

CURVAS DE ALTURA-DIÂMETRO DE ACÁCIA NEGRA (*Acacia mearnsii* de Wild)

DIAMETER-HEIGHT TRENDS OF ACACIA NEGRA (*Acacia mearnsii* de Wild)

César Augusto Guimarães Finger¹ Peter Spathelf²
Paulo Renato Schneider³ Lísias Coelho²

RESUMO

No presente estudo, a relação altura-diâmetro de *Acacia mearnsii* foi analisada em três diferentes regiões do Rio Grande do Sul, Brasil, em povoamentos com idades de oito, nove e dez anos, plantados com espaçamentos de 3 x 1,33m. Entre os modelos de regressão utilizados, foi selecionado o modelo de PRODAN, que apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,98 e um erro padrão da média (S_{xy} %) menor que 9%. Foi aplicada a análise de covariância para testar o paralelismo das curvas de altura-diâmetro dos diferentes povoamentos, nas respectivas regiões. As relações das curvas de altura-diâmetro mostraram mesma inclinação nos diferentes povoamentos para toda a região, permitindo o uso de uma curva única para reestimar o coeficiente de intercepto para cada novo ponto de observação na respectiva região.

Palavras-chave: relação altura-diâmetro, *Acacia mearnsii*.

SUMMARY

In the present study the height-diameter relationship of *Acacia mearnsii* was analyzed for three different regions of Rio Grande do Sul, Brazil, using reforestations with age of eight, nine and ten years, planted with a spacing of 3 x 1.33m. Among the regression models applied was selected PRODAN's model with a determination coefficient (R^2) of 0.98 and a mean standard error (S_{xy} %) of less than 9%. Analysis of covariance was applied to test parallelism of height-diameter curves of the different stands in the respective regions. The height-diameter

relationships showed equal inclination for the different stands of every region which allowed the use of a unique curve to reestimate the coefficient of intercept for each new observational plot in the respective region.

Key words: height-diameter relationship, *Acacia mearnsii*.

INTRODUÇÃO

A *Acacia mearnsii*, vulgarmente conhecida por acácia negra, é natural da Austrália e foi introduzida no estado de Rio Grande do Sul, no ano de 1918, por Alexandre Bleckmann (SCHNEIDER *et al.* 1991). Desde então, tem sido largamente cultivada por indústrias ligadas à extração de tanino, obtido da casca, pela indústria de celulose, carvão, entre outras, principalmente por pequenos proprietários rurais. Atualmente, sabe-se que mais de 35.000 famílias na Depressão Central, Serra do Sudeste, Encosta Superior e Inferior do Nordeste do Estado têm sua subsistência alicerçada na cultura da acácia. Trata-se de regiões com pequenas propriedades rurais, cuja economia está associada à cultura agrícola de subsistência e mesmo na associação da acácia, agricultura e atividade pastoril.

¹Engenheiro Florestal, Dr., Prof. Adjunto do Departamento de Ciências Florestais (DCFI), Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97105-900 Santa Maria, RS. E-mail: finger@ccr.ufsm.br. Autor para correspondência.

²Engenheiro Florestal, Dr., Prof. Visitante, DCFI, CCR, UFSM.

³Engenheiro Florestal, Dr., Prof. Titular, DCFI, CCR, UFSM.

A espécie é cultivada em rotações curtas, 7 anos, com espaçamentos de 3 x 1,3m, atingindo em média altura de 15,8m, diâmetro de 12,4cm com uma área basal de 19,2m²/ha.

Devido à expressiva área plantada e de sua importância econômica, estudou-se a relação hipsométrica para diferentes locais, assim como as inclinações e níveis dessas, visando verificar a possibilidade de agrupá-las segundo regiões de crescimento homogêneas. Com o desenvolvimento de uma curva de altura uniforme, pode-se reduzir o número de medições de altura em levantamentos dendrométricos, reduzindo-se, substancialmente, o tempo e o custo do inventário florestal.

A relação entre a altura e o diâmetro das árvores é denominada de relação hipsométrica e simbolizada por h/d. A associação existente entre essas duas variáveis permite determinar funções matemáticas para descrever a altura como variável resposta a partir do diâmetro da árvore, sem perda significativa de precisão, trazendo grande vantagem pela diminuição do tempo gasto no levantamento de dados, com conseqüente redução de custos (FINGER, 1992).

Basicamente, as curvas da relação hipsométrica podem fornecer alturas de árvores que tiveram somente o diâmetro medido, serem usadas na determinação de alturas dominantes, para o cálculo de volumes de árvores ou de povoamentos, bem como do cálculo da produtividade do sítio (VANCLAY, 1994).

