

Ajuste e seleção de modelos de biomassa arbórea multiespecífico através da validação cruzada

Edriano Alexandre Barboza de Souza¹

Marco Antônio Dias Machado²

Edgar de Souza Vismara³

1 Introdução

Em uma Floresta Nativa a quantificação de biomassa total de todos indivíduos de um povoamento florestal é inviável, pois demanda custos elevados. Como alternativa torna-se necessária a utilização de modelos estatísticos de predição (ESTEVES et al., 1998).

A construção de modelos estatísticos preditivos de boa precisão contribuem para estimação correta da biomassa de uma floresta. Estes modelos estatísticos preditivos geralmente relacionam variáveis dendrométricas como o diâmetro a altura do peito (DAP) e altura total da árvore com sua biomassa, aferindo com significativa precisão (MAESTRI et al., 2004).

Em virtude de projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo Florestal a quantificação desta biomassa total torna-se necessária, visto que poderá gerar créditos de carbono (FINCO e REZENDE, 2007). Existem dois métodos para quantificar a biomassa total, o destrutivo e o não destrutivo. No método destrutivo são feitas medições reais, na floresta o que implica no corte e pesagem dos componentes das árvores. O método não destrutivo relaciona variáveis dendrométricas. Obtidas por meio de um inventário florestal nos quais não haverá necessidade do corte (REZENDE, 2000).

Modelos empíricos de predição tem sido utilizados em vários trabalhos recentes da literatura (SCHIKOWSKI.; CORTE e SANQUETTA, 2013; URBANO et al., 2008.; SOUZA et al., 2013.; FILHO et al., 2012).

A dificuldade encontrada nestes modelos de regressão está no fato de que são construídos à partir de uma amostra limitada de espécies. A aplicação destes modelos podem acarretar erros de grande importância, principalmente quando relacionando a predição de biomassa de espécies distintas a da amostra de ajuste (VISMARA, 2013).

¹ COENF-UTFPR/DV. e-mail: edriano759@icloud.com

² COENF-UTFPR/DV. e-mail: mak_adm@hotmail.com

³ COENF-UTFPR/DV. e-mail: desouzavismara@gmail.com

Diante do exposto este trabalho teve por objetivo, obter modelos de predição com o acréscimo de uma variável quantitativa (medida de penetração) e de uma variável categórica (espécie) sob a hipótese de que tal acréscimo resulte em um modelo capaz de efetivar uma predição mais acurada quando aplicado a espécies diferentes a aquelas consideradas na amostra de ajuste.

2 Materiais e métodos

O estudo foi realizado em área pertencente a Cia. Vale do Rio Doce, localizada no município de Linhares no Espírito Santo. O trabalho buscou amostrar espécies com distintas densidades básicas. Foram abatidas 199 árvores de 10 espécies de maior abundância na área.

O ajuste dos modelos foi feito partindo-se do modelo de Schumacher e Hall (1933) tradicional na sua forma linearizada: $\ln(bt) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d) + \beta_2 \cdot \ln(h) + \varepsilon$ (modelo 1). O modelo 2 consiste na inserção de uma variável quantitativa denominada *pylodin*, extraída de um equipamento que insere uma haste de metal no lenho da árvore medindo a resistência de penetração no lenho da árvore. O modelo 3 parte da inserção de uma variável categórica que representa a espécie em que a árvore pertence.

O ajuste dos modelos foi realizado pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários e todos os pressupostos foram testados. A avaliação do ajuste foi feita através dos valores do EPR (Erro padrão Residual), do Coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj) e do Critério de informação de Akaike (AIC). Além disso, foi realizada uma análise gráfica dos resíduos dos modelos construídos, verificando sua amplitude de distribuição.

Os modelos 1 e 2 construídos foram submetidos a um procedimento de validação cruzada. Este consistiu na retirada de uma espécie por vez do conjunto de dados. Com as nove espécies restantes ajustou-se o modelo que era imediatamente utilizado para predizer a biomassa das árvores da espécie retirada. Este procedimento foi repetido para todas as espécies gerando erros de predição para todas as árvores do conjunto de dados. A estatística raiz quadrada do erro quadrático médio de predição (RMSE) foi calculado à partir destes valores e usada na comparação da capacidade preditiva dos dois modelos.

