

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

NÍVEA FRANSUELLI DA SILVA MADUREIRA

**RAIO DE COMPETIÇÃO ENTRE ÁRVORES EM UM FRAGMENTO DE MATA
ATLÂNTICA SOB RECUPERAÇÃO FLORESTAL**

São João Evangelista

2022

NÍVEA FRANSUELLI DA SILVA MADUREIRA

**RAIO DE COMPETIÇÃO ENTRE ÁRVORES EM UM FRAGMENTO DE MATA
ATLÂNTICA SOB RECUPERAÇÃO FLORESTAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Engenharia Florestal do
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São
João Evangelista para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof Dr Bruno Oliveira Lafetá

São João Evangelista

2022

REDE DE BIBLIOTECAS

FICHA CATALOGRÁFICA PARA TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

M183r Madureira, Nívea Fransuelli da Silva.

Raio de competição entre árvores em um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal. / Nívea Fransuelli da Silva Madureira. - 2021. 24 p.:il.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2021.

1. Competitividade. 2. Comportamento sigmoidal. 3. Índices de competição dependentes da distância. 4. Relação funcional. I. Instituto Federal de Minas Gerais. II. Título.

CDD 634.956

Catálogo: Rejane Valéria Santos - CRB-6/2907

Nívea Fransuelli Da Silva Madureira

**RAIO DE COMPETIÇÃO ENTRE ÁRVORES EM UM FRAGMENTO DE
MATA ATLÂNTICA SOB RECUPERAÇÃO FLORESTAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Engenharia Florestal do
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São
João Evangelista para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal.
Orientador: Bruno Oliveira Latefá

Aprovado em: 11 / 01 / 2022 pela banca
examinadora:



Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá - IFMG (Orientador)



Prof. Me. Ivan da Costa Ilhéu Fontan - IFMG



Prof^a. Dr^a. Gabriela Paranhos Barbosa - UNIFESSPA

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro. Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFMG) - *Campus* de São João Evangelista-MG por todo apoio logístico e estrutural para a realização do presente trabalho.

RESUMO

Investigações científicas relacionadas a competitividade de árvores, ainda, são escassas e auxiliam futuras pesquisas sobre o monitoramento da dinâmica de crescimento e manejo florestal sustentável. O objetivo do presente trabalho foi avaliar índices de competição dependentes da distância e definir um raio de influência competitiva entre árvores em um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal. A área em estudo possui 2,53ha, na qual foi realizado o inventário com intensidade amostral de 15,81%. Avaliaram-se três índices de competição e vinte distâncias para o raio de competição (1, 2, 3, ... e 20 m). O índice IC3, que relaciona o DAP de árvores competidoras com a aquele da árvore objetivo multiplicado pela distância entre as mesmas somado a uma unidade, se mostrou o mais adequado para representar a competição, pois se correlacionou mais fortemente com os atributos biométricos, apresentou fundamentação biológica e menor variabilidade com o aumento do raio de competição. Os índices de competição e as respectivas variabilidades tenderam à estabilização a partir do raio de competição com, aproximadamente, 6 m. Conclui-se que o índice IC3 e o raio de competição de 6m são indicados para análises sobre relações entre a competitividade e aspectos biométricos no local de estudo.

Palavras-chave: Competitividade. Comportamento sigmoidal. Índices de competição dependentes da distância. Relação funcional.

ABSTRACT

Scientific investigations related to tree competitiveness are still scarce and help future research on the monitoring of growth dynamics and sustainable forest management. This research aimed to evaluate distance-dependent competition indices and define a radius of competitive influence between trees in an Atlantic Forest fragment under forest recovery. The study area has 2.53ha, in which the inventory was carried out with a sampling intensity of 15.81%. Three competition indices and twenty distances for the competition radius (1, 2, 3, ... and 20 m) were evaluated. IC3 index, which relates the DBH of competing trees with that of the objective tree multiplied by the distance between them added to one unit, proved to be the most adequate to represent competition, as it correlated more strongly with biometric attributes, and presented reasoning. biological and less variability with increase of the competition radius. Competition indices and the respective variability tended to stabilize from the competition radius of approximately 6 m. It is concluded that IC3 index and 6m competition radius are indicated for analyzes on the relationship between competitiveness and biometric aspects at the study site.

Keywords: Competitiveness. Sigmoidal behavior. Distance-dependent competition indices. Functional relationship.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Competição Florestal	11
2.2 Índices de Competição	11
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Descrição da Área de Estudo	13
3.2 Coleta e Processamento de Dados	13
4 RESULTADOS	16
5 DISCUSSÃO	19
6 CONCLUSÕES	22
7 REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

A competição arbórea é um fenômeno biológico que influencia a dinâmica de crescimento e produção em ecossistemas florestais. Informações sobre a competitividade subsidiam o planejamento e definição de estratégias conservacionistas para o estímulo da formação lenhosa em fragmentos sob recuperação e manejo florestal sustentável.

