



## O USO DE MODELOS ALOMÉTRICOS TRADICIONAIS NA ESTIMATIVA DO PESO SECO AÉREO INDIVIDUAL PARA ACÁCIA NEGRA

Mateus Niroh Inoue Sanquetta<sup>1</sup>; Vinicius Morais Coutinho<sup>2</sup>; Alexandre Behling<sup>3</sup>; Ana Paula Dalla Corte<sup>4</sup>; Carlos Roberto Sanquetta<sup>4</sup>

1. Discente do curso de Engenharia Florestal da UFPR, Bolsista de iniciação científica do CNPq – Brasil ([mateus.sanquetta@hotmail.com](mailto:mateus.sanquetta@hotmail.com))
2. Eng. Florestal, Mestrando em Engenharia Florestal, UFPR
3. Eng. Florestal, Doutorando em Engenharia Florestal, UFPR
4. Eng. Florestal, Dr(a), Professor do Curso de Engenharia Florestal, UFPR

Centro BIOFIX de Pesquisa em Biomassa e Sequestro de Carbono  
Universidade Federal do Paraná - UFPR

Recebido em: 08/04/2016 – Aprovado em: 30/05/2016 – Publicado em: 20/06/2016  
DOI: 10.18677/Enciclopedia\_Biosfera\_2016\_073

### RESUMO

A acácia-negra é uma espécie florestal que representa grande importância no setor florestal brasileiro. O presente estudo objetivou realizar estimativas para o peso seco aéreo de 140 indivíduos aos 10 anos de idade. Outros 30 foram utilizados para a validação do(s) melhor(es) ajuste(s). A coleta dos dados foi realizada em três diferentes localidades no estado do Rio Grande do Sul, sendo Encruzilhada, Cristal e Piratini. Foram tomadas as variáveis de diâmetro a altura do peso, altura total e peso aéreo verde. Amostras foram coletadas para a estimativa do teor de umidade e consequente estimativa do peso seco aéreo. Em seguida, foram testados seis modelos alométricos para as estimativas. Foram gerados coeficientes e formadas as equações, por fim, procedeu-se a avaliação por meio de quatro critérios de ajuste mais a análise gráfica dos resíduos, sendo coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa em percentagem, Critério de Informação de Akaike e o Índice de Concordância de Willmott. O modelo de Schumacher-Hall se demonstrou mais eficiente nas estimativas, No entanto, o modelo de Husch, por ser de simples entrada, apresentou estimativas suficientemente acuradas. Os autores concluem que para a redução dos custos de atividades em campo, o modelo de Husch pode ser empregado.

**PALAVRAS-CHAVE:** ajuste de equações, acácia-negra, peso seco.

### THE USE OF TRADITIONAL ALLOMETRIC MODELS TO ESTIMATE INDIVIDUAL DRY WEIGHT ABOVE GROUND FOR BLACK WATTLE

#### ABSTRACT

The black-wattle is very important specie in Brazilian forest sector. This study aimed to carry out estimates for dry weight above ground of 140 individuals with 10 years old. Another 30 were used for validation of the best adjustments. Data collection was performed at three different locations in the state of Rio Grande do Sul, Encruzilhada, Cristal and Piratini. The variables of diameter at breast high, total height and aboveground green weight were taken. Samples were collected for estimating the moisture content and consequently estimate the dry weight above ground. Then, were tested six allometric models for the estimates. The equations and coefficients

were formed. Finally proceeded to the assessment through four set criteria and graphical analysis of the residuals, being adjusted coefficient of determination, standard error of the estimate as a percentage, Akaike Information Criterion and Concordance Index of Willmott. Schumacher-Hall model shown in more efficient estimates, however the Husch model, being of single-entry, showed sufficiently accurate estimates. The authors conclude that activities for reducing costs in the field, the model Husch may be used.

**KEYWORDS:** equations adjustment, black-wattle, dry weight above ground.

## INTRODUÇÃO

A acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) como chamada vulgarmente é uma espécie de grande importância econômica no contexto nacional. Segundo relatório divulgado pela Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2015), o gênero *Acacia* possui a quarta maior extensão em área no que diz respeito aos plantios florestais do Brasil, com aproximadamente 150 mil hectares. Destes, grande parte em pequenas propriedades concentradas quase que exclusivamente no estado do Rio Grande do Sul (ABRAF, 2015). Os principais setores industriais abastecidos pela acacicultura podem ser distintos de acordo com a matéria-prima por eles utilizada. A casca é empregada nos setores que utilizam o tanino, sendo estes basicamente os farmacêuticos e coureiros. No que tange à matéria-prima lenhosa, mais recentemente, esta garante às indústrias de celulose e papel e de carvão vegetal (CALDEIRA et al. 2004).

Diante do cenário exposto, sabe-se bem da contribuição socioeconômica da acacicultura devido ao desenvolvimento de produtos para diversas finalidades (AZEREDO, 2011). Muito embora, quase que inexistem informações sobre a sua contribuição no que concerne aos serviços ambientais decorrentes da absorção de gases de efeito estufa atrelados à biomassa.

