006	2,41387	0,40282		0,9198	4,56
10	16	Stoate	-0,01067	0,00000	0,00039	0,00085	0,9155	4,69
10	16	Kopezky-Gehrhardt	-0,00512	0,00042			0,8992	5,12
10	16	Hohenadl & Krenn	-0,12251	0,03213	-0,00177		0,9030	5,02
10	16	Husch	0,00011	2,56560			0,8964	5,19
10	24	<u>Spurr</u>	0,00513	0,00003			0,9289	4,76
10	24	Schumacher-Hall	0,00009	1,61024	1,00820		0,9289	4,76
10	24	Stoate	-0,01847	0,00001	0,00016	0,00242	0,9226	4,97
10	24	Kopezky-Gehrhardt	-0,00906	0,00050			0,7291	9,29
10	24	Hohenadl & Krenn	-0,32460	0,05915	-0,00226		0,7380	9,14
10	24	Husch	0,00019	2,33546			0,7252	9,36
10	36	<u>Spurr</u>	0,03224	0,00002			0,8556	4,43
10	36	Schumacher-Hall	0,00044	1,47016	0,58209		0,8468	4,57
10	36	Stoate	0,08588	0,00004	-0,00023	-0,00413	0,8337	4,76
10	36	Kopezky-Gehrhardt	0,00188	0,00052			0,7598	5,72
10	36	Hohenadl & Krenn	-0,43632	0,06389	-0,00180		0,7466	5,87
10	36	Husch	0,00060	1,95543			0,7600	5,71

Onde: Esp. = Espaçamento; Modelo = modelo selecionado para cada idade do espaçamento 10.

A figura 6.10 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume das árvores do espaçamento 10, como critério na escolha do melhor ajuste.



**Figura 6.10** – Resíduos em função do volume por árvore individual para as equações volumétricas ajustadas para o espaçamento 10 (19,00 m<sup>2</sup>) em diferentes idades.

Com a análise dos gráficos e das estatísticas de ajuste e precisão de cada modelo testado para o espaçamento 10, na idade de 16 meses, o modelo de Schumacher-Hall foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e as estatísticas de precisão. Já para as idades de 24 e 36 meses, o modelo de Spurr foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e a estatística de precisão, além disso, nas duas últimas idades de foi observada uma diminuição nos coeficientes de determinação ajustado dos modelos. Na idade de 24 meses os modelos de simples entrada estão apresentando maiores erros padrão da estimativa (aproximadamente o dobro), comparados aos modelos de dupla entrada.

A análise das variáveis dendrométricas para o espaçamento 10 apresentou para o DAP e para a altura (Ht), coeficientes de variação baixo para todas as idades do espaçamento.

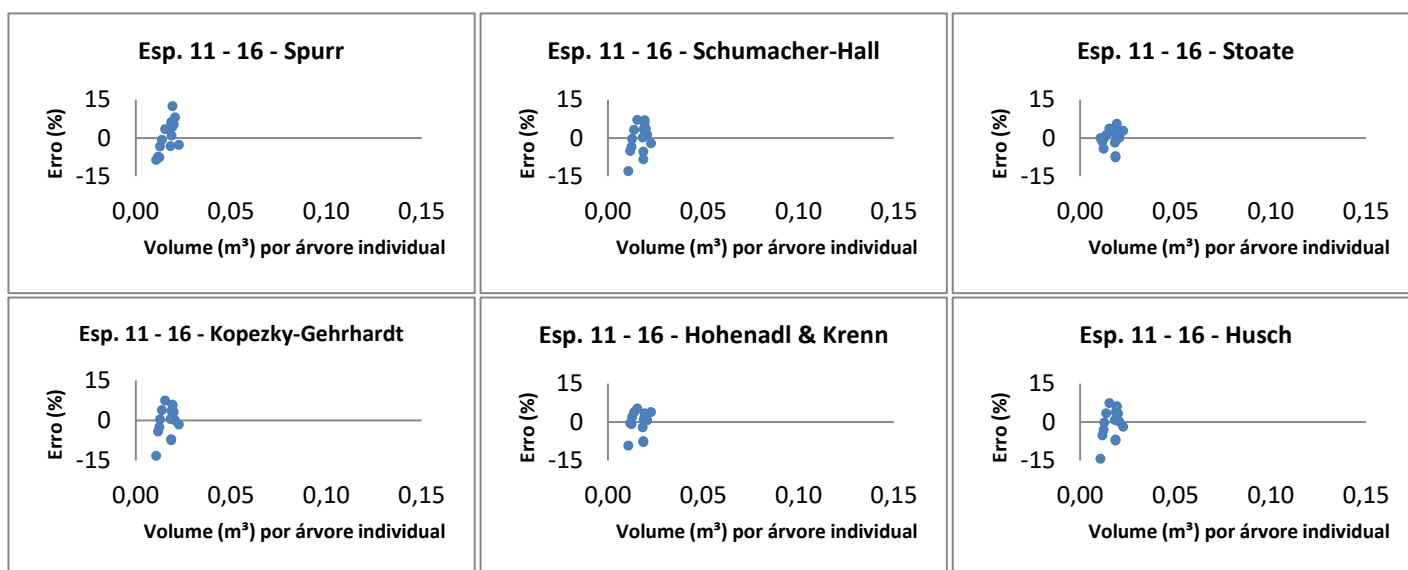
Os coeficientes das equações volumétricas, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da média percentual de cada modelo testado para o espaçamento 11 (28,01 m<sup>2</sup>), em suas diferentes idades, encontram-se na Tabela 6.11.

