

EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA OBTENÇÃO DE COMPRIMENTO DE COLMO PARA *Phyllostachys aurea* Carr. ex A.& C. Rivi'ere

Mateus Niroh Inoue Sanquetta¹; Carlos Roberto Sanquetta²; Francelo Mognon³; Ana Paula Dalla Corte⁴; Saymon Hamses Monastier⁵

1 - Acadêmico de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná
(mateus.sanquetta@hotmail.com)

2 - Eng. Florestal, Ph.D., Professor da Universidade Federal do Paraná

3 - Doutorando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná

4 - Eng. Florestal, Dr., Professor da Universidade Federal do Paraná

5 - Acadêmico de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná
Centro BIOFIX de Pesquisas em Biomassa e Sequestro de Carbono

Universidade Federal do Paraná – UFPR

Av. Lothário Meissner, 900 – Jardim Botânico

Curitiba – PR 80.210-170 – Brasil

Recebido em: 30/09/2014 – Aprovado em: 15/11/2014 – Publicado em: 01/12/2014

RESUMO

No Brasil, são encontradas grandes reservas de bambu nativo e exótico. Porém, poucos trabalhos científicos são encontrados versando a respeito de variáveis biométricas, especificamente no Brasil. Por este motivo, o manejo e utilização podem ser limitados. O objetivo deste trabalho foi mensurar diretamente as variáveis de diâmetro à altura do peito (dap) e comprimento de colmo (cc) da espécie *Phyllostachys aurea*, e, em seguida, empregar a regressão linear utilizando seis modelos hipsométricos a fim de estimar o comprimento de colmo. Para tanto, foram selecionados 30 colmos advindos do Campus do Jardim Botânico da Universidade Federal do Paraná. Os modelos testados foram: a) Campos e Leite; b) Azevedo; c) Henricksen; d) Trorey; e) Curtis e f) Stoffels. Os modelos foram examinados por quatro critérios estatísticos quanto aos ajustes dos valores observados da variável de interesse. A análise gráfica dos resíduos foi empregada. Observou-se que os critérios coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) e os critérios de Akaike e Bayesiano indicaram o modelo de Campos e Leite como mais acurado, embora todos os demais testados apresentaram ajustes com qualidade próxima do selecionado. Verificou-se correlação moderada entre dap e comprimento de colmo segundo o teste de Pearson ($r=0,6001$). Concluiu-se que apesar de apresentar valores relativamente baixos para o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), os indicadores de ajuste e a análise gráfica dos resíduos revelaram valores estimados satisfatórios. Ressalta-se a necessidade de estudos mais aprofundados em relação às variáveis biométricas de plantas de bambu.

PALAVRAS-CHAVE: mensuração florestal, modelagem, Poaceae, regressão.

HIPSOMETRIC EQUATIONS TO OBTAIN LENGTH COLMO FOR *Phyllostachys aurea* Carr. ex A. & C. Rivi'ere

ABSTRACT

In Brazil, there are large stocks of native and exotic bamboos. However, scientific studies dealing with biometric variables of them are found very scarce, specifically in Brazil. By this reason, management and use of this resource may be limited. The aim of this study was to directly measure the variables diameter at breast height and stem length of the species *Phyllostachys aurea*, and then to employ the linear regression using six hypsometric models to estimate the length of culm. For this, 30 culms coming from the Campus of the Botanical Garden of the Federal University of Paraná were selected. The models tested were: a) Campos e Leite; b) Azevedo; c) Henricksen; d) Trorey; e) Curtis and f) Stoffels. The adjustments of the models were examined by four statistical criteria, taking into account the observed values of the variable of interest. The graphical analysis of the residuals was also employed. It was noted that all the fitting i.e. coefficient of determination ($R^2_{aj.}$) and the standard error of estimate ($S_{yx}\%$) as well as the Akaike and the Bayesian information criteria indicated the model of Campos & Leite as most accurate among the tested, though the others also proved to be satisfactory. There was moderate correlation between dbh and culm length according to the Pearson test ($r = 0.6001$). It was concluded that despite having relatively low values for the adjusted coefficient of determination ($R^2_{aj.}$), the graphical analysis of the residuals showed satisfactory predicted values. It should be remarked the need for further studies compared the biometric variables of bamboo species.