O estoque de crescimento lenhoso reflete os efeitos cumulativos da competição, influenciado pelas condições de sítio (aspectos climáticos, edáficos, topográficos, nutricionais) (YANG; HUANG, 2018; LUSTOSA JÚNIOR et al., 2019; VERSACE et al., 2019). A intensidade da competição por sua vez, oscila conforme a relação espacial entre árvores, disponibilidade de recursos para árvores competidoras e da plasticidade arquitetônica e fisiológica vegetal (SIRAMI et al., 2018; YANG; HUANG, 2018). Contudo, ainda, persistem dúvidas sobre a demarcação da zona de influência competitiva de árvores, especialmente em fragmentos degradados de Mata Atlântica.

Diante da complexidade das interações bióticas e abióticas envolvidas na expressão da capacidade competitiva lenhosa, a competição tem sido convencionalmente resumida na forma de um único valor ou índice (HILL et al., 2016; SHARMA; BRUNNER, 2016; QUIÑONEZ-BARRAZA et al., 2018; MINATTI et al., 2019). Os índices de competição são relações algébricas que refletem o grau de supressão de cada árvore em relação àquelas vizinhas competidoras, úteis para a quantificação de competitividade em um dado ambiente, normalmente, calculados para cada árvore em uma comunidade (VATRAZ et al., 2016; MA et al., 2017; COSTA et al., 2018; SCHONS, 2019; MINATTI et al., 2019).

Diversos índices de competição se encontram disponíveis na literatura (CASTRO et al., 2014; MA et al., 2017; COSTA et al., 2018; HUI et al., 2019; LUSTOSA JÚNIOR et al., 2019), porém sua escolha é um grande desafio de gestão e deve ser vista com cautela. É improvável que haja um índice ideal para todos os sítios florestais (YANG; HUANG, 2018), mas se recomenda o uso daquele que seja mais consistente biologicamente (QUIÑONEZ-BARRAZA et al., 2018).

Índices Dependentes da Distância (IDD) se baseiam em dados de espacialização e dimensões entre árvores, ou seja, exprimem a ligação mecanicista entre o tamanho, abundância e distribuição espacial das árvores vizinhas (TENZIN et al. 2017; MINATTI et al., 2019). Esta característica permite a análise da competitividade assumindo distintos raios de competição,

subsidiando interpretações sobre interações entre árvores quanto a aquisição de recursos limitados (ORELLANA; VANCLAY, 2018; VERSACE et al., 2019).

Duas abordagens têm sido utilizadas para a definição do raio de competição, o método de raio fixo e o método de teste com diferentes tamanhos de raio. O método de raio fixo é uma abordagem amplamente adotada que considera empiricamente um valor de raio e/ou utiliza a referência de outros trabalhos. No entanto, é plausível assumir que tal raio pode ser distinto entre ecossistemas devido a sua variabilidade estrutural (VATRAZ et al., 2016; HUI et al., 2019; LUSTOSA JÚNIOR et al., 2019). A quantificação do efeito competitivo de árvores vizinhas não é uma tarefa fácil devido às variabilidades ambiental e genética (VERSACE et al., 2019), sendo o mais indicado a avaliação de desempenho de um conjunto de raios de competição para a escolha daquele desejável.

Tendo em vista a predominância de pesquisas que definem índices e seus raios de competição em razão de análises de correlação e regressão com atributos biométricos (CASTRO et al, 2014; TENZIN et al. 2017; SIRAMI et al., 2018; LUSTOSA JÚNIOR et al., 2019; BIANCHI et al., 2020), torna-se relevante a modelagem de tais índices em função de diferentes raios de competição. Maiores amplitudes de variação entre raios de competição são importantes para melhor delinear o efeito da competição entre árvores. É importante salientar a importância do uso de modelos sigmoidais, como o logístico, para a identificação precisa do raio de influência competitiva.

Mediante exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar índices de competição dependentes da distância e definir um raio de influência competitiva entre árvores em um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 COMPETIÇÃO FLORESTAL

A competição, em ambientes florestais, pode ser definida como uma interação entre árvores causada pela concorrência por recursos de provisão limitada (SCHONS et al., 2021), conduzindo a uma redução no crescimento e sobrevivência dos indivíduos menos adaptados (MOREIRA, 2014). Um fator relevante no funcionamento das comunidades, a competição é de suma importância pois, ao causar exclusões e extinções, ela influencia diretamente na diversidade de espécies (DINIZ, 2017) .

