

Artigos

Estratégias de projeção da estrutura diamétrica em Floresta Ombrófila Mista

Strategies for predicting the diametric structure in Mixed Ombrophilous Forest

Marina da Silveira Gomes^I , Andrea Nogueira Dias^{II} ,
Afonso Figueiredo Filho^{II} ,
Fabiane Aparecida de Souza Retslaff^{III} , Luciano Rodrigo Lansanova^{III} 

^IPesquisadora Autônoma, Cambuquira, MG, Brasil

^{II}Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR, Brasil

^{III}Instituto Federal do Mato Grosso, Juína, MT, Brasil

RESUMO

Para que as florestas possam ser usadas de forma sustentável, é importante conhecer sua estrutura no futuro, que pode ser estimada por meio da prognose da distribuição diamétrica. Como essas projeções podem auxiliar na tomada de decisão para manejo e preservação, é preciso desenvolver estratégias visando melhorias das estimativas. Com isso, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da estratificação na prognose da distribuição diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista. Para isso, foram analisados os dados provenientes de 26 parcelas permanentes (1 ha) na Floresta Nacional de Três Barras, no estado de Santa Catarina. Cada unidade primária foi dividida em 20 unidades secundárias de 0,05 ha, mensuradas em 2004, 2009 e 2016. Por meio da estatística multivariada de análise de agrupamento, foi realizada a estratificação das unidades secundárias usando como atributos o incremento periódico anual médio em diâmetro, área basal e o número de fustes de cada unidade secundária. Por meio da Razão de Movimento, foi projetada a distribuição diamétrica da floresta para o ano de 2016. Usando como base os dados dos inventários de 2004 e 2009, a projeção foi realizada para a floresta como um todo. No entanto, a projeção para a floresta estratificada foi realizada com base no inventário apenas do ano de 2009. A consistência das projeções foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e pelo Índice de Reynolds. A análise de agrupamento resultou em três estratos, e a projeção realizada para a floresta estratificada apresentou o melhor desempenho, tanto no número total de fustes quanto nas primeiras classes diamétricas, onde geralmente ocorrem as maiores variações entre a frequência observada e estimada. A estratificação da floresta melhora as estimativas e proporciona resultados mais precisos na projeção da estrutura diamétrica, sendo uma ferramenta importante para ser usada em áreas extensas e heterogêneas.

Palavras chave: Razão de movimento; Manejo de florestas nativas; Estratificação da floresta

ABSTRACT

In order for forest to be used in a sustainable way, it is important to know the forests' structure in the future, which can be estimated through the prognosis of the diametric distribution. Projections such as these can assist in the decision-making process for management and preservation, and it is necessary to develop strategies seeking improvement of these estimates. Thus, this study aimed to evaluate the effect of forest stratification on the prediction of the diametric structure in a Mixed Ombrophilous Forest. Data from 26 permanent plots (1 ha) were analyzed in Três Barras National Forest, in the state of Santa Catarina. Each primary unit was divided into 20 secondary units of 0.05 ha, measured in 2004, 2009 and 2016. Within multivariate statistics of cluster analysis, the stratification of secondary units was performed using as attributes the average annual increment in diameter, basal area, and the number of stems of each secondary unit. Using the Movement Ratio, the forest's diametric distribution for the year 2016 was projected. Using as its basis the data from the 2004 and 2009 inventories, the projection was carried out for the forest as a whole. However, the projection for the stratified forest was conducted based only on the inventory for the year 2009. The projection's consistency was evaluated by the Komolgorov-Smirnov test and the Reynolds Index. The cluster analysis resulted in three strata and the prediction formulated for the stratified forest had the best performance, both in total number of stems and in the first diametric classes, where the greatest variations between observed and estimated frequency normally occur. The stratification of the forest improves the estimate and provides more accurate results in the prediction of the diametric structure, being an important tool to be used in extensive heterogeneous forest areas.

Keywords: Movement Ratio; Native Forest Management; Forest stratification

1 INTRODUÇÃO

As florestas sempre fizeram parte da cultura da humanidade, fornecendo serviços e produtos, entre eles a madeira, que sempre foi utilizada para as mais variadas finalidades (HOPPE; SCHUMACHER, 2001).

Porém, o uso irracional dizimou grande parte da vegetação nativa. Desde a década de 1940, a Floresta Ombrófila Mista (FOM), uma fitofisionomia do Bioma Mata Atlântica, foi reduzida devido à excessiva retirada de madeira, expansão agrícola e à urbanização (LINGNER *et al.*, 2007). Essa tipologia ocorre principalmente na região sul do Brasil, é um ecossistema florestal formado pela predominância de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no dossel e alta diversidade de espécies nos estratos médio e inferior (IBGE, 2012).

Conhecer o comportamento e as características estruturais de uma floresta é fundamental para que se possa conservá-la e ter seus recursos manejados de forma sustentável (SAWCZUK *et al.*, 2014). Atualmente, o manejo nas FOM ocorre de maneira restrita, para proteger os últimos remanescentes (LONGHI *et al.*, 2017).

Dentro do manejo de florestas naturais, as informações sobre o crescimento florestal e as mudanças da estrutura diamétrica ao longo do tempo servem de embasamento para definir o manejo mais adequado para cada floresta (SANQUETTA *et al.*, 1995). Por meio da prognose da distribuição diamétrica, é possível estimar as dimensões que as árvores podem atingir em um determinado intervalo de tempo e, conhecendo os diâmetros futuros, pode-se estimar a produtividade e definir as intervenções na floresta que assegurem sua sustentabilidade econômica e ecológica.

Existem diferentes metodologias que estimam a densidade de árvores por classe de diâmetro nas idades presentes e futuras. Dentre elas, destacam-se a matriz de transição (STEPKA *et al.*, 2010; LONGHI *et al.*, 2017), razão de movimento (LANA *et al.*, 2015), funções de densidade de probabilidade (ORELLANA *et al.*, 2014) e redes neurais artificiais (DIAMANTOPOULOU *et al.*, 2015).