KEYWORDS: forest measurement, modeling, Poaceae, regression.

INTRODUÇÃO

Designam-se bambus os membros dos grupos taxonômicos de grandes gramíneas lenhosas (*Poaceae*). Estes membros distribuem-se de maneira ampla, abrangendo os trópicos, subtropicos e zonas temperadas (SCURLOCK et al., 2000). LOBOVIKOV et al. (2009) afirmam que existem aproximadamente 1.200 espécies e 90 gêneros de bambu em todos os continentes, com exceção da Europa. O Brasil possui grande reserva de bambus nativos, possui também potencial para cultivo de espécies introduzidas. Observa-se que espécies exóticas invasoras têm se distribuído com mais frequência. No entanto, não existem informações confiáveis a respeito da superfície tomada por bambus.

Devido à sua versatilidade, autor como CRUZ (2002) cita o bambu como um dos materiais mais antigos utilizados pela humanidade, com registros da era A.C, na China. Aplicam-se aos colmos de bambu a construções civis, móveis e produção de celulose e papel. MANHÃES (2008) afirma que a maior demanda de plântulas de bambu de pequeno porte é para fins comerciais, entre estas se destacam as espécies *Phyllostachys aurea* Carrière ex Rivière & C. Rivière, *Phyllostachys pubescens* Mazel ex J. Houz. e *Bambusa textilis* McClure, geralmente utilizadas para ornamentação. A espécie *Phyllostachys aurea* é considerada um ótimo mecanismo para minimizar processos erosivos (LIMA, 2008).

Apesar da ampla distribuição e relevante importância histórica para a humanidade, pouco se sabe a respeito das características biométricas de diferentes espécies de bambu. A espécie *Phyllostachys aurea* é considerada uma das mais

conhecidas no mundo. Nativa da China é encontrada também em países como Japão e Taiwan, devido à boa adaptação ao clima da região. Possui colmos eretos e esverdeados, com altura variando de seis a 12 metros de altura e diâmetro entre três e sete cm. Adota aspectos característicos do gênero *Phyllostachys*, por exemplo, distribuição alastrante (leptomorfos) (CRUZ, 2002).

A relação hipsométrica é a associação entre a altura da árvore e seu respectivo diâmetro. Por meio de regressão linear, modelos matemáticos são testados e equações são ajustadas para se obter estimativas. Esse procedimento baseia-se na estimativa de uma variável de difícil obtenção por meio de uma ou mais variáveis de fácil obtenção (SANQUETTA et al., 2014).

Muitos pesquisadores empenham-se no sentido de desenvolver modelos para a estimação de diferentes variáveis, como por exemplo a altura. No entanto, devido às diferenças morfológicas entre as espécies, alguns modelos podem subestimar ou superestimar a variável de interesse. No Brasil, são poucos os trabalhos no tocante à modelagem para bambu. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de diferentes modelos hipsométricos para estimar o comprimento de colmo da espécie *Phyllostachys aurea* Carr. ex A. & C. Rivière.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido com 30 colmos de *Phyllostachys aurea*, todos em dimensões adultas. Os colmos objetos deste estudo são provenientes do Campus Jardim Botânico da Universidade Federal do Paraná. O Campus está localizado na cidade de Curitiba. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfb (clima temperado propriamente dito). Apresenta no mês mais frio temperatura média de 18 °C, com verões frescos e temperatura média no mês mais quente de 22°C (SEAB, 2010).

Coleta de dados

Tomaram-se os diâmetros à altura do peito (dap) em centímetros, dos 30 colmos estudados com auxílio de paquímetro. Posteriormente os colmos foram derrubados e determinaram-se os comprimentos de colmo com auxílio de trena.

