



Estipulação e Precisão de Modelos Alométricos para *Dendrocalamus asper* (Bambu)

Stipulation and Accuracy of Allometric Models for *Dendrocalamus asper* (Bamboo)

Kaylany Rafaela Martins de Paula¹, Edgar de Souza Vismara²

RESUMO

Com aumento de dióxido de carbono na atmosfera e alterações climáticas, medidas para evitar a quebra do equilíbrio ecológico dos vegetais são cada vez mais almejadas. Para suprir essa necessidade. Desta forma, o estudo visa identificar e coletar dados sobre desenvolvimento de modelos alométricos de predição da biomassa e carbono nas espécies de bambus *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult.f.) Baker ex K.Heyne. Os estudos realizados utilizam a predição de modelos alométricos para determinar a concentração de carbono nos bambus, neste sentido, o estudo procedeu-se através de uma análise através do Software R, correlacionando medidas não destrutivas em conjunto de medidas destrutivas em relação a biomassa total e do colmo. Após as análises, realizou-se a identificação e seleção dos melhores modelos alométricos da literatura, avaliando-os por meio do Índice de Furnival. Ao final, identificou-se os modelos Spurr, Stoate e Meyer como os melhores em relação a biomassa total, modelo 01, Naslund Modificada e Spurr em relação a biomassa do colmo, bem como a identificação do modelo Spurr como o melhor modelo para prever a biomassa em ambos os casos.

PALAVRAS-CHAVE: Bambu; Modelos alométricos; Sequestro de carbono.

ABSTRACT

With an increase in carbon dioxide in the atmosphere and climate change, measures to avoid disrupting the ecological balance of vegetables are increasingly sought after. To meet this need. Therefore, the study aims to study and collect data on the development of allometric models for predicting biomass and carbon in the bamboo species *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult.f.) Baker ex K.Heyne. The studies carried out use the prediction of allometric models to determine the concentration of carbon in bamboos, in this sense, the study was carried out through an analysis using Software R, correlating non-destructive measures with a set of destructive measures in relation to total biomass and of the culm. After the analyses, the best allometric models in the literature were identified and selected, evaluating them using the furnival index. In the end, the Spurr, Stoate and Meyer models were identified as the best in relation to total biomass, model 01, Modified Naslund and Spurr in relation to stalk biomass, as well as the identification of the Spurr model as the best model to predict the biomass in both cases.

KEYWORDS: Bamboo; Allometric Models; Carbon Sequestration.

INTRODUÇÃO

Os bambus são gramíneas que apresentam uma capacidade relacionada ao sistema fotossintético C3 que é responsável pela retirada de dióxido de carbono da atmosfera para transformar na molécula de açúcar com objetivo de crescimento longitudinal e horizontal.

¹ Bolsista da Fundação Araucária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: kpaula@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3413126334091857>.

² Docente no Curso Engenharia Florestal. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: edgarvismara@professores.utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7926310174888570>.



XIII Seminário de Extensão e Inovação XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR

Ciência e Tecnologia na era da Inteligência Artificial: Desdobramentos no Ensino Pesquisa e Extensão
20 a 23 de novembro de 2023 - Campus Ponta Grossa, PR



SEI-SICITE
2023

Tendo em vista o papel dos bambus na retirada de dióxido de carbono na atmosfera, compreende-se que com as alterações climáticas e a elevada concentração de dióxido de carbono na atmosfera, tem-se observado um aumento de desníveis e alterações nos ecossistemas vegetais, portanto o desenvolvimento de estudos e pesquisas em relação a biomassa e carbono acumulada e prevista pelos diversos ecossistemas vegetais é de extrema importância (MOGNON et al., 2014).

Sabendo da importância dos estudos em relação a biomassa e do carbono, podemos de terminar o armazenamento de carbono através da estimacão da biomassa por meio de modelos alométricos, na qual destacam-se pela sua precisão, confiabilidade e importância na ecologia (PORTELA; SANTOS, 2003).

Dentre as diversas espécies de bambus com alta produtividade em relação ao sequestro de carbono e biomassa, destaca-se o bambu da espécie *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult. f.) Backer ex K. Heyne. Diversos estudos ao redor do mundo destacam a capacidade do bambu de sequestrar carbono, países como a Índia promoveram estudos relacionados aos ajustes de modelos alométricos e não alométricos para predição da biomassa dos bambus do gênero *Dendrocalamus*, apontando a utilização desse gênero de bambu em áreas de recuperação de solo, redução das alterações climáticas pela alta capacidade de sequestro de carbono e utilização industrial (KAUSHAL et al., 2016).

