



ÍNDICES DE COMPETIÇÃO DEPENDENTES DA DISTÂNCIA PARA *Araucaria angustifolia* EM SÃO JOÃO DO TRIUNFO – PR

M. Minatti*, C. R. Sanquetta, S. P. Netto, A. P. D. Corte

UFPR - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal Agronomia, Curitiba, PR, Brasil.

Article history: Received 02 July 2019; Received in revised form 18 July 2019; Accepted 25 July 2019; Available online 30 September 2019.

RESUMO

O comportamento do crescimento específico das espécies de cada região, aliado aos fatores do ambiente, possibilitam reconhecer e visualizar em conjunto ou individualmente as características das árvores, permitindo relacionar sua capacidade produtiva com a competição, colaborando para a tomada de decisão nas intervenções das florestas. O objetivo deste trabalho foi analisar e comparar a competição das árvores da espécie *Araucaria angustifolia* em nível de indivíduos, dependente da distância, para compreender o seu crescimento. Os dados deste estudo foram mensurados em parcelas permanentes localizadas em São João do Triunfo, Paraná. Os índices de competição foram avaliados pela correlação de Pearson com o diâmetro à altura do peito das árvores amostradas e ajustado modelos do diâmetro à altura do peito em função dos índices de competição. Os resultados obtidos revelaram que não houve diferença significativa de crescimento em diâmetro entre as parcelas Araucária e Fogo. O Índice de Moore foi o que apresentou melhor correlação de Pearson (0,8831 na parcela Araucária e 0,8560 na parcela Fogo) entre os índices de competição dependentes da distância e também foi o melhor concernente aos parâmetros estatísticos.

Palavras-chave: árvore individual, floresta ombrófila mista, modelagem.

DISTANCE-DEPENDENT COMPETITION MEASURES IN *Araucaria angustifolia*, SÃO JOÃO DO TRIUNFO, STATE OF PARANA

ABSTRACT

The growth behaviour of a particular species in a given region in tandem with certain environmental factors, it is possible to identify and visualise both individual and multiple tree characteristics, and to relate their productive capacity to competition, working together to facilitate decision-making in forestry intervention. This study aims to analyse and compare distance-dependent competition in individual *Araucaria Angustifolia* specimens in order to determine growth behaviour. Data for this study was collected from permanent plots located in São João do Triunfo, Paraná. Competition indices were evaluated using Pearson Correlation with Diameter at Breast Height (DBH) of trees sampled, model-adjusted according to the competition index. The results obtained revealed no significant difference in diameter growth between the *Araucaria* and Fogo plots examined. Of all the distance-dependent competition indexes assessed, Moore's Index showed the strongest Pearson correlation (0.8831 for the *Araucaria* plot and 0.8560 for the Fogo plot) and also yielded the best statistical parameters.

Keywords: individual tree, modelling, mixed ombrophilous forest

* myrciminatti@gmail.com

INTRODUÇÃO

Intervenções silviculturais são importantes para controlar a competição e manter a estrutura e estabilidade das árvores, porque estão diretamente relacionadas com o espaço vital que cada espécie tem disponível para seu desenvolvimento em florestas naturais. A necessidade de estudos para aprimorar técnicas de manejo das espécies exige informações sobre o seu crescimento para se avaliar e manter a estrutura e conservação das espécies.

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é uma das principais tipologias vegetais da região sul do Brasil, caracterizada pela presença marcante de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze popularmente conhecida como Pinheiro-brasileiro, em associações diversificadas (IBGE, 2012).

Os modelos de crescimento e produção na área florestal permitem simular a dinâmica natural do povoamento, de modo a prever sua produção ao longo do tempo, sob hipóteses de exploração ou quando sujeito a agentes físicos e bióticos distintos (VANCLAY, 1994). Modelos de crescimento para árvores individuais são divididos em função do tipo de índice de competição utilizado, sendo independentes ou dependentes da distância.

