

# Prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista com os métodos razão de movimentos e matriz de transição

Thiago Floriani Stepka<sup>1</sup>, Andrea Nogueira Dias<sup>1</sup>, Afonso Figueiredo Filho<sup>1</sup>, Sebastião do Amaral Machado<sup>2</sup>, Alex Roberto Sawczuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Centro-Oeste – Unicentro, PR 153, Km 7, Riozinho, CEP 84500-000, Irati, PR, Brasil, [tstepka@yahoo.com.br](mailto:tstepka@yahoo.com.br); [alexstepka@hotmail.com](mailto:alexstepka@hotmail.com); [andias@irati.unicentro.br](mailto:andias@irati.unicentro.br); [afonso.figueiredo@pq.cnpq.br](mailto:afonso.figueiredo@pq.cnpq.br); <sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná (UFPR), Av. Pref. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba, PR, Brasil, [samachado@ufpr.br](mailto:samachado@ufpr.br)

**Resumo** - A projeção da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista (FOM) foi realizada pelos métodos razão de movimentos e matriz de transição. Os dados foram coletados em 25 parcelas permanentes com área de um hectare cada, instaladas e medidas em 2002, remedidas em 2005 e 2008 em um fragmento de FOM com 1.273 ha existente na Floresta Nacional de Irati, Paraná. Todas as árvores com diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) maior ou igual a 10 cm foram medidas e identificadas. Com base nos dados das medições de 2002 e 2005, efetuou-se a projeção da estrutura diamétrica para 2008, empregando-se os métodos razão de movimentos e matriz de transição, visando comparar as projeções com os dados reais da remedição de 2008. Em relação à mortalidade e ingresso, a floresta apresentou em média, para o período entre remedições, 30,3 árvores ha<sup>-1</sup> (1,78% ano<sup>-1</sup>) e 23,64 árvores/ha (1,39% ano<sup>-1</sup>), respectivamente. Os métodos de projeção apresentaram valores estimados bastante próximos aos valores reais, sendo que em ambos ocorreu uma ligeira subestimativa no número total de árvores, com uma pequena vantagem para o método razão de movimento, que apresentou valores mais próximos dos reais. Os dois métodos testados apresentaram resultados satisfatórios na projeção da estrutura diamétrica.

**Termos para indexação:** Distribuição de diâmetros, Cadeia de Markov, Floresta de Araucária.

## Prognosis of the diameter structure of an Araucaria Forest with ratio movement and transition matrix

**Abstract** - The projection of the diameter structure of an Araucaria Forest was performed by the methods ratio movement and transition matrix. Data were collected in 25 permanent plots with an area of one hectare each. These plots were installed and measured in 2002 and re-measured in 2005 and 2008 in an Araucaria forest fragment with 1273 ha located in Irati National Forest, Parana State. All trees with diameter at breast height (dbh) greater than or equal to 10 cm were measured and identified. Based on data from 2002 and 2005 measurements, it was made to the projection of the diameter structure for 2008 using the methods ratio movement and transition matrix, comparing these projections with observed data from remeasurement of 2008 was projected. Regarding mortality and recruitment, the forest presented for the period between re-measurements (2002-2005 and 2005-2008) an average of 30.28 trees ha<sup>-1</sup> (1.78% year<sup>-1</sup>) and 23.64 trees ha<sup>-1</sup> (1.39% year<sup>-1</sup>), respectively. The methods of projection estimated quite close to observed values, and both methods presented a slight underestimation of the total number of trees per hectare, with a small advantage for the ratio movement method with values closest to real. The two methods tested produced satisfactory results on the projection of the diameter structure.

**Index terms:** Diametric distribution, Chain of Markov, Araucaria Forest.

### Introdução

As florestas sempre exerceram indiscutível influência no progresso e na cultura da humanidade. Elas precedem e condicionam o desenvolvimento das civilizações, uma vez que a madeira sempre foi produto imprescindível para as mais variadas utilidades, especialmente como combustível e material de construção em todos os tipos de sociedade (Hoppe & Schumacher, 2001).

Segundo Schaaf (2001), para que haja continuidade na produção de benefícios, há que se garantir a perpetuação do recurso florestal. Para isso, torna-se necessária a aplicação de técnicas silviculturais que assegurem a sustentabilidade do uso da floresta. Portanto, baseando-se no fato de que toda atividade de manejo implica intervenção, a atuação do profissional florestal será bem sucedida na medida em que ferramentas que lhe

permitam prognosticar os resultados de diferentes alternativas silviculturais estejam disponíveis.

Para Scolforo et al. (1996), nas florestas nativas, além de toda a complexidade de sua composição, com um grande número de espécies com as mais diferentes características silviculturais, ecológicas e tecnológicas, poucas são as informações de como as plantas crescem, seja em áreas intactas, seja em áreas exploradas ou ainda em áreas sujeitas a regime de manejo. Um dos importantes pontos a serem abordados para estas florestas é a definição do ciclo de corte e também o conhecimento de como o número de árvores por classe de diâmetro evolui ao longo do tempo.

