

## ***Efeito da exploração de impacto Reduzido na Florística, estrutura e prognose diamétrica na Floresta Nacional do Tapajós, Pará***

A modelagem da distribuição diamétrica através matriz de transição pode ser uma ferramenta fundamental para estimar a estrutura futura de uma floresta submetida a exploração de impacto reduzido (EIR). O objetivo deste estudo foi realizar a prognose da estrutura diamétrica para uma floresta tropical com histórico de EIR na Flona Tapajós, Pará. Os dados foram coletados do inventário de 10 parcelas permanentes de 50 m x 50 m pertencentes a uma Unidade de Produção Anual (UPA). As medições foram realizadas em 2007, um ano antes da exploração e posteriormente em 2010, 2013 e 2016. Para a projeção foram usadas duas matrizes de transição que foram dos anos 2007-2010 e 2010-2013, e posteriormente comparadas com a distribuição diamétrica real de 2013 e 2016. As distribuições diamétricas reais e projetadas foram comparadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 1 % de significância. Houve maior probabilidade das árvores permanecerem nas mesmas classes de diâmetro e também verificado a ocorrência do estado absorvente. O método matriz de transição apresentou valores estimados próximos aos reais na qual em todos os anos houve subestimativa no número total de árv ha-1. A projeção da matriz probabilística 2007-2010 foi aderente até 2013 (5 anos após a exploração), enquanto da matriz 2010-2013 foi aderente até o ano de 2016 (8 anos após a exploração), recomendando esta última para a prognose da estrutura florestal. O método de matriz de transição pode ser usado pelo manejo florestal para a projeção da densidade por classe diamétrica após a exploração, mas devendo ter cautela ao realizar para períodos grandes.

**Palavras-chave:** Cadeia de markov; Floresta tropical; Distribuição diamétrica; Exploração de impacto reduzido.

## ***Effect of Reduced-impact logging on Floristics, Structure and Diametric Prognosis in the Tapajos National Forest, Pará***

The modeling of the diametric distribution through the transition matrix prognosis can be a fundamental tool to understand a future structure of a forest subjected to reduced impact exploration (EIR). The objective of the study is to make a prognosis of the diametric structure for a tropical forest with a history of EIR in Flona Tapajós, Pará. Data were collected at the Annual Production Unit (UPA) n° 3 through an inventory of 10 permanent plots of 50 mx 50 m. 4 were transported, the first capture occurred before the exploration (2007) and the rest after (2010, 2013, 2016). An exploration took place in 2008 with a cutting intensity of 15.68 m<sup>3</sup>/ha. For the projection, two transition matrices from the years 2007-2010 and 2010-2013 were used, which were compared with the actual diametric distribution of 2013 and 2016. Statistical evaluation of the real and projected distributions was analyzed by the Kolmogorov-Smirnov (KS) test at 1% significance. The distributions designed by the two standard J-inverted matrices. The projection of the probabilistic matrix 2007-2010 was adherent until 2013 (5 years after logging), while of the 2010-2013 matrix until 2016 (8 years after logging), recommending the latter for a prognosis of the forest structure. The transition matrix method can be used for sustainable forest management to project the density by diameter class after logging but should be cautious when carrying out for long periods.


**Keywords:** Markov chain; Tropical forest; Diametric distribution; Low impact exploration.


Topic: **Ciências Florestais**

Received: **04/08/2021**


Approved: **22/08/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.


**Bruno de Almeida Lima**   
Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7668250147759195>  
<http://orcid.org/0000-0002-4768-111X>  
[bruno.lima.stm@hotmail.com](mailto:bruno.lima.stm@hotmail.com)

**Marcos Felipe Nicoletti**   
Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5635348559784763>  
<http://orcid.org/0000-0003-4732-0119>  
[bruno.lima.stm@hotmail.com](mailto:bruno.lima.stm@hotmail.com)

**Thiago Floriani Stepka**   
Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6608813637424044>  
<http://orcid.org/0000-0002-9835-4936>  
[bruno.lima.stm@hotmail.com](mailto:bruno.lima.stm@hotmail.com)

**Rafael Rode**   
Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7890873399287123>  
<http://orcid.org/0000-0002-7070-7293>  
[bruno.lima.stm@hotmail.com](mailto:bruno.lima.stm@hotmail.com)

**Bruno Rafael Silva de Almeida**   
Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2655441279590232>  
<http://orcid.org/0000-0002-4287-5716>  
[bruno.lima.stm@hotmail.com](mailto:bruno.lima.stm@hotmail.com)