A competição unilateral é uma tentativa de descrever a posição sociológica de uma árvore em um povoamento e quantificar a competitividade do ambiente a sua volta. Consequentemente, os índices de competição unilaterais são,

frequentemente, únicos para cada indivíduo em um povoamento. Existem numerosos índices de competição unilaterais, tanto dependentes como independentes da distância (WEISKITTEL et al., 2011).

Nos índices de competição dependentes da distância, as árvores competidoras são identificadas levando-se em conta seu tamanho e distância em relação a uma árvore objetivo, com a finalidade de prever o crescimento e mortalidade das árvores. A posição geográfica das árvores dentro da amostra é a principal variável presente nessa categoria de modelagem, constituindo a variável que define a modelagem individual dependente da distância (BURKHART & TOMÉ, 2012).

Modelos de árvore individual são mais eficientes para avaliar o desempenho do crescimento das árvores, pois consideram as variáveis próprias de cada árvore e suas as árvores vizinhas, melhorando a precisão dos ajustes (VANCLAY et al., 2013). A utilização desses modelos em estudos de dinâmica florestal sugere a sub-modelagem do incremento, recrutamento, mortalidade e a posição das árvores.

O trabalho teve como objetivo ajustar, comparar e selecionar índices de competição dependente da distância para a espécie *Araucaria angustifolia*, para possíveis intervenções silviculturais visando manter o seu crescimento e estrutura da floresta.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram coletados em uma fazenda experimental no município de São João do Triunfo, estado do Paraná. Possui área total de aproximadamente 32 ha. Suas coordenadas geográficas são de 25°34'18" S e 50°05'56" W e possui altitude de 780 m (SCHAAF et al., 2001), Segundo Köppen, a classificação do clima da região é do tipo Cfb – clima temperado sempre úmido com temperatura média inferior a 22°C durante

o mês mais quente, sem estação seca, com verões frescos e mais de cinco geadas noturnas por ano (ALVARES et al., 2013).

Para a coleta dos dados, duas parcelas (Araucária e Fogo) possui um hectare (100 x 100) cada parcela. Foram utilizadas 16 subparcelas em cada uma delas (25 x 25m), totalizando, 32 subparcelas. Para a presente pesquisa, foram dispostas apenas os dados referentes

à espécie *Araucaria angustifolia* com observações coletadas no ano de 2015.

Nas parcelas foram medidos os diâmetros a 1,3 m de altura (*DAP*) de cada árvore, igual ou maior a 10 cm, devidamente numerados e etiquetados.

Em cada subparcela foi selecionada a maior árvore em área transversal denominada de árvore objetivo-competidora, e na sequência foram identificadas as árvores concorrentes com cada uma delas, considerando-as por suas copas estarem em contato com a copa da árvore objetivo em cada parcela (LAMBRECHT et al., 2019)

As subparcelas foram instaladas aplicando-se o método de Prodan (“Seis Árvores”), apresentado por Péllico Netto & Brena (1997).

Os dados de *DAP* foram submetidos ao teste *t*, com significância estatística *p-valor* 5% para a hipótese nula ser verdadeira. Avaliando a o crescimento em diâmetro é igual nas parcelas (hipótese nula - H_0) ou o crescimento em diâmetro é

diferente nas parcelas (hipótese alternativa - H_1). Os erros foram submetidos às condicionantes de regressão, ou seja, homogeneidade da variância (Teste de Bartlett), independência do erro (Durbin-Watson) e normalidade (Shapiro-Wilk). Em caso de não atender às condicionantes para ajuste de regressão se utilizou a transformação dos dados. As correlações de Pearson entre os diferentes índices de competição dependentes da distância e o diâmetro a altura do peito (*dap*) foram calculadas no ano de 2015. A correlação simples entre variáveis é um critério comum para a seleção à priori de índices de competição. O status competitivo de cada árvore objetivo foi avaliado utilizando índices de competição dependentes da distância (Tabela 1), e eles foram ajustados e analisados pela correlação nos modelos dependentes da distância com o *DAP*.