A forma da curva h/d depende da distribuição do diâmetro, da mortalidade, do incremento do diâmetro e da altura das árvores num povoamento. Como causas para as diferenças nas curvas de altura-diâmetro podem ser mencionadas o sítio e a competição. O sítio pode afetar o nível das curvas hipsométricas, sendo as curvas de melhor sítio situadas em nível superior às do pior sítio.

A relação altura/diâmetro também pode ser utilizada como variável para medir a produtividade do sítio. Para tal, são relacionadas para um diâmetro de referência as alturas observadas. Essa relação, geralmente, mostra forte correlação com outros índices de produtividade como o IMA em volume. Sobretudo a variação na competição (auto-diferenciação e manejo) exercida sobre as árvores pode levar a distintos diâmetros para alturas iguais e, portanto, impedir a aplicação de uma curva única de altura/diâmetro.

Considerando a árvore singular, a relação hipsométrica também pode expressar o grau de conicidade ou afilamento e tem estreita correlação com a estabilidade de uma árvore. Curvas que representam

o desenvolvimento da relação h/d são usadas na condução de povoamentos puros em programas de produção (ABETZ, 1976), sendo também usadas como medida de competição em povoamentos puros equiâneos (HEGYI, 1974).

Na determinação de uma função para descrever a relação hipsométrica, um modelo parabólico traz, geralmente, bons resultados. Entretanto, é recomendável testar funções logarítmicas e recíprocas utilizando-se em média 30-40 pares de dados distribuídos sobre a amplitude diamétrica (SCHNEIDER, 1998).

A seleção da melhor equação deve ser feita com base nas estatísticas de coeficiente de determinação - R²; erro padrão da média em percentagem - S_{yx}% e na distribuição de resíduos (DRAPPER & SMITH, 1966).

A relação altura/diâmetro varia com a espécie, sendo o ângulo de curvatura característico de cada espécie (LOETSCH *et al.*, 1973). Entretanto, para uma mesma espécie, o ângulo de curvatura apresenta-se mais ou menos constante para diferentes sítios, idades e mesmo para diferentes posições sociológicas da árvore, variando apenas, nestes casos, o nível da curva.

Marschall, apud STERBA *et al.* (1976), demonstrou o paralelismo de curvas de relação hipsométrica sobre todas as classes de idade e sítios por ele pesquisadas. A partir de então, o autor manteve o coeficiente de inclinação constante, passando a estimar o intercepto a partir do par de dados diâmetro e altura da árvore de área basal central (d_c), tomados na unidade amostral. O mesmo resultado foi encontrado por STERBA (1986) para *Picea abies*, demonstrando que os coeficientes angulares de uma função de altura sobre diâmetro apresentavam somente variação ao acaso, com o aumento da idade do povoamento, enquanto o intercepto da função tendia a diminuir.

FINGER (1991) também chegou à mesma conclusão ao examinar os coeficientes angulares de três modelos matemáticos para as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* calculados a partir dos dados de 1732 árvores distribuídas sobre 147 unidades amostrais. Esse autor não encontrou diferença significativa entre os coeficientes angulares para cada uma das espécies e também para o grupo formado pelas duas espécies florestais.

Nesses casos, fica evidenciado que não se cometem grandes erros quando se utilizar o coeficiente angular constante, e se calcular o coeficiente de intercepção a partir de um par de dados, diâmetro e altura medidos em cada unidade amostral.

Por outro lado, SCHNEIDER *et al.* (1988) não encontraram diferenças significativas quanto à

inclinação e ao intercepto da equação de regressão para descrever a relação altura/diâmetro entre distintos grupos de idade; ou seja, concluíram pelo emprego de uma única equação de relação hipsométrica para acácia negra na região do estudo.

Vários autores, entre os quais PRODAN (1965), LOETSCH *et al.* (1973), KRAMER *et al.* (1982), também se ocuparam da construção, aplicação e interpretação de funções matemáticas no ajuste de dados de altura e diâmetro como forma de descrever as relações biométricas, a qualidade do local e proporcionar substancial redução de custos no inventário florestal, entre outras.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de coleta de dados

Os dados para o presente estudo provêm de um inventário florestal realizado em povoamentos de acácia negra (*Acacia mearnsii* de Wild) localizado em três hortos florestais nos municípios de Butiá e São Jerônimo, no Rio Grande do Sul.

As florestas foram implantadas com espaçamento 3 x 1,33m, totalizando 2500 árvores por hectare e encontravam-se com idades entre 7 e 10 anos. Os talhões estavam distribuídos em uma grande região cobrindo diferentes sítios naturais. Como de praxe, a espécie foi manejada em rotações curtas, com corte final a partir dos sete anos, raramente ultrapassando 9 anos. Os plantios não foram submetidos a desbastes.

