



Influência da amplitude de classe diamétrica na prognose da estrutura diamétrica em Floresta Estacional Semidecidual Montana

Influence of diametric class amplitude on diametric structure prognosis in Montane Semideciduous Seasonal Forest

Josiane Silva Costa Bruzeinga¹; Maria Eduarda Souza Fernandes²; Fernanda Beatriz Rocha Fernandes³; Evelyn Tinum Lima⁴; Debyson Gabriel de Jesus Paim⁵; Marcio Leles Romarco de Oliveira⁶

¹Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
josiane.bruzeinga@ufvjm.edu.br

²Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
souza.eduarda@ufvjm.edu.br

³Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
fernanda.rocha@ufvjm.edu.br

⁴Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
tinum.lima@ufvjm.edu.br

⁵Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
debyson.gabriel@ufvjm.edu.br

⁶Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
marcioromarco@ufvjm.edu.br

Resumo: A definição da amplitude de classe diamétrica é um dos parâmetros fundamentais na modelagem do crescimento florestal. O objetivo desse estudo foi avaliar a influência da amplitude de classe diamétrica na prognose da distribuição diamétrica dos indivíduos arbóreos, por meio de cadeia de Markov, em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana. Foram testadas amplitudes entre 2 e 5 cm, tomando a amplitude de 5,0 cm como referência. A aderência foi verificada com o teste Qui-quadrado a 5% de significância. Os resultados indicaram que amplitudes de classe menores resultam em estruturas mais balanceadas, enquanto amplitudes maiores suavizam a estrutura e reduzem a sensibilidade da análise. Conclui-se ainda que, diferentes amplitudes de classe diamétrica influenciam na prognose da floresta. Esse resultado reforça a importância da escolha criteriosa da amplitude de classe nos estudos de crescimento em floresta nativa.

Palavras-chave: Cadeia de Markov; Dinâmica florestal; Monitoramento.

Abstract: Defining diameter class width is one of the fundamental parameters in forest growth modeling. The objective of this study was to evaluate the influence of diameter class width on the prognosis of tree diameter distribution, using Markov chain analysis, in a fragment of Montane Semideciduous Forest. Amplitudes between 2 and 5 cm were tested, taking 5.0 cm as the reference. Goodness-of-fit was verified using the chi-square test at a 5% significance level. The results indicated that smaller diameter class widths result in more balanced structures, while larger diameters smooth the structure and reduce the sensitivity of the analysis. It is also concluded that different diameter class widths influence forest prognosis. This result reinforces the importance of carefully selecting the diameter class width in native forest growth studies.

Keywords: Markov chain; Forest dynamics; Monitoring.



INTRODUÇÃO

A compreensão da dinâmica estrutural de florestas nativas inequiduais, como a Floresta Estacional Semidecidual Montana (FESM), é fundamental para subsidiar estratégias de manejo florestal. Entre as ferramentas utilizadas para modelar essa dinâmica ao longo do tempo, os modelos baseados na cadeia de Markov têm se destacado pela capacidade de estimar transições de indivíduos entre diferentes classes diamétricas, permitindo simular a evolução da estrutura da floresta com base em dados observados (Machado et al., 2017). Um dos aspectos fundamentais na aplicação de modelos de transição diamétrica é a definição da amplitude de classes diamétrica. A escolha entre classes mais estreitas ou mais amplas pode influenciar diretamente a sensibilidade do modelo, sua capacidade de capturar padrões reais de crescimento e mortalidade, e a qualidade das previsões geradas. No entanto, ainda são escassos os estudos que avaliam, de forma sistemática, o impacto da amplitude de classe diamétrica na performance dos modelos de prognose (Gomes et al., 2022; Longhi, 2017). Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a influência da amplitude de classe diamétrica nas projeções estruturais de uma FESM, utilizando o modelo da cadeia de Markov. Testando a hipótese de que a amplitude de classe impacta na estrutura projetada das frequências de indivíduos por classe diamétrica.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado em um fragmento de Mata Atlântica, caracterizado como Floresta Estacional Semidecidual Montana (FESM), localizado município de Gouveia – MG, na Serra do Espinhaço. O fragmento possui uma área de 4 hectares e, de acordo a classificação de Köppen, o clima na região é do tipo Cwb, caracterizado por verões úmidos e invernos secos (Alvares et al., 2013).