Na área de estudo foram coletadas coordenadas planas dos pontos centrais (centroídes) de cada parcela.

Tabela 1. Índices de competição avaliados para árvores de *Araucaria angustifolia* em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo, PR.

Índice/Fonte	Código/Equação	Observação/Interpretação
Hegyí (1974)	$IDD1 = \sum_{j=1}^n \frac{dj}{di} * \frac{1}{Lij}$	Atribui peso maior a competidora mais próxima, sendo que maiores valores dos que o índice indica competição intensa. Quanto > o índice, > é a competição.
Moore et al. (1973), baseado no método de Brown (1965) - Área Potencialmente Disponível (APD).	$IDD2 = \sum_{j=1}^n \frac{di^2}{di^2 + dj^2} * \frac{1}{Lij}$	Expressa a competição descrevendo uma zona de influência primária e crescente espaço para uma árvore individual conforme limitado pela concorrência exercida por árvores circundantes. Quanto < o índice, > é a competição.
Martin e Ek (1984) - Modificação do índice de Hegyí (1974) e de Daniels (1976).	$IDD3 = \sum_{j=1}^n \frac{dj}{di} * \frac{1}{(Lij+1)}$	O valor numérico 1 é adicionado para evitar a divisão por zero, como $Lij = 0$. Quanto < o índice, > é a competição
Rouvinen e Kuuluvainen (1997) - Modificação do índice de Hegyí	$IDD4 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{dj}{di}\right)^2 * \frac{1}{Lij}$	Maior peso para a relação de diâmetros. Quanto > o índice, > é a competição.

Em que: *IDD* é o Índice depende da distância; *di* e *dj* são os diâmetros a 1,3 m de altura do solo (*dap*) da árvore objetivo *i* e da árvore competidora *j* (cm), respectivamente; *n* é o número de árvores competidoras; *j* é a árvore competidora (cm). *Lij* é a distância entre a árvore objetivo e a árvore competidora (cm). Fonte: adaptada de Curto (2015).

A partir desses pontos, foram delimitadas as abrangências de cada parcela. Levantou-se também coordenadas

planas de cada árvore inventariada para geração do mapa de distribuição das espécies na área (Figura 1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística realizada pelo teste t constatou que há diferença significativa de crescimento em diâmetro dos indivíduos entre as duas parcelas em estudo, com valor de t calculado de 5,84 e probabilidade de significância para p -valor de 0,0167 indicando a necessidade de

abordagem distinta entre as parcelas. Desse modo, foram realizados os cálculos independentes para cada uma das parcelas para a correlação de Pearson e a modelagem dos índices dependentes da distância.

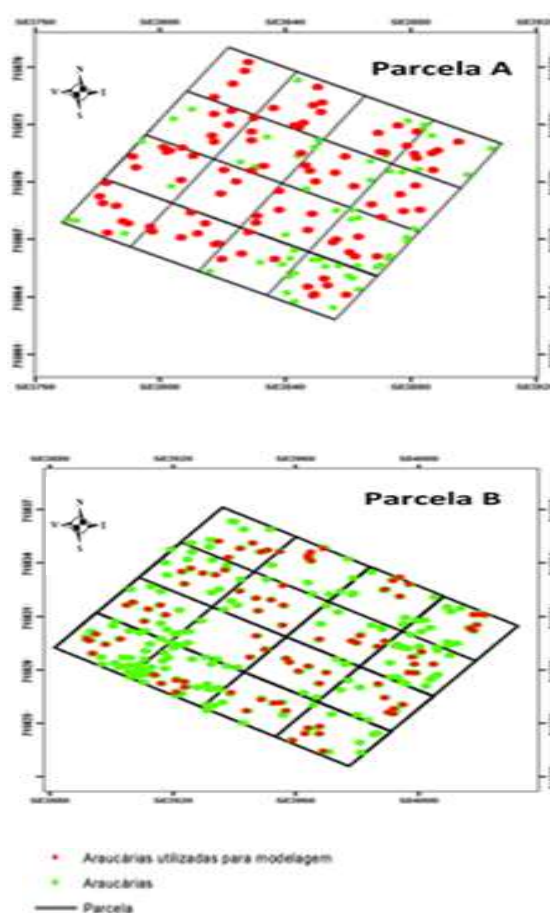


Figura 1. Parcelas Araucária (A) e Fogo (B) com suas subparcelas e seus centroides, todas as Araucárias e as amostradas para a modelagem.