3 Resultados e discussões

Na tabela são apresentados os coeficientes dos modelos ajustados. Todos os pressupostos do modelo Gaussiano foram atendidos, tornando os modelos aptos a realizar predições na área de estudo.

Tabela 1: Comparação da EPR (Erro Padrão Residual) do Modelo de Schumacher-Hall tradicional (1), com a inserção da variável quantitativa *pylodin* (2) e com a inserção da variável categórica espécie (3).

Coeficientes	MODELOS			Variáveis
	1	2	3	
b0	-3.2461	-2.31828	-2.95196	
b1	2.4649	2.32695	2.43631	DAP
b2	0.3224	0.53731	0.31932	Altura
b3		-0.48301		Pyloidin
b03			0.15399	<i>Caesalpina ferrea</i>
b04			-0.05621	<i>Pteropcarpus violaceus</i>
b05			-0.23660	<i>Zeyhera tuberculosa</i>
b06			-0.50537	<i>Schizolobium parayba</i>
b07			0.09292	<i>Pterygota brasiliensis</i>
b08			-0.06540	<i>Cordia trichitoma</i>
b09			-0.27899	<i>Astronium graveolens</i>
b10			-0.01865	<i>Joannesia princeps</i>
b11			-0.13888	<i>Cariniana legalis</i>
b12			-0.07619	<i>Handroanthus serritifolia</i>
EPR	0.3526	0.2254	0.2003	
R² aj.	0.9426	0.9765	0.9815	
AIC	154.1036	-22.08547	-60.32586	

Nota-se uma variação importante nos coeficientes do modelo 3 para algumas espécies (efeitos de espécie), enquanto que para outras o modelo 1 poderia ser adequado, isso ocorre por conta da diferenciação de densidade básica de uma espécies para outra.

A partir da observação da Tabela 1, pode-se notar uma redução significativa dos valores do EPR com a inserção das variáveis espécie e medida de penetração ao lenho (modelos 2 e 3) quando comparado ao modelo de Schumacher-Hall (modelo 1). Essa redução foi de 36,07 % para o caso do modelo 2 e 43,19% para o modelo 3. A redução na dispersão do erro em torno da média pode ser observada na figura.

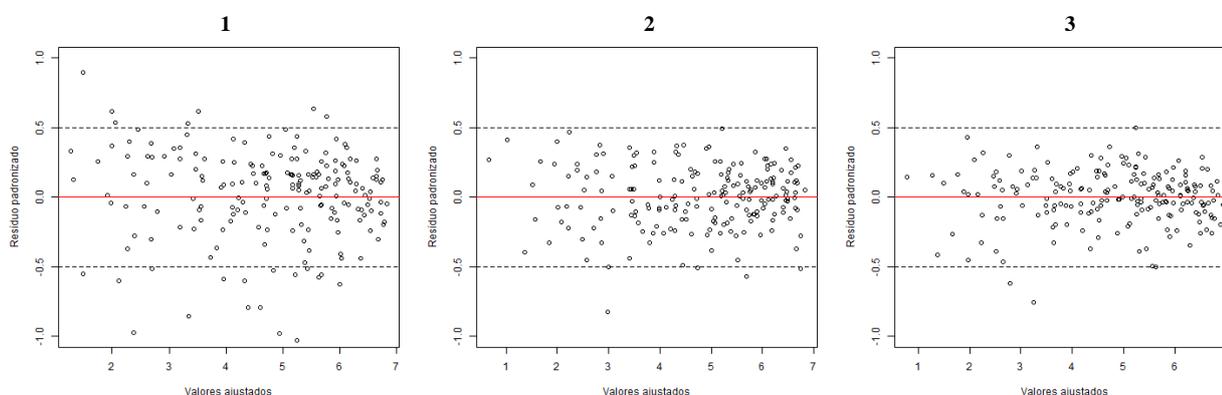


Figura 1 : Distribuição gráfica dos resíduos do Modelo de Schumacher-Hall na sua forma tradicional (A), com a inclusão da variável quantitativa *pyloidin* (B) e com a inclusão da variável categórica espécie (C).

Apesar do modelo 3 ter apresentado melhores resultados que o modelo 2, procedeu-se com o processo de validação cruzada apenas para o modelo 2, pois queria se testar a capacidade do *pylodin* em simular o efeito de espécie, já que, na prática não é possível incluir todas as espécies na construção de um modelo.