A heterogeneidade de florestas nativas pode interferir na precisão de metodologias de prognoses (AUSTREGÉSILO *et al.*, 2004; EBLING *et al.*, 2014). Com isso, alguns estudos foram desenvolvidos visando a melhoria das estimativas das prognoses da estrutura diamétrica, os quais avaliaram diferentes intervalos de tempo (REIS *et al.*, 2018), alteraram as amplitudes diamétricas (LONGHI *et al.*, 2017), dividiram os grupos ecológicos (MACHADO *et al.*, 2017) e isolaram famílias e espécies de maior valor de importância (LANA *et al.*, 2015). Contudo, ainda necessitam de mais trabalhos que considerem a heterogeneidade do crescimento da floresta e, de acordo com Ebling *et al.* (2013) agrupar árvores com crescimento semelhante pode gerar estimativas mais precisas nos modelos de prognose.

Como as árvores crescem em uma intensidade diferente em florestas naturais, ocorrendo alterações dentro da mesma espécie, em função da idade e do local,

torna-se importante separar a área em unidades mais homogêneas, agrupando-as de acordo com características semelhantes, visando diminuir as variações dentro da floresta. Para Souza e Souza (2006) a classificação da floresta em áreas homogêneas permite inferir sobre a capacidade produtiva de cada local e fundamentar a elaboração e execução dos planos de manejo sustentável.

Assim, em decorrência da importância de conhecer a evolução do crescimento em diâmetro, testamos a hipótese de que a projeção da estrutura diamétrica é mais precisa quando realizada a estratificação da floresta. Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da estratificação na projeção da distribuição diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Dados utilizados

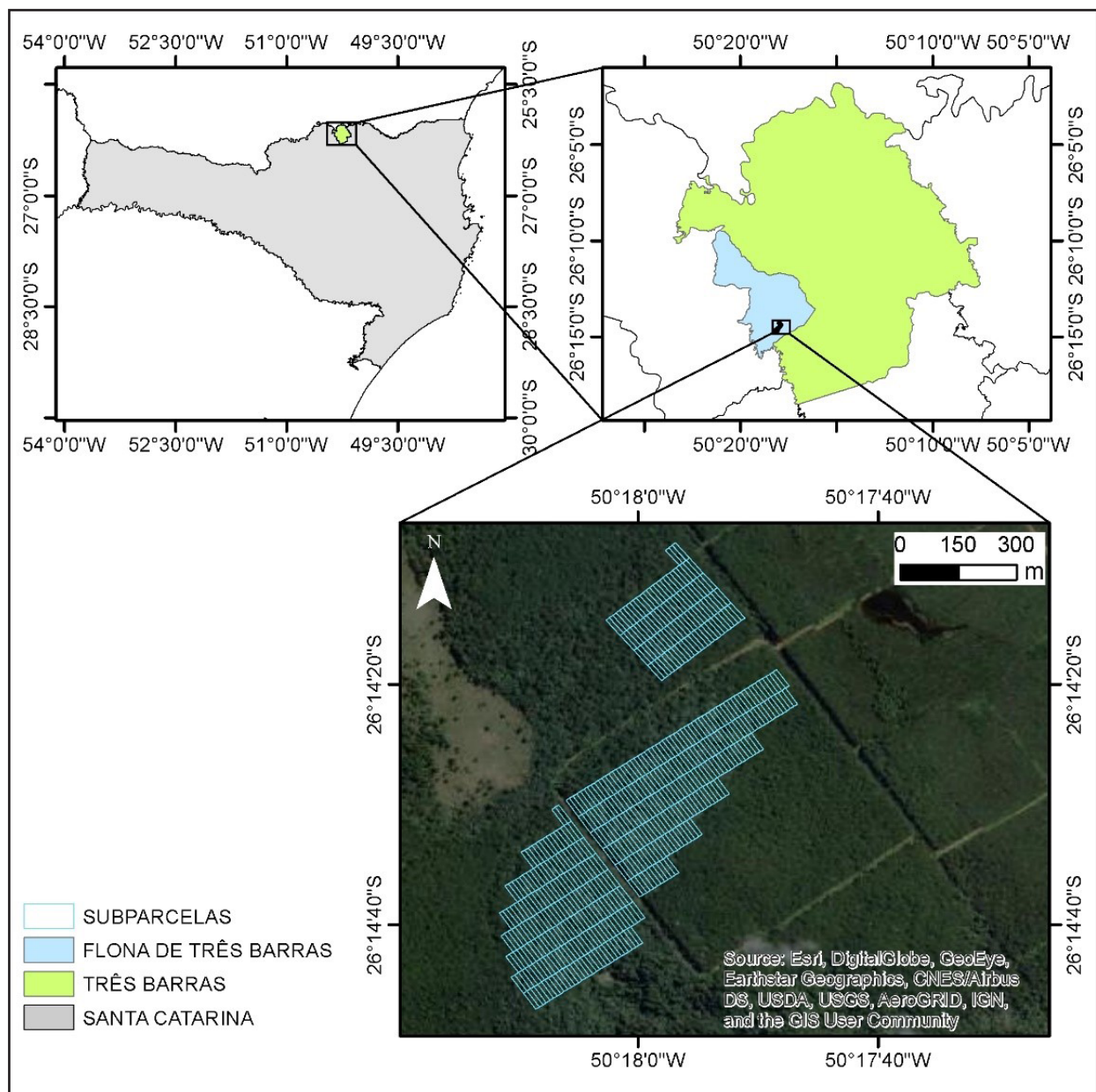
A área de estudo é a Florestal Nacional de Três Barras (FLONA de Três Barras), no município de Três Barras, no estado de Santa Catarina (Figura 1). A área está inserida no Planalto Norte Catarinense, 795 m acima do nível do mar, onde o clima é classificado como Cfb, segundo a classificação climática de Köeppen, ou seja, clima temperado constantemente úmido, sem estação seca, com verões frescos e geadas frequentes (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2016).