Pesquisas envolvendo a biomassa florestal têm recebido considerável ênfase recentemente. Sua consagrada importância é caracterizada por diversas razões, entre estas podem ser destacadas a ciclagem de nutrientes no solo, avaliação do crescimento de florestas e para a produção de energia (SANQUETTA et al., 2014). Em pesquisa anteriormente desenvolvida, SANQUETTA et al. (2011) afirmaram que a biomassa florestal é alvo de pesquisas que, além das razões retrocitadas, visam despertar o interesse da comunidade e comprovar cientificamente a importância no que tange às mudanças climáticas, estas ligadas ao aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

No decorrer do processo de crescimento, a árvore aumenta as dimensões em diâmetro, altura e peso. Para isso, valendo-se da luz e dos pigmentos fotossintéticos presentes nos cloroplastos, em geral nas folhas, a árvore absorve dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera e água do solo. O desfecho deste processo resulta na emissão de oxigênio para a atmosfera e a incorporação do carbono em diferentes compartimentos, como raízes, galhos, folhas e, principalmente o fuste. Diante desta contextualização, as florestas são protagonistas no equilíbrio global de gás carbônico contido na atmosfera.

Segundo SANQUETTA (2002), a quantificação da biomassa florestal ou do peso pode ser feita para árvores individuais ou para uma determinada parcela, com área pré-estabelecida. O autor também define dois métodos distintos para esta quantificação. A começar pelo método direto, o qual implica na derrubada da árvore para o cômputo exato de seu peso e de outras variáveis. As determinações de biomassa em árvores utilizando o método direto são imprescindíveis para um

primeiro conhecimento das características da espécie de interesse. Porém, tão logo se obtenha um número significativo de determinações, pode-se lançar mão dos métodos indiretos, tais como os modelos matemáticos de regressão, linear ou não. Este segundo método é capaz de abranger grandes extensões florestais e reduzir significativamente a magnitude dos recursos financeiros necessários para esse tipo de trabalho. Em contrapartida, pode oferecer estimativas com erros mais do que aceitáveis.

SANQUETTA et al. (2014), definem a estimativa de biomassa dispondo do método indireto, como sendo uma correlação entre uma ou mais variáveis de fácil obtenção (variável independente) e que preferencialmente não requeiram a destruição do material vegetal com a variável de interesse (variável dependente). As estimativas podem ser feitas por meio de relações quantitativas ou matemáticas, como razões ou regressões de dados provenientes de inventários florestais por meio da derivação do volume comercial, em que são utilizados fatores que podem ser de expansão ou de conversão, e por dados de sensoriamento remoto.

Diante da indiscutível importância socioeconômica e ambiental exercida pela acacicultura e da importância da avaliação da biomassa em um povoamento florestal, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de equações alométricas para estimar o peso seco da porção acima do solo para a espécie *Acacia mearnsii*, fornecendo subsídios para um melhor conhecimento do potencial da espécie em fixar carbono em sua biomassa. Para tanto, a seguinte hipótese elaborada e testada nesta pesquisa “O peso ou biomassa total acima do solo de indivíduos de acácia-negra apresenta uma relação com o diâmetro à altura do peito (1,30 m do solo) e com a altura total, sendo possível o desenvolvimento de equações alométricas satisfatórias para as árvores alvo desta pesquisa”.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Seleção e caracterização da espécie

O gênero *Acacia* está incluído na família Leguminosae, subfamília *Mimosoidae*. Esta família é uma das maiores entre as dicotiledôneas, compreendendo mais de 13.000 espécies. O gênero *Acacia* possui cerca de 1.200 espécies arbóreas e arbustivas. Dentre estas, mais de 800 espécies endêmicas originárias da Austrália (YAZAKI, 1997). A espécie alvo desta pesquisa foi a acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.), originária da Austrália sul-oriental. Eficiente fixadora de nitrogênio e indicada para recuperação de áreas degradadas (FARIAS et al., 2015). Segundo AUER & SILVA (1992), esta espécie pode fixar cerca de 200 kg.ha<sup>-1</sup> por ano de nitrogênio em regiões tropicais.

Introduzida no Brasil, mais precisamente no estado do Rio Grande do Sul, localidade na qual se estendem quase que exclusivamente as plantações. Iniciou-se na década de 1940 a sua utilização comercial, empregando-se uma rotação que varia entre o sétimo e décimo ano, podendo apresentar variações.

### Caracterização da área de estudo

A condução desta pesquisa no campo foi realizada durante o ano de 2014 em povoamentos comerciais de acácia-negra. A amostragem foi realizada em três localidades distintas, nos municípios de Cristal, Encruzilhada do Sul e Piratini. A classificação climática de Köppen caracteriza estas áreas como regiões com clima subtropical úmido (Cfa). Características de possuir verões quentes e abafados, invernos moderados e com considerável precipitação.

Para o plantio, foi empregada a técnica de plantio em linha com subsolagem a 40 cm de profundidade, além de duas gradagens. O espaçamento utilizado no plantio foi de 3 m x 1,8 m. Durante este procedimento, foram adicionados individualmente 50 gramas de NPK (5-30-15). Visando a menor incidência de matocompetição, roçadas foram realizadas nos dois primeiros anos após a plantação.

