

Modelo *Sinh-Arcsinh original* (SHASHo) aplicado ao Volume (m^3) de *Eucalyptus* spp.

Rayane S. Leite^{1†}, Ana Patricia B. Peixoto², Kerolly K. F. Nascimento³, Diego A. Gomes⁴, André Luiz P. Santos⁵, Fábio S. Santos⁶, José Antônio A. Silva⁷, Tiago A. Oliveira⁸

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE.

² Universidade Estadual da Paraíba-UEPB. E-mail: anapatricia@cct.uepb.edu.

³ Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE. E-mail: kerollyfn@gmail.com.

⁴ Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE. E-mail: diegoalvesestatistica@gmail.com.

⁵ Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE. E-mail: andredefensor@hotmail.com.

⁶ Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE. E-mail: fabio.sandropb@gmail.com.

⁷ Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE. E-mail: jaaleixo@gmail.com.

⁸ Universidade Estadual da Paraíba-UEPB. E-mail: tadolive@cct.uepb.edu.br.

Resumo: Quando se refere a plantio de florestas energéticas é interessante conseguir detectar o estoque dessas. A distribuição do volume é uma ferramenta que indica o estoque de produção. Diante disto, objetivou-se a realização do presente trabalho para modelar a produtividade de três clones de *Eucalyptus* spp. em cinco espaçamentos distintos por meio do Volume (m^3), plantados no Polo Gesseiro do Araripe - Pernambuco, testou-se os modelos da classe Modelos Aditivos Generalizados para Localização, Escala e Forma (GAMLSS) que compreende uma vasta série de distribuições para variável resposta que agregam funções de suavização e modelos flexíveis capazes de fazer uma melhor descrição da realidade. E selecionar as melhores equações com base no critério de Akaike generalizado (GAIC), pelas análises gráficas dos resíduos, gráfico worm plot. Verificou-se que sob o modelo *Sinh-Arcsinh original* (SHASHo) encontrou-se o melhor ajuste e que por meio do teste de Tukey em média o clone 3 nos espaçamentos 4 e 3 propiciou um maior estoque de Volume (m^3).

Palavras-chave: Ensaio Fatorial; Florestas Plantadas; Modelagem Estatística.

Abstract: When it comes to planting energetic forests it is interesting to be able to detect the stock of these. Volume distribution is a tool that indicates the production stock. In view of this, the objective of this work was to model the productivity of three *Eucalyptus* spp. in five different spacings through the Volume (m^3), planted at the Araripe-Pernambuco Goliath Polo, we tested the models of the Generalized Additives Models for Locations, Scale and Shape (GAMLSS) models that comprise a wide range of distributions for variable response which add smoothing functions and flexible models capable of better describing reality. And select the best equations based on the generalized Akaike criterion (GAIC), by graphic analysis of the residuals, graph worm plot. It was verified that under the *Sinh-Arcsinh original* model (SHASHo) the best fit was found and that by means of Tukey's test, clone 3 in the 4 and 3 spacings provided a higher Volume stock (m^3).

Keywords: Factor Assay; Planted Forests; Statistical Modeling.

[†]Autor correspondente: rayfeirreiraleite@gmail.com.

Introdução

O reflorestamento com espécies de rápido crescimento com fins energéticos é de grande importância para a região do Polo Gesseiro do Araripe (ALVES, 2007), dado a exploração descontrolada desse recurso que se reflete em um desequilíbrio ambiental desse domínio fitogeográfico. Ligado a esse fator, nasce a necessidade de um planejamento energético com alta eficiência nessa região para atender a demanda da produção de gesso (GADELHA, 2010).

A implantação de florestas com elevados índices de crescimento, como as florestas do gênero *Eucalyptus*, constituem uma alternativa viável para abrandar a exploração da vegetação da Caatinga, reduzindo impactos sobre essas florestas nativas em função da oferta de madeira em maior volume em menor espaço temporal (PIERRO, 2015; PINTO et al., 2014).