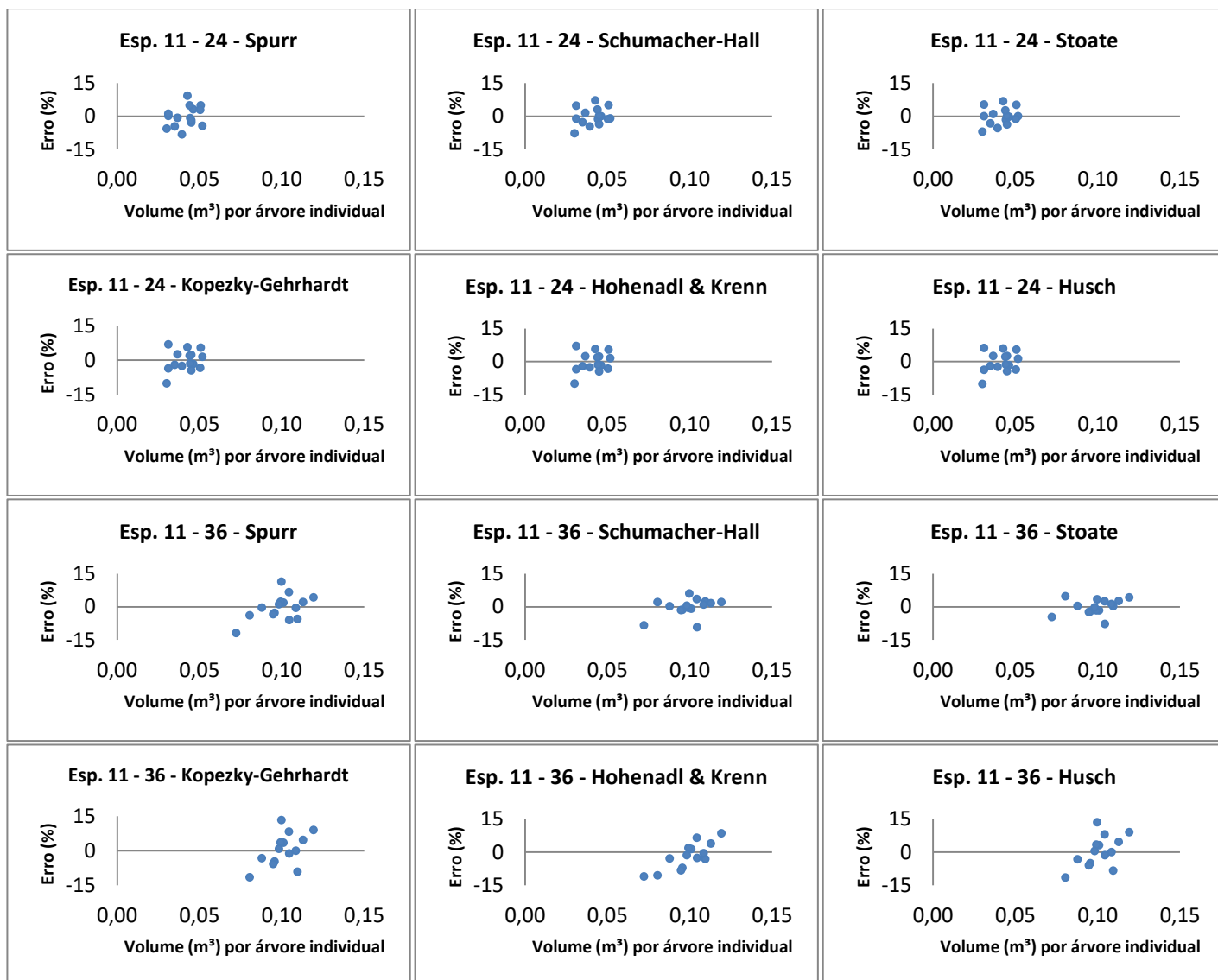
**Tabela 6.11** – Coeficientes e estatística de precisão do ajuste das equações volumétricas para o espaçamento 11.