A FLONA possui 4.458,50 hectares, sendo 50% da área com vegetação nativa representada pela Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Mista Aluvial e Vegetação com Influência Fluvial, sendo que a primeira formação predomina na área, com 767,94 hectares (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2016). O Serviço Florestal Brasileiro incluiu a FLONA de Três Barras no plano anual de outorga florestal para o ano de 2019, podendo ser objeto dos primeiros estudos de manejo florestal sustentável por meio de concessão (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2018).

Os dados são provenientes de 26 parcelas permanentes (unidades primárias),

com área de um hectare cada, localizadas entre as coordenadas 26° 14' 28.68" S, 50° 18' 4.17". A intensidade amostral foi de 3,43% da área de Floresta Ombrófila Mista da FLONA de Três Barras. Essas parcelas foram instaladas e têm sido monitoradas por professores do Laboratório de Manejo Florestal do Curso de Engenharia Florestal da UNICENTRO.

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Autores (2018)

Cada unidade primária foi dividida em 20 unidades secundárias de 10 m x 50 m (0,05 ha), totalizando assim 520 unidades secundárias. As parcelas foram mensuradas em 2004, 2009 e 2016. Todos os fustes com diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) maior ou igual a 10 cm têm sido medidos. As árvores foram identificadas botanicamente e foram computados o ingresso e mortalidade dos fustes.

2.2 Estratificação das parcelas

Com o objetivo de reduzir a heterogeneidade do padrão da estrutura da vegetação entre as unidades amostrais, as unidades secundárias com características similares foram agrupadas por meio da análise de agrupamento, que é uma técnica multivariada de classificação, tendo sido utilizado, para isso, o incremento periódico anual médio do diâmetro, área basal e número de fustes por hectare gerados em cada unidade de 0,05 ha.

Para Mateucci e Colma (1982), as técnicas de classificação fundamentam-se no agrupamento de espécies ou amostras que tenham atributos em comum. A análise de agrupamento tem por objetivo proporcionar uma ou várias partições na massa de dados em grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro e heterogeneidade entre grupos e, graficamente, os objetos de um grupo estarão próximos entre si e distantes dos objetos dos outros grupos (MARDIA; KENT; BIBBY, 1997).

Essa técnica inicia-se pela determinação de uma função de agrupamento, que é usada como critério para medir a distância entre dois elementos ou para estabelecer o quanto eles são parecidos. Para a formação dos grupos, utilizou-se como critério de classificação o método de agrupamento por médias ponderadas (*Weighted Pair-Group Method Average* – WPGMA). Esse critério minimiza o efeito de grupos de tamanhos desiguais e evita a perda de informações valiosas em um grande grupo de objetos (LEGENDRE; LEGENDRE, 2012). Assim, através desse método, atribui-se pesos iguais no cálculo das semelhanças de fusão, aos dois ramos do dendrograma que estão prestes a se fundir. Dessa forma, as semelhanças originais são ponderadas, o que ocasiona uma redução no peso do maior grupo (SNEATH; SOKAL, 1973; LEGENDRE; LEGENDRE, 2012).

A determinação do número de grupos foi realizada pela análise gráfica do dendrograma, considerando o nível de corte a 50% da distância Euclidiana. Cabe ressaltar que não existe um critério objetivo para determinar um ponto de corte no dendrograma, a escolha do número de grupos pode ser aleatória, por meio de método hierárquico, ou pela experiência e conhecimento do pesquisador (LEGENDRE; LEGENDRE, 2012). Nesse sentido, o corte a 50% da distância euclidiana possibilitou a formação de grupos de fácil interpretação, estratificando as unidades secundárias de maneira coerente com os objetivos propostos na pesquisa.

Também foi calculado o coeficiente de correlação cofenética, que mede o grau em que os resultados dos agrupamentos correspondem ao dendrograma. Assim, quando o agrupamento corresponde perfeitamente aos coeficientes da matriz original, a correlação cofenética é igual a 1 (LEGENDRE; LEGENDRE, 2012). Convém salientar que essa medida de correlação não pode ser averiguada por um teste de significância (BORCARD; GILLET; LEGENDRE, 2011) e, usualmente, sugere-se valores superiores a 0,7 para esse coeficiente (SHEPHERD, 1995). Contudo, visto que essa é uma medida sensível ao tamanho dos grupos formados, ela não é unânime entre os pesquisadores, então esse coeficiente não precisa ser, necessariamente, o critério decisivo na validação dos grupos formados (FARRIS, 1969).

Em uma das unidades secundárias, não havia árvores para serem mensuradas, apresentando apenas a presença de *Pinus* spp., e como esta é uma espécie exótica, não foi avaliada pelo presente estudo. Desse modo, o agrupamento foi feito com 519 parcelas, totalizando uma área de 25,95 ha.

2.3 Prognose da distribuição diamétrica

O método utilizado na projeção da distribuição diamétrica foi a Razão de Movimento, com intervalo de 7 e 12 anos, analisando os dados de 2004 e 2009, e projetando para o ano de 2016 para toda a floresta. Também para o intervalo de sete anos, foi realizada uma projeção com a floresta estratificada, utilizando a média ponderada da distribuição diamétrica resultante da projeção de cada estrato para fins de comparação.

As projeções empregando o método da Razão de Movimento são realizadas por meio da quantificação do incremento periódico médio em diâmetro por classe, adicionando os recrutamentos e descontando a mortalidade. Em cada classe diamétrica assume-se que a distribuição dos diâmetros é uniforme, e que cada árvore cresce a uma taxa média (SCOLFORO, 1998).

Esse método se baseia no estado em que a floresta se apresenta na ocasião do período inventariado, considerando que esse estado seja constante para as projeções futuras (SCOLFORO, 1998). Porém, como na Razão de Movimento é usado o incremento em diâmetro, é possível calcular as projeções em intervalos de tempo diferentes do período empregado na construção da técnica.