A espécie de bambu do gênero *Dendrocalamus* não é endêmica do Brasil, porém ela está amplamente distribuída pelo Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul (Paraná, Santa Catarina), em climas tropicais e subtropicais (RIO DE JANEIRO, 2023). Esta espécie está sendo cada vez mais estudada e visada, visto que sua importância está na sua alta capacidade de sequestro de carbono e produção de biomassa sustentável, reduzindo os efeitos das alterações climáticas, bem como sua utilização nas indústrias para fins comerciais.

Portanto, os estudos dos modelos alométricos nos diversos gêneros de bambus tornam-se relevantes, uma vez que eles auxiliam na compreensão da fixação de carbono (NATH; DAS, G.; DAS, A. K., 2009). Desta forma, este estudo tem como objetivo estudar o desenvolvimento de modelos de biomassa e de carbono no gênero *Dendrocalamus*, em específico no *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult. f.) Backer ex K. Heyne, visando apresentar modelos alométricos para a predição de biomassa e carbono por meio de variáveis destrutivas e não destrutiva.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido numa área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos-PR. Essa região está situada no planalto paranaense, inserida na área da bacia sedimentar do Paraná, sendo também uma região caracterizada pelo seu clima subtropical. A vegetação em destaque da região de dois vizinhos é a mata de araucária, juntamente dos rios que passam pela cidade que formam a bacia hidrográfica do rio Iguaçu. Por fim, a temperatura da região do Campus e da cidade Dois Vizinhos-PR varia entre 10°C a 29°C, bem como o solo predominante da região é o latossolo com textura argilosa (DOIS VIZINHOS PR, 2023).

Primeiramente para obter os dados, as touceiras de *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult. f.) Backer ex K. Heyne foram sorteadas aleatoriamente, bem como para adquirir a medida e a



XIII Seminário de Extensão e Inovação XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR

Ciência e Tecnologia na era da Inteligência Artificial: Desdobramentos no Ensino Pesquisa e Extensão
20 a 23 de novembro de 2023 - Campus Ponta Grossa, PR



determinação de biomassa, as mesmas foram cortadas na base do colmo e pesadas usando o método destrutivo.

Em seguida, procedeu-se uma análise através do software R realizando uma correlação das medidas não destrutivas, sendo o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e Diâmetro do Colo (dcolo) em conjunto com as medidas destrutivas, sendo elas a Altura (h), Biomassa Total (Bs) e Biomassa Colmo para observar se os parâmetros apresentam um relacionamento com a Biomassa Colmo e a Biomassa Total.

Após a análise, originou-se a seleção de modelos alométricos tradicionais da literatura e também por meio de especulações autorais (1 e 2). Por conseguinte, implementou-se com a avaliação dos modelos através do Índice de Furnival (IF*) que fornece uma medida de qualidade do ajuste do modelo, sendo que quanto menor seu valor, melhor a sua capacidade preditiva (BAIMA; SILVA; SILVA, 2001).

Tabela 1 – Modelos Alométricos de Biomassa Total

Nº	Modelo	Autores
1	$bs = b_0 + b_1dap^2h$	Spurr
2	$bs = b_0 + b_1dap^2h + b_2dap^2 + b_3h$	Stoate
3	$bs = b_0 + b_1(dap) + b_2(dap^2) + b_3(dap * h) + b_4(dap^2 * h) + b_5(h)$	Meyer
4	$bs = b_0 + b_1dcolo + b_2dap + b_3(dap^2 * h)$	
5	$bs = b_0 + b_1(dap^2) + b_2(dap^2 * h) + b_3(dap * h^2) + b_4(h^2)$	Naslund Modificada
6	$bs = b_0 + b_1dcolo + b_2dap + b_3(dap * h^2)$	
7	$lnbs = b_0 + b_1ln(dap) + b_2ln(h)$	Schumacher - Hall log
8	$bs = b_0 + b_1dap + b_2h$	Schumacher - Hall
9	$lnbs = b_0 + b_1ln(dap) + b_2ln(dap^2) + b_3ln(h) + b_4ln(h^2)$	Prodan log
10	$lnbs = b_0 + b_1ln(dap^2 * h) + b_2ln(dap^2) + b_3ln(h)$	Stoate log

Tabela 2 – Modelos Alométricos de Biomassa Colmo

Nº	Modelo	Autores
1	$bc = b_0 + b_1dcolo + b_2dap + b_3(dap^2 * h)$	
2	$bc = b_0 + b_1(dap^2) + b_2(dap^2 * h) + b_3(dap * h^2) + b_4(h^2)$	Naslund Modificada
3	$bc = b_0 + b_1dap^2h$	Spurr
4	$bc = b_0 + b_1dap^2h + b_2dap^2 + b_3h$	Stoate
5	$bc = b_0 + b_1(dap) + b_2(dap^2) + b_3(dap * h) + b_4(dap^2 * h) + b_5(h)$	Meyer
6	$bc = b_0 + b_1dcolo + b_2dap + b_3(dap * h^2)$	
7	$lnbc = b_0 + b_1ln(dap) + b_2ln(h)$	Schumacher - Hall log
8	$lnbc = b_0 + b_1ln(dap) + b_2ln(dap^2) + b_3ln(h) + b_4ln(h^2)$	Prodan log
9	$lnbc = b_0 + b_1ln(dcolo) + b_2ln(dap^2) + b_3ln(dap * h^2)$	
10	$lnbc = b_0 + b_1ln(dap^2 * h) + b_2ln(dap^2) + b_3ln(h)$	Stoate log