Esp.	Idade (meses)	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	R <sup>2</sup> ajustado	S <sub>xy</sub> (%)
11	16	Spurr	0,00235	0,00004			0,8585	8,21
11	16	Schumacher-Hall	0,00013	2,32389	0,12487		0,9293	5,80
11	16	<u>Stoate</u>	-0,04537	-0,00009	0,00108	0,00574	0,9531	4,73
11	16	Kopezky-Gehrhardt	-0,00354	0,00039			0,9366	5,50
11	16	Hohenadl & Krenn	-0,08545	0,02288	-0,00120		0,9507	4,85
11	16	Husch	0,00014	2,39820			0,9328	5,66
11	24	Spurr	0,00849	0,00003			0,9208	4,95
11	24	<u>Schumacher-Hall</u>	0,00015	2,08952	0,30713		0,9471	4,04
11	24	Stoate	-0,02281	-0,00001	0,00048	0,00207	0,9431	4,73
11	24	Kopezky-Gehrhardt	-0,00707	0,00045			0,9409	4,28
11	24	Hohenadl & Krenn	-0,01208	0,00099	0,00041		0,9360	4,45
11	24	Husch	0,00017	2,34984			0,9406	4,29
11	36	Spurr	0,04202	0,00002			0,7943	5,58
11	36	Schumacher-Hall	0,00069	0,73314	1,14638		0,8847	4,17
11	36	<u>Stoate</u>	-0,18343	-0,00005	0,00090	0,01764	0,9012	3,86
11	36	Kopezky-Gehrhardt	0,03696	0,00032			0,5723	8,04
11	36	Hohenadl & Krenn	-0,39307	0,06178	-0,00188		0,5967	7,81
11	36	Husch	0,00369	1,25199			0,5837	7,93

Onde: Esp. = Espaçamento; Modelo = modelo selecionado para cada idade do espaçamento 11.

A figura 6.11 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume das árvores do espaçamento 11, como critério na escolha do melhor ajuste.





**Figura 6.11** – Resíduos em função do volume por árvore individual para as equações volumétricas ajustadas para o espaçamento 11 (28,01 m<sup>2</sup>) em diferentes idades.

Com a análise dos gráficos e das estatísticas de ajuste e precisão de cada modelo testado para o espaçamento 11, nas idades de 16 e 36 meses, o modelo de Spurr foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e as estatísticas de precisão. Já na idade de 24 meses, o modelo de Schumacher-Hall foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e a estatística de precisão. Na última idade os modelos de simples entrada apresentaram baixos coeficientes de determinação ajustado e altos erros padrão da estimativa para esses modelos.

A análise das variáveis dendrométricas para o espaçamento 11 apresentou para o DAP e para a altura (Ht) coeficiente de variação baixo para todas as idades do espaçamento.

Os coeficientes das equações volumétricas, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da média percentual de cada modelo testado para o espaçamento 12 (41,25 m<sup>2</sup>), em suas diferentes idades, encontram-se na Tabela 6.12.