A fim de estudar os indivíduos no desfecho da rotação, foram amostrados indivíduos arbóreos com dez anos de idade. Ademais, foram instaladas parcelas temporárias circulares com cinco metros de raio, ou seja, com 78,54 m<sup>2</sup> de área. Nestas, todas as árvores do interior foram abatidas e tiveram as variáveis de diâmetro à altura do peito e altura total tomadas utilizando-se fita dendrométrica e trena, respectivamente. A determinação do peso fresco aéreo foi realizada com o auxílio de uma balança digital de precisão de 5 g.

Objetivando análises posteriores em laboratório, foram retiradas amostras pesadas imediatamente com uma balança digital de precisão de 1 g para a determinação do teor de umidade. A amostragem se deu em proporções de 0%, 25%, 50%, 75% e 95% em relação à altura total para o fuste e ao comprimento de copa para galhos e folhas.

### **Análise em laboratório**

Adiante, as amostras retiradas em campo foram encaminhadas para um laboratório, onde sucessivamente foram submetidas à secagem em estufa de circulação e renovação de ar a 100°C até atingimento de peso constante. Pesagens periódicas foram realizadas para a constatação do atingimento. A ponderação foi utilizada para melhoria das estimativas do peso seco. O peso seco total foi obtido através da seguinte equação:

$$ps_i = \frac{pf_i \cdot psa_i}{pfa_i} \quad (1)$$

Em que:

ps<sub>i</sub> = peso seco aéreo (kg);

pf<sub>i</sub> = peso fresco aéreo (kg);

psa<sub>i</sub> = peso seco da amostra (kg);

pfa<sub>i</sub> = peso fresco da amostra (kg).

### **Tratamento dos dados**

Os dados obtidos nas atividades anteriormente descritivas foram inseridos em planilhas eletrônicas para facilitar o tratamento. Análise estatística básica foi empregada para descrever essencialmente às médias e medidas de dispersão (desvio-padrão).

Objetivando-se a melhor compreensão entre as variáveis dendrométricas dos indivíduos alvo desta pesquisa e com o peso seco aéreo, realizou-se a construção de uma matriz de correlação linear simples para as 140 árvores amostradas. O produto para cada combinação de variáveis é denominado como coeficiente de correlação de Pearson.

Seguidamente, contou-se com seis modelos alométricos tradicionais de simples (d) e dupla entrada (d, h) para a predição do peso seco aéreo individual. Entre estes, três aritméticos e outros três logarítmicos. Para a correção da

discrepância logarítmica para os modelos linearizados, foi efetuado o recálculo das estatísticas de ajuste aplicando o Fator de Correção de Meyer (FCM) (Quadro 1).

$$FCM = e^{0.5 \cdot S_{yx}^2} \quad (2)$$

Em que:

e = base dos logaritmos naturais = 2,718281828;

$S_{yx}$  = erro padrão da estimativa (vide equação 6).

**QUADRO 1** – Modelos matemáticos tradicionais testados para predição do peso seco aéreo individual para acácia-negra.

Autor	Modelo	Entrada	Natureza
(1) Kopezki-Gehardt	$ps = b_0 + b_1 d^2$	(d)	aritm.
(2) Spurr (var. combinada)	$ps = b_0 + b_1 d^2 h$	(d, h)	aritm.
(3) Hohenadl-Krenm	$ps = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$	(d)	aritm.
(4) Husch	$\ln(ps) = b_0 + b_1 \ln(d)$	(d)	log.
(5) Brenac	$\ln(ps) = b_0 + b_1 \ln(d) + b_2 (1/d)$	(d, h)	log.
(6) Schumacher-Hall	$\ln(ps) = b_0 + b_1 \ln(d) + b_2 \ln(h)$	(d, h)	log.

Nota: ps = peso seco aéreo (kg), variável dependente (y) da regressão linear; d = diâmetro à altura do peito (cm), h = altura total (m), variáveis independentes da regressão linear (x1 e x2); aritm. = aritmético; log. = logarítmico neperiano.

Os modelos ajustados foram avaliados seguindo critérios de avaliação de ajustes. CALDEIRA et al. (2011) estudando a biomassa de um povoamento desta espécie, utilizaram o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da estimativa em percentagem. Além destes, foram empregados mais dois, sendo, portanto, o Critério de Informação de Akaike e o Índice de Concordância de Willmott. Adicionalmente a análise gráfica de distribuição de resíduo também foi empregada. Os critérios empregados foram os seguintes:

Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ):

$$R^2_{aj.} = 1 - \frac{(n-1)}{(n-k)} (1 - R^2) \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2} \quad (4)$$

Em que:

$R^2$  = coeficiente de determinação do modelo;

n = número de observações;

k = número de parâmetros do modelo;

y = peso seco observado (kg);

$\hat{y}$  = peso seco estimado (kg).

Erro padrão da estimativa em percentagem ( $S_{yx}\%$ ):

$$S_{xy\%} = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} * 100 \quad (5)$$

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-k}} \quad (6)$$

Em que:

$S_{yx}$  = erro padrão em valor absoluto;

$\bar{Y}$  = média dos pesos secos observados (kg);

$e$  = erro associado;

$n$  = número de observações;

$k$  = número de coeficientes do modelo.

Critério de Informação de Akaike (AIC):

$$AIC = -2 \left( \frac{-n}{2} \ln \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 \right) \right) + 2k \quad (7)$$

Em que:

$\ln$  = logaritmo neperiano;

$n$  = número de observações;

$e$  = erro associado;

$k$  = número de coeficientes do modelo.