Após a avaliação dos melhores dez melhores modelos de cada respectivo compartimento de biomassa, foi aplicado o método da validação cruzada k-folds. Este consiste na aplicação de uma série de etapas que resultaram na estimativa do desempenho geral dos dez melhores modelos na tarefa preditiva. O k-folds consiste na divisão dos dados em dobras de treinamento e teste, e na definição de ciclos de treino e teste. O modelo foi treinado na dobra de treino e usado para prever na dobra de teste, em seguida, os resultados das dobras em cada ciclo de repetição foram sumarizados



na forma do Índice de Furnival médio utilizando a Eq. (1), que representa a qualidade preditiva do modelo em situações de aplicação prática.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em que se refere aos resultados obtidos por meio dos modelos, observou-se um padrão notável no Índice de Furnival (IF*) em relação à biomassa total, com valores concentrados na faixa de 2,530 a 2,660 nos dez melhores modelos avaliados. Apontando os Índices de Furnival nos modelos destaques a seguir em relação a biomassa total: Em primeiro lugar temos o modelo Spurr (2,539), em seguida o modelo Stoate (2,539) e Meyer (2,543) (Tabela: 3).

Em relação aos dez modelos mais bem classificados para biomassa, foram calculados os coeficientes de determinação ajustado (R^2 ajustado), sendo uma métrica crucial para avaliar a eficiência e a capacidade dos modelos de se ajustarem aos dados. Outro cálculo realizado, foi dos valores de Índice de Furnival em porcentagem (IF%) e Índice de Furnival (IF), na qual destaca-se os modelos Spurr, Stoate e Meyer (Tabela: 3).

Tabela 3 – Estatísticas de ajuste de biomassa seca total para *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult. f.) Backer ex K. Heyne

Nº	Autores	ÍF*	R ² Ajustado	IF%	IF
1	Spurr	2,539	0,6988	20,96%	2,7199
2	Stoate	2,539	0,6988	20,96%	2,6626
3	Meyer	2,543	0,6979	20,99%	2,7131
4		2,543	0,6979	20,99%	2,7559
5	Naslund Modificada	2,547	0,6970	21,02%	2,6480
6		2,586	0,6877	21,34%	2,6047
7	Schumacher - Hall log	2,629	0,6560	21,70%	2,8944
8	Schumacher - Hall	2,633	0,6762	21,73%	2,8721
9	Prodan log	2,643	0,6526	21,81%	3,6759
10	Stoate log	2,652	0,6500	21,89%	2,8279

* IF* é o índice de Furnival obtido na validação cruzada.

Além disso, houve uma análise das equações principais que descrevem a biomassa do colmo. Todas as equações incorporam parâmetros de medição não destrutiva, com o diâmetro à altura do peito (DAP), e medição destrutiva, envolvendo a altura. Da mesma forma, foi conduzida uma análise semelhante com os modelos alométricos para a biomassa colmo, observando um padrão consistente nas relações envolvendo o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura do bambu.

Além disso destaca-se os valores obtidos do Índice de Furnival (IF*), na qual concentram-se na faixa de 1,627 a 1,702 entre os dez principais modelos alométricos para a biomassa do colmo. Os principais modelos entre os 10 principais referentes a biomassa do colmo foram: Em primeiro lugar temos o Modelo 01 (1,627), seguido do modelo Naslund Modificada (1,628) e Spurr (1,629) (Tabela 4).



Tabela 4 – Estatísticas de ajuste de biomassa seca do colmo para *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult. f.) Backer ex K. Heyne

Nº	Autores	ÍF*	R ² Ajustado	IF ^o %	IF
1		1,627	0,7892	18,52 ^o %	1,8492
2	Naslund Modificada	1,628	0,7889	18,53 ^o %	1,8416
3	Spurr	1,629	0,7887	18,54 ^o %	1,9345
4	Stoate	1,629	0,7887	18,54 ^o %	1,8439
5	Meyer	1,631	0,7881	18,57 ^o %	2,0345
6		1,662	0,7801	18,92 ^o %	1,9125
7	Schumacher - Hall log	1,679	0,7518	19,10 ^o %	1,8665
8	Prodan log	1,686	0,7497	19,19 ^o %	2,3632
9		1,701	0,7451	19,36 ^o %	1,7036
10	Stoate log	1,702	0,7448	19,37 ^o %	1,8276

* IF* é o índice de furnival obtido na validação cruzada.