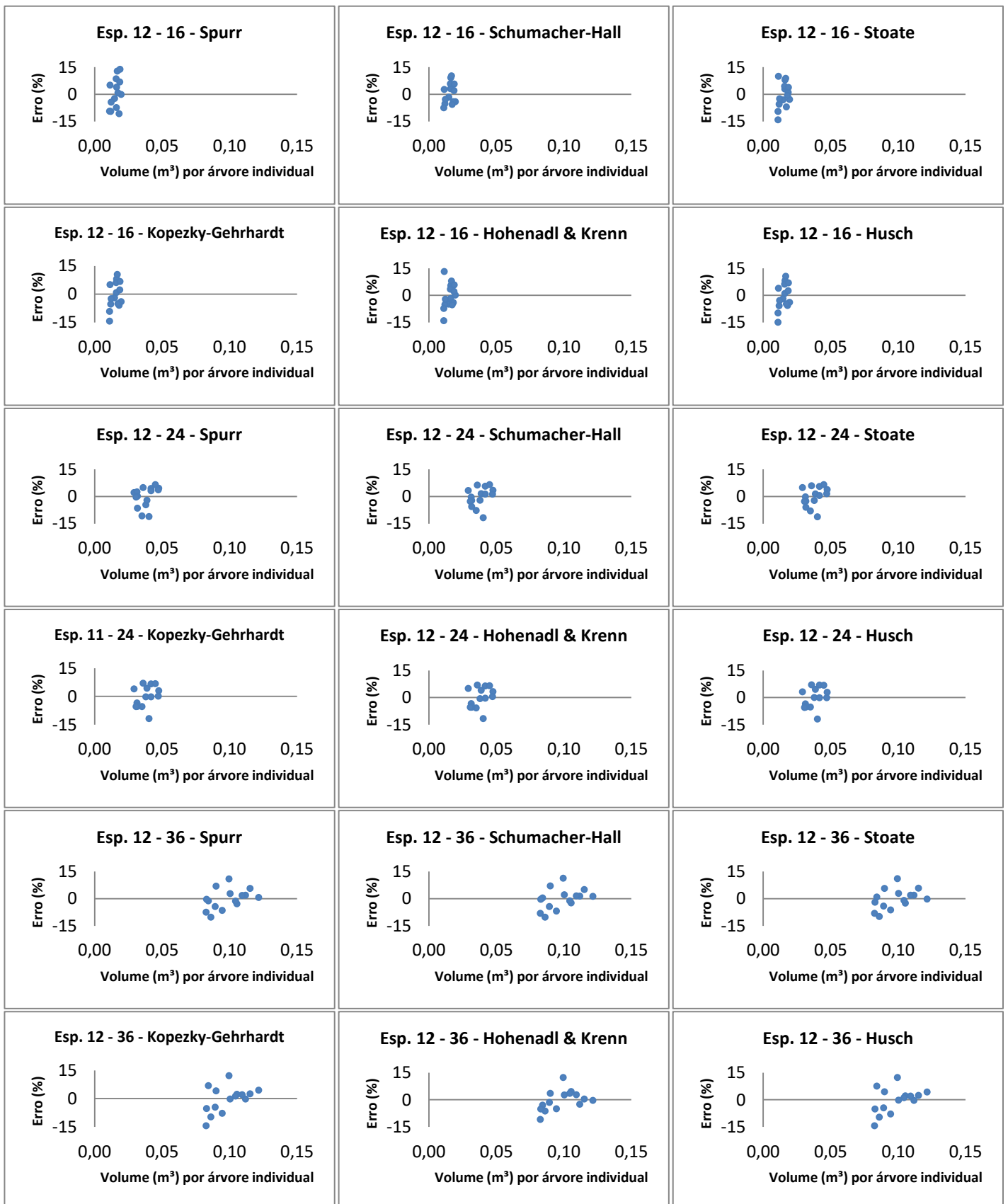
**Tabela 6.12** – Coeficientes e estatística de precisão do ajuste das equações volumétricas para o espaçamento 12.