Índice de Concordância de Willmott (d):

$$dW = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{y}_i - \bar{y}| + |y_i - \bar{y}|)^2} \quad (8)$$

Em que:

$y$  = peso seco aéreo observado (kg);

$\hat{Y}$  = peso seco aéreo estimado (kg);

$\bar{Y}$  = média dos pesos secos observados (kg).

Dentre os critérios de avaliação empregados, o Critério de informação de Akaike (AIC) é considerado também como um procedimento matemático para a detecção da qualidade de equações ajustadas adicional ao coeficiente de determinação ajustado e ao erro padrão da estimativa, sendo estes dois os mais utilizados em pesquisas correlatas. A fórmula proporciona a ponderação do número de componentes usados, facilitando a comparação com as demais equações testadas com diferentes componentes. Este critério verifica se há compromisso satisfatório entre o ajuste e o princípio de parcimônia. Adicionalmente, o Índice de Concordância de Willmott também foi aplicado. O índice identificado com a sigla dW gera um resultante correspondente ao grau de associação entre as medidas reais e estimadas. Esta resultante varia de 0 a 1, sendo, portanto, o valor 1 ideal e 0 a referência de uma relação nula entre os valores reais e estimados.

Com o mesmo objetivo, a distribuição gráfica dos resíduos também é empregada, porém a análise é realizada de forma visual. Esta análise torna-se

indispensável por possuir a capacidade primordial de diagnosticar possíveis tendências dos valores estimados em relação à linha de regressão. Não são indicados modelos tendenciosos, pois estes podem promover grandes discrepâncias, se utilizados dados inseridos nos intervalos tendenciosos do gráfico.

Por fim, a validação dos modelos selecionados foi realizada e avaliada pelos testes de Qui-quadrado e de médias t-pareado, ao nível de 95% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Correlação e estatística descritiva das variáveis

As estatísticas descritivas obtidas para as variáveis dendrométricas mensuradas de diâmetro à altura do peito e altura total estão apresentadas na Tabela 1, bem como para o peso seco aéreo. A média para o diâmetro à altura do peito encontrada foi de 12,86 cm, com desvio padrão de mais ou menos 3,77 cm. Para as alturas, a média observada foi de 16,44 m, com desvio padrão de mais ou menos 2,85 m. A de variável peso seco foi a que apresentou maiores desvios, estes nos valores de mais ou menos 58,63 kg, com média de 87,26 kg.

**TABELA 1** – Estatística descritiva para as variáveis: diâmetro à altura do peito, altura total e peso seco aéreo para indivíduos de *Acacia mearnsii* De Wild. com 10 anos em três localidades no Rio Grande do Sul.

Variável	Média	E. pad.	D. pad.	CV (%)	Variância	Mín.	Máx.	Núm.
<i>d</i> (cm)	12,86	0,32	3,77	29,30	14,20	3,82	23,55	140
<i>h</i> (m)	16,44	0,24	2,85	17,36	8,14	7,70	21,90	140
<i>ps</i> (kg)	87,26	4,95	58,63	67,18	3437,10	3,89	361,07	140

Nota: E. pad. = erro padrão; D. pad. = desvio padrão; CV (%) = coeficiente de variação (%); Mín. = menor valor do conjunto de dados; Máx. = maior valor do conjunto de dados; Núm. = número de dados da amostra.

A partir da inserção dos dados em planilhas eletrônicas e o primeiro tratamento, este apresentado no quadro 1, foi desenvolvida a matriz de correlação linear simples entre as variáveis estudadas, conforme proposto. Através desta matriz, os coeficientes de correlação de Pearson foram estabelecidos, sendo possível observar que as variáveis de diâmetro à altura do peito e altura total possuem uma relação próxima, com valor de  $r=0,8588$ , indicando similaridade dessas variáveis na explicação do peso. Estabeleceu-se também a relação entre as variáveis utilizadas nos modelos alométricos testados, percebeu-se que o diâmetro à altura do peito é mais fortemente relacionado ( $r=0,9441$ ) com o peso quando comparado com a altura total ( $r=0,7710$ ). Inicialmente, pode-se afirmar que o diâmetro apresentou mais elevado poder explicado. VALERIO et al. (2007) estudando a espécie *Hovenia dulcis* (uva-do-Japão), encontraram valores de correlação semelhantes aos presentes neste trabalho, o diâmetro à altura do peito e a biomassa total apresentaram um coeficiente de 0,94. Já a correlação entre as variáveis tratadas como independentes (*d*, *h*) apresentaram coeficientes nas dimensões de 0,77. Pode-se afirmar que os autores constataram valores idênticos com a espécie estudada. Já SCHIKOWSKI et al. (2013), estudando duas espécies do gênero *Pinus*, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, encontraram valores de correlação para diâmetro à altura do peito e biomassa aérea total ligeiramente inferior aos observados neste trabalho ( $r=0,92$ ). Enquanto que, a altura total e o diâmetro à altura do peito se correlacionaram numa magnitude de 0,97, valor superior ao encontrado neste trabalho. Ressalta-se o diferente comportamento observado pelos

autores para a variável altura total, que para as duas espécies estudadas chegaram a um coeficiente de 0,91.