**Lia de Oliveira Melo**   
Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7141186898784095>  
<http://orcid.org/0000-0002-5354-7742>  
[bruno.lima.stm@hotmail.com](mailto:bruno.lima.stm@hotmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0008

### **Referencing this:**

LIMA, B. A.; NICOLETTI, M. F.; STEPKA, T. F.; RODE, R.; ALMEIDA, B. R. S.; OLIVEIRA, L. C.. Efeito da exploração de impacto Reduzido na Florística, estrutura e prognose diamétrica na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.8, p.82-92, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0008>

## INTRODUÇÃO

O uso da floresta tropical em benefício da sociedade requer decisões acertadas com relação ao nível de imputação a ser usado na exploração florestal. As decisões ideais requerem previsões precisas de crescimento e produção em diferentes cenários produtivos que capazes de fornecer várias possibilidades para a exploração (NASCIMENTO et al., 2014).

Avaliar como o número de árvores evolui ao longo dos anos por classe de diâmetro resulta em importante informação para o manejo florestal, podendo calcular o volume, área basal e ciclo de corte (LANA et al., 2015; SCOLFORO, 1998). Para isso são usados modelos de produção florestal com o objetivo garantir a sustentabilidade dos recursos em florestas tropicais (VASCONCELOS et al., 2009).

O uso de modelos de prognose facilitam a análise da estrutura diamétrica da floresta, fornecendo subsídios para tomada de decisões em relação a exploração dos recursos florestais (MACHADO et al., 2017). Para o manejo florestal sustentável a ferramenta da modelagem de crescimento é importante pois tem a capacidade de responder o momento em que a floresta recupera seu estoque após a exploração e projeção da produção em o futuro com base nas condições atuais (OLIVEIRA et al., 2020; CHASSOT et al., 2011). Um dos métodos para gerar projeções é a matriz de transição, que segundo Austregésilo et al. (2004), é uma técnica que se baseia em probabilidade de ocorrência dos eventos que propiciam a dinâmica florestal, tais como: ingresso ou a regeneração natural, mortalidade ou a perturbação do dossel e o crescimento em classes de tamanho.

A matriz de transição por utilizar informações de distribuição de diâmetros é um dos mais difundidos para realizar a prognose, por causa da sua facilidade em obter dados. É um processo estocástico, portanto presume-se que uma árvore localizada em uma determinada classe de diâmetro no tempo  $t$  tem uma certa probabilidade de permanecer nesta classe ou de migrar para outra em tempo  $t + \vartheta$  em função do seu estado atual (VILLANOVA et al., 2018).

A grande complexidade da floresta tropical por ser uma tipologia com grande diversidade, dificulta avaliação do crescimento e produção e, por conseguinte, a definição de um ciclo de corte adequado para as espécies (SOUZA et al., 2004). Além da heterogeneidade das florestas nativas, são poucas as informações de como as plantas crescem seja em áreas intactas ou em área manejadas (SOUZA et al., 2014; SCOLFORO et al., 1996). E é nesse contexto que a prognose por meio da matriz de transição pode ser uma ferramenta importante para o manejo em projetar sua floresta ao longo do tempo.

A eficiência da matriz de transição tem resultados satisfatórios para períodos de 3 anos e vantagem de realizar simulações a partir de dados de apenas duas medições (TERESCZUCH et al., 2007). Para avaliar o crescimento de floretas naturais este modelo é uma alternativa de uso, uma vez que não coleta variáveis de difícil obtenção neste tipo de tipologia como idade e índice de sítio (SANQUETTA et al., 1996). O objetivo deste estudo foi empregar o método matriz de transição para projeção da distribuição diamétrica de uma floresta tropical amazônica, submetida a EIR, na Floresta Nacional do Tapajós, no oeste do Pará.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Tapajós (Flona Tapajós), município de Belterra, estado do Pará. São áreas de concessão para o manejo florestal sustentável pela Cooperativa Mista Flona Tapajós (COOMFLONA) localizada nas margens BR-163 entre os paralelos de 2° 45' e 4° 10' de latitude sul e entre os meridianos de 54° 45' e 55° 30' de longitude oeste (SANTOS et al., 2019).

O clima da região é quente úmido do tipo Am, com temperatura média anual de 25,5 °C e umidade relativa média de 90% de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). A precipitação média anual está em torno de 1.820 mm, apresentando grande variação no regime de chuvas durante o ano, com as maiores precipitações ocorrendo nos meses de janeiro a maio (ANDRADE et al., 2015). Na região, há predominância de Latossolo Amarelo Distrófico, caracterizados por textura muito argilosa, perfil profundo e baixa fertilidade (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2015).