Utilizar a correta modelagem estatística para selecionar os clones que mais produzam na região é de grande importância para a implementação com sucesso de florestas plantadas energéticas. Dentre as técnicas de modelagem, a análise de regressão tem sido amplamente utilizada para modelar fenômenos biológicos, e suas diversas modalidades tem conseguido descrever o fenômeno com acurácia e precisão. Com o intuito de viabilizar modelos com pressupostos mais flexíveis na especificação da distribuição da variável resposta, Rigby e Stasinopoulos (2005) introduziram os Modelos Aditivos Generalizados para Localização, Escala e Forma (*Generalized Additive Models for Location, Scale and Shape - GAMLSS*), técnica essa que, consegue reunir um grupo de modelos lineares e não-lineares, modelos lineares generalizados (*Generalized Linear Model - GLM*) (NELDER; WEDDERBURN, 1972), modelos aditivos generalizados (GAM) (HASTIE; TIBSHIRANI, 1990) e modelos mistos.

De modo genérico os GLM dispõem de duas mudanças relacionadas ao modelo de regressão linear (MRL) que são cruciais para a compreensão dos GAMLSS. Uma é a flexibilidade da distribuição da variável resposta que abrange não só a Normal, mas também uma classe qualquer uma distribuição que pertença da família exponencial. Outra é a função de ligação para modelar a relação entre $E(\mathbf{Y})$ e as variáveis explicativas.

Assim, os GAMLSS proporcionam o ajuste de modelos que admitem inúmeras distribuições para a variável resposta, sem pertencer obrigatoriamente à família exponencial e a quantificação volumétrica é um importante parâmetro a ser avaliado nas florestas de rápido crescimento. A modelagem é uma ferramenta que permite caracterizar a estrutura da floresta e representar o crescimento ao longo do tempo. O objetivo deste trabalho foi de modelar a produtividade dos clones em diferentes espaçamentos por meio do Volume (m^3) de *Eucalyptus* spp., plantados no Polo Gesseiro do Araripe - Pernambuco, utilizando Modelos da classe GAMLSS a dados assimétricos e comparar o ajuste deste com o modelo linear sob distribuição normal e ainda com o modelo linear generalizado.

Material e Métodos

Modelos Aditivos Generalizados para Localização, Escala e Forma (GAMLSS)

Rigby e Stasinopoulos (2005) propuseram a classe de modelos de regressão denominada GAMLSS - Modelos Aditivos Generalizados para Localização, Escala e Forma, admitindo o

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 418-426, 2019.

64^a Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO).

ajuste de modelos em que a distribuição da variável resposta não necessariamente segue distribuição da família exponencial, propondo uma substituição por uma família de distribuição geral. No GAMLSS, a parte sistemática do modelo é expandida para permitir modelar não apenas a média, mas todos os parâmetros de localização, escala e forma da distribuição da variável resposta, de modo, que todos esses parâmetros permitem ser modelados em função das variáveis explicativas e, ainda, os preditores também podem inserir funções não-paramétricas de suavização, efeitos aleatórios, ou outros termos aditivos, ou seja, os GAMLSS são modelos de regressão semi-paramétricos. A parte paramétrica, por requerer a suposição de distribuição para a variável resposta, e semi-paramétricos no sentido de que permitem a modelagem dos parâmetros da distribuição, como funções de variáveis explicativas, por meio de funções de suavização não-paramétricas. Esta nova categoria de modelos, os GAMLSS dispõem dos modelos MRL, GLM e GAM como casos especiais. Entretanto estes modelos ainda pressupõem que as observações da variável resposta Y sejam independentes entre si.