A compreensão de eventos competitivos entre espécies vegetais proporciona aplicação prática das informações obtidas, podendo ser aplicadas para planos de manejo e conservação (DINIZ, 2017). O conhecimento da dependência espacial das árvores na floresta permite que sejam conduzidos estudos sobre competição e essas informações devem estar conectadas a um modelo de crescimento (ORELLANA, 2014).

Avaliar a competição de uma floresta é uma tarefa árdua, pois muitos fatores influenciam neste processo, entretanto, uma maneira de representá-la é por meio dos índices de competição, pois eles expressam o seu efeito no crescimento das árvores. Por isso, a utilização desses índices tornou-se importante parte do manejo florestal em todo o mundo (MELLO et al., 2005).

2.2 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO

Numerosos índices de competição têm sido desenvolvidos e aprimorados, para quantificar o status competitivo de árvores individuais em determinados povoamentos (MARTINS et al., 2011) e são divididos basicamente em três categorias: independentes da distância (IID), que não utilizam informações espaciais dos indivíduos; dependentes da distância (IDD), que atribuem coordenadas espaciais para cada árvore; e semi-independentes, que são aplicados os índices independentes da distância, entretanto, especialmente restritos a um menor conjunto de árvores vizinhas (aquelas mais próximas), ao invés de todas as árvores da unidade amostral (CASTRO et al., 2014). A competição, portanto, é analisada dentro de um conjunto específico de árvores, de acordo com o raio de influência determinado (JUNIOR, 2016).

Alguns estudos buscaram comparar e identificar qual o melhor índice, porém, relatam que os índices dependentes e independentes são igualmente eficazes. Em seus trabalhos, segundo Vatrás (2018), é provável que em florestas equiâneas, os IID detectariam com maior sensibilidade a competição existente, por ser um ambiente mais homogêneo.

Em florestas tropicais a heterogeneidade de espécies leva a uma baixa correlação com a variável IPA(Incremento Periódico Anual) - DAP, o que leva a uma complexidade de se medir e interpretar as interações bióticas, propondo-se a desenvolver índices de competição com distintas abordagens (CASTRO et al., 2014). Schons et al.,(2020) encontrou correlações significativas entre o incremento periódico em área transversal de espécies estudadas em Floresta Ombrófila Mista, por meio dos índices de competição independentes da distância, com destaque para os Índices de Lorimer, Glover e Holl e Stage.

De acordo com Junior (2016), Martins et al., (2011) e Vatrás (2018), o índice de BOL apresenta maiores correlações e, portanto, apresenta-se como o mais indicado para estudos de correlação IPA DAP e competição em áreas florestais (SEIDEL e OLIVEIRA, 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi conduzido em um fragmento de Mata Atlântica no município de São João Evangelista – MG, em área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, nas coordenadas de 18°33'5,05" Sul e 42°45'50,40" de longitude Oeste (Datum Sirgas 2000). A região possui clima do tipo Cwa pela classificação do sistema internacional de Köppen, com verão chuvoso e inverno seco. As médias anuais de temperatura e precipitação são de 20,2 °C (médias variando de 16,7 °C em julho a 22,8 °C em janeiro e fevereiro) e 1.377 mm (médias variando de 10 mm em julho e agosto a 308 mm em dezembro), respectivamente. Os dados climáticos foram oriundos de registros anuais de 1982 a 2012, disponibilizados gratuitamente por Climate-data.org (<http://es.climate-data.org/>).

O fragmento de Mata Atlântica possui 2,53 ha e se encontra em fase de recuperação florestal desde novembro de 2013. O histórico de uso e ocupação do solo contempla sucessivos monocultivos de *Coffea arabica* L. por período de, aproximadamente, 10 anos. O tipo de solo predominante é o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com o horizonte A proeminente, textura arenosa, relevo ondulado e a 690 m de altitude.

3.2 COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS

O inventário florestal foi realizado aos 80 meses após início da recuperação do fragmento de Mata Atlântica. Diante da assimetria de forma e tamanho reduzido do fragmento, optou-se pelo lançamento de uma parcela experimental retangular de 100 × 40 m (4.000 m², equivalente a uma intensidade amostral de 15,81%) no centro e representativa da área de estudo, dividida em 10 setores quadrados de 20 × 20 m (400 m²). Todos os fustes dos indivíduos arbóreos com circunferência a 1,30 m de altura do solo (CAP, cm) igual ou superior a 10 cm foram mensurados e mapeados, tendo as coordenadas referenciadas em um plano cartesiano (X, Y), onde X e Y é a distância em metros da projeção dos pontos em eixos para o vértice de origem (0, 0). O CAP e a altura total foram obtidos com auxílio de fita métrica e vara telescópica, respectivamente.