Coleta e análise dos dados

Foram instaladas sete parcelas permanentes de 20 × 20 (400 m²), onde foram mensurados todos os indivíduos vivos e mortos em pé, com circunferência a 1,30 m do solo (CAP) ≥ 15,7 cm. Os indivíduos foram medidos em novembro de 2023 e remedidos em maio de 2025.



Cadeia de Markov

Para estimar a matriz de probabilidades de transição de indivíduos entre as classes diamétricas, foi realizada a proporção de indivíduos que permaneceram em cada classe e os que mudaram de classe em relação ao total de indivíduos da referida classe no primeiro ano de medição. Identificando a migração, permanência, ingresso e mortalidade dos indivíduos. Essa matriz (G) foi obtida dividindo-se o número de indivíduos que permaneceu na classe diamétrica e que passaram para uma ou duas classes posteriores, morreram e ingressaram nas classes pelo número de indivíduos total no estado inicial:

$$P_{ij} = \left(\frac{n_{ij}}{n_i} \right)$$

Em que: n_{ij} = número de indivíduos na classe j , no tempo $t+1$, uma vez que estavam na classe i , no tempo t , para $i = 1, \dots$, e $j = 1, \dots, k$; n_j = número total de indivíduos na classe i , no tempo t .

Na matriz G a diagonal principal, representa a proporção de indivíduos que permaneceram na mesma classe de tamanho (a_i); a subdiagonal representa a proporção dos indivíduos que passaram para a próxima classe (b_i); abaixo da subdiagonal encontra-se as proporções dos indivíduos que avançaram mais de uma classe (c_i), na unidade de tempo; o restante da matriz foi preenchido com zeros (Buongiorno; Michie, 1980).

$$G = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & c_n & b_n & a_n \end{bmatrix}$$

A projeção da estrutura da floresta foi realizada de acordo com Buongiorno & Michie (1980):

$$Y_{t+\Delta t} = G^n * Y_{it} + I_{it}$$

Em que: $Y_{t+\Delta t}$ = número de indivíduos no tempo $t + \Delta t$; G = matriz de probabilidade de transição por classe diamétrica; Y_{it} = vetor número de indivíduos por classe de diâmetro no tempo t , com dimensão $1 \times k$; I_{it} = vetor número de indivíduos ingresso no tempo t , com dimensão $1 \times k$; e $n = n$ período de prognose.



Para as prognoses foram utilizadas sete amplitudes de classe diamétrica (2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5 e 5,0 cm), em cinco anos de projeção (maio/2025; novembro/2026; maio/2028; novembro/2029; maio/2031). Cada prognose foi comparada com as prognoses da amplitude de classe de referência (5,0 cm), agrupadas para o mesmo número de classes desta, por meio do teste Qui-quadrado (X^2) à 5% de significância (Silva et al., 2014). Em que, H_0 : não existe diferença significativa entre as prognoses e H_1 : existe diferença significativa entre as prognoses. A amplitude de 5 cm foi usada como referência por ser comumente usada nos estudos em floresta nativa (Campos; Leite, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A prognose para a classe de diâmetro de 5,0 cm, selecionada como referência, para se obter as demais estimativas, apresentou tendência de J-invertido, para todos os anos projetados, comportamento típico de florestas naturais inequiduais (Silva, 2017). A maioria dos indivíduos se concentram nas menores classes, ocorrendo uma migração natural com o decorrer do tempo para as classes maiores, porém mantendo uma tendência exponencial negativa (Figura 1). Essa é a forma mais comum em florestas nativas naturais e maduras a qual sugere uma floresta em equilíbrio dinâmico, com regeneração contínua.