O diâmetro à altura do peito apresentou o valor mais elevado para o coeficiente de correlação, levando em conta as duas variáveis independentes utilizadas. Fato que corrobora para com a eficiência na estimativa do peso seco aéreo, e, em outras pesquisas para a estimativa de outras variáveis de difícil obtenção como volume. Além da afirmação acima, o fato de ser mais facilmente mensurada do que a altura total, a utilização exclusiva em modelos deve ser discutida, o que pode gerar a diminuição do tempo de atividades no campo, que além de cansativas são onerosas. HIGUCHI et al. (1998) afirmam que os modelos de equações alométricas de simples entrada, podem apresentar resultados tão consistentes quanto modelos de dupla entrada.

### **Geração das equações e critérios de avaliação**

Os seis modelos propostos para a estimativa do peso seco aéreo individual para acácia-negra foram testados por regressão linear. A partir desta operação, foram gerados coeficientes para a composição das equações. Nota-se que, de modo geral, todos os modelos testados apresentaram boas estatísticas de precisão, quando levados em conta os critérios de avaliação. Os modelos de dupla entrada demonstraram ser pouco superiores em comparação aos de simples entrada, no entanto, a superioridade é pequena, reforçando a afirmação de que a inclusão da variável altura total é apenas uma alternativa e deve ser usada quando há a necessidade de maior precisão nas estimativas, independente do aumento de custos de operação.

Considerando o modelo que apresentou as melhores estatísticas, o modelo de Schumacher-Hall (6) foi selecionado. As estatísticas foram as seguintes para os dois avaliadores mais usuais de qualidade, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da estimativa em percentagem, 0,9538 e 12,81%, respectivamente. Para os critérios alternativos, ou seja, o Critério de Informação de Akaike e o Índice de Concordância de Willmott, as estatísticas foram as seguintes, 712,3541 e 0,9964, respectivamente. Os autores valem-se da menção do modelo de Husch (4), por ser de simples entrada e apresentar valores semelhantes aos do modelo de dupla entrada de Schumacher-Hall.

Reforçando a pequena diferença entre os modelos testados, o modelo de Kopezki-Gehhardt (1) foi o que apresentou os piores valores para os critérios de avaliação, indicando, portanto, menor qualidade no ajuste. As estatísticas para o modelo são descritas a seguir: 0,9444 para o coeficiente de determinação ajustado, 15,84% para o erro padrão da estimativa e 737,3495 e 0,9856 para o Critério de Informação de Akaike e Índice de Concordância de Willmott, respectivamente (Tabela 2).

FRANCO et al. (1998) desenvolveram uma pesquisa para a estimativa do peso seco individual para árvores da espécie *Eucalyptus camaldulensis* com idades entre 28 e 76 meses. As medidas de precisão utilizadas na ocasião foram o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) e o erro padrão da estimativa em percentagem ( $S_{yx}\%$ ). Os autores realizaram a seleção de duas equações como nesta pesquisa, sendo um de simples e outra de dupla entrada, na ocasião, ambas logarítmicas. Para a equação de simples entrada, as medidas de precisão observadas foram de 0,972 e 14,20%, respectivamente. A comparação com a equação de simples entrada selecionada nesta pesquisa é válida, por possuírem mesma natureza. Os valores para as medidas de precisão se assemelham. Nota-se

que na presente pesquisa, o modelo de Husch (4) apresentou um valor ligeiramente melhor para o erro padrão da estimativa (14,06%). Contudo, um valor inferior para o coeficiente de determinação ajustado (0,9453). Para as equações de dupla entrada, o modelo de Schumacher-Hall (6) selecionado nesta pesquisa, demonstrou ser ligeiramente inferior quando submetido à comparação com o modelo selecionado pelos autores retrocitados. Contudo, pode-se afirmar que as equações ajustadas para árvores da espécie *Acacia mearnsii* apresentaram resultados satisfatórios.

**TABELA 2** – Coeficientes e estatísticas de ajuste dos diferentes modelos para a estimação do peso seco aéreo de indivíduos de *Acacia mearnsii* De Wild. com 10 anos em três localidades no Rio Grande do Sul.

Eq.	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}(\%)$	AIC	dW
(1)	-15,1693	0,570569	-	0,9444	15,84	737,3495	0,9856
(2)	0,322577	0,027399	-	0,9534	14,50	712,5429	0,9880
(3)	11,60314	-4,30981	0,730208	0,9468	15,49	732,0744	0,9864
(4)	-1,97166	2,464044	-	0,9453	14,06	735,0996	0,9865
(5)	-1,44533	2,308466	-1,57953	0,9467	13,78	732,4574	0,9866
(6)	-3,0153	2,059021	0,740096	0,9538	12,81	712,3541	0,9964