Para minimizar o efeito de que o estado futuro da floresta depende apenas do estado atual, na construção da técnica foram usados dados de todo o período de avaliação da floresta para o cálculo do incremento, ingresso e mortalidade, por meio das seguintes etapas:

a) Em cada classe diamétrica com amplitude de 10 cm, agrupou-se o número de fustes por hectare de todos os indivíduos;

b) O incremento periódico médio em diâmetro foi obtido através da multiplicação do período usado na projeção (7 e 12 anos) pelo incremento periódico anual, que foi determinado com base no crescimento dos fustes que permaneceram vivos durante todo o período de avaliação da floresta, de 2004 a 2016;

c) A razão ou taxa de movimento foi calculada por meio da Equação (1):

$$m = \frac{\overline{IPD}_j}{\Delta D} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que: m = razão de movimento; \overline{IPD}_j = incremento periódico médio em diâmetro da j -ésima classe de diâmetro (cm.ano^{-1}); ΔD = amplitude da classe de diâmetro (10 cm).

d) Foi realizada a soma e subtração das taxas de ingresso e mortalidade em cada classe diamétrica. As taxas foram calculadas para os intervalos de 2004 a 2009 e 2009 a 2016, utilizando a média desses dois períodos. As taxas de ingresso e mortalidade foram calculadas por meio das Equações (2) e (3) propostas por Swaiane e Lieberman (1987).

$$I = \left[1 - \left(1 - \frac{N_r}{N_t} \right)^{\frac{1}{t}} \right] \cdot 100 \quad (2)$$

Em que: I = taxa de Ingresso; N_r = número de fustes ingressos no período; N_t = número de fustes registrados no fim do período; t = tempo decorrido em anos.

$$M = \left[1 - \left(\frac{N_0 - N_m}{N_0} \right)^{\frac{1}{t}} \right] \cdot 100 \quad (3)$$

Em que: M = taxa de mortalidade; N_0 = número de fustes no início do período; N_m = número de fustes mortos no período; t = tempo decorrido em anos.

Utilizou-se o teste de Komolgorov-Smirnov (K-S) e o Índice de Reynolds (IR) para avaliar o desempenho das prognoses. O teste de K-S compara a frequência acumulada observada e a estimada de cada classe diamétrica em seu ponto de maior divergência (SCOLFORO, 2006). Se $D_{cal} < D_{tab}$ a 5% de significância, não se rejeita a hipótese de que as distribuições estimadas seguem as distribuições observadas (H_0), caso contrário, rejeita-se a hipótese nula e as distribuições estimadas não seguem as distribuições observadas (H_1). Por outro lado, o Índice de Reynolds determina o desempenho dos métodos por classe diamétrica. Este é definido como a soma ponderada das diferenças absolutas entre o número de árvores observado e estimado em cada classe diamétrica, utilizando a área basal observada em cada

classe para fins de ponderação (TORRES ROJO; MAGAÑA TORRES; ACOSTA MIRELES, 2000). Este índice é expresso pela Equação (4):

$$IR = \sum_{I=1}^K \frac{|N_i - \hat{N}_i|}{G_i} \quad (4)$$

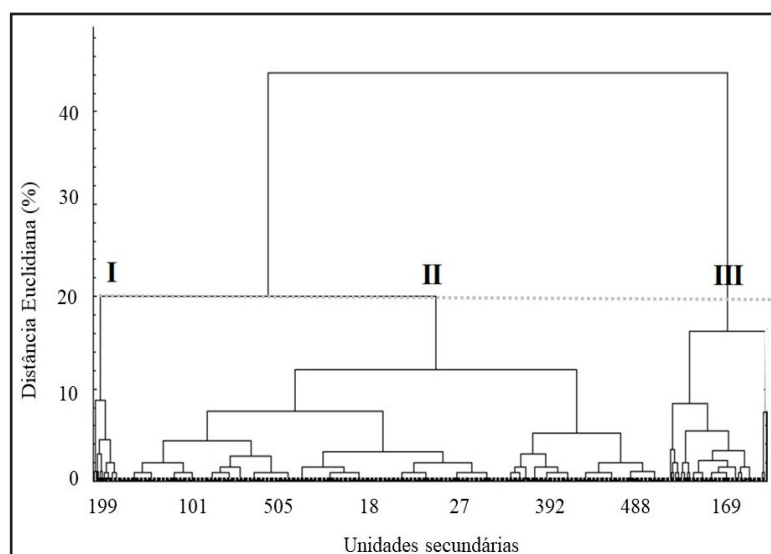
Em que: IR= Índice de Reynolds; N_i = número de árvores por hectare observado na classe i ; \hat{N}_i = número de árvores por hectare estimado na classe i ; G_i =área basal observada na classe i .

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estratificação das parcelas

O agrupamento das parcelas secundárias resultou em três estratos denominados I, II e III. O coeficiente de correlação cofenética obtido foi 0,66, indicando que 66% da matriz de dados original foi representada na forma de dendrograma (Figura 2).

Figura 2 – Agrupamento pelo método WPGMA, considerando um nível de corte a 50% da distância Euclidiana (linha tracejada), onde I, II e III são os estratos formados das parcelas secundárias



Fonte: Autores (2018)

Convém destacar que, apesar do valor encontrado para o coeficiente de correlação cofenética ser abaixo do valor recomendado na literatura (70%), a análise se mostrou adequada ao propósito da pesquisa, pois os grupos formados são compatíveis com a realidade de campo, indicando assim a adequação e contundência da análise realizada. Ainda, de acordo com Comarck (1971), coeficientes com valores compreendidos entre 0,60 e 0,80 podem ser devidos ao baixo número de variáveis utilizadas, o que pode justificar o valor de 0,66, visto que para a análise de agrupamento foram utilizadas apenas três variáveis: incremento periódico anual médio em diâmetro, área basal e número de fustes.

Na Tabela 1, observa-se que a maior variação entre os estratos pode ser constatada na área basal e no número de fustes, evidenciando que essas duas variáveis foram responsáveis por agrupar as parcelas com a análise multivariada.

Tabela 1 – Descrição dos três estratos formados pela análise de agrupamento

Estratos		I	II	III	Médias ponderadas para floresta
IPA (cm.ano ⁻¹)	mínimo	-0,11	-0,60	-0,39	-0,60
	médio	0,22	0,22	0,22	0,22
	máximo	1,11	1,55	1,93	1,93
Área basal (m ² .ha ⁻¹)		22,06	27,93	37,72	34,22
Fustes.ha ⁻¹		280	658,92	1.023,46	664,65
Espécies		42	106	81	113
Ingresso (%)		1,56	1,77	2,08	1,88
Mortalidade (%)		3,50	2,44	1,75	2,42
Parcelas		20	424	75	519
Área amostrada (ha)		1	21,2	3,75	25,95

Fonte: Autores (2018)

Em que: IPA = incremento periódico anual.