A forma geral do modelo GAMLSS é dado por,

$$\begin{aligned}
 Y &\overset{ind}{\sim} D(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\sigma}, \boldsymbol{\nu}, \boldsymbol{\tau}) \\
 \eta_1 &= g_1(\boldsymbol{\mu}) = \mathbf{X}_1\beta_1 + s_{11}(\mathbf{x}_{11}) + \dots + s_{1J_1}(\mathbf{x}_{1J_1}) \\
 \eta_2 &= g_2(\boldsymbol{\sigma}) = \mathbf{X}_2\beta_2 + s_{21}(\mathbf{x}_{21}) + \dots + s_{2J_2}(\mathbf{x}_{2J_2}) \\
 \eta_3 &= g_3(\boldsymbol{\nu}) = \mathbf{X}_3\beta_3 + s_{31}(\mathbf{x}_{31}) + \dots + s_{3J_3}(\mathbf{x}_{3J_3}) \\
 \eta_4 &= g_4(\boldsymbol{\tau}) = \mathbf{X}_4\beta_4 + s_{41}(\mathbf{x}_{41}) + \dots + s_{4J_4}(\mathbf{x}_{4J_4})
 \end{aligned} \tag{1}$$

em que, $D(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\sigma}, \boldsymbol{\nu}, \boldsymbol{\tau})$ é uma distribuição de quatro parâmetros, $\boldsymbol{\mu}$ normalmente é um parâmetro de localização, $\boldsymbol{\sigma}$ é constantemente, um parâmetro de escala, $\boldsymbol{\nu}$ e $\boldsymbol{\tau}$ são os parâmetros de forma da distribuição, comumente associados à assimetria e curtose, respectivamente. e são as matrizes que podem ou não coincidir, ou melhor, o preditor de cada parâmetro da distribuição recebe diferentes variáveis explicativas (RIGBY; STASINOPOULOS, 2005).

Na função 1 que descreve o modelo GAMLSS com a máxima quantidade de parâmetros implementados no software R (R Core Team, 2017), que de modo teórico, ainda é possível admitir uma distribuição de probabilidade para a variável resposta com mais de quatro parâmetros, inserindo mais preditores no modelo. Além disso, nos permite é definir modelos intermediários para distribuições com dois ou três parâmetros e ajustar σ e/ou ν em função de covariáveis, bastando considerando diminuir a quantidade de preditores. Esta configuração da distribuição $D(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\sigma}, \boldsymbol{\nu}, \boldsymbol{\tau})$ é geral e somente implica que a distribuição deve estar na configuração paramétrica. O pacote `gamlss` (STASINOPOULOS; RIGBY, 2007) implementado exclusivamente no software R, apresenta cerca de 200 distribuições discretas, contínuas e mistas implementadas na família GAMLSS, integrando algumas distribuições exclusivamente assimétricas, platicúrticas ou leptocúrticas. Também permite implementar uma nova distribuição à critério do pesquisador.

Vale enfatizar, que para cada parâmetro pode ser atribuído obter uma função de ligação diferente. A função de ligação utilizada aplicada em cada preditor, como propôs Rigby e Stasinopoulos (2005) está relacionada associada à amplitude dos valores dos parâmetros, o que difere de como era é definido no GLM, pois a função de ligação apresenta-se mais relacionada à distribuição selecionada escolhida para a variável resposta. Em se tratando das mesmas funções de ligação, em GAMLSS, a ligação identidade é escolhida quando o parâmetro apresenta valores entre $(-\infty, \infty)$, logarítmica para $(0, \infty)$ e logística para $(0, 1)$.

As variáveis explicativas podem atingir os parâmetros da distribuição de diversas maneiras. Os GAMLSS permitem ajustes por meio de funções paramétricas lineares ou não lineares, e funções não-paramétricas (STASINOPOULOS et al., 2017).

Localização do Experimento

Os dados utilizados no presente trabalho são oriundos de um experimento relativo a clones de *Eucalyptus* spp. que foi instalado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizado na Chapada do Araripe, município de Araripina, com coordenadas geográficas entre 07°27'37"S e 40°24'36"W com altitude de 831 metros e solos definidos como latossolo amarelo + latossolo vermelho-amarelo (GOUVEIA et al., 2015).

O clima é caracterizado do tipo BshW', semiárido, com chuvas de verão, com temperatura média de 25°C, segundo classificação de Köppen. A precipitação média anual é aproximadamente de 700 mm, com concentração de 70% entre os meses de dezembro e março (ROCHA, 2012).

