



## PROGNOSE PARA ESTIMATIVA FUTURA DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DE COM USO DE DENDROMETRO DIGITAL

Esthevan Augusto Goes Gasparoto<sup>1</sup>, Emily Tsiemi Shinzato<sup>1</sup>, Maycow Lucas Dutra  
Gomes Berbert<sup>1</sup>, Lucas Kröhling Bernardi<sup>1</sup>, Karlmer Abel Bueno Corrêa<sup>1</sup>

1 Treevia Forest Technologies, São José dos Campos, SP, Brasil. E-mail: esthevan@treevia.com.br;  
emily@treevia.com.br; maycow.berbert@treevia.com.br; lucas.bernardi@treevia.com.br;  
karlmer.correa@treevia.com.br  
Autor correspondente: Lucas Kröhling Bernardi. E-mail: lucas.bernardi@treevia.com.br.

### RESUMO

A classificação de sítio é uma das formas de se modelar a capacidade de produtividade dos plantios. Para possibilitar a modelagem dessas variáveis, o cenário ideal é que seja feita a coleta de dados de inventário florestal contínuo, com parcelas permanentes realizando a remedição dessas parcelas em diferentes períodos no tempo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação dos dendrômetros digitais da Treevia Forest Technologies na prognose da produção em povoamentos de *Eucalyptus grandis* comparando os dados estimados com os dados reais mensurados mensalmente por mais um ano após o ajuste dos modelos. Após um ano, o modelo de prognose apresentou erros de -0,7% na estimativa dos diâmetros do talhão 1, -2,3% para o talhão 2 e 0,7% para o talhão 3.

**Palavras-chave:** Índice de sítio; Internet das coisas; inventário florestal; SmartForest

### *PROGNOSIS FOR FUTURE ESTIMATION OF DENDROMETRIC VARIABLES USING A DIGITAL DENDROMETER*

#### *ABSTRACT*

*Site index classification is one way to model the productivity capacity of plantations. To model these variables, the ideal scenario is to collect data from a continuous forest inventory, with permanent plots being remeasured at different periods in time. The objective of this study was to evaluate the application of Treevia Forest Technologies' digital dendrometers to predict the production of Eucalyptus grandis stands by comparing estimated data with actual data measured monthly for one more year after model fitting. After one year, the prediction model presented errors of -0.7% in the estimate of diameters in plot 1, -2.3% for plot 2, and 0.7% for plot 3.*

**Key words:** Site index; Internet of things; forest inventory; SmartForest

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



### INTRODUÇÃO

É de suma importância para o gerenciamento de plantios florestais conhecer aspectos que influenciam no desenvolvimento dos povoamentos. Além de fatores intrínsecos à espécie como velocidade de crescimento e resistência a pragas, ou mesmo a idade, fatores como tratamentos silviculturais, características edafoclimáticas e topográficas também influenciam na produtividade por hectare tanto em área basal ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ) como em volume de madeira ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ). Essa influência na produtividade pode ser modelada com o objetivo de realizar a prognose da produção florestal (Scolforo, 1998).

Em empreendimentos florestais, o fator localização (ou sítio) é uma das variáveis que tem forte relação com a produtividade desses povoamentos. A classificação de sítio é uma das formas de se modelar a capacidade de produtividade dos plantios, sendo muito comum o uso da altura dominante para modelar a produção futura pela sua forte correlação com o volume do sítio em idades futuras (Campos & Leite, 2013).

Dentre as técnicas para construir curvas de índices de sítio, as mais utilizadas e viáveis são: o método da Curva Guia, o método da Diferença Algébrica e o método da Predição de Parâmetros (Clutter *et al.*, 1983).

Para possibilitar a modelagem dessas variáveis, o cenário ideal é que seja feita a coleta de dados de inventário florestal contínuo, com parcelas permanentes realizando a remedição dessas parcelas em diferentes períodos no tempo. Empresas de tecnologia florestal vem desenvolvendo ferramentas e metodologias que facilitam esse tipo de amostragem, como os dendrômetros digitais desenvolvidos pela startup brasileira Treevia, que realiza a coleta dos diâmetros de forma automática com medições diárias. Essa inovação gera uma quantidade de dados que antes parecia inviável obter, contribuindo para a modelagem da prognose no setor florestal.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação dos dendrômetros digitais da Treevia Forest Technologies na prognose da produção em povoamentos de *Eucalyptus grandis* comparando os dados estimados por classificação de sítio pelo método da diferença algébrica e modelo de prognose que utilizam índice de sítio com os dados reais mensurados pelos dendrômetros.

### MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados do estudo é proveniente de parcelas permanentes em plantios de *Eucalyptus grandis* dos 139 meses aos 163 meses de idade, localizado na cidade de Mariscal, na região sudeste do Uruguai, a 180 km da capital Montevideo.

Foram lançadas, sistematicamente, 60 amostras permanentes divididas em três talhões com áreas de 15,04 ha, 20,75 ha e 24,1 ha, sendo lançadas 16, 21 e 23 amostras, respectivamente, nos talhões 1, 2 e 3 (Figura 1).

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal



**Figura 1.** Croqui do lançamento sistemático de parcelas nos 3 talhões de *Eucalyptus grandis*.

Nas amostras foram instalados dendrômetros da Treevia que são sensores IoT que realizam o monitoramento do diâmetro a 1,30m do solo (D) automaticamente e diariamente (Figura 2). Os dados coletados pelos dendrômetros foram processados dentro do ambiente do *software* SmartForest de propriedade da Treevia que se utiliza das linguagens de programação R e F# em *Back-end* e JavaScript com Vue.js em *Front-end* para o ajuste e aplicação da prognose (Figura 3).



**Figura 2.** Sensores IoT da Treevia Forest Technologies.



**Figura 3.** Captura da tela de ajuste dos modelos de classificação de sítio do software SmartForest

A variável selecionada para classificação de sítio foi o diâmetro máximo aos 150 meses (idade de referência) e a prognose foi realizada para as medidas de diâmetro a 1,30 m do solo (D) nas

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

amostras. Os modelos foram ajustados utilizando uma série histórica de 12 meses de observação diária da florestal abrangendo o período de maio/2021 até maio/2022. As estimativas foram geradas para os próximos 12 meses (maio/2022 até maio/2023) e comparadas mensalmente com as leituras reais dos dendrômetros (valor de referência). As curvas de sítio foram construídas pelo método da diferença algébrica, com o modelo de Schumacher Polimórfico (Equação 1) e o D médio na idade futura foi estimado pelo modelo de área basal de Clutter (1963) (Equações 2 e 3). Os resultados da prognose foram comparados com os dados mensurados em campo pelos dendrômetros.

$$S = D_{max_2} = \beta_1 \left( \frac{D_{max_1}}{\beta_1} \right)^{\left( \frac{I_1}{I_2} \right)} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Em que:  $S$  = índice de sítio (D máximo na idade de referência – 150 meses),  $D_{max_1}$  = D máximo na idade presente ( $m^2 ha^{-1}$ ),  $I_1$  = idade presente (meses),  $I_2$  = idade futura (meses),  $\beta_1$  = parâmetro da regressão;  $\varepsilon_i$  = erro aleatório do modelo

$$\ln D_2 = \beta_1 + \frac{\beta_2}{I_2} + \beta_3 S + \beta_4 \ln G_2 + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$G_2 = \ln G_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \beta_5 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_6 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S + \varepsilon_i \quad (3)$$

Em que:  $D_2$  = D médio na idade futura;  $\beta_i$  = parâmetros da regressão;  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $G_2$  = área basal futura ( $m^2 ha^{-1}$ ).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 se encontram os parâmetros dos modelos de Schumacher Polimórfico ajustado para estimativa de índice de sítio pelo D máximo a 150 meses de idade, e do modelo de Clutter ajustado para prognose dos dados de D médio e área basal para idades futuras.