A maior parte das parcelas do estrato I estão em locais onde se observou, durante as coletas de campo, grande número de indivíduos de *Bromelia antiacantha* Bertol. (caraguatá) ou *Bambusa tuldoides* Munro (bambu ou taquara). A entrada dessas espécies pode ter ocorrido depois de algum distúrbio no dossel da floresta, pois

elas necessitam de luz para seu desenvolvimento (GRISCOM; ASHTON, 2003; SILVA; PEREIRA; SILVA, 2011; GERBER *et al.*, 2017). Como esse estrato apresentou fustes até a classe de 70 a 80 cm de diâmetro, pode-se presumir que alguns desses distúrbios podem ter sido causados pela queda de árvores grandes.

As parcelas que compõem esse estrato possuem a menor densidade de fustes de todo o fragmento, além de possuir a maior taxa de mortalidade, apresentando grande redução do número de fustes nas primeiras classes diamétricas. Esses eventos, e também a baixa taxa de ingresso, podem estar relacionados com a presença das espécies *Bromelia antiacantha* e *Bambusa tuldoides*. As espécies de bambu podem inibir a sucessão florestal, alterando a riqueza e a diversidade da regeneração natural, pois competem pela luminosidade, água e nutrientes do solo (GRISCOM; ASHTON, 2003; FELKER *et al.*, 2017).

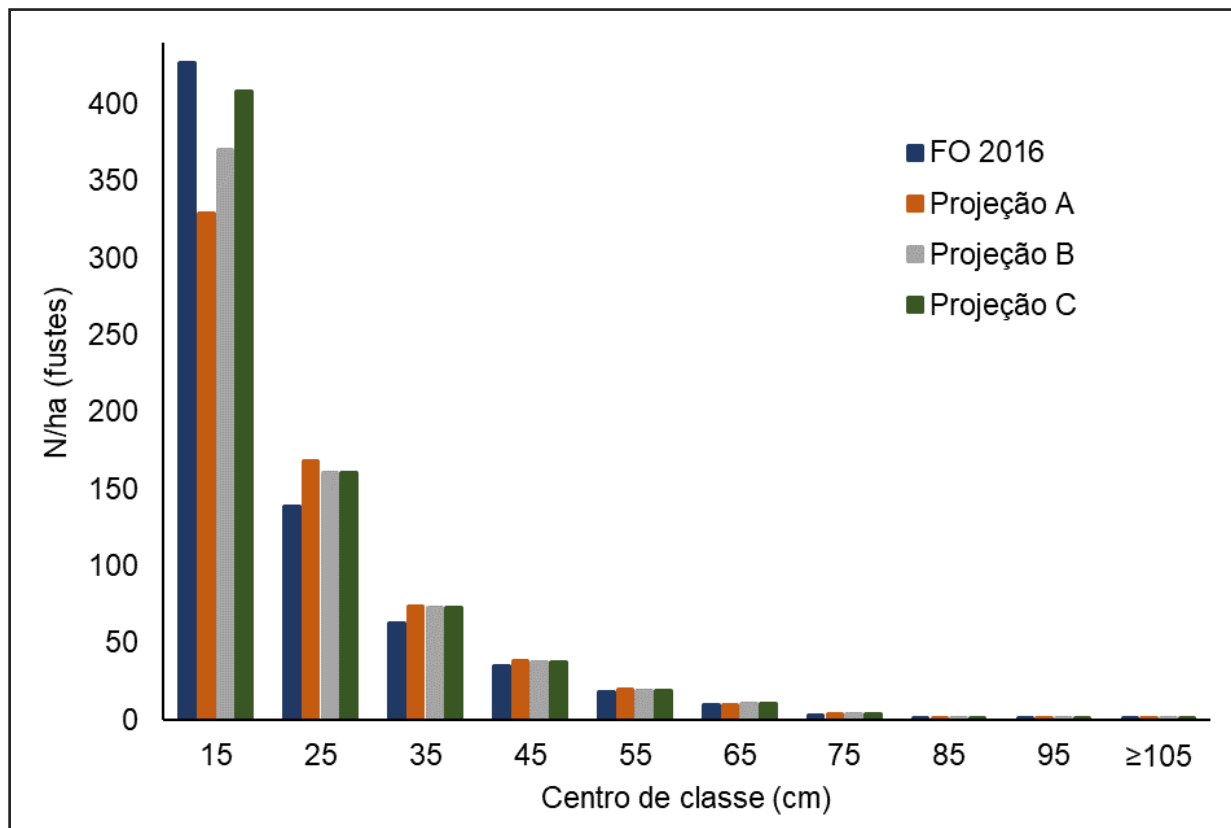
O estrato II representou 81,69% da área amostrada, sendo que as unidades secundárias estão distribuídas tanto na extremidade quanto no interior da área de estudo. Os valores desse estrato para IPA, fustes por hectare e número de espécies, são os que mais se aproximam aos valores médios para toda a floresta, justamente pela representatividade alta dessas parcelas. A diversidade de espécies também foi similar ao encontrado para a floresta, assim como os valores de ingresso e mortalidade.

O estrato III é formado principalmente por unidades secundárias que estavam nas extremidades da área de estudo, fazendo divisa com estradas de acesso e áreas de vegetação menos densa. A taxa de ingresso desse estrato é a maior encontrada na floresta e a grande quantidade de indivíduos com menores diâmetros elevaram o valor da área basal desse grupo. Muitos autores afirmam que as bordas de fragmentos têm menor diversidade de espécies, pois sofrem, entre outras coisas, com a ação dos ventos e maior incidência de luz solar, causando a morte de espécies que não estão adaptadas a essas condições, e favorecendo o desenvolvimento de outras espécies, como as pioneiras (LAURANCE *et al.*, 1998; VIANA; PINHEIRO, 1998; HERRMANN; RODRIGUES; LIMA, 2005). Isso explica o fato desse grupo de parcelas apresentar uma pequena quantidade de espécies, mas uma grande quantidade de indivíduos arbóreos por hectare.