O diâmetro à 1,30 m de altura do peito (DAP, cm) foi calculado pela relação entre (CAP) e o valor de π (3,141592654...). Adotou-se o diâmetro equivalente (DAP_{EQ}) para as árvores com bifurcação, com uso da expressão: $DAP_{EQ} = \sqrt{DAP_1^2 + DAP_2^2 + \dots + DAP_n^2}$,

em que $DAP_1 \dots n$ é o diâmetro de cada fuste. A altura (H, m) foi obtida pelo método de superposição de ângulos iguais. Para a estimativa volumétrica (V, m^3), foi empregada a seguinte equação conforme Cetec (1995), para mata secundária:

$$V = 0,000074 DAP^{1,707348} H^{1,16873}, R^2 = 97,3\%$$

Para o cálculo de índices dependentes da distância, é necessário o estabelecimento de um raio de competição entre a árvore objetivo e suas competidoras. Avaliaram-se três índices de competição dependentes da distância (Tabela 1) e vinte distâncias para o raio de competição (1, 2, 3, ... e 20 m). O efeito de bordadura dos índices foi corrigido pelo método do deslocamento (Shifting), conforme recomendado por Vatrás et al. (2016). Este procedimento consiste na emissão da cópia exata dos setores limítrofes da parcela experimental para a sua respectiva adjacência, cujas árvores são desconhecidas e estarão presentes fora da área amostrada.

Tabela 1 - Índices de competição dependentes da distância avaliados em um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal

Índice	Expressão	Fonte
----- Competição bilateral -----		
IC1	$IC_1 = \sum_{j=1}^n \frac{DAP_j}{DAP_i L_{ij}}$	Hegyí (1974)
IC2	$IC_2 = \sum_{j=1}^n \frac{DAP_j^2}{DAP_i^2 L_{ij}}$	Rouvinen e Kuuluvainen (1997)
IC3	$IC_3 = \sum_{j=1}^n \frac{DAP_j}{DAP_i(L_{ij} + 1)}$	Martin e Ek (1984)

Em que: L_{ij} = distância entre a árvore competidora j e a árvore objetivo i; i = i-ésima árvore-objetivo e; j = j-ésima árvore competidora.

Para a interpretação da relação algébrica, quanto menor for o índice, menor é a competição sobre a árvore objetivo. Os índices de competição foram submetidos às análises de correlação de Pearson e de regressão não linear através do método iterativo de Levenberg-Marquardt. O modelo logístico de três parâmetros foi ajustado para a estimativa do índice de competição em função do raio de competição, em metros:

$$Y = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\gamma R}} + \varepsilon$$

Em que: Y = índice de competição; R = raio de competição (m); α , β e γ = parâmetros do modelo logístico; e = constante neperiana; e ε = erro aleatório.

Para cada índice de competição, calcularam-se a distância correspondente a assíntota (m). A qualidade dos ajustes foi analisada pela significância dos parâmetros pelo teste t , Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM) e Média dos Desvios Absolutos (MDA). A análise gráfica consistiu na inspeção estatística de curvas com margem de confiança.

Calculou-se o Coeficiente de Variação (%) dos índices de competição em nível de parcela para cada um dos raios de competição em estudo. Posteriormente, estes dados foram submetidos ao teste de normalidade conforme Shapiro Wilk e análise de Boxplot.

Para diagnóstico de efeito estatístico, foi empregado o nível de confiança de 95% de probabilidade em todas as análises. Estas foram efetuadas com auxílio do software R versão 3.5.2 (R CORE TEAM, 2018).

4 RESULTADOS

O inventário florestal contemplou 973 fustes ha⁻¹ e 740 árvores ha⁻¹, as quais apresentaram de 3,18 a 28,52 cm de DAP e altura total de 2,50 a 13,50 m. As correlações entre índices de competição e atributos biométricos foram discriminadas para distintos raios de competição, com distâncias variando de 1 a 20 m (Tabela 2). Todas as correlações foram negativas, ou seja, os índices avaliados aumentaram com a diminuição dos valores de DAP e volume das árvores. A associação dos índices de competição e atributos biométricos se tornaram mais fortes à medida que aumentou o raio de competição, seguindo tendência logarítmica assintótica.

Tabela 2 - Correlações entre atributos biométricos e índices de competição dependentes da distância para diferentes raios de competição em um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal

Raios de competição	IC1		IC2		IC3	
	DAP	V	DAP	V	DAP	V
1m	-0,1176	-0,0842	-0,1311	-0,0923	-0,2143	-0,1574
2m	-0,1329	-0,0957	-0,1681	-0,1180	-0,2939	-0,2183
3m	-0,1545	-0,1119	-0,2204	-0,1555	-0,4045	-0,3018
4m	-0,1675	-0,1216	-0,2444	-0,1728	-0,4488	-0,3341
5m	-0,1734	-0,1264	-0,2599	-0,1841	-0,4648	-0,3493
6m	-0,1786	-0,1302	-0,2700	-0,1916	-0,4751	-0,3558
7m	-0,1835	-0,1342	-0,2781	-0,1980	-0,4934	-0,3717
8m	-0,1904	-0,1394	-0,2918	-0,2080	-0,5088	-0,3829
9m	-0,1947	-0,1427	-0,3022	-0,2156	-0,5215	-0,3930
10m	-0,1997	-0,1463	-0,3125	-0,2230	-0,5416	-0,4071
11m	-0,2041	-0,1494	-0,3224	-0,2298	-0,5527	-0,4140
12m	-0,2092	-0,1534	-0,3327	-0,2378	-0,5681	-0,4269
13m	-0,2123	-0,1557	-0,3392	-0,2426	-0,5756	-0,4323
14m	-0,2159	-0,1583	-0,3457	-0,2471	-0,5805	-0,4358
15m	-0,2193	-0,1610	-0,3533	-0,2526	-0,5892	-0,4426
16m	-0,2221	-0,1630	-0,3590	-0,2568	-0,5918	-0,4443
17m	-0,2262	-0,1661	-0,3668	-0,2622	-0,5946	-0,4464
18m	-0,2296	-0,1686	-0,3720	-0,2662	-0,5956	-0,4468

19m	-0,2337	-0,1716	-0,3792	-0,2710	-0,6009	-0,4506
20m	-0,2382	-0,1751	-0,3861	-0,2760	-0,6043	-0,4533

Negrito representa as correlações significativas ao nível de confiança de 95% de probabilidade pelo teste t. DAP = diâmetro à altura do peito (cm) e V = volume (m³ ind⁻¹).

Notou-se que todos os índices de competição exibiram correlações significativas ($p \leq 0,05$) a partir do raio de competição de 4 m, sendo mais fortes para o índice IC3. Este índice de competição foi o único que se correlacionou significativamente com a biometria das árvores mesmo diante de raios de competição reduzidos, como de 1 a 3 m de distância.

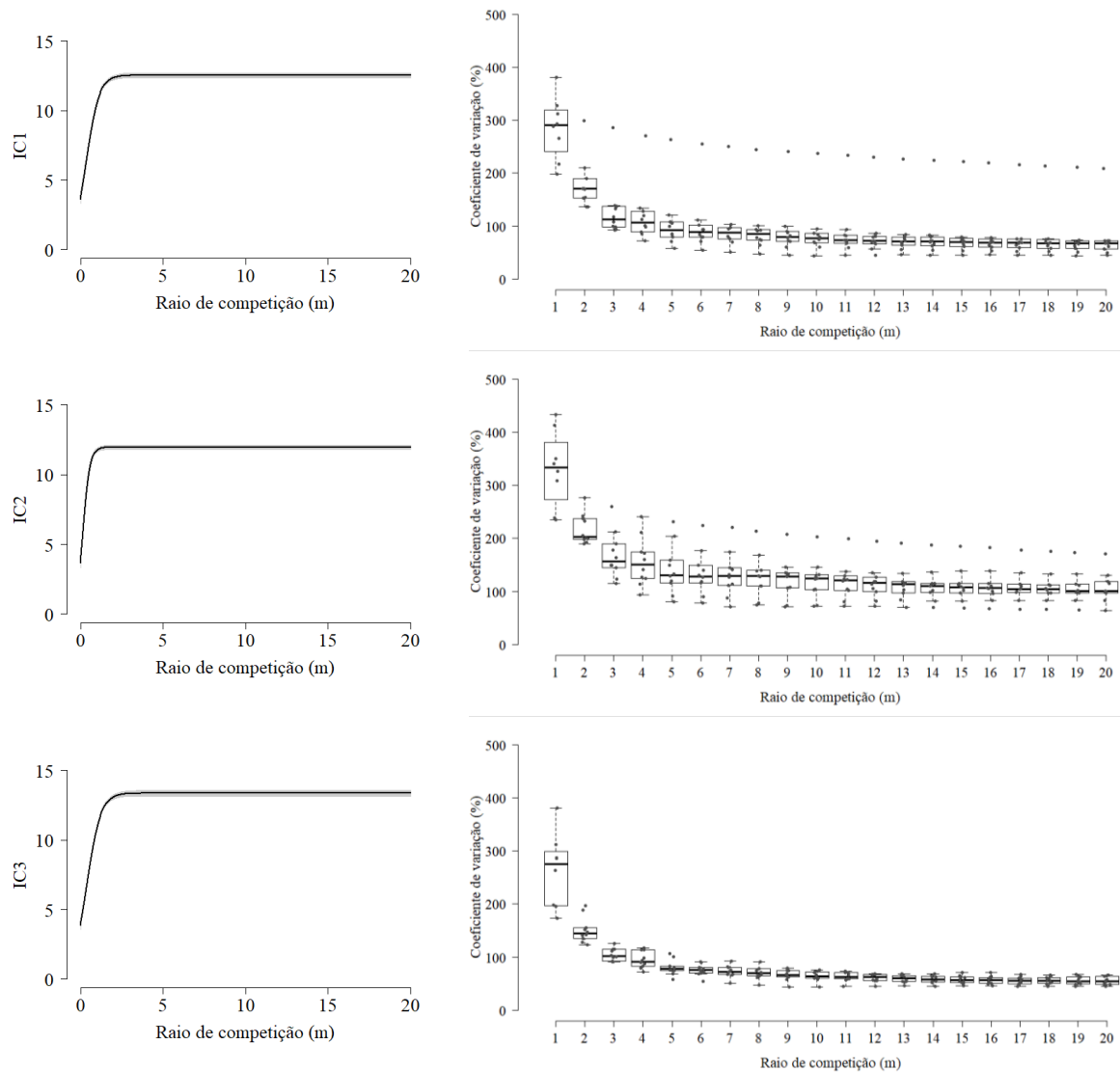
As relações funcionais estabelecidas para a estimativa de cada índice de competição em função do raio de competição se encontram na Tabela 3. A significância de parâmetros pelo teste t ($p \leq 0,05$) e baixos valores de MDA e RQEM dos ajustes evidenciaram o comportamento sigmoidal, esperado para curvas provenientes do modelo logístico (Figura 1). A assíntota das equações, representada pelo parâmetro α , se localizou entre as distâncias de 4,18 (IC1; $\alpha = 12,541423$ m) a 5,18 m (IC2; $\alpha = 11,958259$ m), para os índices IC1 e IC2, respectivamente.