A vegetação da área de estudo é classificada como Floresta Ombrófila Densa, que representa maior parte da Flona. Caracteriza-se por indivíduos arbóreos de grande porte e pela presença de lianas lenhosas, palmeiras e epífitas emergentes e cobertura arbórea uniforme (IBGE, 2012).

### Coleta e análise de dados

Os dados foram coletados através do inventário florestal contínuo de 10 parcelas permanentes de 50 x 50 m (0,25 ha cada) de uma UPA identificada de número 3 faz parcelas foram medidas em 2007 (antes da exploração que ocorreu em 2008) e remeidas nos anos de 2010, 2013 e 2016, após a exploração. No inventário foram mensuradas todas as árvores com diâmetro à 1,30 m do solo (dap)  $\geq 10$  cm.

### Prognose de distribuição diamétrica

O método de matriz de transição foi utilizado para realizar a prognose considerando uma classe de diâmetro com amplitude de 10 cm, e para períodos equivalentes de 3 anos.

A matriz de transição é um método de simulação que considera as frequências diamétricas no ano de início da simulação ( $t$ ) na forma de vetor, que multiplicado por uma matriz de probabilidades de transição entre classes diamétricas ( $G$ ) permite obter as frequências diamétricas do ano final ( $t + \Delta t$ ). O recrutamento é considerado também como um vetor ( $lit$ ), que é adicionado ao produto vetor-matriz descrito. A mortalidade pode ser considerada de duas maneiras, como um vetor subtração, ou incluída na matriz na última linha ou coluna.

A probabilidade de transição de cada período de projeção foi obtida por meio da matriz de probabilidade "G" (PULZ et al., 1999) representada abaixo:

$$G = \begin{matrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \\ \vdots \\ i_n \end{matrix} \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & c_5 & b_5 & a_5 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & \dots & m_n \end{bmatrix}$$

Em que: G= matriz de probabilidade de transição;  $i_n$ =i-ésima classe de diâmetro;  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ = probabilidades de uma árvore viva permanecer na mesma classe diamétrica ( $a_i$ ), mudar para a classe diamétrica subsequente ( $b_i$ ), ou ainda mudar duas classes ( $c_i$ );  $m_i$  = probabilidade das árvores morrerem no período estudado.

As probabilidades de transição para cada intervalo de medição foram obtidas dividindo-se o número de árvores que permaneceram na mesma classe, morreram ou mudaram de classe pelo número de árvores naquela classe no início do período de crescimento.

Para o cálculo da estrutura diamétrica da floresta no tempo futuro multiplicou-se a matriz de transição (G) pelo número de árvores do período atual e somando-se ao número de árvores ingressas (BUONGIORNO et al., 1980) como mostrado pela fórmula (1):

$$Y_{t+\Delta t} = G \cdot Y_{it} + I_{it} \quad (1)$$

Em que:  $Y_{t+\Delta t}$  = número de árvores projetadas; G=probabilidade de transição por classe diamétrica;  $Y_{it}$  = número de árvores por classe de diâmetro no atual período;  $I_{it}$  = número de árvores ingressas.

A expressão (1) tem sua forma matricial representada a seguir:

$$\begin{bmatrix} Y_{1t+\Delta t} \\ Y_{2t+\Delta t} \\ Y_{3t+\Delta t} \\ \vdots \\ Y_{nt+\Delta t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & c_5 & b_5 & a_5 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & \dots & m_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \\ \vdots \\ Y_{nt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_{1t} \\ I_{2t} \\ I_{3t} \\ \vdots \\ I_{nt} \end{bmatrix}$$

Foram construídas duas matrizes de transição (3 anos), a primeiro partindo-se do período 2007-2010, e o segundo que engloba os anos de 2010-2013. Após a obtenção das matrizes probabilísticas desses períodos foi realizada a projeção para os anos 2013 e 2016 e comparado com as suas distribuições diamétricas reais. Considerou-se esses dois cenários para avaliar se os dados que englobam e medição pré-exploração (2007) é capaz de projetar dados aderentes ou se apenas a matriz de probabilidade pós-manejo (2010-2013).

### Avaliação estatística da prognose

Para a significância estatística entre as distribuições diamétricas projetada e observada foi utilizado o Teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 1% de significância. Esse teste avalia a aderência entre as distribuições e foca na maior diferença entre as distribuições (STEPKA et al., 2010). A seguir é mostrada a fórmula (2) para medir as possíveis discrepâncias entre proporções observadas e projetadas:

$$D = \sup * |F_{o(x)} - F_{e(x)}| \quad (2)$$

Em que: D = ponto de maior divergência é valor D de K-S;  $F_{o(x)}$  = frequência observada acumulada para cada classe;  $F_{e(x)}$  = frequência estimada acumulada para cada classe; sup = maior divergência.