3.2 Prognose da distribuição diamétrica

As projeções da distribuição diamétrica para o ano de 2016 seguiram a mesma estrutura observada na floresta, com o maior número de fustes concentrado nas primeiras classes de diâmetro, onde ocorreu, notadamente, grande quantidade de ingresso, mas também houve ingresso em menor quantidade nas duas classes seguintes. Com o aumento da classe diamétrica, o número de fustes diminuiu expressivamente como esperado para florestas naturais, e essa distribuição é conhecida como “J-invertido” (Figura 3).

Figura 3 – Comparação entre o número de fustes observados em 2016 (FO 2016) e projetados para toda a floresta com intervalo de 12 anos (A), para toda a floresta com intervalo de 7 anos (B) e para a floresta estratificada com intervalo de sete anos (C)



Fonte: Autores (2018)

Quanto ao número total de fustes, as projeções realizadas para a floresta como um todo subestimaram os valores observados em 7,44% para o intervalo de 12 anos, e 2,87% para o intervalo de 7 anos. Na prognose realizada para a floresta estratificada, o número de fustes total foi superestimado em 2,72% em relação aos valores observados.

Todas as projeções tiveram maior variação nas primeiras classes diamétricas (Figura 3), e esse fato pode ser justificado por essas classes sofrerem intensa dinâmica de ingresso e mortalidade, o que é comum em florestas naturais. De acordo com Ebling *et al.* (2012), a alta frequência de árvores nas menores classes diamétricas contribui para diminuir a eficiência dos modelos de projeção para essas classes.

As projeções na classe de 10 a 20 cm (centro de classe de 15 cm) apresentaram maior diferença, subestimando os valores observados (Tabela 2). A diferença entre o valor observado e o projetado na primeira classe de diâmetro para toda a floresta no intervalo de 12 anos foi de 22,92%, para o intervalo de 7 anos foi de 13,25%, e para a floresta estratificada, 4,38%.

Tabela 2 – Distribuição diamétrica do número de fustes observados e projetados

Centro de classes diamétricas	Fustes.ha ⁻¹ Observados 2016	Fustes.ha ⁻¹ projetados 2016		
		A	B	C
15	427,08	329,18	370,47	408,36
25	138,92	168,15	160,61	160,71
35	62,58	73,60	72,52	72,65
45	34,77	38,01	37,78	37,85
55	17,69	19,43	19,15	19,19
65	9,92	9,87	10,16	10,17
75	3,19	3,88	3,88	3,89
85	0,92	1,14	1,15	1,15
95	0,31	0,44	0,40	0,40
≥105	0,27	0,18	0,19	0,19
Total	696	644	676	715

Fonte: Autores (2018)

Em que: A = toda a floresta com intervalo de 12 anos; B = toda a floresta com intervalo de 7 anos e C = floresta estratificada para intervalo de 7 anos.

Apesar da primeira classe diamétrica apresentar a maior taxa de ingresso, esta ainda foi baixa quando comparada com a taxa de mortalidade. O método da Razão de Movimento aplicado após a estratificação da floresta conseguiu fazer a melhor projeção dos fustes que ingressaram e morreram na menor classe diamétrica, pois as taxas de ingresso e mortalidade sofreram variações entre as parcelas secundárias, e essas variações foram minimizadas com a estratificação.

Outros autores que usaram o método de Razão de Movimento na Floresta Ombrófila Mista encontraram redução do número de árvores estimado em relação ao observado na primeira classe de diâmetro. Entre eles, Lana *et al.* (2015) atribuíram essa redução à diminuição do recrutamento e aumento do crescimento em diâmetro, e Stepka *et al.* (2010) associaram à grande mortalidade na área pesquisada para essa classe de diâmetro.

Na segunda classe diamétrica (centro de classe 25 cm), as projeções superestimaram o valor observado do número de fustes. Isso aconteceu porque nessa classe ainda ingressaram alguns fustes além dos fustes que já faziam parte da primeira classe e, com crescimento em diâmetro, migraram para a segunda classe. Nas demais classes diamétricas, as projeções e os valores observados ficaram muito próximos.

Os valores totais de fustes das projeções apresentaram poucas diferenças do valor observado, entretanto o teste K-S detecta a classe de maior divergência e compara com um valor tabelado a um dado nível de significância (STEPKA *et al.*, 2010). Esse ponto de maior divergência, que é o valor de D_n , foi encontrado na primeira classe diamétrica para todas as projeções.

Na Tabela 3, observa-se que a projeção após a estratificação apresentou o menor valor de D_n e, de acordo com Scolforo (2006), os melhores ajustes são indicados pelos menores valores de D_n . Reis *et al.* (2018) também encontraram maiores valores de D_n nas menores classes de diâmetro usando matriz de transição em floresta pós-colheita na Amazônia.

Tabela 3 – Teste de Kolmogorov-Smirnov calculado em cada projeção

Estatísticas	Projeções		
	A	B	C
D_n	97,90	56,60	18,99
D_{cal}	0,14	0,08	0,03
D_{tab}	0,05	0,05	0,05

Fonte: Autores (2018)

Em que: A = toda a floresta com intervalo de 12 anos; B = toda a floresta com intervalo de sete anos; C = floresta estratificada para intervalo de sete anos; D_n = ponto de maior divergência entre as distribuições; D_{cal} = valor calculado no teste de K-S para as distribuições; D_{tab} = valor tabelado no teste de K-S ($\alpha \leq 0,05$).

Ao analisar o teste de K-S, as duas projeções realizadas para toda a floresta rejeitaram a hipótese de que a distribuição diamétrica projetada segue a distribuição observada. Quando a floresta foi estratificada, não se rejeita a hipótese H_0 , ou seja, a distribuição estimada foi estatisticamente similar à distribuição observada.