Modelos hipsométricos

O ajuste de equações hipsométricas tem sido muito utilizado no meio florestal. Esse método proporciona a estimativa da altura de uma planta ou árvore em função do seu diâmetro (da base ou à altura do peito) ou de outra variável de fácil obtenção. Tratando-se a respeito dos bambus, o termo comprimento de colmo pode ser empregado. A altura dos colmos de bambu sofre uma pequena inclinação na parte superior. Este fenômeno pode reduzir a medida de altura em pé (SANQUETTA et al., 2014). No estudo em questão, foram testados seis modelos hipsométricos ajustados pelo método de mínimos quadrados (Tabela 1). Foram utilizados como variável dependente o comprimento de colmo – cc (m) e como variável independente o dap (cm).

QUADRO 1 – Modelos testados pelo trabalho

| | Modelo | Autor(es) |
|-----|--|-----------------------|
| (a) | $cc = \beta_0 + \beta_1 \cdot dap$ | Campos e Leite (2002) |
| (b) | $cc = \beta_0 + \beta_1 \cdot dap^2$ | Azevedo et al. (1999) |
| (c) | $cc = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(dap)$ | Henricksen (1950) |
| (d) | $cc = \beta_0 + \beta_1 \cdot dap + \beta_2 \cdot dap^2$ | Trorey (1932) |
| (e) | $\ln(cc) = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/dap)$ | Curtis (1967) |
| (f) | $\ln(cc) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(dap)$ | Stoffels (1953) |

Onde: β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes estimados por regressão; dbase = diâmetro da base (cm); dap = diâmetro à altura do peito (cm); cc = comprimento de colmo (m); ln = logaritmo natural

Correlação de variáveis

A fim de compreender uma possível correlação entre as variáveis de diâmetro e comprimento de colmo, foi empregado o Teste de Correlação de Pearson, determinado pela divisão da covariância pela multiplicação dos desvios padrões.

$$r_{x,y} = \frac{Cov(x,y)}{\sigma(x) \cdot \sigma(y)}$$

Onde:

Cov(x,y) = covariância das variáveis x e y;

σ = desvio padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os colmos estudados atingiram em média 2,8 cm de *dap* e 6,1 m de comprimento de colmo. Medidas de dispersão (desvio padrão) foram 0,80 e 1,02 respectivamente (Tabela 2). Comparando os resultados obtidos a partir dos critérios de seleção de modelos ($R^2_{aj.}$; $S_{yx}\%$, AIC e BIC), pode se observar que, de maneira geral, todos os modelos apresentaram valores satisfatórios. Destacam-se os valores para $R^2_{aj.}$ que foram atipicamente baixos. Ressalta-se que o material utilizado encontrava se em condições naturais, o que permite maior variabilidade amostral.

TABELA 1 - Variáveis biométricas do colmo de *Phyllostachys aurea* na cidade de Curitiba/PR

| Estatística | Variável | Valor |
|-----------------|-----------------|-----------|
| Média | <i>dap</i> (cm) | 2,78±0,80 |
| ± Desvio Padrão | cc (m) | 6,13±1,02 |
| N | - | 30 |

Para a espécie estudada foram selecionados os modelos que apresentaram ajuste mais adequado aos dados e em termos estatísticos. O modelo de Henricksen (c) apresentou os valores mais satisfatórios quanto ao erro padrão da estimativa. No

tocante ao erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$) e ao coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), o modelo de Campos e Leite foi o mais satisfatório, com valores da ordem de 12,07% e 0,34, respectivamente (Tabela 2). O mesmo ocorreu em relação aos critérios de Akaike e Bayesiano, o qual apresentou os menores valores.