O menor valor de D entre as distribuições testadas indicará o melhor ajuste. A conclusão de

significância do teste é dada pela formula a seguir (3):

$$D_{calc} = D/N \quad (3)$$

Em que: D = valor de maior divergência da distribuição; N=número total de árvores;  
Posteriormente o  $D_{calc}$  será comparado com o  $D_n$  obtido na tabela K-S para N indivíduos a um nível de  $\alpha=0,01$  de significância.

Se  $D_{calc} \geq D_n$ : rejeita-se  $H_0$  (distribuições não aderentes).

Se  $D_{calc} \leq D_n$ : aceita-se  $H_0$  (distribuições aderentes).

## RESULTADOS

As matrizes de probabilidade de transição construídas com os dados de 2007-2010 e 2010-2013 podem ser observadas nas Tabelas 1 e 2 respectivamente onde são apresentadas as transições de árvores que permaneceram ou mudaram de classe. A partir da primeira matriz foi possível observar que em 10 das 13 classes ocorreu pequeno avanço de árvores para a classe seguinte, enquanto na segunda matriz das 13 classes em 8 houve transição de árvores. Nota-se que na classe de 25 cm umas pequenas porcentagens das árvores avançaram duas classes diamétricas no período de três anos (Tabela 1), comportamento semelhante na classe 35 cm da segunda matriz (Tabela 2).

**Tabela 1:** Matriz de probabilidade com dados das medições 2007 e 2010., Floresta Nacional do Tapajós, Pará.

Classe diamétrica (2007)													
Classe diamétrica (2010)	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	125	135	145
15	0,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0,04	0,81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0,05	0,82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0,005	0,07	0,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0,10	0,72	0	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0,13	0,73	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0,07	0,57	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0,07	0,33	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0,60	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,60	0	0
135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Morte natural	0,06	0,07	0,04	0,02	0	0,20	0,07	0,22	0,20	0	0	0	0
Morte por exploração	0,08	0,07	0,06	0,04	0,16	0	0,00	0,22	0,20	0	0,20	0	0
Toco exploração	0	0	0	0	0	0	0,29	0,22	0	0	0,20	0	0
Total geral	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Probabilidade de árvores que permaneceram na mesma classe de dap												
	Probabilidade de árvores que avançaram para classe de dap seguinte												
	Probabilidade de árvores que avançaram duas classes de dap												

Embora observado a pequena proporção das árvores que se moveram para o estado seguinte, houve maior probabilidade das árvores permanecerem nas mesmas classes, uma vez que não apresentaram um expressivo crescimento em dap para transitar para classes seguintes, e vale destacar que isso ocorreu principalmente nas classes de maior dap. Isso foi observado por Cruz (2014) na Amazônia, que na construção de matriz de probabilidade com amplitude diamétrica de 5 e 10 cm houve também este comportamento das árvores permanecerem em suas classes diamétricas. Essa característica também é influenciada pela amplitude temporal, já que em períodos de 2 a 3 anos as árvores têm grande probabilidade de

permanecerem na mesma classe de dap em relação aos períodos de maior tempo, por exemplo 4 e 5 anos, devido o menor tempo para incremento (LANA et al., 2015). Ressalta-se também que fatores como mortalidade e recrutamento atingem principalmente classes diamétricas inferiores influenciando para que haja maior probabilidade de permanência de árvores em classes superiores (EBLING et al., 2012).

**Tabela 2:** Matriz de probabilidade com dados das medições 2010 e 2013., Floresta Nacional do Tapajós, Pará.

Classe diamétrica (2010)													
Classe diamétrica (2013)	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	125	135	145
15	0,87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0,05	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0,07	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0,08	0,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0,01	0,13	0,86	0	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0,11	0,93	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0,07	0,78	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0,11	1	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0	0
135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Morte natural	0,05	0,06	0,06	0,02	0	0	0,11					0	0
Morte por exploração	0,025	0,0155	0,06	0,0208	0,036	0	0,00	0		0		0	0
Total geral	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Probabilidade de árvores que permaneceram na mesma classe de dap												
	Probabilidade de árvores que avançaram para classe de dap seguinte												
	Probabilidade de árvores que avançaram duas classes de dap												

Nas diagonais principais das matrizes de probabilidade ocorreu o efeito de estado absorvente, isto é, há apenas a probabilidade de árvores permanecerem sempre na mesma classe de dap e não avançarem para as seguintes, com exemplo, as classes: 95, 135 e 165 cm (Tabela 1); 85, 95, 105, 135 e 145 cm (Tabela 2). Este estado também foi observado por outros autores como Pulz et al. (1999), Austrégesilo et al. (2004) e Cruz (2010). Nesse estado absorvente o processo não é alterado ao longo da projeção e isso pode ser um fator limitante para realizar a prognose de períodos maiores (BOYCHUK et al., 2009). Nota-se que esse fenômeno ocorreu principalmente em classes de maior dap onde ocorre estágio de maturação das árvores, diminuído naturalmente seu crescimento (REIS et al., 2018; LANA et al., 2015).