**Tabela 1.** Parâmetros estimados para os modelos de Schumacher Polimórfico e Clutter.

Equação	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$\widehat{\beta}_3$	$\widehat{\beta}_4$	$\widehat{\beta}_5$	$\widehat{\beta}_6$
1	67,665					
2	$1,373 \times 10^9$	$-3,923 \times 10^7$	-0,13561	0,9999		
3					$4,649 \times 10^{13}$	$-1,328 \times 10^{12}$

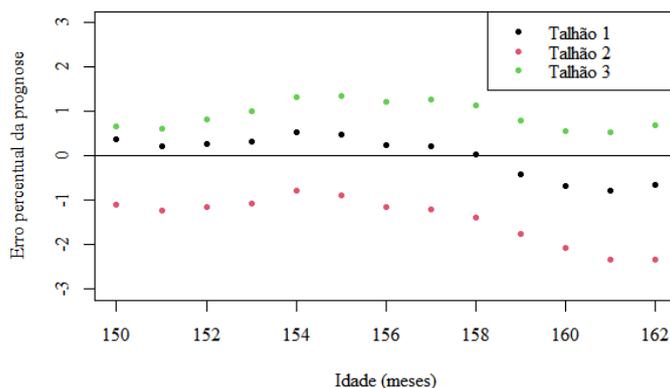
Na Tabela 2 é apresentada a comparação entre a média das estimativas dos diâmetros a média dos valores reais coletados com os sensores IoT ao final de 1 ano.

**Tabela 2.** Comparação entre D médio real e D médio estimado pelo modelo de prognose para os talhões 1, 2 e 3.

Talhão	D médio real	D médio estimado	Erro percentual médio
1	34,3146	34,0979	-0,6430 %
2	34,0549	33,2906	-2,3187 %
3	33,6950	33,9300	0,7041 %

O modelo de prognose resultou em estimativas de diâmetro médio próximas ao diâmetro médio real após 12 meses, com erro médio de -0,753%, entretanto ao observar o comportamento dos resíduos dessas estimativas observa-se que há um comportamento cíclico gerado pelo crescimento desuniforme das árvores ao longo do ano devido a fatores externos como clima, por exemplo (Figura 4).

## VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal



**Figura 4.** Gráfico de resíduos para as estimativas de diâmetro médio em idades futuras geradas pelo modelo de Clutter em comparação com os dados reais mensurados pelos dendrômetros da Treevia.

O resultado do comportamento dos resíduos sugere o fato de que a abordagem estatística tradicional aplicada atualmente para a realização da prognose no setor florestal pode não ser a mais adequada para o conjunto e quantidade de dados que os dendrômetros digitais com mensurações diárias oferecem. Sugere-se que novos estudos sejam feitos com o uso de dendrômetros digitais com monitoramento diário visando a aplicação de técnicas mais robustas de modelagem desenvolvidas para um grande volume de dados longitudinais, tais como séries temporais a fim de prever o efeito cíclico do clima e outros fatores externos sobre o crescimento da floresta, diminuindo ainda mais o erro das estimativas ao longo do tempo.

### CONCLUSÃO

Os dendrômetros digitais da Treevia Forest Technologies representam a abertura de portas para uma série de análises que antes eram muito onerosas, como a mensuração diária de árvores para modelagem da produção futura, considerando ainda efeitos sazonais, como estações do ano, pluviosidade e temperatura.

As medições realizadas pelos dendrômetros ao longo de 12 meses foram suficientes para estimar o diâmetro das árvores ao final de outros 12 meses com erros médios inferiores a 1%.

Novos estudos são necessários com foco em modelagem de dados longitudinais para mitigar efeitos do clima e prever o comportamento cíclico do crescimento das florestas com objetivo de prever as variáveis dendrométricas com precisão de forma mensal ou até diária para qualquer idade futura da floresta.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Campos, J. C. C.; Leite, H. G. **Mensuração florestal** - perguntas e respostas. 4.ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. 605p.

Clutter, J. L. Compatible growth and yield for loblolly pine. **Forest Science**, v.9, n.3, p.354-371, 1963. Disponível em: [https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/1963/ja\\_1963\\_clutter\\_001.pdf](https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/1963/ja_1963_clutter_001.pdf). Acesso em: 15 Jul. 2023.

Clutter, J. L.; Fortson, J. C.; Pienaar, L. V.; Brister, G. H.; Bailey, R. L. **Timber management: a quantitative approach**. New York: Editora Wiley, 1983, 333p.

Scolforo, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: Editora da UFLA, 1998. 441p.