TABELA 2 - Estatísticas de ajuste de diferentes modelos de estimação de comprimento de colmo de *Phyllostachys aurea* no município de Curitiba/PR

| Equações | $R^2_{aj.}$ | $S_{yx}\%$ | AIC | BIC |
|---|-------------|------------|--------|--------|
| (a) $cc = \beta_0(4,777912) + \beta_1(0,766538) \cdot dap$ | 0,34 | 12,03 | -8,387 | -6,384 |
| (b) $cc = \beta_0(5,854322) + \beta_1(0,126337) \cdot dap^2$ | 0,32 | 12,15 | -7,795 | -5,793 |
| (c) $cc = \beta_0(4,870451) + \beta_1(2,076270) \cdot \ln(dap)$ | 0,33 | 12,07 | -8,182 | -6,180 |
| (d) $cc = \beta_0(4,565414) + \beta_1(0,922630) \cdot dap + \beta_2(-0,026530) \cdot dap^2$ | 0,31 | 12,25 | -5,379 | -3,001 |
| (e) $\ln(cc) = \beta_0(8,863784) + \beta_1(-5,0035434) \cdot (1/dap)$ | 0,31 | 12,26 | -7,258 | -5,255 |
| (f) $\ln(cc) = \beta_0(4,870451) + \beta_1(4,780787) \cdot \ln(dap)$ | 0,33 | 12,07 | -8,182 | -6,180 |

Observa-se que segundo os critérios de seleção que todos os modelos apresentaram padrão semelhante de acurácia. Da mesma forma, a análise gráfica de resíduos mostrou que os modelos apresentam padrões semelhantes, apresentando tendências parecidas para cada indivíduo estimado (Figura 1).

Poucos são os estudos publicados sobre esta relação no Brasil. SANQUETTA et al. (2014) estimaram o comprimento de colmo para a espécie *Merostachys skvortzovii* Sendulski no Estado do Paraná. Estes autores observaram que, de maneira geral, todos os modelos geraram valores satisfatórios. Na ocasião, o modelo de parabólico de Trorey apresentou os melhores valores ($R^2_{aj.}$: 0,91, $S_{yx}\%$: 10,77% e AIC: -6,50). INOUE (2013), ao avaliar o comportamento da espécie de bambu *Phyllostachys pubescens* no Japão, evidenciou que a relação diâmetro-comprimento de colmo pode ser retratada por uma relação log-log.

Por outro lado, existem vários estudos sobre relação hipsométrica em espécies florestais, como ROCHA et al. (2010), por exemplo, que, ao avaliarem a relação diâmetro e altura para estimar a altura total de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake na região de Conquista - BA, concluíram que o modelo de Trorey apresentou resultados menos tendenciosos e com maior precisão. FIGUEIREDO et al. (2009) compararam diferentes modelos hipsométricos para estimar a altura de indivíduos em um plantio de diferentes idades com *Pinus taeda* L. na região de Planalto Norte do Estado de Santa Catarina. Os autores concluíram que o modelo de Curtis apresentou os melhores resultados incluindo as variáveis de diâmetro e idade como variáveis independentes. Os valores observados foram: $R^2_{aj.}$: 0,86, $S_{yx}\%$: 11,31%.

A fim de selecionar modelos para a estimativa da altura de indivíduos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze com 14 anos de idade na região Oeste do Estado do Paraná, CALDEIRA et al. (2003) testaram 17 formulações matemáticas. Os autores concluíram que o modelo mais acurado apresentou valor de 0,83 para o $R^2_{aj.}$