Este modelo usado para a projeção mostra uma vantagem que é a obtenção da matriz tendo como base somente dados de duas medições e que pode gerar resultados satisfatórios. Mas ressalta-se que as limitações do modelo podem não ser tão precisas para períodos longos, principalmente em cenário de manejo florestal. Os valores projetados pelas matrizes de transição para os anos de 2013 e 2016 com base nas duas matrizes probabilísticas constam nas Tabelas 3 e 4.

Nota-se que os valores projetados para os anos indicados foram próximos à estrutura observada da floresta. Em algumas classes de diâmetro os valores projetados foram inferiores aos observados, principalmente nas primeiras classes de dap. Segundo Stepka et al. (2010), que avaliando uma floresta ombrófila mista, o fato de a mortalidade ocorrer principalmente nas primeiras classes de dap pode influenciar para que os valores projetados sejam diferentes dos observados. Em todos os cenários, nas classes de 105 a 145 cm as distribuições foram iguais. Stepka et al. (2010) obtiveram uma ligeira subestimativa no

número total de árvores por hectare utilizando a matriz de transição, da mesma forma observado também neste trabalho como verificado nas projeções de 2013 e 2016 das matrizes 2007-2010 e 2010-2013.

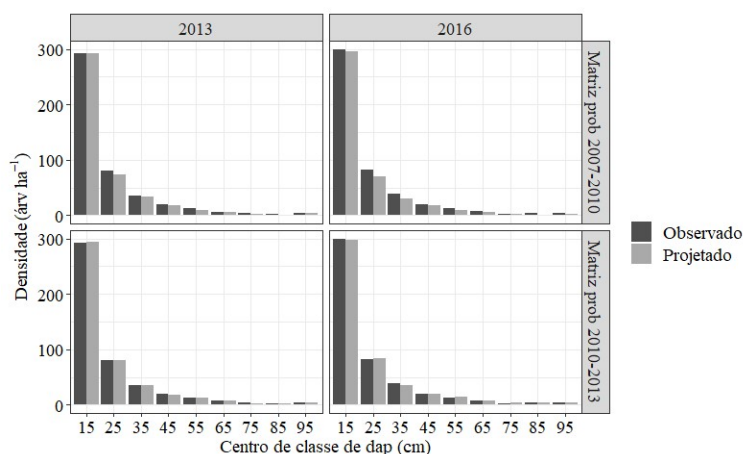
**Tabela 3:** Distribuição diamétrica observada e projetada pelo método matriz de transição para os anos 2013 e 2016, utilizando matriz probabilística 2007-2010. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará.

Classe de DAP (cm)	árv ha <sup>-1</sup> (2013)		árv ha <sup>-1</sup> (2016)	
	Observado	Projetado	Observado	Projetado
15	292	292,3	299,2	295,9
25	80,8	72,2	82,0	69,5
35	35,2	32,9	39,2	30,9
45	20,4	18,9	19,6	18,6
55	12,4	10,1	12,8	9,20
65	6,8	5,8	8,0	5,5
75	4	2,5	2,8	1,8
85	3,2	0,8	4,0	0,4
95	1,6	0,7	2,0	0,4
105	1,2	1,2	1,2	1,2
125	0,8	0,7	0,8	0,4
135	0,4	0,4	0,4	0,4
145	0,4	0,4	0,4	0,4
Total	459	439	472	435

**Tabela 4:** Distribuição diamétrica observada e projetada pelo método matriz de transição para os anos 2013 e 2016, utilizando matriz probabilística 2010-2013. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará.