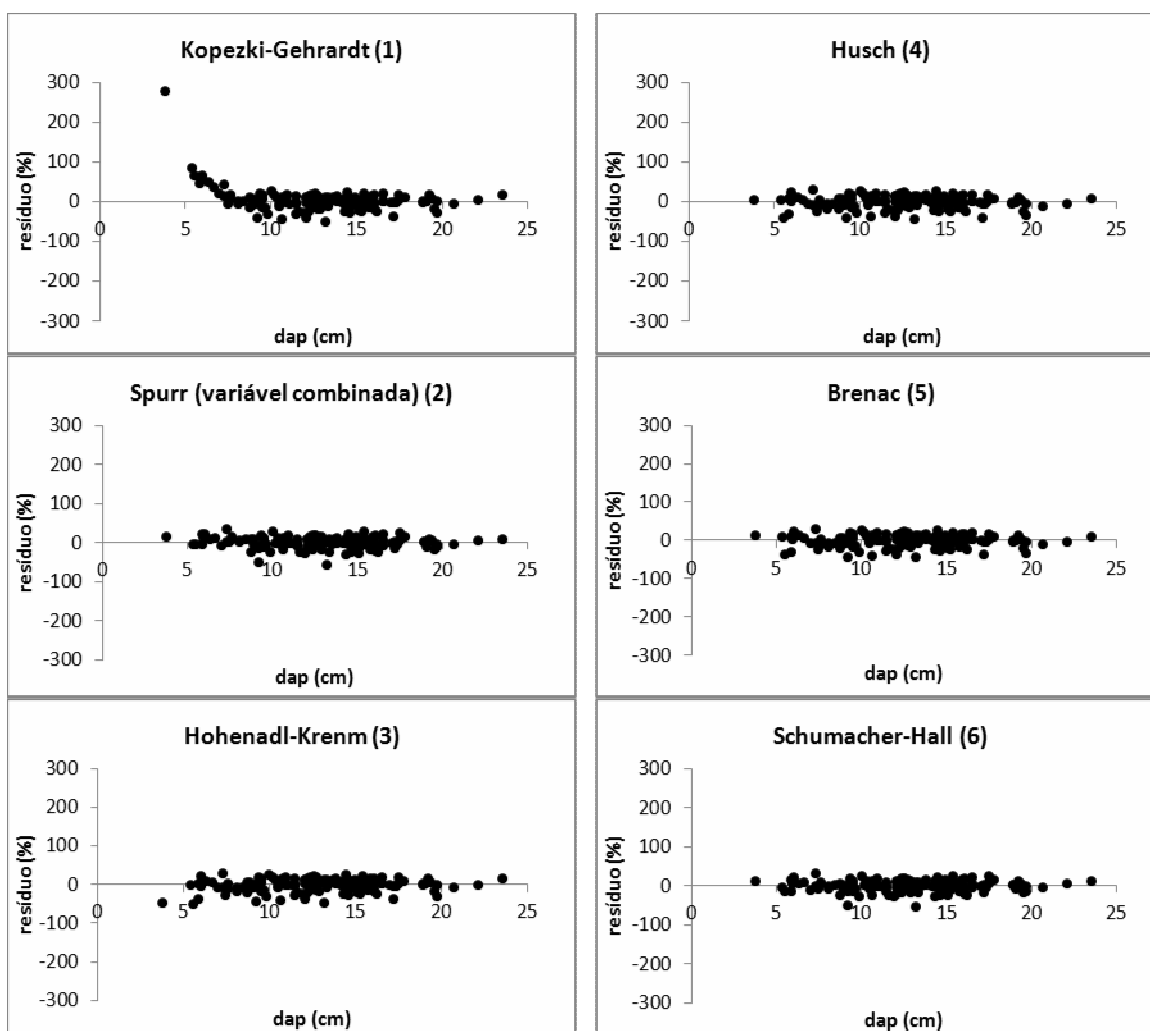
Diferentemente desta pesquisa, BEHLING et al. (2012), aplicaram equações simultâneas para a estimativa da biomassa para plantios comerciais de acácia-negra. A pesquisa dos autores citados foi realizada na mesma região. No entanto, a presente pesquisa não realizou a quantificação compartimentada, considerando somente o peso total como variável dependente. Para os sete anos de idade, os autores obtiveram um coeficiente de determinação simultâneo de 0,96 para a biomassa total. O uso de equações simultâneas, segundo autores como PAULO et al. (2002), resulta em melhores estimativas, uma vez que, a qualidade global da predição é garantida. Este procedimento utiliza o método dos mínimos quadrados generalizados. Nele, cada compartimento considerado tem a biomassa ajustada, o resultante da soma das diferentes funções é a biomassa total.

A distribuição dos resíduos em percentagem para as diferentes equações ajustadas foi inserida em gráficos (Figura 1). Nota-se que de modo geral a dispersão dos resíduos indicou comportamentos parecidos. Somente o modelo de Kopezki-Gehardt (1), que, além de ser classificado como o pior modelo pelos critérios de seleção citados anteriormente, também apresentou um valor discrepante, conhecido como “*outlier*”. Provavelmente devido a sua natureza exponencial, o modelo gerou um valor inferior para um indivíduo com pequenas dimensões de diâmetro, incompatível com o restante do conjunto de dados. O fato explicitado confere razão à geração da subestimativa elevada. O valor estimado para este indivíduo foi negativo e a subestimativa em torno de 276,02%. A equação gerada pelo modelo apresentou também uma tendência de subestimativa para os indivíduos com diâmetros entre 5 e 10 cm. Por este motivo, o modelo de Kopezki-Gehardt foi considerado inapropriado para a estimativa de peso seco aéreo para a espécie estudada nas localidades de Cristal, Encruzilhada do Sul e Piratini, no estado do Rio Grande do Sul. Ademais, os outros cinco modelos apresentaram comportamentos similares.