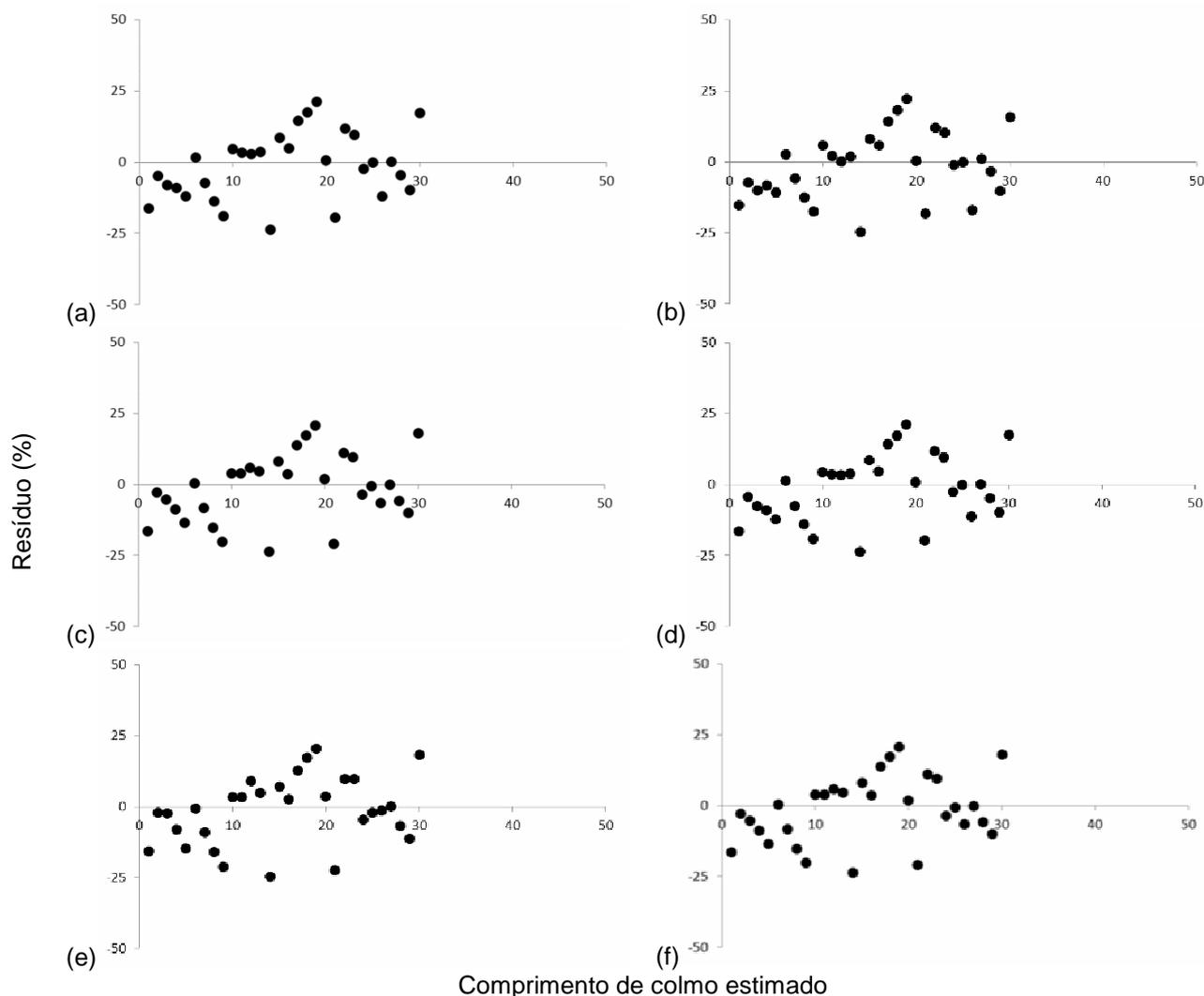


FIGURA 1 – Distribuição gráfica dos resíduos em porcentagem em função da altura estimada. Letras correspondem aos modelos da Tabela 1.

Adicionalmente neste estudo observou-se que, ao ser aplicado o teste de correlação de Pearson, a correlação entre as variáveis de comprimento de colmo e *dap* pode ser considerada moderada ($r=0,6001$), ou seja, com nível médio de associação significância. ADHIKARI & SHRESTHA (2008) observaram coeficiente de correlação em 0,898 para diâmetro de colmo e comprimento de colmo em *Bambusa nutans* no Nepal. São poucos os trabalhos que retratam essa relação em espécies de bambus, particularmente no Brasil.

CONCLUSÕES

- A espécie *Phyllostachys aurea* é considerada uma das mais conhecidas no mundo. No entanto, são raras as análises biométricas sobre a espécie existentes na literatura;
- A correlação entre as duas variáveis analisadas foi significativa, porém de magnitude média;

- Mesmo com valores baixos para o coeficiente de determinação ajustado, os valores do comprimento de colmo estimados se mostraram próximos em relação aos reais. Portanto, as equações aqui ajustadas apresentam-se acuradas;
- Os modelos testados se equipararam em termos de ajuste. O modelo de Campos e Leite foi o que revelou os melhores indicativos de ajuste, embora estes se apresentem apenas com leve vantagem em relação aos demais avaliados.