Caracterização do experimento

O experimento teve sua implantação no início do mês de março de 2010, as quais foram medidas semestralmente de 2010 à 2017, totalizando um povoamento de 84 meses em uma área de 1,7 ha, 76 parcelas com dimensão (14m x 21m) e área de 294 m², contendo 49 plantas em cada parcela e 25 na área útil. Neste experimento foram utilizados 3 clones de híbridos de eucaliptos (Tabela 1), plantados nos cinco espaçamentos (2m x 1m; 2m x 2m; 3m x 2m; 3m x 3m e 4m x 2m), com quatro repetições, em um esquema de tratamentos fatorial 3x5, três clones combinados com 5 espaçamento.

Tabela 1: Descrição dos Clones de *Eucalyptus* spp. do experimento no Polo Gesseiro do Araripe.

Clone	Descrição
C1	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i>
C2	Híbrido de <i>Eucalyptus brassiana</i>
C3	Híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i>

Os clones foram provenientes de cruzamento natural. Fonte: A autora.

As variáveis coletadas foram: altura total (Ht), diâmetro altura do peito ($DAP = CAP/\pi$) em que a circunferência a altura do peito (CAP) igual ou superior a 6 cm e Volume ($Vol.m^3$) de todas as plantas úteis das parcelas. Se calcula o volume para todas as seções de fuste meio da fórmula de Smalian (SILVA; NETO, 1979) dada expressão:

$$v_i = \frac{g_1 + g_2}{2} \cdot l,$$

o volume total se dá por:

$$V_i = \sum_{i=1}^n v_i,$$

em que:

Sigmae, Alfenas, v.8, n,2, p. 418-426, 2019.

64^a Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônoma (SEAGRO).

V_i = Volume da árvore i (m^3);
 v_i = Volume da tora i (m^3);
 g_1 = Área basimétrica no início da tora (m^2);
 g_2 = Área basimétrica no fim da tora (m^2);
 l = Comprimento da tora (m).

À vista disso, o volume do fuste se dá pelo somatório do volume de todas as toras e a área basimétrica calculou-se via a seguinte expressão,

$$g_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

em que,

d = diâmetro da tora (m).

O presente experimento, utilizou 3 tratamentos representados por clones de híbridos de eucaliptos (Tabela 1) e quatro repetições, determinado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) expressa como:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_j + \tau E_{ij} + \sigma \varepsilon_{ij},$$

em que, Y_{ij} é o valor observado do tratamento i , μ representa o efeito da média geral, τ_i é o efeito do tratamento i , E_j o efeito do Espaçamento j e τE_{ij} o efeito de interação do tratamento i com o espaçamento j e $\varepsilon_{ij} \sim SHASHo(\mu, \sigma, \nu, \tau)$ que configuram os efeitos do fator não controlado do ensaio experimental, com $i = 1, \dots, I$ e $j = 1, \dots, J$ e I representa o número de tratamentos e J o número de repetições.

O software utilizado para as análises foi o R (versão 3.5.1). Uma das diversas distribuições GAMLSS que foram ajustadas foi a *Sinh-Arcsinh* original sob o modelo ajustado aos dados de Volume (Vol m^3) *Eucalyptus* spp. A densidade da *Sinh-Arcsinh* original é dada por,

$$f_{\varepsilon, \delta}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\delta C_{\varepsilon, \delta}(x)}{\sqrt{1+x^2}} \exp \left\{ \frac{1}{2} S_{\varepsilon, \delta}^2(x) \right\}$$

em que, $C_{\varepsilon, \delta}(x) = \cosh(\varepsilon + \delta \sinh^{-1}(x)) = \sqrt{1 + S_{\varepsilon, \delta}^2(x)}$. Maiores detalhes em Jones e Pewsey (2008). Por meio do pacote BSagri (SCHAARSCHMIDT, 2010) foi realizado o teste de Tukey para a interação.