<b>Esp.</b>	<b>Idade (meses)</b>	<b>Modelo</b>	<b><math>\beta_0</math></b>	<b><math>\beta_1</math></b>	<b><math>\beta_2</math></b>	<b><math>\beta_3</math></b>	<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	<b>S<sub>xy</sub> (%)</b>
12	16	Spurr	0,00373	0,00003			0,7514	9,81
12	16	Schumacher-Hall	0,00020	2,38873	-0,17214		0,8679	7,15
12	16	Stoate	-0,02373	-0,00006	0,00085	0,00275	0,8757	6,94
12	16	Kopecky-Gehrhardt	-0,00231	0,00035			0,8776	6,88
12	16	<u>Hohenadl &amp; Krenn</u>	-0,07452	0,02055	-0,00110		0,8914	6,48
12	16	Husch	0,00018	2,26554			0,8744	6,97
12	24	Spurr	0,00292	0,00004			0,8607	6,05
12	24	<u>Schumacher-Hall</u>	0,00007	2,27495	0,42628		0,8694	5,86
12	24	Stoate	-0,04718	-0,00003	0,00072	0,00427	0,8577	6,11
12	24	Kopecky-Gehrhardt	-0,01075	0,00048			0,8672	5,91
12	24	Hohenadl & Krenn	-0,04551	0,00691	0,00014		0,8566	6,14
12	24	Husch	0,00010	2,56131			0,8663	5,93
12	36	<u>Spurr</u>	0,03004	0,00002			0,8075	5,60
12	36	Schumacher-Hall	0,00040	1,46708	0,61523		0,7870	5,89
12	36	Stoate	0,12061	0,00006	-0,00041	-0,00679	0,7773	6,02
12	36	Kopecky-Gehrhardt	0,01041	0,00043			0,7339	6,58
12	36	Hohenadl & Krenn	0,87301	-0,12160	0,00470		0,8004	5,70
12	36	Husch	0,00078	1,81678			0,7306	6,62

Onde: Esp. = Espaçamento; Modelo = modelo selecionado para cada idade do espaçamento 12.

A figura 6.12 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume das árvores do espaçamento 12, como critério na escolha do melhor ajuste.





**Figura 6.12** – Resíduos em função do volume por árvore individual para as equações volumétricas ajustadas para o espaçamento 12 (41,25 m<sup>2</sup>) em diferentes idades.

Com a análise dos gráficos e das estatísticas de ajuste e precisão de cada modelo testado para o espaçamento 12, foi observada uma alternância dos modelos com o passar do tempo. No 16º mês de idade, o modelo de Hohenadl & Krenn foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e as estatísticas de precisão. No 24º mês, o melhor modelo pelos parâmetros analisados foi o de Schumacher-Hall. Já no 36º mês, o modelo de Spurr foi o que melhor apresentou a distribuição gráfica dos resíduos e a estatística de precisão.

A análise das variáveis dendrométricas para o espaçamento 12 apresentou para o DAP e para a altura (Ht) coeficiente de variação baixo para todas as idades do espaçamento.

## **6.2. Análise silvicultural de árvore individual**

Em relação aos espaçamentos, os espaçamentos de 1 ao 3 (0,50 m<sup>2</sup>, 0,77 m<sup>2</sup> e 1,17 m<sup>2</sup>) são os que possuem as menores áreas vitais por planta, o que fez com que os indivíduos tenham entrado em uma alta competição no estágio inicial do plantio, e interferiu no desenvolvimento diamétrico das árvores ao longo do tempo e acelerou o processo de crescimento dessas em altura, até a estagnação por escassez de recursos e espaço, como encontrado por Chies (2005) e Leite *et al.* (2006).

Os espaçamentos de 4 ao 8 (1,76 m<sup>2</sup>, 2,64 m<sup>2</sup>, 3,94 m<sup>2</sup>, 5,86m<sup>2</sup> e 8,69 m<sup>2</sup>) são considerados intermediários, em relação ao tamanho da área vital por planta, além disso, são os espaçamentos mais comumente utilizados pelos produtores e pelas empresas de base florestal. Estes espaçamentos demoraram mais tempo para iniciar a competição entre os indivíduos, o que favoreceu em um melhor desenvolvimento diamétrico dos indivíduos e no aumento da aceleração do crescimento em altura em um período mais tardio, em relação aos espaçamentos anteriores, além disso, esses espaçamentos estão apresentando as maiores alturas do povoamento e já estão suprimindo as árvores dos espaçamentos anteriores. Nesses espaçamentos já são comuns à presença de galhos vivos e secos e nós de maiores diâmetros, o que começa a implicar na qualidade da madeira para determinadas finalidades.

Já nos espaçamentos de 9 ao 12 (12,86 m<sup>2</sup>, 19,00 m<sup>2</sup>, 28,01 m<sup>2</sup> e 41,25 m<sup>2</sup>), estes possuem as maiores áreas vitais por plantas, o que dificulta a competição entre os indivíduos, favorecendo um maior desenvolvimento diamétrico dos indivíduos e uma

menor aceleração de crescimento em altura, como observado por Pezzuti (2011) e Vidaurre *et al.* (2015). Nesses espaçamentos o formato das árvores é diferenciado em relação às demais, estas apresentam formatos cônicos, devido à alta quantidade de galhos vivos e de grandes diâmetros no decorrer da árvore. Além de tudo, o povoamento estudado apresenta uma grande dinâmica nos formatos das árvores, e por consequência na qualidade do ajuste, devido sofrer influência da idade juvenil do povoamento.