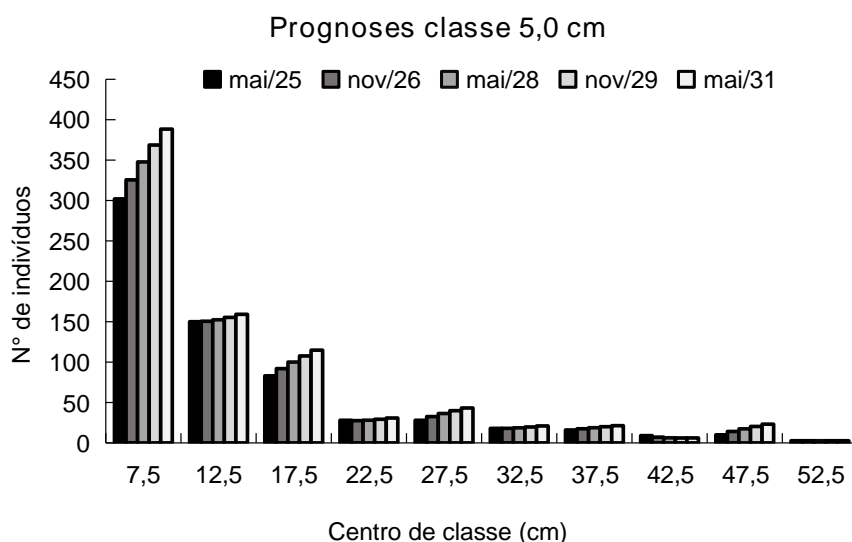


Figura 1: Projeção da distribuição diamétrica em 5 anos para a amplitude de classe de 5,0 cm em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana.



As demais projeções também apresentaram uma estrutura com padrão característico de J-invertido em todas as classes e anos de prognose (Figura 2). Essa forma é um padrão característico das espécies de florestas nativas (Dalla, 2015).