Tabela 3 - Coeficientes e qualidade do ajuste do modelo logístico para estimativa de índice de competição dependente da distância em função do raio de competição para um fragmento de Mata Atlântica em recuperação florestal

Índices	α	β	γ	RQEM	MDA	Assíntota (Raio, m)
IC1	12,541423*	2,440966*	2,578061*	6,55	5,61	4,18
IC2	11,958259*	2,236649*	4,941157*	6,41	5,47	5,18
IC3	13,371368*	2,453922*	2,395263*	6,89	5,88	4,49

* significativo ao nível de confiança de 95% de probabilidade pelo teste t, respectivamente. RQEM = Raiz Quadrada do Erro Médio e; MDA = média dos desvios absolutos.

Figura 1. Representações gráficas dos índices de competição dependentes da distância (à esquerda) e Boxplot do coeficiente de variação (à direita) em função do raio de competição para um fragmento de Mata Atlântica em recuperação florestal. Margens de confiança (cinza) estabelecidas ao nível de significância de 5% de probabilidade.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Em geral, a variabilidade dos índices de competição tendeu à estabilização a partir do raio de competição de 6 m (Figura 1). O índice IC3 apresentou a menor variabilidade à medida que aumentou o raio de competição, concentrando valores mais próximos à medida de tendência central (mediana). Apenas os índices IC2 e IC3 exibiram normalidade para todos os 20 raios de competição pelo teste de Shapiro Wilk ($p \geq 0,05$).

5 DISCUSSÃO

A competição influenciou a biometria das árvores do fragmento florestal. A consistência biológica dos índices de competição foi demonstrada na própria expressão algébrica; o efeito da competição reduziu à medida que aumentou a distância entre árvores objetivo e competidora, porém se intensificou com o aumento do diâmetro daquela vizinha competidora. Ressalta-se que a circunstância do valor de um índice ser maior ou menor de acordo com a competição segue princípios matemáticos, dependendo da expressão algébrica e relações diretas e inversamente proporcionais à competitividade (LUSTOSA JÚNIOR et al., 2019).

Obteve-se correlação negativa em todas as combinações entre índices de competição e atributos biométricos (Tabela 2). Este fato está condizente biologicamente, pois os índices avaliados refletem a competição sobre a árvore objetivo (árvores maiores tendem apresentar menores índices de competição). Maiores taxas de crescimento são comumente relacionadas à disponibilidade de recursos, como o espaço, resultando em menor competição sobre a árvore objetivo (RADTKE et al., 2003; SIRAMI et al., 2018; YANG; HUANG, 2018).

Índices de competição podem se associar com atributos biométricos de modo distinto segundo a definição do raio de competição para árvores individuais (Tabela 2). Nem todos os índices exibiram correlações significativas ($p \leq 0,05$) para raios menores (de 1 a 3 m), que consideram reduzidas zonas de influência competitiva. Tem-se a expectativa de que a zona de influência competitiva de uma árvore aumente com as suas dimensões e, conseqüentemente, qualidade de sítio, porte do dossel e estágio sucessional de formações florestais (RADTKE et al., 2003).