REFERÊNCIAS

ADHIKARI, R.; SHRESTHA, K. Intraspecific variation of *Bambusa nutans* subspecies nutans from six different site of central Nepal. **Scientific World**, v. 6, n. 6, p. 81-84, 2008.

AZEVEDO, C. P. de; MUROYA, K.; GARCIA, L. C.; LIMA, R. M. B. de; MOURA, J. B. de; NEVES, E. J. M. Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia ocidental. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 39, p. 5-29, 1999.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SCHEEREN, L. W.; WATZLAWICK, L. F. Relação hipsométrica para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze na região Oeste do Estado do Paraná. **Revista Acadêmica**, v. 1, n. 2, p. 79-88, 2003.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 407 p.

CURTIS, R. O. Height diameter and height age equations for second growth Douglas-fir. **Forest Science**, v. 13, n. 4, p. 365-375, 1967.

CRUZ, M. L. S. **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie *Phyllostachys aurea*: Comportamento à flambagem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2002. 122p.

FIGUEIREDO, R.; NASCIMENTO, F. A. F.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MIRANDA, G. M.; ARCE, J. E.; DIAS, A. N. Comparação de modelos para expressar a relação hipsométrica em plantios de *Pinus taeda* L. In: Semana de Integração Ensino, Pesquisa e Extensão. 2009, Irati/PR, **Anais...** Irati/PR, 26 a 30 de out. p. 1-4. 2009.

HENRICKSEN, H. A. Height-diameter curve with logarithmic diameter: brief report on a more reliable method of height determination from height curves, introduced by the State Forest Research Branch. **Dansk Skovforen Tidsskr**, v. 35, p. 193-202, 1950.

INOUE, A. Culm form analysis for bamboo, *Phyllostachys pubescens*. **Journal of Forestry Research**, v. 24, n. 3, p. 525-530. 2013.

LIMA, T. H. R. O Bambu na Área de preservação Permanente do Ribeirão Tranquinho. In: S.O.S Costa de Botucatu. **Ribeirão Tranquinho vivo: mobilização e educação ambiental como instrumentos de gestão ambiental**. São Paulo. p. 39-43, 2008.

LOBOVIKOV, M. PAUDEL, S.; PIAZZA, M.; REN, H.; WU, J. **World bamboo resources: a thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005**. Rome: FAO, 2007. 74p.

MANHÃES, A. P. **Caracterização da cadeia produtiva do bambu no Brasil: Abordagem preliminar**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2008. 32p.

ROCHA, T. B.; CABACINHA, C. D.; ALMEIDA, R. C.; PAULA, A.; SANTOS, R. C. Avaliação de métodos de estimativa de volume para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Planalto da Conquista- BA. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 10, p. 1-13, 2010.

SANQUETTA, M. N. I.; MOGNON, F.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; LOURENCO, A. R. . Equações hipsométricas para obtenção de comprimento de colmo para taquara-lixá (*Merostachys skvortzovii* Sendulsky). In: CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; RODRIGUES, A. L.; MACHADO, S. A.; PÉLLICO NETO, S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; NOGUEIRA, G. S. (Org.). **Atualidades em Mensuração Florestal**. 1ed. Curitiba, v.1, p. 76-79. 2014.

SEAB. **Análise da conjuntura agropecuária safra 2010/11**. Governo do Estado do Paraná, Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Departamento de Economia Rural, 2010, p. 1-9, 2010.

SCURLOCK, J.M.O; DAYTON, D.C.; HAMES, B. Bamboo: an overlooked biomass resource? **Biomass and Bioenergy**, v. 19, n. 4, p. 229-244, 2000.

STOFFELS, A.; SOEST, J. van. The main problems in sample plots. **Ned Bosbouw tijdschr**, v. 25, p. 190-199, 1953.

TROREY, L. G. A. A mathematical method for construction of diameter-height curves based on site. **Forest Chronicle**, v. 8, n. 2, p. 121-132, 1932.