O teste de Bartlett, resultou em um χ^2 tabelado igual a 1,9858 quando comparado com o valor de χ^2 tabelado de 0,1588 observa-se que não há diferença significativa entre os dados os diâmetros, aceita-se a hipótese da nulidade - e conclui-se que existe homogeneidade de variância nos dados. O teste de Shapiro-

Wilk acusou um valor igual a 0,98929, significativo para a probabilidade de 0,1765, portanto os dados de resíduos dos diâmetros atendem a condição de normalidade.

O teste de Durbin -Watson (d) é utilizado para testar a autocorrelação. O teste resultou em valor calculado de

0,2858, para a probabilidade de 0,05 sendo os limites dados por: $1,46 < 0,2858 < 2,54$. O teste atende a condição de correlação em série e os resíduos são independentes.

Os dados apresentaram condições satisfatórias em relação às as condicionantes da regressão, portanto não há necessidade de transformação dos dados. Na Tabela 2 estão apresentadas as

equações selecionadas, as estatísticas Syx% e R^2 ajustado utilizadas para a escolha das melhores equações, bem como as correlações dos índices com o DAP.

O índice de Moore et al. (1973) foi o melhor resultado obtido na correlação simples dos diferentes índices de competição dependentes da distância em relação ao DAP (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros estatísticos utilizados descrever os índices de competição dependentes da distância para as parcelas Araucária e Fogo.

Índice – Araucária	r	β_0	β_1	R^2 ajust.	Syx%
IDD1	0,7614**	153,037	-41,7288	0,48	33,57
IDD2	0,8831**	17,775	4,546	0,69	26,03
IDD3	-0,8392**	176,713	-11,977	0,53	32,30
IDD4	-0,7399**	140,871	-23,038	0,57	30,60
Índice – Fogo	r	β_0	β_1	R^2 ajust.	Syx%
IDD1	-0,7456**	197,863	-101,887	0,51	22,03
IDD2	0,8560**	35,705	3,606	0,74	15,94
IDD3	-0,7670**	286,677	-33,530	0,65	18,48
IDD4	-0,7938**	188,247	-86,857	0,70	23,96

Em que: **significativos a 95% de probabilidade; r é a correlação; β_0 e β_1 são os parâmetros dos modelos; R^2 ajust é o coeficiente de determinação ajustado; Syx% é o erro padrão da estimativa em porcentagem; Equação: , sendo $y = dap$ e, $x =$ índice de competição.

Téo et al. (2015) afirmam que, de acordo com os coeficientes de correlação, quanto maior os valores dos índices de competição melhor será o desempenho no crescimento das árvores. Em trabalho conduzido na Flona de Irati, Orellana & Vanclay (2018), testando o Índice de Heygi, encontrou correlação de 0,417 para árvores individuais de *Araucaria angustifolia* para expressar a competição entre as árvores, principalmente a competição por luz.

Curto (2015) obteve em estudos com a espécie *Araucaria angustifolia* correlações mais altas para Índice de Moore et al. (1973) de 0,868, seguido pelo Índice de Martin e Ek (1984) de 0,716 com o dap.

Avaliando os índices dependentes da distância, destacou-se com melhor desempenho o de Moore et al. (1973), para as duas parcelas, considerando o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da estimativa (%), e o Índice

de Heygi com desempenho inferior aos demais. O Índice de Moore et al. (1973), que se fundamenta no conceito de área potencialmente disponível, proposto por Brown (1965), não inclui a área de copa.