Classe de DAP (cm)	árv ha <sup>-1</sup> (2013)		árv ha <sup>-1</sup> (2016)	
	Observado	Projetado	Observado	Projetado
15	292	293,6	299,2	297,1
25	80,8	80,8	82,0	84,1
35	35,2	35,2	39,2	35,4
45	20,4	18,8	19,6	19,8
55	12,8	12,4	12,8	13,9
65	6,8	6,8	8,0	7,7
75	4	3,2	2,8	3,6
85	3,2	2	4,0	3,6
95	1,6	1,2	2,0	1,6
105	1,2	1,2	1,2	1,2
125	0,8	0,8	0,8	0,5
135	0,4	0,4	0,4	0,4
145	0,4	0,4	0,4	0,4
Total	459	457	472	469

As matrizes de transição apresentaram valores projetados abaixo do observado em relação ao total de árvores, sendo que a projeção de 2013 variou 4,3% enquanto para o ano de 2016 essa variação entre os valores projetados e observados foi de 7,9% (Tabela 3). Considerando a matriz de probabilidade 2010-2013 a variação entre os reais e projetados foram de 0,6% e 0,5% respectivamente para 2013 e 2016 (Tabela 4).



**Figura 1:** Distribuição diamétrica observada e projetada pelo método matriz de transição considerando duas matrizes de probabilidade (2007-2010) e (2010-2013) para os anos de 2013 e 2016. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará.

Na Figura 1 pode ser observada a distribuição exponencial negativa dos diâmetros observados e projetados para os diferentes cenários. Segundo Machado et al. (2017) isso sugere uma boa regeneração natural em fluxo contínuo, que caracteriza a perpetuidade das populações florestais conforme os avanços sucessionais. Corroborando o que foi mostrado anteriormente nas Tabelas 3 e 4, a figura apresenta que as estrutura dos dados reais e projetados pela matriz de transição foram bastante similares.

Para a matriz de probabilidade 2007-2010 o teste de K-S indicou que a projeção diamétrica de 2013 é aderente à estrutura observada e adequada para prognose, enquanto para 2016 as diferenças foram significativas ( $P\text{-valor} < 0,01$ ) (Tabela 5).

**Tabela 5:** Teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para a diferença entre os valores observados e os estimados pela matriz de transição nos anos de 2013 e 2016, considerando a matriz probabilística 2007-2010. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará.

Classe de dap	2013	2016
	MT	MT
15	-0,32	3,30
25	7,61	15,76
35	9,87	24,10
45	11,28	25,07
55	14,03	28,67
65	15,03	31,16
75	16,57	32,17
85	18,98	35,73
95	19,86	37,30
105	19,86	37,30
125	19,94	37,67
135	19,94	37,67
145	19,94	37,67
<b>Dcalc</b>	<b>0,0434</b>	<b>0,0797</b>
<b>Dn (<math>\alpha=0,01</math>)</b>	<b>0,0760</b>	<b>0,0750</b>

Dcalc= significância estatística entre as distribuições projetada e observada; Dn = valor crítico a um nível de 1% de significância.

Isso mostra que a matriz gerada pelo ano de 2007-2010 consegue produzir resultados satisfatórios até o ano de 2013, mas que possui limitação em simular a estrutura diamétrica após a exploração de média intensidade. Em primeiro momento pós-colheita ocorre aumento da dinâmica na primeiras classes e posterior diminuição com o fechamento do dossel. Deve-se isso também o fato da matriz de probabilidade (2007-2010) abranger o período pré e pós exploração, o que ocasiona diferentes cenário da vegetação em termos de dinâmica florestal. Para os dados baseados na matriz de probabilidade 2010-2013, a distribuição projetada foi aderente à observada para 2013 e para 2016 ( $P\text{-valor} > 0,01$ ) (Tabela 6).

O teste de K-S indicou também que nas duas matrizes probabilísticas as maiores diferenças entre a estrutura diamétrica real e projetada ocorreram principalmente nas maiores classes de dap, mostrando a maior divergência.

A matriz de probabilidade de 2010-2013 gerou resultados mais precisos para os anos de 2013 e 2016. Isto é um indicativo ao manejador de que utilizar a matriz com a medição pré-exploração (2007) para projetar a estrutura futura não será tão precisa, vindo a utilizar a matriz de probabilidade 2010-2013, que é o período seguinte a exploração florestal, se quiser melhores projeções da sua área manejada nos seguintes anos. Portanto recomenda-se está última que obteve a melhor avaliação pela teste K-S, além do que as projeções foram aceitáveis até 2016, ou seja, 8 anos após a exploração, enquanto matriz de probabilidade (2007-2010)



obteve uma estrutura estatisticamente igual a real até 2013 (6 anos após a exploração).

**Tabela 6:** Teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para a diferença entre os valores observados e os estimados pela matriz de transição nos anos de 2013 e 2016, considerando a matriz probabilística 2010-2013. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará.