Pela análise de correlação, verificou-se que o índice IC3 de Martin e Ek (1984) se associou significativamente ($p \leq 0,05$) com o DAP e volume das árvores objetivo, mesmo adotando um raio de competição de apenas 1 m (Tabela 2). Apenas a partir do raio de 4 m que todos os três índices de competição se correlacionaram com os atributos biométricos, sendo mais fraca para os índices IC1 e IC2. Enfatiza-se que a correlação se tornou mais forte nos maiores raios de competição, fato que pode favorecer a modelagem do crescimento e produção em nível de árvores individuais, contribuindo para a predição de produção em tempos futuros, partindo-se das condições atuais (MINATTI et al., 2019).

Estabeleceram-se três relações funcionais para a estimativa da competição sobre a árvore objetivo em função do tamanho de raios de competição. A qualidade preditiva oscilou pouco entre as equações geradas, com coeficiente de variação de 3,79 e 3,66% para RQEM e

MDA, respectivamente (Tabela 3). Em razão da complexidade envolvida na representação da competição em florestas naturais (HILL et al., 2016; SHARMA; BRUNNER, 2016; TENZIM et al., 2017; QUIÑONEZ-BARRAZA et al., 2018; SIRAMI et al., 2018; VERSACE et al., 2019; BIANCHI et al., 2020), a qualidade dos ajustes realizados foi considerada satisfatória.

O comportamento sigmoidal crescente das curvas obtidas com o ajuste do modelo logístico foi evidenciado na Figura 1. O raio de competição em que todos os índices de competição tenderam a estabilização foi de 5,18 m (IC2). Por questões práticas e facilidade de adoção do sistema métrico, sugere-se que o raio de competição não seja inferior a 6 m (equivalente a 28,27 m²), sobretudo, para fragmentos de Mata Atlântica em fase de recuperação florestal. Este resultado também corrobora com o proposto por Castro et al. (2014), que indicaram o raio de competição de 6 m para outro fragmento no mesmo bioma situado no município de Viçosa – MG após análise de correlação com atributos de crescimento biométrico. Todavia, salienta-se que, apesar da tendência assintótica, raios de competição demasiadamente longos podem não representar biologicamente a real zona de influência competitiva da árvore objetivo.

Pela análise de Boxplot (Figura 1), observou-se que a variabilidade dos índices de competição nas parcelas tendeu à redução e estabilização com o aumento dos raios de competição. Visualmente, o ponto de estabilização da variabilidade também tendeu a ocorrer próximo ao raio de competição de 6 m. Nesse sentido, indica-se o planejamento de maiores raios de competição desde que estejam em conformidade com as dimensões da parcela a fim de se evitar amostragens externas à unidade amostral. Isto se deve ao empecilho de que índices baseados em raios de competição (dependentes ou semidependentes da distância) se tornam cada vez mais imprecisos para árvores próximas à borda da parcela, em virtude do desconhecimento daquelas competidoras além da parcela, sendo preconizado o emprego do método de deslocamento para correção de bordadura (VATRAZ et al., 2016).

O índice IC3 se mostrou o mais adequado em relação aos demais (IC1 e IC2) para representar a competição na área de estudo, pois se correlacionou mais fortemente com os atributos biométricos, apresentou fundamentação biológica e menor variabilidade com o aumento do raio de competição. A adição de uma unidade ao componente da distância entre árvores competidora e objetivo, contida no índice IC3, tem o propósito de evitar a ocorrência de valores nulos no denominador da expressão algébrica proveniente de ocasiões de distâncias iguais a zero. Não foram encontradas distâncias iguais a zero entre árvores competidora e objetivo na amostragem realizada no fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal, indicando que tal adição de valor numérico 1 (um) pode, em alguns casos, favorecer a obtenção

de dados normalmente distribuídos e a associação com variáveis biométricas. É conveniente ressaltar que a ausência de aditividade no denominador do índice IC3, representa exatamente a expressão de IC1.

Neste trabalho, a modelagem para estimativa do índice dependente da distância em função do raio de competição se mostrou eficaz para a definição da zona de influência competitiva de árvores contidas em um fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal. Os resultados obtidos fornecem informações úteis para o desenvolvimento de futuras pesquisas sobre o efeito da competitividade vegetal, auxiliando previsões do crescimento e produção em nível de árvore individual.

6 CONCLUSÕES

O índice de competição dependente da distância IC3 é indicado para análises sobre relações entre a competitividade e aspectos biométricos no fragmento de Mata Atlântica sob recuperação florestal em estudo.

O raio de competição de 6 m é indicado para estimação de índices de competição dependentes da distância na área de estudo.