Método da amostragem e coleta de dados

O inventário utilizado foi de uma ocasião, implantado através do método de amostragem sistemática, estratificado por talhão com alocação proporcional e executado com procedimentos de amostragem.

As unidades amostrais tiveram forma retangular, com lados de 27 x 16,9m cobrindo uma área de 456,3m² por unidade amostral, tendo sido distribuídas, sistematicamente, sobre cada talhão inventariado.

Em cada unidade amostral, foram medidos os diâmetros de todas as árvores que apresentavam engrossamento maior ou igual a 8,0cm. Os diâmetros foram tomados a 1,30m acima do nível do solo (altura do peito- DAP) e medidos com suta, com precisão de 0,5cm.

Dentre as árvores da unidade com DAP maior ou igual a 8,0cm, foram medidas as alturas total das quinze primeiras árvores encontradas a partir do canto da unidade amostral, acrescidas das cinco mais grossas dessa área (altura dominante

segundo ASSMANN, 1970). As alturas foram medidas com o hipsômetro VERTEX, com precisão de 0,1m.

No trabalho, foram empregados dados de 159 unidades amostrais, respectivamente 50 unidades no horto 1; 42, no horto 2 e 67, no horto 3.

Modelos estatísticos

Os modelos estatísticos apresentados na tabela 1 foram ajustados para descrever a relação hipsométrica de acácia negra para os dados de cada unidade amostral independentemente. Dentre os modelos testados, foi selecionado o modelo ótimo, segundo os critérios de maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), menor erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$) e distribuição uniforme de resíduos. Sobre cada regressão foi analisada ainda a significância dos coeficientes. O procedimento de cálculo foi realizado com o pacote estatístico SAS (SAS, 1985).

Após a seleção do melhor modelo para descrever a relação hipsométrica em cada unidade amostral e para cada horto, foi estudada a viabilidade de agrupar as curvas de regressão; isto é, aplicar uma curva uniforme de altura. Para isso, foi testada a diferença de inclinação (paralelismo) e a diferença de nível entre as regressões (coincidência), primeiro dentro de um mesmo horto e, após, entre os hortos florestais, utilizando a técnica da análise de covariância (SAS, 1985). Essa técnica permite responder sobre a necessidade de utilização de equações separadas para cada talhão ou da possibilidade de emprego de uma única regressão para diferentes grupos (SCHNEIDER, 1998).

Tabela 1 - Modelos testados para descrever a relação hipsométrica de acácia negra.

Nº	M O D E L O S
1	$h = b_0 + b_1d + b_2d^2$
2	$h = 1,3 + \{d^2 / (b_0 + b_1d + b_2d^2)\}^2$
3	$h = 1,3 + \{1 / (b_0 + b_1 \cdot 1/d)^2\}$
4	$h = b_0 d^{b_1}$
5	$h = 1,3 + \{1 / (b_0 + b_1/d + b_2/d^2)\}$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}), e erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$), apresentados na tabela 2 para cada um dos cinco modelos de regressão ajustados, permitem selecionar o modelo número 2 como o

Tabela 2 - Estatísticas dos modelos de regressão calculadas para a seleção do modelo para descrever a relação hipsométrica de acácia negra (modelo escolhido número 2; n.s. = não significante ao nível de 5% de probabilidade de confiança).

Horto	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	
I	r ² adj	0,55*	0,98*	0,17*	0,50*	0,34*
	S _{xy} %	12,24	7,16	11,30	4,89	25,48
II	r ² adj	0,38*	0,96*	0,36*	0,26*	0,06 (n.s.)
	S _{xy} %	14,81	9,03	8,49	7,32	56,41
III	r ² adj	0,53*	0,97*	0,58*	0,55*	0,60*
	S _{xy} %	13,53	8,06	7,29	4,66	15,71

melhor para descrever a relação. As estatísticas calculadas para os cinco modelos de regressão mostram que o número 2 apresenta os maiores coeficientes de determinação, explicando mais de 95 % da variação total pela regressão.

Na análise do erro padrão da estimativa, não se verificou, em alguns casos, a superioridade do modelo 2. Entretanto, esse índice foi, em geral, menor que 10%, não se observando na avaliação da distribuição de resíduos qualquer evidência de tendência que não justifique sua seleção.

A análise de covariância para testar o paralelismo entre as curvas ajustadas dentro de cada grupo não mostrou significância para o teste de inclinação (Tabela 3), o mesmo ocorrendo entre os grupos. Esse resultado indica a possibilidade de construir uma única curva hipsométrica, ou seja, o emprego de um coeficiente angular comum (b_1 e b_2 , no modelo 2) para os diferentes talhões estudados (curva de altura uniforme). Por outro lado, como esperado, existe diferença significativa entre os níveis das curvas de altura, conforme mostra a figura 1.