O Índice de Furnival (IF*) é responsável por fornecer uma medida de qualidade em relação ao ajuste dos modelos, bem como medir a fidelidade e a capacidade preditiva de cada modelo. Em relação aos melhores modelos do colmo e da biomassa total, temos que quanto menor o valor do Índice de Furnival, maior é a capacidade de predizer a confiabilidade do modelo e seu ajuste perante os resultados, ou seja, os três melhores modelos para biomassa total e biomassa do colmo estão adequados aos dados e são mais precisos que os demais modelos.

Os dados obtidos a cima, quando comparados com os dados e os modelos dos estudos realizados para quantificar a biomassa seca total dos bambus da espécie *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult. f.) Backer ex K. Heyne (MOGNON et al., 2014), demonstram que apenas um modelo está presente em ambos os trabalhos, sendo ele o modelo Schumacher – Hall. Quando comparados os modelos utilizados em ambos os trabalhos, notamos que os diferentes modelos apresentados em ambos os trabalhos reforçam a fidelidade e a capacidade preditiva de cada modelo em relação aos ajustes de cada dado apresentado, reforçando e demonstrando a diferença dos modelos em cada trabalho.

Por fim, os modelos de biomassa do colmo se sobressaem em relação aos modelos da biomassa total, pois além da maior parte da biomassa estar concentrada na região do colmo (região aérea), temos que tanto os Índices de Furnival dos modelos da biomassa do colmo quanto os Índices de Furnival (IF) e os Índices de Furnival em porcentagem (IF^o%), são menores e conseqüentemente são mais precisos e apresentam melhor capacidade preditiva em relação aos ajustes de modelos da biomassa total.

CONCLUSÃO

Após analisar os resultados, podemos observar que os modelos de biomassa do colmo se sobressaem em relação aos modelos de biomassa total, tendo em vista a maior capacidade preditiva e precisão dos modelos ajustados da biomassa do colmo, demonstrados pelos valores do Índice de Furnival (IF*).

Por fim, dentre os modelos de biomassa total os melhores modelos dentre os dez modelos



alométricos são: O modelo Spurr, Stoate e Meyer, visto que dentre os dados apresentados eles apresentam os menores Índices de Furnival. Para a biomassa do colmo, os melhores modelos analisados são: o modelo 01, Naslund Modificada e Spurr, pois apresentam os menos valores do Índice de Furnival (IF*). O modelo Spurr também é considerado o melhor modelo para prever a biomassa em ambos os casos, pois não é um modelo de super ajuste e não apresenta entrada dupla de determinadas variáveis.

MATERIAL SUPLEMENTAR

$$IF = \sqrt{\frac{1}{n-p} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (1)$$

AGRADECIMENTOS

"Meus sinceros agradecimentos à Fundação Araucária pelo generoso financiamento, ao meu orientador Edgar Vismara por sua orientação valiosa, e à minha amada família pelo apoio incondicional ao longo desta jornada."

CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

BAIMA, Anadilza Maria Valente; SILVA, SMA da; SILVA, JNM. Equações de volume para floresta tropical de terra firme em Moju, PA. **A silvicultura na Amazônia Oriental: Contribuições do projeto Embrapa-DFID. Belém: Embrapa Amazônia Oriental: DFID**, p. 367–392, 2001.

DOIS VIZINHOS PR, Prefeitura de. **O Município**. Set. 2023. Disponível em: [🔗](#).

KAUSHAL, R et al. Predictive models for biomass and carbon stock estimation in male bamboo (*Dendrocalamus strictus* L.) in Doon valley, India. **Acta Ecologica Sinica**, Elsevier, v. 36, n. 6, p. 469–476, 2016.

MOGNON, Francelo et al. Alocação e modelagem da biomassa em *Dendrocalamus asper*. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 1–10, 2014.

NATH, Arun Jyoti; DAS, Gitasree; DAS, Ashesh Kumar. Above ground standing biomass and carbon storage in village bamboos in North East India. **Biomass and bioenergy**, Elsevier, v. 33, n. 9, p. 1188–1196, 2009.

PORTELA, Rita de Cássia Quitete; SANTOS, Flavio Antonio Maës dos. Alometria de plântulas e jovens de espécies arbóreas: copa x altura. **Biota Neotropica**, SciELO Brasil, v. 3, p. 1–5, 2003.

RIO DE JANEIRO, Jardim Botânico do. **Flora e Funga do Brasil**. Set. 2023. Disponível em: [🔗](#).