Em estudos de manejo de plantios estocados de *Araucaria angustifolia*, Curto (2015) destacou com melhor desempenho o Índice de Moore et al. (1973), seguido pelo Índice de Rouvinen & Kuuluvainen (1997).

Castagneri et al. (2008), considerando índices dependentes e independentes da distância para povoamentos de *Picea abies* (L.) Karst, obtiveram melhor resultado com o Índice de Rouvinen & Kuuluvainen (1997). No presente trabalho, o mesmo índice gerou bons resultados em ambas as parcelas.

Os índices dependentes da distância apresentaram distribuições de resíduos tendenciosas para a parcela Araucária (Figura 2), com menor dispersão dos dados para o Índice de Rouvinen & Kuuluvainen

(1997). Em contrapartida, o mesmo índice gerou maior distribuição dos resíduos na

parcela Fogo (Figura 3).

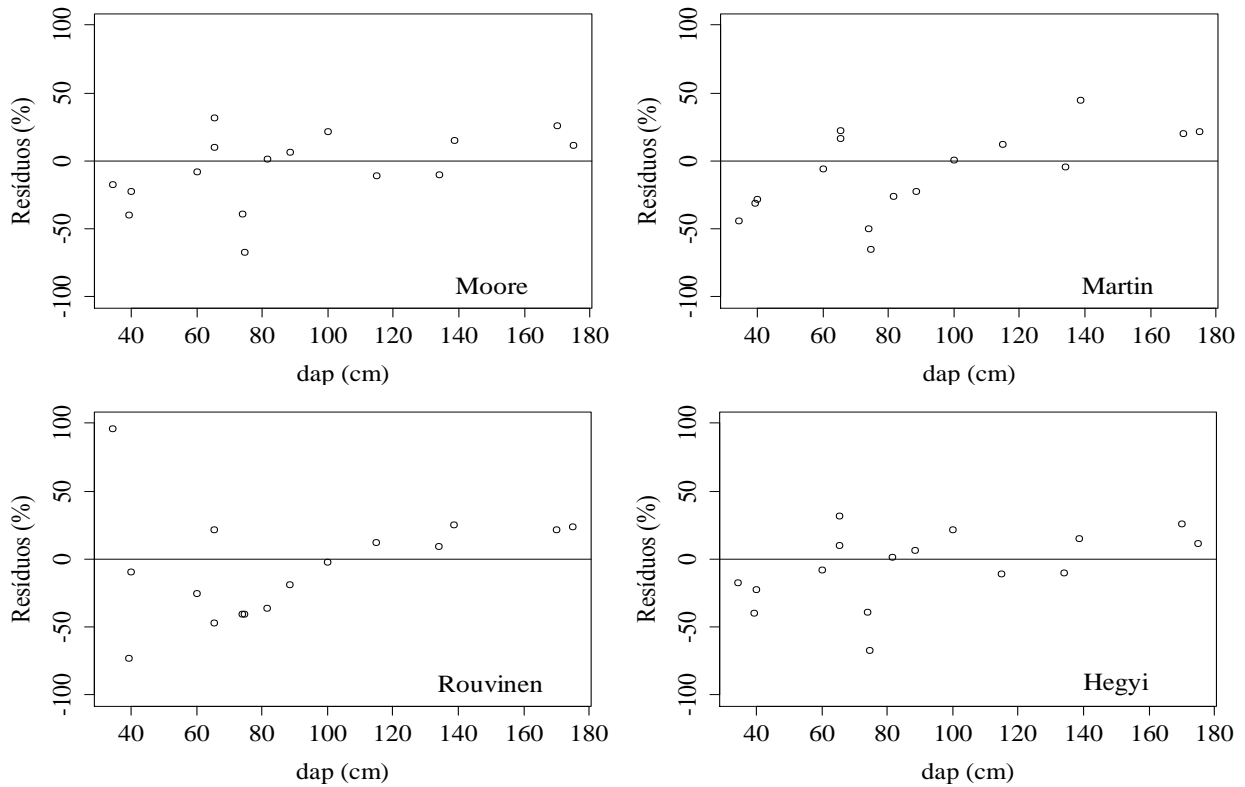


Figura 2. Distribuição dos resíduos para os índices de competição dependentes da distância para parcela Araucária (A).