### **6.3. Teste de identidade de modelos**

A partir do teste de identidade de modelos foi possível verificar a possibilidade de serem utilizados modelos reduzidos para uma combinação de três ou duas idades diferentes para cada espaçamento. Com isso, foi realizado o teste F para todos os espaçamentos com combinações com as três idades e com combinações com duas idades diferentes, utilizando os modelos que apresentaram os melhores ajustes na terceira idade, pois apresentam uma melhor estabilidade.

As combinações das idades de cada modelo selecionado para o teste de identidade de modelos e os resultados dos testes F para cada combinação, e suas significâncias, encontram-se na Tabela 6.13.

**Tabela 6.13** – Combinações das idades para o teste de identidade de modelos.

<b>Espaçamento</b>	<b>Modelo</b>	<b>Combinação</b>	<b>F calculado</b>
1	Stoate	16, 24 e 36	1,233268*
2	Schumacher-Hall	16, 24 e 36	3,479998
2	Schumacher-Hall	16 e 24	1,111864*
2	Schumacher-Hall	16 e 36	3,537644
2	Schumacher-Hall	24 e 36	1,647698*
3	Stoate	16, 24 e 36	1,215441*
4	Stoate	16, 24 e 36	5,867656
4	Stoate	16 e 24	1,191429*
4	Stoate	16 e 36	2,329158*
4	Stoate	24 e 36	5,503791
5	Hohenadl & Krenn	16, 24 e 36	19,286888
5	Hohenadl & Krenn	16 e 24	2,824346
5	Hohenadl & Krenn	16 e 36	14,590215
5	Hohenadl & Krenn	24 e 36	13,611178
6	Spurr	16, 24 e 36	1,745563*
7	Spurr	16, 24 e 36	5,426112
7	Spurr	16 e 24	0,815967*
7	Spurr	16 e 36	7,648442
7	Spurr	24 e 36	5,898462
8	Spurr	16, 24 e 36	10,355308
8	Spurr	16 e 24	19,285117
8	Spurr	16 e 36	10,416751
8	Spurr	24 e 36	9,920228
9	Spurr	16, 24 e 36	7,696236
9	Spurr	16 e 24	4,272182
9	Spurr	16 e 36	9,370145
9	Spurr	24 e 36	6,675060
10	Spurr	16, 24 e 36	6,394158
10	Spurr	16 e 24	0,410913*
10	Spurr	16 e 36	8,547518
10	Spurr	24 e 36	7,074429
11	Stoate	16, 24 e 36	13,236663
11	Stoate	16 e 24	0,812133*
11	Stoate	16 e 36	7,292638
11	Stoate	24 e 36	12,315788
12	Spurr	16, 24 e 36	4,501732
12	Spurr	16 e 24	0,294174*
12	Spurr	16 e 36	5,645842
12	Spurr	24 e 36	4,295455

Onde: \* = teste significativo para a equação reduzida combinada.

Nos espaçamentos 1, 3 e 6, as combinações com as três idades, não apresentaram diferenças significativas entre os modelos reduzidos e os modelos completos, possibilitando a utilização dos modelos reduzidos para a estimativa volumétrica das árvores individuais desses espaçamentos, isso aconteceu devido à forma da árvore ter se mantido semelhante com o passar dos anos nesses espaçamentos em destaque. Os espaçamentos 2 e 4 apresentaram duas combinações com duas idades diferentes que foram significativas para o uso dos modelos reduzidos, as combinações das idades 16 e 24 meses e das idades 16 e 36 meses. Já os espaçamentos 7, 10, 11 e 12, apresentaram apenas uma combinação de idades diferentes que foram significativas, as combinações das idades 16 e 24 meses. Os coeficientes dos modelos reduzidos que tiveram as combinações de idades significativas encontram-se na Tabela 6.14.