Classe de dap	2013	2016
	MT	MT
15	-1,60	2,11
25	-1,60	0,02
35	-1,60	3,78
45	0	3,58
55	0,40	2,46
65	0,40	2,74
75	1,20	1,98
85	2,40	2,33
95	2,80	2,73
105	2,80	2,73
125	2,80	3,0
135	2,80	3,0
145	2,80	3,0
Dcalc	0,0061	0,0080
Dn ( $\alpha=0,01$ )	0,0760	0,0750

Dcalc= significância estatística entre as distribuições projetada e observada; Dn = valor crítico a um nível de 1% de significância.

Em trabalhos correlatos na Amazônia com projeção da estrutura diamétrica também obtiveram boas precisões utilizando dados pós-manejo, como por exemplo Colpini (2008), Reis et al. (2018), Vasconcellos et al. (2009). Nos resultados desses autores as projeções da distribuição diamétrica foram aderentes para períodos curtos, em torno de 9 anos.

## DISCUSSÃO

Apesar da praticidade do uso do modelo matricial, que não envolve variáveis de difícil obtenção em florestas nativas como índice de sítio e idade, além de projeção com apenas duas medições sucessivas, este método possui algumas desvantagens (STEPKA et al., 2010). Um deles é que estatisticamente a floresta futura pode ser não aderente para tempos muitos longos, devido a matriz de transição não considerar as mudanças da mortalidade ao longo do tempo, a matriz fica limitada a pequenos períodos de projeção e Pulz et al. (1999) recomendam que os dados sejam projetados para períodos inferiores a 20 ano. Por isso ao realizar a prognose para períodos grandes deve se ter cautela, principalmente para uma área onde houve exploração de impacto reduzido, já que essa atividade provoca mudanças na composição florística e na dinâmica de crescimento.

O modelo matricial apresentado aqui pode ser uma boa ferramenta para tomada de decisão nos tratamentos silviculturais em tempos curtos, e segundo Hanson et al. (2012) isso serviria de guia de apoio, por exemplo utilizar a distribuição diamétrica para reduzir a área basal por classe de diâmetro entre outras atividades.

Reis et al. (2018) destacaram que utilizando os dados das parcelas permanentes a cada período, o manejador pode atualizar a matriz de transição e projetar para pequeno/médio período, diminuindo dessa forma a incerteza sobre a estrutura florestal futura, e reordenar a sequência das UPAs para o segundo ciclo de corte.

## CONCLUSÕES

A distribuição diamétrica projetada de todos os cenários seguiu o padrão estrutural de florestas tropicais utilizando a matriz de transição.

O Modelo que utiliza a matriz de probabilística dos anos 2010-2013 pode ser considerado o melhor para elaborar simulações da floresta após o manejo florestal. Dessa forma, é uma ferramenta útil para o planejamento da exploração de impacto reduzido da área de estudo.