No presente trabalho, comprovou-se a igualdade dos parâmetros de inclinação, sendo possível a aplicação de uma única curva hipsométrica,

Tabela 3 - Análise de covariância entre as curvas de altura e diâmetro nos talhões estudados nas distintas regiões.

Horto	Nº de grupos	r ² adj.	Igualdade do parâmetro de inclinação	Parâmetros da função de ajuste (modelo 2)
I	50	0,98*	sim (Pr>F=0,352)	b ₀ =2,09; b ₁ =0,59; b ₂ =0,19
II	42	0,97*	sim (Pr>F=0,650)	b ₀ =-0,76; b ₁ =1,00; b ₂ =0,20
III	67	0,98*	sim (Pr>F=0,939)	b ₀ =0,87; b ₁ =0,72; b ₂ =0,19

*significante em nível de 5% de probabilidade de confiança.

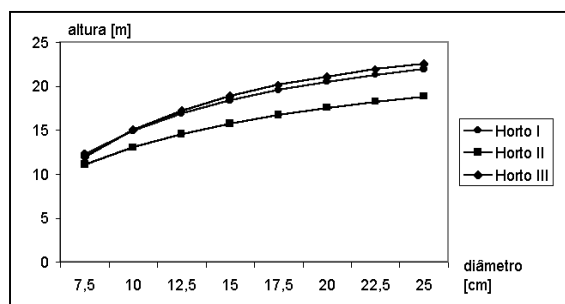


Figura 1 - Relações hipsométricas ajustadas com o modelo 2 para os hortos florestais estudados.

devendo-se, entretanto, reestimar o valor do coeficiente de intercepto em cada local (unidade amostral) a partir da introdução dos valores medidos de altura e diâmetro da árvore média na equação de regressão. Com isso, fica corrigida a diferença de qualidade de sítio e idade, entre outras variáveis, que influem no nível da curva de regressão.

CONCLUSÕES

O modelo $h = 1,3 + \{d^2 / (b_0 + b_1d + b_2d^2)\}^2$ proporcionou um bom ajuste dos dados de altura e diâmetro de *Acacia mearnsii* De Wild, sendo apropriado para descrever as relações hipsométricas na região do estudado. A equação apresentou diferença estatística entre os coeficientes de intercepto, mas coeficientes angulares homogêneos, evidenciando que se tratam de curvas paralelas, mas não coincidentes entre si.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABETZ, P. Beiträge zum Baumwachstum: der h/d-Wert. **FuH**, v.19, n.31, p.103-107, 1976.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. New York: Pergamon, 1970. 506p.
- DRAPPER, N.R., SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley, 1966. 407p.
- FINGER, C.A.G. **Ein Beitrag zur Ertragskunde von Eucalyptus grandis und Eucalyptus saligna in Südbrasilien**. Wien, 1991. 137p. Tese (Doutorado) - Universität für Bodenkultur, 1991.
- FINGER, C.A. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM / Centro de Pesquisas Florestais, 1992. 269p.
- HEGYI, F. A simulation model for managing jack pine stands. In: J. FRIES (ed.). **Growth models for tree and stand simulation**. Stockholm: Royal College of Forestry, 1974. p.74-90.
- KRAMER, H., AKÇA, A. **Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur**. Frankfurt a.M.: Sauerländer's Verlag, 1982. 251p.

- LOETSCH, F., ZOEHRER, F., HALLER, K.E. **Forest inventory**. Berlin : BLV Verlag, 1973. 469p.
- PRODAN, M. **Holzmesslehre**. Frankfurt a. M : Sauerländer's Verlag, 1965. 644p.
- SAS-INSTITUTE. **User's Guide: Statistics**. Cary : NC:SAS, 1985. 956p.
- SCHNEIDER, P.R., OESTEN, G., BRILL, A. *et al.* Determinação da produção de casca de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.1, n.1, p.64-75, 1991.
- SCHNEIDER, P.R., FLEIG, F.D., MENEZES, L.F. *et al.* Influência da idade na relação hipsométrica da acácia-negra. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 6, 1988, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata : Secretaria da Agricultura, 1988. v. 2. p.905-919.
- SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria : UFSM, Centro de Pesquisas Florestais, 1993. 236p.
- SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2 ed. Santa Maria : UFSM, Centro de Pesquisas Florestais, 1998. 236p.
- STERBA, H. **Holzmesslehre**. Wien : Universität für Bodenkultur, 1986. 150p.
- STERBA, H., MARSCHALL, J., SILVA, J.A. Einheitshöhenkurven aus und für Stichprobeninventuren. **All. Forstztg.** v.11, p.349-350, 1976.
- VANCLAY, J.K. **Modelling forest growth and yield**. Wallingford : CAB International, 1994. 312p.