**Tabela 6.14** – Combinações das idades que apresentaram significância e os coeficientes dos modelos reduzidos.

<b>Espaçamento</b>	<b>Modelo</b>	<b>Combinação</b>	<b><math>\beta_0</math></b>	<b><math>\beta_1</math></b>	<b><math>\beta_2</math></b>	<b><math>\beta_3</math></b>
1	Stoate	16, 24 e 36	0,006925	0,000067	-0,000225	-0,000761
2	Schumacher-Hall	16 e 24	0,000154	2,233063	0,263483	
2	Schumacher-Hall	24 e 36	0,000034	1,653045	1,299616	
3	Stoate	16, 24 e 36	-0,002714	0,000013	0,000303	0,000236
4	Stoate	16 e 24	-0,008757	-0,000001	0,000527	0,000472
4	Stoate	16 e 36	-0,028138	-0,000012	0,000566	0,002712
6	Spurr	16, 24 e 36	0,004603	0,000031		
7	Spurr	16 e 24	0,003998	0,000032		
10	Spurr	16 e 24	0,003224	0,000033		
11	Stoate	16 e 24	-0,005147	0,000009	0,000324	0,000170
12	Spurr	16 e 24	0,001892	0,000036		

Os espaçamentos que obtiveram resultados com diferença significativa, para realizar a estimativa volumétrica das árvores desses espaçamentos são necessários utilizar as equações volumétricas para cada idade separadamente ou utilizar o modelo completo com todas as idades, utilizando as variáveis Dummy.

Diante dos resultados, observa-se os modelos de dupla entrada apresentaram melhores estatísticas que os modelos de simples entrada. Porém, na ausência de recursos ou habilidade para estimar a altura, modelos de simples entrada também são uma boa alternativa, já que uma má medição da altura pode acarretar em erros nos ajustes.

## 7. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- O desempenho silvicultural para os diferentes espaçamentos nas diferentes idades foi melhor representado pelos modelos de dupla entrada.
- O desempenho silvicultural variou entre os diferentes espaçamentos nas diferentes idades.
- Na idade de 36 meses o desempenho silvicultural por árvore individual na maioria dos espaçamentos foi descrito pelos modelos lineares de dupla entrada de Spurr e Stoate.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C., DE MORAIS, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. M.; MORAIS, E. J.; FERNADEZ, L. A. Produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.23, n.2, p.151- 156, 1999.

BALLONI, E. A., SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**, p.1-26, 1980.

BAR-HEN, A. Influence of missing data on compact designs for spacing experiments. **Journal of Applied Statistics**, v.29, n.8, p.1229-1240, 2002.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 2000. 256 p. Dissertação de mestrado (Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2000.

CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa**. 2003. 166 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras. 2003.

CHIES D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 123f. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, PR, 2005.

DUARTE, J. B. **Princípios sobre delineamentos em experimentação agrícola**. 1996. 66f. Monografia (Especialização em Estatística). Instituto de Matemática e Física, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 1996.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. **Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria**, v. 45, n. 2000, p. 235, 2000.

- GRAYBILL, F.A. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury Press. 704p. 1976.
- HAWLEY, R. C.; SMITH, D. M. **The Practice of Silviculture**. John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y. 1954.
- LEITE, F. P. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-321, jul./ set. 1997.
- LEITE, H.G.; NOGUEIRA, G.S.; MOREIRA, A.M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, 30(4): 603-613, 2006.
- LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REIS, N. G. F.; MORAIS, E. J. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, 22(1): 41-50, 1998.
- LEVENBERG, Kenneth. A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. **Quarterly of applied mathematics**, v. 2, n. 2, p. 164-168, 1944.
- MARQUARDT, Donald W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. **Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics**, v. 11, n. 2, p. 431-441, 1963.
- MARTINS, R. M.; LEITE, M. V. S.; CABACINHA, C. D.; ASSIS, A. Teste de identidade de modelos volumétricos para povoamentos de *Eucalyptus* sp. Em sete municípios de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, 2015.
- MICROSOFT OFFICE 2010. **Excel**. Microsoft Corporation. 2010.
- MORAES, M. A.; DE MORAES, S. M. B., DA SILVA, E. C. B., KUBOTA, T. Y. K., SILVA, A. M., DE RESENDE, M. D. V., MORAES, M. L. T. Variação genética em progênies de *Jacaranda cuspidifolia* Mart. utilizando o delineamento sistemático tipo “leque”. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 175-183, jun. 2013.
- NAPPO, M. E. Manual Didático: Sistemas e Práticas Silviculturais. 2012.
- NASCIMENTO, D. F. D.; LELES, P. S. D. S.; OLIVEIRA NETO, S. N. D.; MOREIRA, R. T. S.; ALONSO, J. M. Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 159-165, 2012.