Resultados e Discussão

Inicialmente foi realizado o estudo descritivo por meio dos gráficos boxplot (Figura 1(b), (c) e (d)) e histograma (Figura 1(a)) aos dados de Volume (m^3) de *Eucalyptus* spp., e desta forma foi possível observar um comportamento igualitário entre os clones e diferenciado em relação as medias dos espaçamentos (Figura 1b e c), com maior valor de volume para o espaçamento três. De acordo com a Figura 1(a), os dados de Volume (m^3) de *Eucalyptus* spp. apresentam-se assimétricos à direita, indicando que uma distribuição simétrica pode não ser indicada para descrever os dados em estudo.

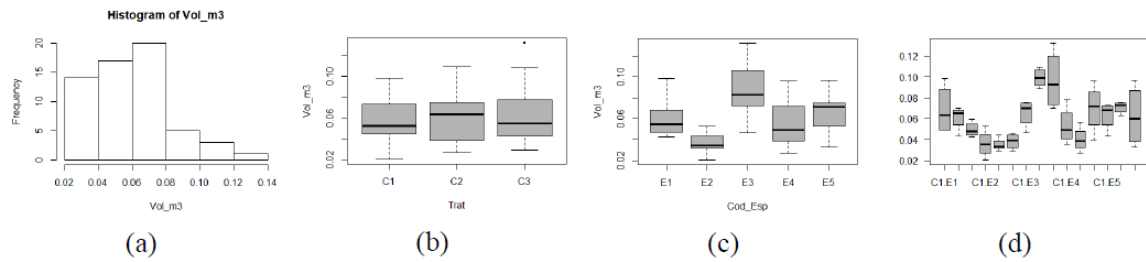


Figura 1: Histograma do Volume em m^3 de *Eucalyptus* spp. e Boxplots para os Clones, Espaçamentos e Interação entre Clones e Espaçamentos para o Volume em m^3 de *Eucalyptus* spp. Fonte: A autora

Macera (2011) relatou assimetria nos dados de clones de *Eucalyptus* sp.. Diversas abordagens já foram utilizadas para poder corrigir ou amenizar assimetrias. Fontenele (2016) procedeu com transformação de dados, outros autores como Hess et al. (2009) utilizaram a distribuição Gama sob a ótica dos MLG, obtendo bons resultados para a altura da planta de Eucalipitos. Diante destes resultados, optou-se por ajustar um modelo sob distribuição normal, GLM com distribuição Gama e diversos modelos da classe GAMLSS, no qual de acordo com o critério GAIC utilizado pela função *fitDist* do pacote GAMLSS, a distribuição *Sinh-Arcsinh* original (SHASHo) foi uma das melhores candidatas a modelar os dados de Volume (m^3) de *Eucalyptus* spp. dentro da classe GAMLSS e forte candidata quando comparada ao GLM e ML. Os valores de GAIC, das distribuição Normal - ML (-279,82), Gama - GLM (-284,92) e SASHo - GAMLSS (-273,57). Fato este corroborado quando ajustado o modelo sob distribuição Normal, Gama e o modelo sob distribuição SASHo, com os efeitos principais e de interação ajustados, no qual este último obteve melhor ajuste (menor valor de GAIC - Normal (-305,23), Gama (-312,92), SASHo (-316,67). A adequacidade foi confirmada pelo gráfico da Figura 2 e pela Tabela 2.

Tabela 2: Resumo das estatísticas dos momentos da distribuição *Eucalyptus* spp. no modelo *Sinh-Arcsinh* original (SHASHo) para o Volume (m^3) de *Eucalyptus* spp.

Estatísticas	Momentos
Média	-0,0477
Variância	1,0840
Coeficiente de Assimetria	0,1806
Coeficiente de Curtose	2,1208
Coeficiente de Correlação de Filliben	0,9887

Fonte: A autora

Por meio da Tabela 3, percebe-se que as estatísticas calculadas a partir da SHASHo foram próximas aos valores de uma distribuição simétrica. A única estimativa que ficou mais afastada dos valores teóricos de uma curva de sino, foi o coeficiente de curtose que foi diferente de 3 unidades. Pelo gráfico da Figura 2, percebe-se uma leve assimetria (figura 2a), mas com os resíduos se comportando de maneira aleatória. No *worm plot* (figura

2b) os resíduos se mantiveram dentro das bandas de confiança, não indicando nenhuma violação que leve a descartar a distribuição SHASHo.