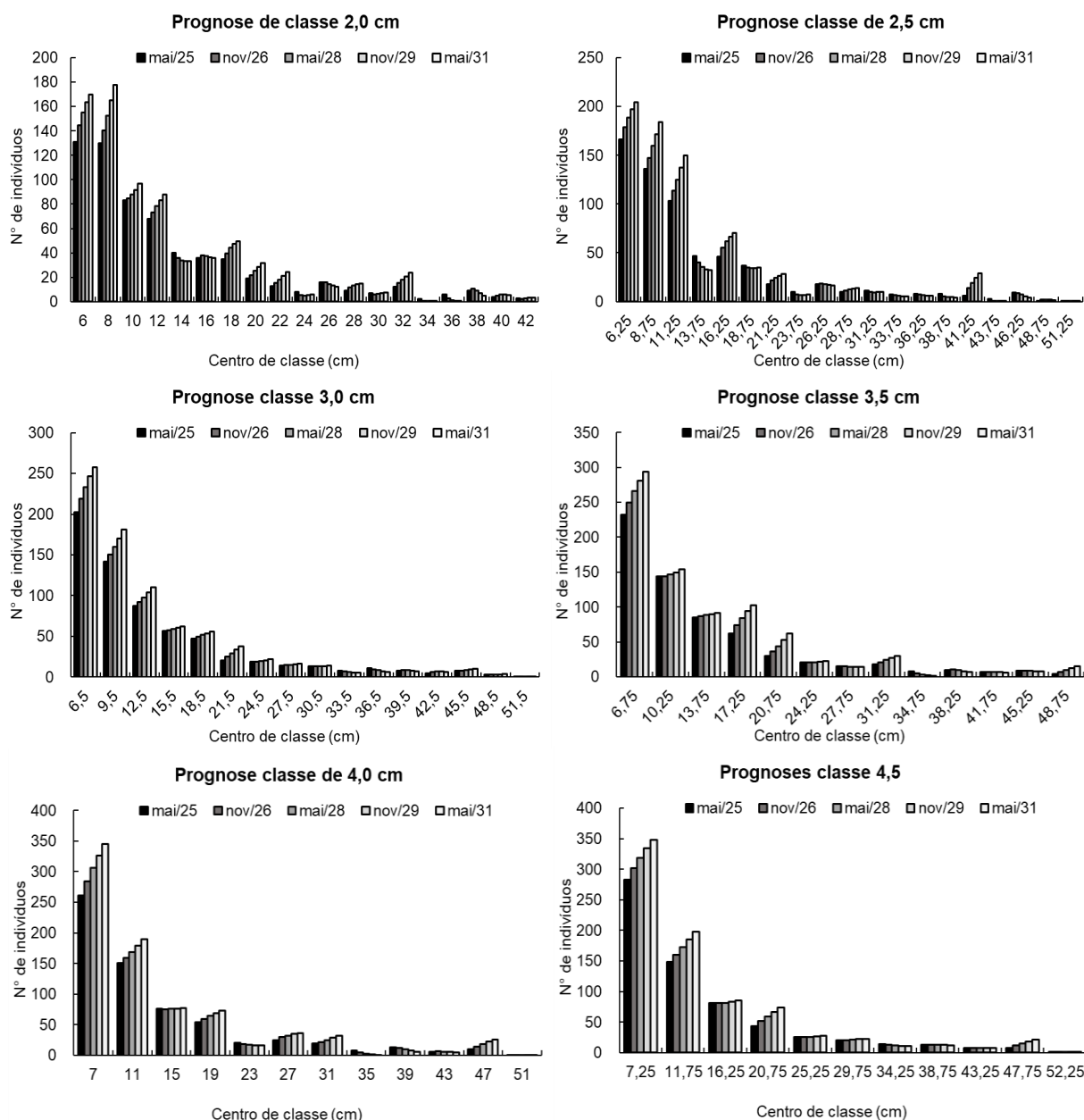


Figura 2: Projeção da distribuição diamétrica em 5 anos para diferentes amplitudes de classe diamétrica em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana.

Na amplitude de classe de 2,0 cm ocorre uma redução gradativa no número de indivíduos nas classes diamétricas inferiores (6 a 10 cm), mas a partir dessas observa-se



picos em algumas classes. O que é compatível com florestas em estágio sucessionais intermediários ou avançados, mas com histórico de perturbações antrópicas ou naturais (Souza et al., 2014). A classe de 3,0 cm apresentou uma estrutura, visualmente, mais balanceada da dinâmica estrutural do que as classes de 2,0 e 2,5, evidenciando os fluxos de crescimento e a redução nas classes maiores.

As classes mais amplas (4,0 cm e 5,0 cm), por outro lado, suavizam a curva de distribuição diamétrica e apresentam menor variação entre períodos, o que pode comprometer a detecção de mudanças estruturais importantes. Essas classes são mais robustas estatisticamente, mas perdem informações do crescimento dentro das classes, o que pode interferir nas decisões de manejo mais detalhadas.

De acordo com o teste Qui-quadrado à 5% de significância (Tabela 1), não houve diferença significativa entre as frequências observadas e projetadas nas classes diamétricas de 2,5 (mai/25 e nov/26) e 4,5 (mai/25). Esse resultado se deve ao fato de cada classe de da amplitude de 5 cm abranger duas classes da amplitude de 2,5 cm. Para as demais classes de diâmetro foi possível observar diferenças significativas, mostrando que diferentes amplitude de classes influenciam na prognose, uma vez que o decréscimo esperado entre classes sucessivas não foi observado em todas projeções.

Tabela 1 - Resultado do teste Qui-quadrado entre frequências observadas e projetadas nas classes diamétricas, em que: *P*-valor do teste Qui-quadrado para as comparações das prognoses com a classe de 5,0 cm, em que ^{ns} = não significativo à 5% e ** = significativo.

e	Class	Prognos	Centro de classe de 5,0 cm				
			mai/25	nov/26	mai/28	nov/29	mai/31
2,0	mai/25		7,35E-05**				
	nov/26			2,42E-08**			
	mai/28				3,17E-16**		
	nov/29					3,43E-36**	
	mai/31						3,50E-75**
2,5	mai/25		1,00 ^{ns}				
	nov/26			0,51 ^{ns}			
	mai/28				6,16E-03**		