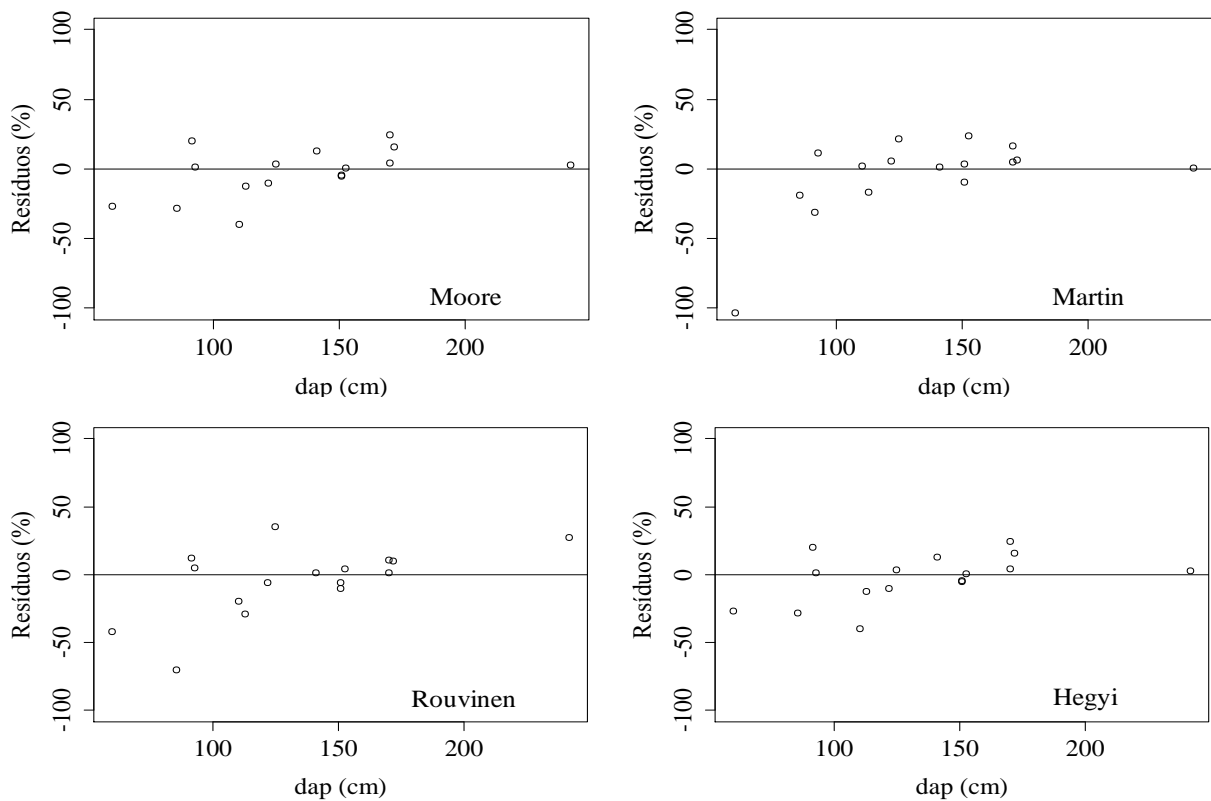


Figura 3. Distribuição dos resíduos para os índices de competição dependentes da distância para parcela Fogo (B).

Isso pode acontecer devido à menor variação do *dap* na parcela Fogo devido ao seu histórico (ocorrência de fogo na área da parcela na década de 1980). A melhor distribuição dos resíduos foi obtida no Índice de Martin e Ek (1984). Dentre os demais índices dependentes da distância, o de Moore et al. (1973) e Hegyi

CONCLUSÕES

Há diferenças estatísticas significantes para o crescimento do diâmetro a 1,3 m de altura, para a espécie *Araucaria angustifolia*, nas parcelas Araucária e Fogo.