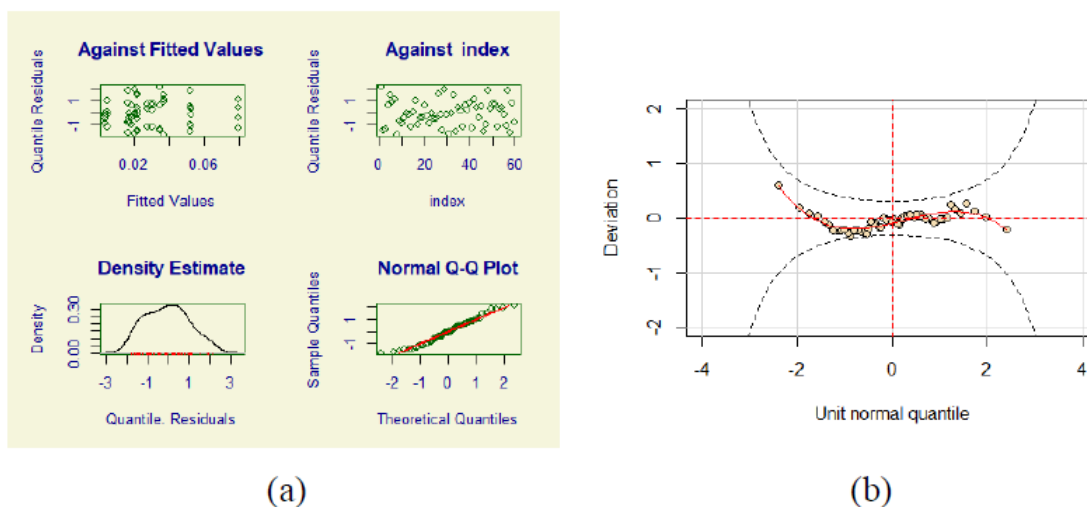


Figura 2: Box-Cox da transformação da variável volume. Fonte: A autora

Após a escolha da distribuição SASHo para modelar os dados de Volume (m^3), foi verificado que a interação foi significativa pelo teste de Wald. Desta forma, foi realizado o desdobramento da interação (Tabela 2), utilizando o teste de Tukey ao nível de 5% para as comparações dentro de Clone variando Espaçamentos e dentro de Espaçamento variando os Clones.

Tabela 3: Comparação de médias dos efeitos de interação entre Espaçamento e Clones para o Volume (m^3) de *Eucalyptus* spp. no modelo *Sinh-Arcsinh* original (SHASHo).

Clones	Espaçamentos				
	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>E5</i>
<i>C1</i>	0,0683 ^{aA}	0,0361 ^{aA}	0,0655 ^{aA}	0,0530 ^{aB}	0,0630 ^{aA}
<i>C2</i>	0,0609 ^{aA}	0,0350 ^{aA}	0,0990 ^{aA}	0,0400 ^{aB}	0,0709 ^{aA}
<i>C3</i>	0,0495 ^{bcA}	0,0383 ^{bcA}	0,0966 ^{aA}	0,0698 ^{abA}	0,0623 ^{abA}

As médias seguidas da mesma letra minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância; Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Fonte: A autora.

Tanto o C1 como o C2, suas médias de Volume (m^3) não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey, dentro dos cinco espaçamentos considerados. Com relação ao C3, este obteve melhor resultado no espaçamento 3 e pior resultado nos espaçamentos 1 e 2. Quando fixou-se os espaçamentos percebeu-se que apenas no espaçamento 4 houve diferença estatística pelo teste de Tukey entre as médias de Clones, sendo que o C3 foi melhor que os demais, não havendo mais diferenças significativas dentro dos outros espaçamentos.