A modelagem para identificação de tendências assintóticas de índices dependentes da distância, utilizando raios de competição como variável preditora, auxilia a definição de zonas de influência competitiva.

7 REFERÊNCIAS

BIANCHI, S.; HUUSKONEN, S.; SIIPILEHTO, J.; HYNYNEN, J. Differences in tree growth of Norway spruce under rotation forestry and continuous cover forestry. **Forest Ecology and Management**, v. 458, p. 1-7, 2020.

CASTRO, R.; SOARES, C.; LEITE, H. G.; SOUZA, A.; MARTINS, F.; NOGUEIRA, G. S.; SILVA, M. O. F. Competição em nível de árvore individual em uma floresta estacional semidecidual. **Silva Lusitana**, v. 22, n. 1, p. 43-66, 2014.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Competition indices and their relationship with basal area increment of Araucaria. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 5, p. 198-2010, 2018.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC. (1995). **Desenvolvimento de equações volumétricas aplicáveis ao manejo sustentado de florestas nativas do estado de Minas Gerais e outras regiões do país**. Belo Horizonte.

HEGYI, F. A simulation model for managing Jack-pine stands. In: FRIES, G. Growth models for tree and stand population. Stockolm: Royal College of forestry, **Research Note**, v. 30, p. 74-90, 1974.

HILL, S.; LATIFI, H.; HEURICH, M.; MÜLLER, J. Individual-tree and stand-based development following natural disturbance in a heterogeneously structure forest: a LiDAR-based approach. **Ecological Informatics**, v. 38, p. 12-25, 2016.

HUI, G.; ZHANG, G.; ZHAO, Z.; YANG, A. Methods of forest structure research: a review. **Current Forestry Reports**, v. 5, p. 142-154, 2019.

LUSTOSA JÚNIOR, I. M.; CASTRO, R. C. O.; GASPAR, R. O.; ARAÚJO, J. B. C. N.; AQUINO, F. G. Competition indexes to evaluate tree growth in a semi-deciduous seasonal forest. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, p. 1-12, 2019.

MA, Q.; SU, Y.; TAO, S.; GUO, Q. Quantifying individual tree growth and tree competition using bi-temporal airborne laser scanning data: a case study in the Sierra Nevada Mountains, California. **International Journal of Digital Earth**, v. 11, n. 5, p. 485-503, 2017.

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.

MINATTI, M.; SANQUETTA, C. R.; NETTO, S. P.; CORTE, A. P. D. Índices de competição dependentes da distância para *Araucaria angustifolia* em São João do Triunfo – PR. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 13, n. 3, p. 187-194, 2019.

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.

QUIÑONEZ-BARRAZA, G.; ZHAO, D.; POSADAS, H. M. S.; CORRAL-RIVAS, J. J. Considering neighborhood effects improve individual dbh growth models for natural mixed-species forest in Mexico. **Annals of Forest Science**, v. 75, n. 78, p. 1-11, 2018.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2018.

RADTKE, P. J.; WESTFALL, J. A.; BURKHART, H. E. Conditioning a distance-dependent competition index to indicate the onset of inter-tree competition. **Forest Ecology and Management**, v. 175, p. 17-30, 2003.

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.

SCHONS, C. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; SANTOS, T. L. & NASCIMENTO, R. G. M. Índices de competição em nível de árvore individual para espécies da floresta ombrófila mista. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 128, e3275, 2020.

SHARMA, R. P.; BRUNNER, A. Modeling individual tree height growth of Norway spruce and Scots pine from national forest inventory data in Norway. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 32, n. 6, p. 501-514, 2016.

SIRAMI, E. V.; MARSONO, D.; SADONO, R.; IMRON, M. A. Ideal planting space for merbau (*Intsia bijuga*) forest plantations in Papua based on distance-dependent competition. **Biodiversitas**, v. 19, n. 6, p. 2219-2231, 2018.

TENZIN, J.; TENZIN, K.; HASENAUER, H. Individual tree basal area increment models for broadleaved forests in Bhutan. **Forestry**, v. 90, p. 367-380, 2017.

VATRAZ, S.; ALDER, D.; SILVA, J. N. M. Índices de competição dependentes da distância do estrato arbóreo na Amazônia brasileira. **Espacios**, v. 37, n. 27, p. 1-11, 2016.

VERSACE, S.; GIANELLE, D.; FRIZZERA, L.; TOGNETTI, R.; GARFI, V.; DALPONTE, M. Prediction of competition indices in a Norway spruce and silver fir-dominated forest using LiDAR data. **Remote Sensing**, v. 11, p. 18, 2019.

YANG, Y.; HUANG, S. Effects of competition and climate variables on modelling height to live crown for tree boreal tree species in Alberta, Canada. **European Journal of Forest Research**, v. 137, p. 153-167, 2018.