Austregésilo *et al.* (2004), por meio do teste de K-S, também rejeitaram a hipótese de que a distribuição prognosticada por meio da Razão de Movimento é similar à distribuição observada, considerando $\alpha = 0,05$, em uma Floresta Estacional Semidecidual Secundária. Para esses autores, o método poderia apresentar um resultado melhor caso o ingresso e a mortalidade fossem modelados.

O valor do Índice de Reynolds para as projeções da distribuição diamétrica dos fustes está detalhado na Tabela 4. A projeção realizada para a floresta estratificada obteve melhores resultados, pois apresenta o menor valor e, de acordo com Qin, Cao e Blouin (2007), um valor mais baixo obtido por meio desse índice indica pequena diferença entre os valores observados e os estimados nas classes de diâmetro.

Os maiores valores se encontram nas primeiras classes diamétricas, confirmando que nessas classes houve maior diferença entre os valores projetados e observados, destacando a primeira classe da projeção com a floresta estratificada, que apresentou o mais baixo valor obtido para essa classe diamétrica. Na projeção para toda a floresta, o intervalo de 12 anos teve o valor mais elevado obtido por esse índice.

Tabela 4 – Índice de Reynolds calculado para cada classe

Centro de classes diamétricas	Área basal por classe diamétrica	$\frac{ N_i - \hat{N}_i }{G_i}$		
		A	B	C
15	6,65	14,71	8,51	2,81
25	6,55	4,46	3,31	3,32
35	5,86	1,88	1,70	1,72
45	5,45	0,59	0,55	0,56
55	4,11	0,42	0,35	0,36
65	3,23	0,02	0,07	0,08
75	1,37	0,50	0,50	0,51
85	0,52	0,42	0,44	0,44
95	0,21	0,64	0,43	0,43
≥105	0,25	0,36	0,32	0,32
Índice de Reynolds	34,22	24,00	16,18	10,56

Fonte: Autores (2018)

Em que: A = toda a floresta com intervalo de 12 anos; B = toda a floresta com intervalo de 7 anos e C = floresta estratificada para intervalo de 7 anos.

Dentre as projeções realizadas para a floresta como um todo, quando o intervalo foi de 12 anos, ocorreu o pior desempenho. As projeções não são recomendadas para intervalos de tempo muito grandes, pois o método empregado avalia o estado da floresta no período inventariado e não considera mudanças no padrão de crescimento (STEPKA *et al.*, 2010). Pulz *et al.* (1999) recomendam que projeções da distribuição diamétricas devem ser realizadas para períodos inferiores a 20 anos, e Ebling *et al.* (2012) concluíram que uma amplitude temporal de quatro anos representou melhor a estrutura diamétrica de uma FOM quando comparada com o intervalo de dois e três anos.

Mesmo com a proximidade entre valores estimados no período de 7 anos para toda a floresta e para a estratificação, as estatísticas de avaliação das prognoses mostram que a floresta estratificada proporcionou melhores ajustes. O resultado da média ponderada das prognoses realizada para cada estrato apresentou maior proximidade com os valores observados, principalmente na primeira classe diamétrica.

Como a estratificação é uma metodologia fácil de ser aplicada, ela é recomendada para locais muito heterogêneos. Também é importante realizar outros estudos utilizando diferentes parâmetros da floresta para avaliar outras formas de estratificação. Como se observa a melhora das estimativas, o método da Razão de Movimento realizado após a estratificação da floresta pode diminuir o erro em projeções consecutivas.

Os estudos da evolução da distribuição diamétrica no decorrer do tempo na FLONA de Três Barras podem auxiliar na definição do potencial produtivo e embasamento do manejo sustentável para uma possível concessão da floresta.

4 CONCLUSÃO

A estratificação da floresta pela técnica multivariada de análise de agrupamento, usando o número de fustes, área basal e incremento periódico, proporciona resultados mais precisos na projeção da estrutura diamétrica da floresta.

Recomenda-se, para áreas extensas e heterogêneas, o uso dessa técnica de agrupamento para projeções da estrutura diamétrica por meio da razão de movimento.

AGRADECIMENTOS

Pelo auxílio na coleta de dados em campo, ao Laboratório de Manejo Florestal da UNICENTRO, ao Projeto Imbituvão e ao professor Rafael Rode. Pelo auxílio no processamento estatístico, ao Tiago Grespan.

REFERÊNCIAS

AUSTREGÉSILO, S. L. *et al.* Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma floresta estacional semidecidual secundária. **Revista Arvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 227-232, 2004.

BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology with R**. New York: Dordrecht; London Heidelberg, 2011. 306 p.

CORMARK, R. M. A review of classification. **Journal of the Royal Statistical Society**, [s. l.], v. 134, n. 3, p. 321-367, 1971.

DIAMANTOPOULOU, M. J. *et al.* Estimation of Weibull function parameters for modelling tree diameter distribution using least squares and artificial neural networks methods. **Biosystems Engineering**, [s. l.], v. 3, p. 33-45, 2015.

EBLING, A. A. *et al.* Acuracidade da distribuição diamétrica entre métodos de projeção em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 6, p. 1020-1026, 2012.

EBLING, A. A. *et al.* Análise de agrupamento aplicado no crescimento diamétrico de florestas. **Enciclopédia Biosfera**, Jandaiaa, v. 9, n. 16, p. 125-131, 2013.

EBLING, A. A. *et al.* Prognose da estrutura diamétrica de remanescente de floresta com Araucária utilizando a função densidade de probabilidade Weibull. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 8, n. 1, p. 112-118, 2014.

FARRIS, J. S. On the cophenetic correlation coefficient. **Systematic Zoology**, [s. l.], v. 18, p. 279-285, 1969.

FELKER, R. M. *et al.* Impact of *Bambusa tuldoides munro* (poaceae) on forest regeneration. **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 275-282, 2017.

GERBER, D. *et al.* Utilização de *Bromelia antiacantha bertol.* em projetos de restauração ecológica. **Acta Biológica Catarinense**, Joinville, v. 4, n. 2, p. 60-67, 2017.