Conclusão

O uso dos modelos GAMLSS foi bastante competitivo para modelar dados assimétricos de Volume (m^3) de *Eucalyptus* spp. sendo uma metodologia que deve ser considerada nas mais diversas áreas de aplicação da estatística. O C3 foi melhor no Espaçamento 4 e o Espaçamento 3 propiciou o melhor rendimento de Volume (m^3).

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, Departamento de Estatística e Informática (Deinfo/UFRPE), Departamento de Estatística (UEPB).

Referências bibliográficas

ALVES, A.M.C. *Quantificação da produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de Eucalipto, no pólo gesseiro do Araripe-PE*. 75 p. Dissertação (Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciências Florestais, 2007.

GADELHA, F.H.L. *Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de Eucalyptus urophylla (Cruzamento Natural) e Eucalyptus brassiana (Cruzamento Natural) na chapada do Araripe-PE*. Dissertação (Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciências Florestais, 65p., 2010.

GOUVEIA J.F.; DA SILVA, J.A.A.; LUIZ, R.; GADELHA, F.H.L. Modelos Volumétricos mistos em clones de *Eucalyptus* no polo gesseiro do Araripe, Pernambuco. *Floresta*, v.45, n.3, p.587-598, 2015.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R. *Generalized additive models*. [S.l.]: Wiley Online Library, 1990.

HESS, A.F.; CIANORSCHI, L.D.; SILVESTRE, R.; SCARIOT, R.; RICKEN, P. Aplicação dos modelos lineares generalizados para estimativa do crescimento em altura. *Pesquisa Florestal Brasileira*. v.35, n.84, p.427-433, 2015.

JONES, M.C., PEWSEY, A. Sinh-arcsinh distributions: a broad family giving rise to powerful tests of normality and symmetry. Technical Report 08/06, *The Open University, Department of statistics*.
<http://statistics.open.ac.uk/TechnicalReports/TechnicalReportsIntro.htm>. 2008.

MACERA, M.H.C. *Uso dos métodos clássico e bayesiano para os modelos não-lineares heterocedásticos simétricos*. Dissertação (Ciências de Computação e Matemática Computacional) - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

Sigmae, Alfenas, v.8, n,2, p. 418-426, 2019.

64^a Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

- NELDER, J.A.; WEDDERBURM, R.W.M. Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society*, v.135, n.3, p.370-384, 1972.
- PIERRO, B. Modos de restaurar as florestas. *Pesquisa FAPESP*, v.238, p.32-35, 2015.
- PINTO, D.S.; RESENDE, R.T.; MESQUITA, A.G.G.; ROSADO, A.M.; CRUZ, C.D. Seleção precoce para características de crescimento em testes clonais de *Eucalyptus*. *Scientia. Forestalis*, Piracicaba, v.42, n.102, p.251-257, 2014.
- R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for statistical Computing, Vienna, Austria. 2018. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- ROCHA, K.D. *Produtividade volumétrica de clones de Eucalyptus spp. Na região do Pólo gesseiro do Araripe*. Tese (Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciências Florestais, 111 p., 2012.
- RIGBY, R.A.; STASINOPOULOS, D.M. Generalized additive models for location, scale and shape. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, Wiley Online Library, v.54, n.3, p.507-554, 2005.
- SCHAARSCHMIDT, F. *BSagri: statistical methods for safety assessment in agricultural field trials*. R package, version 0.1-6. 2010.
- SILVA, J.A.A.; NETO, F.P. Princípios básicos de dendrometria. Recife, PE: *Imprensa Universitária da UFRPE*, 1979. 191p.
- STASINOPOULOS, D.M.; RIGBY, R.A. Generalized additive models for location scale and shape (gamlss) in r. *Journal of Statistical Software*, v.23, n.7, p.1-46, 2007.
- STASINOPOULOS, M.D.; RIGBY, R.A.; HELLER, G.Z.; VOUDOURIS, V.; DE BASTIANI, F. *Flexible Regression and Smoothing: Using GAMLSS in R*. [S.l.]: CRC Press, 2017.