Tabela 2: Comparação da RMSE (*Root Mean Square Error*) do Modelo de Schumacher-Hall tradicional (1) e com a inserção da variável quantitativa *pylodin* (2)

MODELO	RMSE
1: $\ln(bt)=\beta_0+ \beta_1 \cdot \ln(d) + \beta_2 \cdot \ln(h) + \varepsilon$	0.337909
2: $\ln(bt)=\beta_0+ \beta_1 \cdot \ln(d) + \beta_2 \cdot \ln(h) + \beta_3 \cdot \ln(pyloidin) + \varepsilon$	0.2492471

A Tabela 2 apresenta o RMSE da validação cruzada. Os valores obtidos confirmam a redução do RMSE quando é introduzida a variável quantitativa *pylodin* no modelo de Schumacher-Hall. Essa redução de 26,24% no entanto, foi inferior quando comparado aos valores de ajuste (Tabela 2). O que já era de se esperar, já que, o primeiro valor é calculado a partir de árvores usadas no ajuste do modelo e não reflete a situação de aplicação.

A validação cruzada permitiu confirmar a redução do RMSE com a inserção da variável *pylodin*. Apesar deste fato já ter sido verificado na avaliação quanto ao ajuste a ferramenta da validação cruzada permitiu observar o poder da variável medida de penetração em discriminar o efeito de espécie no modelo de predição de biomassa.

4 Conclusões

Pode-se concluir com o presente trabalho que a hipótese da inserção da variável de medida de penetração no lenho, apresenta resultados significativos, sendo este preditor muito efetivo na modelagem da biomassa, pois possui estreita relação com a densidade básica da madeira, demonstrando ser um bom discriminador de espécies, algo que se confirmou por meio da validação cruzada. Também pode-se notar o coeficiente AIC como o melhor critério de eficácia dos modelos preditivos avaliados, pois foi o que melhor demonstrou a variação do erro entre os modelos.

5 Referências

[1] ESTEVES,A.R.; NETO,F.P.; SOUZA,A.L.; LEITE,H.G. Modelos de razão para estimar a biomassa de árvores individuais da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Revista Árvore**, Viçosa, v.22, n.2, p. 163-177, abr 1998.

- [2] FILHO,L.M.A.L.; SILVA,J.A.A.; CORDEIRO,G.M.; FERREIRA,R.L.C. Modelagem do crescimento de clones de *Eucalyptus* usando o modelo de CHAPMAN-RICHARDS com diferentes distribuições simétricas dos erros. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.22, n.4, p.777-785, dez 2012.
- [3] FINCO,M.V.A.; REZENDE,D. O mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL) como gerador de benefícios econômicas: uma estimativa para o município de Cumarú do Norte/PA. **Revista Carbono Social**, Tocantins, v.01, n.1, p.16-23, jan 2007.
- [4] MAESTRI,R.; SANQUETTA,C.R.; MACHADO,S.A.; SCOLFORO,J.R.S.; CÔRTE, A.P.D. Viabilidade de um projeto florestal de *Eucalyptus grandis* considerando o sequestro de carbono. **Revista Floresta**, Curitiba, v.34, n.3, p.347-360, dez 2004
- [5] REZENDE,D. **Sequestro de Carbono**: uma experiência concreta. Goiânia: Terra, 2000.105 p.
- [6] 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, set 2013
- [7] SCHUMACHER,F.X.; HALL,F.S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, Boston, v.47, p. 719-734, 1933.
- [8] SOUZA,R.F.; MACHADO, S.A.; FILHO,A.F.; KOEHLER,H.S. Modelagem do carbono orgânico total e da lenha por unidade de área para bracatingais nativos. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.23, n.1, p. 117-127, mar 2013.
- [9] URBANO,E.; MACHADO, S.A.; FILHO,A.F.; KOEHLER,H.S. Modelagem da biomassa aérea em bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba. **Revista Floresta**, Curitiba, v.38, n.2, p. 361-372, jun 2008.
- [10] VISMARA, E. S. **Avaliação da construção e aplicação de modelos florestais de efeitos fixos e mistos sob o ponto de vista preditivo**. 2013. 106f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) -Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.