Finalmente foram selecionadas as duas melhores equações geradas, uma de simples e outra de dupla entrada, para a validação. Na ocasião, as equações correspondem aos modelos de Husch (4) para simples entrada e de Schumacher-

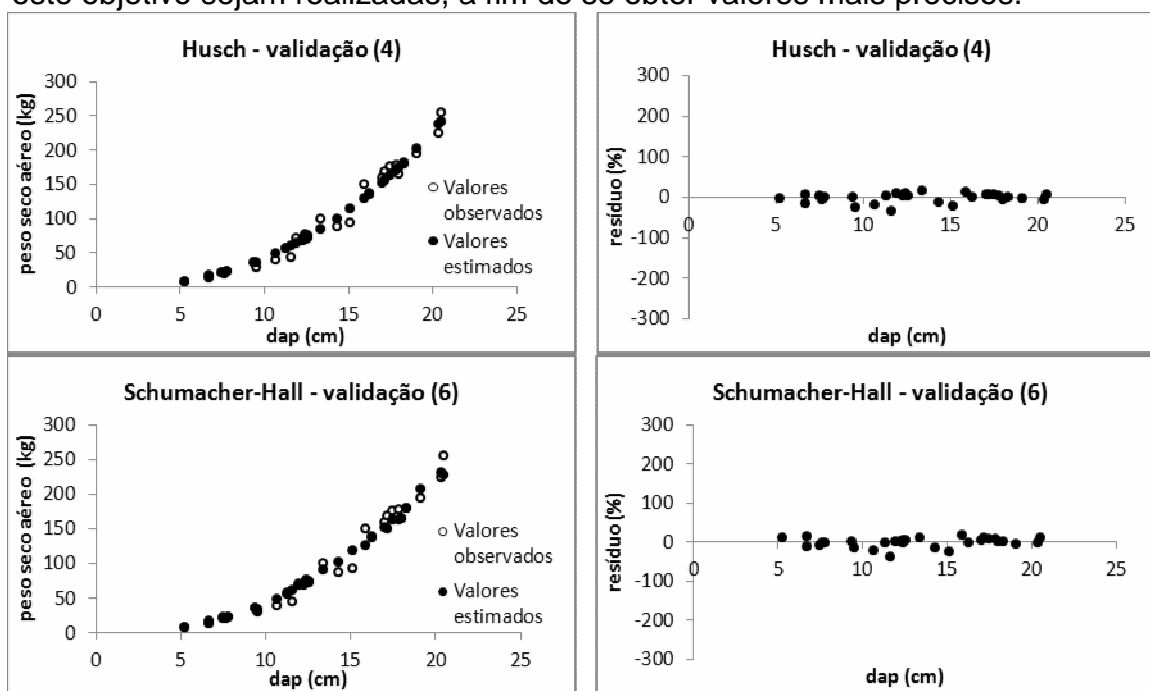
Hall (6) para dupla entrada. A razão para a validação dos dois modelos é baseada na afirmação de HIGUCHI et al. (1998), na qual os autores afirmam que é desnecessária a inclusão de uma segunda variável independente, no caso a altura total. Os autores baseiam sua afirmação defendendo a ideia de que somente o diâmetro é capaz de descrever o peso seco de uma árvore, apresentando resultados tão consistentes quanto um modelo de dupla entrada. Conforme os autores desta pesquisa destacaram anteriormente, a adição de uma variável como a altura, pode ser uma alternativa onerosa, mas passível necessária quando da necessidade de maior precisão nas estimativas.

Para tanto, as duas validações foram realizadas segundo os testes de Qui-quadrado e médias t-pareado, e estes demonstraram que não existe diferença significativa entre os valores observados e estimados pelas duas equações ( $\alpha=0,05$ ). Denota-se, portanto, que as duas equações são válidas pela proximidade gráfica dos pontos observados e reais plotados, do confinamento dos dados estimados na linha de regressão, além da não significância da diferença entre os valores observados e os estimados (Figura 2).



**FIGURA 1** – Distribuição dos resíduos das seis equações ajustadas para a estimação do peso seco aéreo de indivíduos de *Acacia mearnsii* De Wild. com 10 anos em três localidades no Rio Grande do Sul.

Por fim, para reforçar a contribuição das plantações florestais no âmbito das mudanças climáticas, os autores utilizaram o valor médio de teor de carbono descritos na literatura para a espécie alvo desta pesquisa. SANQUETTA et al. (2014) encontraram o valor médio de 45,68% para indivíduos com sete anos de idade, a qual é a que mais se aproxima aos indivíduos estudados. Valendo-se do valor médio de peso seco aéreo observado, cada indivíduo incorporou aproximadamente 39,86 kg de carbono durante os dez anos de idade. Considerando o espaçamento utilizado e supondo que nenhum desbaste foi realizado neste período de tempo, um hectare (10.000 m<sup>2</sup>) contribui com a redução de 73,8 Mg.ha<sup>-1</sup> de carbono na atmosfera após dez anos do plantio. Os autores ressaltam que pesquisas específicas, utilizando métodos apropriados descritos na literatura e com este objetivo sejam realizadas, a fim de se obter valores mais precisos.