3,0	nov/29				2,53E-23**	
	mai/31					1,71E-15**
	mai/25	7,63E-19**				
	nov/26		3,89E-20**			
	mai/28			1,11E-21**		
3,5	nov/29				2,53E-23**	
	mai/31					3,14E-25**
	mai/25	7,07E-15**				
	nov/26		6,00E-16**			
	mai/28			9,71E-18**		
4,0	nov/29				9,65E-20**	
	mai/31					6,80E-22**
	mai/25	5,32E-05**				
	nov/26		2,65E-08**			
	mai/28			3,50E-12**		
4,5	nov/29				4,83E-16**	
	mai/31					8,39E-20**
	mai/25	0,07 ^{ns}				
	nov/26		3,57E-04**			
	mai/28			4,18E-07**		
	nov/29				2,99E-10**	
	mai/31					2,04E-13**

As amplitudes de classes que não apresentaram diferença significativa entre na projeções, são amplitudes próximas à amplitude de referência (5,0 cm). O fato das florestas nativas apresentarem crescimento em diâmetro lento, explica esse resultado. Onde o crescimento individual em curto período de tempo, não é suficiente para proporcionar uma mudança de classe em amplitudes maiores. As amplitudes de classe intermediárias (2,5 cm



a 3,5 cm) mostraram-se os mais adequados para representar tanto a variabilidade da estrutura quanto a estabilidade nas projeções.

Segundo Silva et al. (2020) deve ser feita uma adaptação da amplitude de classe, dada às características estruturais da floresta e à finalidade da análise. Como por exemplo, para estudos de incremento em área basal, amplitudes menores são mais adequadas. Já para fins de monitoramento de longo prazo, amplitudes de classe maiores podem ser suficientes. Portanto, a definição da amplitude de classe não deve ser padronizada indiscriminadamente.

CONCLUSÃO

A amplitude da classe diamétrica exerce influência direta sobre os resultados da prognose estrutural na Floresta Estacional Semidecidual estudadas. Amplitudes menores aumentam o detalhamento da projeção e classes com amplitudes maiores ocultam importantes padrões de crescimento. Recomenda-se, portanto, que a escolha da amplitude de classe seja adequada ao objetivo do estudo e à estrutura da floresta analisada.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- BUONGIORNO, J.; MICHIE, B. R. A matrix model of uneven-aged forest management. *Forest Science*, v. 26, p. 609-625, 1980.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Mensuração florestal: perguntas e respostas. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 2017.
- DALLA, L. M.; NETTO, S. P.; DALLA CORTE, A. P. et al. Projeção diamétrica por razão de movimentação em um fragmento de floresta ombrófila mista no sul do paraná. *Floresta*, v. 45, n. 1, 2015.
- GOMES, M. D. S.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A. et al. Estratégias de projeção da estrutura diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. *Ciência Florestal*, v. 32, p. 902–922, 2022.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. Econometria Básica, 5ed. Bookman: Porto Alegre, 920p., 2011.
- LONGHI, R. V.; SCHNEIDER, P. R.; DE SOUZA, D. F. et al. Projeção da distribuição diamétrica em floresta com araucária explorada seletivamente no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 12, n. 2, p. 210-219, 2017.
- MACHADO, S.; CYSNEIROS, V.; NASCIMENTO, R. G. et al. Projeção da Estrutura Diamétrica de Grupos Ecológicos em uma Floresta Ombrófila Mista. *Floresta e Ambiente*, v. 24, p. e20160012, 2017.



SILVA, M. A.; WENDT, G.; ARGIMON, I. L.; et al. Técnicas de correção do teste qui-quadrado para amostras não normais. *Avaliação Psicológica*, v. 17, n.4, p.407-416, 2018.

SILVA, A. L., SOUZA, A. L., SILVA, D. A. Prognose de florestas nativas utilizando cadeias de Markov. *Revista Árvore*, v. 44 n.1, 2020.

SOARES, T.; DO CARMO, D. F. S.; CRUZ, E. S. Prognose por classe diamétrica em uma floresta estacional decidual em Jataí, GO. *In 9º Congresso Florestal Brasileiro*. v. 1, n. 1, pp. 317-320, 2022.

SOUZA, A. L.; SCOLFORO, J. R. S. Modelagem do crescimento e da produção florestal. Viçosa, MG: UFV, 2014.