NELDER, J. A. New kinds of systematic designs for spacing experiments. **Biometrics**, n.18, p.283-307, 1962.

ODA, M. **Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um ensaio de espaçamento florestal em delineamento sistemático tipo leque**. 2005. 72f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2005.

ODA-SOUZA, M.; BARBIN, D.; RIBEIRO JR, P. J.; STAPE, J. L.. Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um ensaio de espaçamento florestal em delineamento sistemático tipo leque. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, p. 499-509, 2008.

OLIVEIRA, T. K. de; MACEDO, R.L.G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E.M.; Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.60, p.1-9, 2009.

PACHECO, J. M.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; MACHADO, S. D. A.; LIMA, R. Efeito da densidade inicial no crescimento de *Pinus taeda* L. na região Centro Sul do Paraná. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 353-365, jun. 2015.

PEZZUTTI R. V. 2011. **Efeitos biológicos e econômicos de tratamentos silviculturais em plantios de *Pinus taeda* L. No nordeste argentino**. 2011. 179f. Tese (Doutorado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

PIMENTEL-GOMES, **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba-SP. ESALQ/USP. 1985.

RAO, C. R. **Linear statistical inference and its applications**. New York, John Wiley. 560p. 1973.

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

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de parâmetros no caso de dados de delineamentos experimentais. **Revista Ceres**, 46: 383-409. 1999.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, 50:9-26. 2003.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. dados no delineamento inteiramente casualizado. **Revista de Matemática e Estatística**, 22:33-45. 2004.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 3, p. 315320, 2010.

RODRIGUES, P. S. **Crescimento inicial de eucalipto em função do espaçamento utilizando delineamento sistemático tipo “Leque”**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2017.

SANQUETTA, C.R.; ARCE, J. E.; MELLO, A. A.; SILVA, E. Q.; BARTH, N.; MATOSKI, S. L. S.; Produção de madeira livre de nós em povoamentos de *Pinus taeda* em função da densidade de plantio. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 129-140, jul./dez. 2003.

SANTOS, M. D. dos. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 2011. 140f. Dissertação (Mestrado- Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal) Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, SP. 2011.

SCHNEIDER, P. R.; BRENA, D. A.; FINGER, C. A. **Manual para coleta de informações dendrométricas**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1988.

SCOLFORO, J. R. **Mensuração Florestal 3: Relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica**. Lavras, ESAL/FAEPE, 292 p. 1993.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: Parte I: modelos de regressão linear e não linear; Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca**. Lavras: UFLA/FAEPE, 352 p. 2005.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO, A.F. **Biometria Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 310p, 1998.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v.30, n.3, p.507-12, 1974.

SHELBOURNE, C. Genotype environment interaction: its study and its implications in forest tree improvement. In: IUFRO GENETIC SABRAO JOINT SYMPOSIA, Tokyo, 1972. **Proceedings**. Tokyo, p. B-1 (I) 1-27, 1972.

SILVA, J. F. **Variabilidade genética em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e sua interação com espaçamentos**. Viçosa: UFV, 1990. 110p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1990.

STAPE, J. L. **Utilização de delineamento sistemático tipo leque no estudo de espaçamentos florestais**. 1995. 104p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D. Insights from full-rotation Nelder spacing trials with *Eucalyptus* in São Paulo, Brazil. **South. For.**, v. 72, n. 2, p. 91-98, 2010.

STATISTICA 8.0. **Statistica**. StatSoft. (software). 2007.

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do sudoeste, Rio Grande do Sul**. 2003. 289f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER GUIMARÃES, C. A. Crescimento de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, 2004.

VENTURIN, N. CARLOS, L. SOUZA, P. A.; MACEDO, R.L. G.; VENTURIN, R. P.; HIGASHIKAWA, E. M. Desempenho silvicultural de *Acrocarpus Fraxinifolius* Wight em função de diferentes espaçamentos e idades. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 629-636, 2014.

VIDAURRE, G. B.; NUTTO, L.; FRANÇA, F. J. N.; BRAZ, R. L.; WATZLAWICK, L. F.; MOULIN, J. C. Tensão de Crescimento no Lenho de *Eucalyptus benthamii* e sua Relação com Características Dendrométricas em Diferentes Espaçamentos. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 408-415, 2015.