GRISCOM, B. W.; ASHTON, P. M. S. Bamboo control of forest succession : *Guadua sarcocarpa* in Southeastern Peru. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 175, p. 445-454, 2003.

HERRMANN, B. C.; RODRIGUES, E.; LIMA, A. A paisagem como condicionadora de bordas de fragmentos florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 1, p. 13-22, 2005.

HOPPE, J. M.; SCHUMACHER, M. V. **A floresta e os animais**. Santa Cruz do Sul: Afubra, 2001. 102 p. (Série Ecologia, v. 5).

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012. (Série Manuais Técnicos em Geociências).

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de manejo da Floresta Nacional de Três Barras**. Brasília, 2016.

LANA, M. D. *et al.* Projeção diamétrica por razão de movimentação em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no sul do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 1, p. 151-162, 2015.

LAURANCE, W. F. *et al.* Rain forest fragmentation and the dynamics of amazonian tree communities. **Ecology**, Washington, v. 79, n. 6, p. 2032-2040, 1998.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. [S. l.: s. n.], 2012. v. 24

LINGNER, D. V. *et al.* Caracterização da estrutura e da dinâmica de um remanescente de Floresta com Araucária no Planalto Catarinense. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 55, n. 1, p. 55-66, 2007.

LONGHI, R. V. *et al.* Projeção da distribuição diamétrica em floresta com araucária explorada seletivamente no Sul do Brasil. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 2, p. 210-219, 2017.

MACHADO, S. *et al.* Projeção da Estrutura Diamétrica de Grupos Ecológicos em uma Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, 2017.

MARDIA, A. K. V.; KENT. J. T.; BIBBY, J. M. **Multivariate analysis**. London: Academic Press, 1997. 518 p.

MATTEUCCI, S. C.; COLMA, A. **Metodologia para el estudio de la vegetacion**. Washington: Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, Programa

Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, 1982. 169 p.

ORELLANA, E. *et al.* Modelagem da distribuição diamétrica de espécies florestais em um fragmento de floresta ombrófila mista. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 297-308, 2014.

PULZ, F. A. *et al.* Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiânea com a matriz de transição. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 1-14, 1999.

QIN, J.; CAO, Q. V.; BLOUIN, D. C. Projection of a diameter distribution through time. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 37, n. 1, p. 188-194, 2007.

REIS, L. P. *et al.* Prognose da distribuição diamétrica por matriz de transição em floresta após colheita no Leste da Amazônia. **Ciência Florestal, Santa Maria**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 715-724, 2018.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Predição da distribuição diamétrica, mortalidade e recrutamento de floresta natural com matriz Markoviana de potência. **Floresta**, Curitiba, v. 24, n. 1/2, p. 23-36, 1995.

SAWCZUK, A. R. *et al.* Alterações na estrutura horizontal, no período de 2002-2008, em Floresta Ombrófila Mista no Centro-sul do estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 149-160, 2014.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: Universidade Federal de Lavras; Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 2006. 393 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Lavras: Universidade Federal de Lavras; Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 1998. 438 p.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Plano Anual de Outorga Florestal 2019**. Brasília: MMA, 2018.

SHEPHERD, G. J. **FITOPAC 1**. Manual de usuário. [S. l.]: Unicamp, 1995.

SILVA, I. F.; PEREIRA, D. S.; SILVA, S. R. F. Estudos morfológicos do bambu (*Bambusa cf. Vulgaris* L.), uma espécie invasora em área de Mata Atlântica no Parque Municipal de Maceió-Alagoas. **Revista Semente**, Maceió, v. 6, n. 6, p. 99-109, 2011.

SNEATH, P. H. A.; SOKAL, R. R. **Numerical taxonomy**: the principles and practice of numerical classification. [S. l.: s. n.], 1973.

SOUZA, A. L.; SOUZA, D. R. Análise multivariada para estratificação volumétrica de uma Floresta Ombrófila Densa de terra firme, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 49-54, 2006.

STEPKA, T. F. *et al.* Prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista com os métodos razão de movimentos e matriz de transição. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 327-335, 2010.

SWAIANE, M. D.; LIEBERMAN, D. Note on the calculation of mortality rates. **Journal Tropical Ecology**, Cambridge, p. 2-3, 1987.

TORRES ROJO, J. M.; MAGAÑA TORRES, O. S.; ACOSTA MIRELES, M. Metodología para mejorar la predicción de parámetros de distribuciones diamétricas. **Agrociencia**, Montecillo, v. 34, n. 5, p. 627-637, 2000.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Conservação da Biodiversidade, Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 32, p. 25-42, 1998.

Contribuição de Autoria

1 – Marina da Silveira Gomes

Engenheira Florestal, Ma., Pesquisadora Autônoma

<https://orcid.org/0000-0001-5966-5195> • marinadasg@gmail.com

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Administração do Projeto, Visualização de dados (tabelas e gráficos), Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

2 – Andrea Nogueira Dias

Engenheira Florestal, Dra., Professora

<https://orcid.org/0000-0002-7721-1856> • andias@unicentro.br

Contribuição: Conceituação, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Administração do Projeto, Supervisão, Validação, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

3 – Afonso Figueiredo Filho

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0001-9965-7851> • afigfilho@gmail.com

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Administração do Projeto, Supervisão, Visualização de dados (tabelas e gráficos), Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

4 – Fabiane Aparecida de Souza Retslaff

Engenheira Florestal, Dra., Professora

<https://orcid.org/0000-0003-4025-9562> • faretslaff@gmail.com

Contribuição: Análise Formal, Metodologia, Supervisão, Visualização de dados (tabelas e gráficos), Escrita – primeira redação

5 – Luciano Rodrigo Lanssanova

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-3458-5532> • luciano.lanssanova@jna.ifmt.edu.br

Contribuição: Metodologia, Supervisão, Visualização de dados (tabelas e gráficos), Escrita – revisão e edição

Como citar este artigo

Gomes, M. S.; Dias, A. N.; Figueiredo Filho, A.; Retslaff, F. A. S.; Lanssanova, L. R. Estratégias de projeção da estrutura diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 902-922, 2022. DOI 10.5902/1980509863311. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509863311>.