**FIGURA 2** – Equações ajustadas para os modelos de Schumacher-Hall (1) e Husch (4) versus dados reais de 30 árvores com medidas tomadas diretamente para a validação das mesmas e distribuição de resíduos para a estimação do peso seco aéreo de indivíduos de *Acacia mearnsii* De Wild. com 10 anos em três localidades no Rio Grande do Sul.

## CONCLUSÕES

Os seis modelos testados para a estimativa do peso seco aéreo para indivíduos de acácia-negra, a princípio, mostraram indicadores gerais satisfatórios. No entanto, a análise gráfica evidenciou que um deles (Kopezki-Gehhardt) apresenta vieses nas estimativas, sendo este, portanto, considerado inapropriado.

A equação gerada pelo modelo de Schumacher-Hall (6) apresentou os melhores indicadores gerais e foi selecionada como a mais precisa. No entanto, os autores ressaltam que o modelo de simples entrada de Husch (4) é válido para as estimativas individuais para a espécie alvo desta pesquisa. Uma vez que apresentaram valores semelhantes quando avaliados e por ser de mais fácil aplicação.

A hipótese testada nesta pesquisa é válida, os modelos alométricos tradicionais testados apresentaram valores suficientemente satisfatórios para a estimativa do peso seco aéreo, com exceção do modelo de Kopezki-Gehrardt (1).

## REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2015. Brasília, 2015. 80 p.

AZEREDO, C.H.D. **Análise comparativa de projetos de investimento para processamento de uma floresta de acácia-negra**. 66 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Administração), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2011.

AUER, C.G.; SILVA, R. Fixação de nitrogênio em espécies arbóreas. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSI, M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Universidade Estadual de São Paulo, p. 160-167. 1992.

BEHLING, A.; SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D.; SIMON, A.A.; NUNES, G.S. Equações simultâneas para estimativa da biomassa em plantios comerciais de acácia-negra. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 853-860, 2012.

CALDEIRA, M.V.W.; SAIDELLES F.L.F.; SCHUMACHER, M.V.; GODINHO, T.O. Biomassa de povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild., Rio Grande do Sul, Brasil. **Sci. For.**, v. 39, n. 90, p. 133-141, 2011.

CALDEIRA, M. V. W.; NETO, R.M.R.; SCHUMACHER, M.V. Eficiência do uso de micronutrientes e sódio em três procedências de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Rev. Árvore**, v.28, n.1, p.39-47, 2004. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000100006> >. doi: 10.1590/ S0100-67622004000100006.

FARIAS, E.S.; VENTIRUN, N.; SILVA, D.S.; RODAS, C.L.; BIBIANO, C.S.; JEANNOF, K.K.; CAMPOS, J.P.L. Crescimento de mudas de acácia negra sob omissão de micronutrientes. In: XI Congresso nacional de meio ambiente de Poço de Caldas, 2015, Minas Gerais. **Anais...** Minas Gerais, 6p, 2015.

FRANCO, E.J.; SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M.; LIMA, J.T. Eficiência na estimativa do peso seco para árvores individuais e definição do ponto ótimo de amostragem para determinação da densidade básica de *Eucalyptus camaldulensis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 77-92, 1998.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, p. 153-165, 1998.

IBA - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. São Paulo, 2015. 64 p.

PAULO, J. A.; TOMÉ, J.; TOMÉ, M. Ajustamento simultâneo de equações de biomassa de azinheira. In: Actas do X Congresso da Sociedade Portuguesa de Estatística. **Anais...**Porto, p.501, 2002.

SANQUETTA, C. R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, p. 119-140, 2002.

SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D.; MAAS, G.C.B. The role of forests in climate change. **Quebracho**, Santiago del Estero, v. 19, p.84-96, 2011.

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; MOGNON, F.; MAAS, G. C. B.; RODRIGUES, A. L. Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 1-8, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632014000100006>>. doi: 10.1590/S1983-40632014000100006.

SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; CORTE, A. P.D.; SIMON, A.; PSCHIEDT H.; RUZA, M. S.; MOCHIUTTI, S. Estoques de biomassa e carbono em povoamentos de acácia-negra em diferentes idades no Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.12, n.103, p.370, 2014.

SCHIKOWSKI, A.B.; CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R. Modelagem do crescimento e de biomassa individual de Pinus. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.33, n.75, p.269-278, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4336/2013.pfb.33.75.503>>. doi: 10.4336/2013.pfb.33.75.503.

VALERIO, A.F.; WATZLAWICK, L.F.; DOS SANTOS, R.T.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H.S. Ajuste de modelos matemáticos para estimativa de biomassa nos distintos componentes de uva do Japão (*Hovenia dulcis* Thunb.). **Revista Ambiência**. Guarapuava, v.3 n.3, p.325-336, 2007.

YAZAKI, Y. Acacia story: a potential tanninproducing species. **Australian Forestry**, Queen Victoria, v.60, n.1, p.2428, 1997. Disponível em: >  
<[HTTP://dx.doi.org/10.1080/00049158.1997.10674695](http://dx.doi.org/10.1080/00049158.1997.10674695) <. doi:  
10.1080/00049158.1997.10674695.