A melhor correlação de Pearson para os índices de competição dependentes da distância, em função do diâmetro a 1,3 m de altura, foi obtida com a aplicação do Índice de Moore et al. (1973).

Na modelagem dos índices dependentes da distância, em função do diâmetro à altura do peito, o melhor resultado foi obtido com o Índice de Moore et al. (1973), levando em consideração os

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

BURKHART, H.E.; TOMÉ, M. **Modeling forest trees and stands**. Dordrecht: Springer; 2012, 457.

CASTAGNERI, D.; VACCHIANO, G.; LINGUA, E.; MOTTA, R. Analysis of intraspecific competition in two subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in Paneveggio (Trento, Italy). *Forest Ecology and Management*, v. 255, p. 651-659, 2008.

CURTO, R. A. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2015. 250 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) -

apresentaram distribuições de resíduos similares nas parcelas estudadas.

O uso de índices de competição é uma opção simples e de baixo custo que pode colaborar na tomada de decisão, para avaliação de quais e quantos indivíduos estão sendo suprimidos pela competição.

melhores resultados obtidos para a correlação, R^2 ajustado e $Syx\%$.

Modelos de árvore individual, usando índices dependentes da distância em florestas mistas, são melhores para avaliar o crescimento em diâmetro, pois o efeito de árvores vizinhas sob o crescimento da árvore objetivo decresce com a distância.

Os índices de competição em nível de árvore individual dependente da distância auxiliam na implementação de planos de manejo, contribuindo previsão de produção em tempos futuros, partindo das condições atuais.

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

IBGE. **MANUAL TÉCNICO DA VEGETAÇÃO BRASILEIRA**. Série: **Manuais técnicos em geociências** n.1. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2 ed., 2012.

LAMBRECHT, F. R.; BALBINOT, R.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; TRAUTENMÜLLER, J. W.; CANETTI, A. Competição em floresta natural de araucária na região noroeste do Rio Grande do Sul-Brasil. *Scientia Forestalis*, v. 47, p. 131-138, 2019

MARTIN, G. L.; EK, A. R. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. *Forest Science*, v. 30, n. 3, p. 731-743, 1984.

and Sons, 2011.

MOORE, J. A.; BUDELSKY, C. A.; SCHLESINGER, R. C. A New Index Representing Individual Tree Competitive Status. **Canadian Journal Forest Research**, v.3, n.4, p. 495-500, 1973.

ORELLANA, E.; VANCLAY, J.K. Competition and dominance between angiosperms and *Araucaria angustifolia* (Bert.) o. Kuntze in the Atlantic Forest in southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.425, p.119-125, 2018.

ROUVINEN, S.; KUULUVAINEN, T. Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scots pine forest. **Canadian Journal Forest Research**, v. 27, p. 890-902,1997.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. **Inventário florestal**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1997. 316 p.

SCHAAF. L.B. **Florística, estrutura e dinâmica no período 1979-2000 de uma floresta ombrófila mista localizada no sul do Paraná**. 2001. 131p. (Dissertação de Mestrado).

TÉO, S.J. et al. Análise espacial do estresse competitivo, incremento diamétrico e estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, Irati, PR. **Floresta**, v.45, n.4, p.681-694, 2015.

VANCLAY, J.K. **Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forests**. CAB International, Wallingford, U.K. 312p, 1994.

VANCLAY, J.K.; LAMB, D.; ERSKINE, P.D.; CAMERON, D.M. Spatially-explicit competition in a mixed planting of *Araucaria cunninghamii* and *Flindersia brayleyana*. *Annals of Forest Science*, v. 70, n. 6, p. 611-619, 2013.

WEISKITTEL, A.R. et al. **Forest growth an yield modeling**. Oxford: John Wiley