A matriz de transição com dados pré corte faz-se necessário cautela no seu uso, pois sua estrutura foi aderente até 5 anos após a exploração. Enquanto a matriz pós exploração a projeção foi testada e assegurada até os 8 anos após a EIR. Portanto, pode ser usada para a prognose da estrutura diamétrica para períodos curtos após a atividade de manejo.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G.. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728. 2013.
- ANDRADE, D. F.; GAMA, J. R. V.; MELO, L. O.; RUSCHEL, A. R.. Inventário florestal de grandes áreas na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Amazônia, Brasil. *Biota Amazônia*, Macapá, v.5, n.1, p.109-115, 2015.
- AUSTREGÉSILO, S. L.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. D.; SOUZA, A. D.; MEUNIER, I. M. J.; SANTOS, E. D. S.. Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma floresta estacional semidecidual secundária. *Revista Árvore*, v.28, n.2, p.227-232, 2004.
- BOYCHUK, D.; BRAUN, W.; KULPERGER, R. J.; KROUGLY, Z.; STANFORD, D.. A stochastic forest fire growth model. *Environmental and Ecological Statistics*, University Park, v.16, n.2, p.133-151, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10651-007-0079-z>
- BUONGIORNO, J.; MICHIE, B. R.. A matrix model of uneven-aged forest management. *Forest Science*, v.26, n.4, p.609-625, 1980.
- CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J.. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista. *Ciência Florestal*, v.21, n.2, p.303-13, 2011.
- COLPINI, C.. **Dinâmica e prognose da produção de uma floresta de contato ombrófila aberta/estacional semidecidual**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.
- CRUZ, L. L.. **Prognose da distribuição diamétrica de uma floresta tropical amazônica pós manejo florestal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- EBLING, A. A.; WATZLAWICK, L. F.; RODRIGUES, A. L.; LONGHI, S. J.; LONGHI, R. V.; ABRÃO, S. F.. Acuracidade da distribuição diamétrica entre métodos de projeção em Floresta Ombrófila Mista. *Ciência Rural*, v.42, n.6, p.1020-1026, 2012.
- HANSON, J. J.; LORIMER, C. G.; HALPIN, C. R.; PALIK, B. J.. Ecological forestry in an uneven-aged, late-successional forest: simulated effects of contrasting treatments on structure and yield. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.270, p.94-107, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.01.017>
- LANA, M. D.; PÉLLICO NETTO, S.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C.. Prognose da estrutura diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. *Floresta e Ambiente*, v.22, n.1, p.71-78, 2015.
- MACHADO, S.; CYSNEIROS, V.; NASCIMENTO, R. G.; MARTINS, A.; SCHMIDT, L.. Projeção da Estrutura Diamétrica de Grupos Ecológicos em uma Floresta Ombrófila Mista. *Floresta e Ambiente*, v.24, 2017.
- NASCIMENTO, R. G. M.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; HIGUCHI, N.. A growth and yield projection system for a tropical rainforest in the Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.327, p.201-208, 2014.
- OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; KELLER, M.M.; RAMOS, J. F. F.; BELDINI, T. P.; CRILL, P. M.; CAMARGO, P. B.; VAN HAREN, J.. Chemical analysis of rainfall and throughfall in the Tapajós National Forest, Belterra, Pará, Brazil. *An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v.10, n.2, p.263-285, 2015.
- OLIVEIRA, L. C. L. Q.; JARDIM, F. C. S.; GOMES, J. M.. Predição do ciclo de corte de espécies arbóreas comerciais por grupos ecológicos em uma floresta na Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Biometria*, v.38, n.1, p.18-34, 2020.
- PULZ, F. A.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA FILHO, A. T.. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiana com a matriz de transição. *Cerne*, Lavras, v.5, n.1 p.1-14, 1999.
- REIS, L. P.; SOUZA, A. L.; REIS, P. C. M.; MAZZEI, L.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.. Prognose da distribuição diamétrica na Amazônia utilizando redes neurais artificiais e autômatos celulares. *Floresta*, v.48, n.1, p.93-102, 2018.

SANQUETTA, C. R.; BRENA, D. A.; ANGELO, H.; MENDES, J. B.. Matriz de transição para simulação da dinâmica de florestas naturais sob diferentes intensidades de corte. **Ciência Florestal**, v.6, n.1, p.65-78, 1996.

SANTOS, M. F. D.; GAMA, J. R. V.; FIGUEIREDO FILHO, A.; COSTA, D. L. D.; RETSLAFF, F. A. D. S.; SILVA-RIBEIRO, R. B. D.; RODE, R.. Conicity and yield for lumber from commercial species from the Amazon. **Cerne**, v.25, n.4, p.439-450, 2019.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M.. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural. In: SCOLFORO, J. R. S.. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA, 1998. p.189-246.

SCOLFORO, J. R.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA FILHO, A. T.. Modelo de produção para floresta nativa como base para o manejo sustentado. **Cerne**, Lavras, v.2, n.1, p.112-137, 1996.

SOUZA, C. R.; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N.. Projection of diametric distribution and carbon stock of a managed forest in Manaus/AM. **Floresta**, Curitiba, v.44, n.3, p.525-534, 2014.

SOUZA, D. R.; SOUZA, A. L.; SILVA, M. L.; RODRIGUES, F. L..

Ciclo de Corte econômico ótimo em floresta ombrófila densa de terra firme sob manejo florestal sustentável, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, v.28, n.5, p.681-689, 2004.

STEPKA, T.; DIAS, A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S.; SAWCZUK, A.. Prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista com os métodos razão de movimentos e matriz de transição. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.30, n.64, p.327, 2010.

TERESCZUCH, S. M.; MAC DONAGH, P. M.; OLIVEIRA, A. J.; RIVERO, L. E.; BULFE, N. M. L.. Predicción de la estructura diamétrica de espécies comerciales de um bosque subtropical por meio de matrices de transición. **Floresta**, Curitiba, v.37, n.1, p.71-80, 2007.

VASCONCELOS, S. S.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, M. V. N.. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, v.39, n.1, p.71-80, 2009.

VILLANOVA, P. H.; TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; SILVA, L. F. D.; SCHETTINI, B. L. S.; ROCHA, S. J. S. D.. Prognosis of the diameter distribution and carbon stock in a secondary Atlantic forest by markov chain. **Revista Árvore**, v.42, n.2, 2018.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.