Um instrumento poderoso para auxiliar o planejamento florestal são os modelos de produção. Embora estes impliquem numa simplificação da realidade, obter a prognose da distribuição diamétrica das árvores que compõem a floresta possibilita várias ações. Dentre estas, pode-se citar: a definição do ciclo de corte para a floresta ou com relação à espécie; a avaliação da viabilidade econômica de se praticar ou não o manejo para a floresta ou, com base nas espécies, fazer parte de um rol de critérios que auxiliarão na decisão sobre quais poderão ser removidas da floresta, fato este que afetará com menor intensidade a manutenção da diversidade florística (Pulz et al., 1999).

Neste contexto, os modelos de distribuição diamétrica são os mais comuns, e se baseiam em funções probabilísticas de distribuição, permitindo descrever as alterações na estrutura do povoamento (número de árvores por classe de diâmetro), nas relações hipsométricas e nas taxas de mortalidade, podendo todas estas características serem analisadas, simultaneamente, ao longo do tempo. Nesse tipo de modelo, destacam-se: as tabelas de povoamento ou produção, nas quais se encontram o método da razão de movimentação e o método de Wahlenberg e os modelos estocásticos de crescimento em diâmetro, em que se tem a matriz de transição (Austregésilo et al., 2004).

Dentre as tecnologias para a realização da prognose da distribuição diamétrica, destacam-se os métodos da matriz de transição e o da razão de movimentação. Ambos podem ser usados para a elaboração de modelos de produção. A matriz de transição parte do pressuposto de que uma árvore em uma determinada classe de diâmetro tem a probabilidade de se deslocar para a classe seguinte (Scolforo et al. 1998). No Brasil, esse método foi utilizado por Higuchi (1987), Freitas & Higuchi

(1993), Azevedo et al. (1995), Sanquetta et al. (1996), Scolforo et al. (1998), Pulz et al. (1999), Arce et al. (2001), Austregésilo et al. (2004), dentre outros. Já em relação ao método da razão de movimento, destacam-se entre outros, os trabalhos de Scolforo et al. (1996), Pulz et al. (1999) e Austregésilo et al. (2004).

Em relação à matriz de transição, Teresczuch et al. (2007) consideraram as estimativas das distribuições diamétricas satisfatórias para períodos de 3 anos com tratamentos diferentes de colheita e também para a testemunha. Os mesmos autores relataram que o método é simples e de fácil aplicação, apresentando a vantagem de se poder fazer simulações a partir de dados de apenas duas medições.

Para Sanquetta et al. (1996), o uso da matriz de transição pode ser um valioso instrumento ao manejador florestal, pois tal modelo pode produzir simulações satisfatórias da distribuição diamétrica, sendo que o modelo pode ser utilizado para elaborar simulações do desenvolvimento futuro da floresta após exploração.

Sanquetta et al. (2001) concluíram que o método de matriz de transição é interessante para avaliar a dinâmica florestal, pois os seus elementos quantitativos permitem interpretações numéricas objetivas na mudança da estrutura da vegetação. Da mesma forma, Cunha et al. (2002) apontaram os valores estimados pelo método da matriz de transição como compatíveis com os valores observados. Já no trabalho de Austregésilo et al. (2004), o método da matriz de transição, como outros métodos testados, foram eficientes para a prognose do número médio de árvores  $ha^{-1}$ , mas não foi eficiente para a distribuição diamétrica da floresta como um todo. Pulz et al. (1999) detectaram que os métodos de prognose empregados, inclusive os da matriz de transição e razão de movimento, são eficientes para a projeção da estrutura diamétrica, porém os autores recomendaram que os dados sejam projetados para períodos inferiores a 20 anos.

Nesta pesquisa foram testados os métodos matriz de transição e razão de movimentos para projetar a distribuição diamétrica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Centro-sul do Paraná.

## Materiais e métodos

### Dados utilizados

Os dados foram coletados em 25 parcelas permanentes com área de 1 ha (100 m x 100 m) cada, instaladas

e medidas em 2002 em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista com 1.273 ha existente na Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná. Todas as árvores com diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) maior ou igual a 10 cm foram medidas, numeradas e identificadas. Duas remedições foram realizadas nos anos de 2005 e 2008, tendo sido computadas as árvores que ingressaram e que morreram entre as remedições.

**Prognose da distribuição diamétrica**

Na presente pesquisa foi realizada uma análise preliminar nos dados das três medições realizadas nas 25 parcelas permanentes, optando-se pelo uso de classes de DAP com 10 cm de amplitude.

Os métodos matriz de transição e razão de movimentos foram utilizados nesta pesquisa para projetar a distribuição diamétrica da floresta.

**Matriz de transição**

Conforme recomendado por Azevedo et al. (1995), a probabilidade de transição para cada intervalo de medição foi obtida, dividindo-se o número de árvores que morreram, mudaram de classe ou permaneceram na mesma classe pelo número de árvores naquela classe no início do período de crescimento. Assim, a distribuição diamétrica do povoamento, a ser projetada do tempo *t* para *t+θ* e a situação do povoamento no tempo *t+θ* podem ser totalmente determinadas pela situação no tempo *t* e pelo ingresso ocorrido no intervalo de tempo em que se usou o modelo em sua forma matricial, assim representado:

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

em que:

G = matriz de probabilidade de transição;

*i<sub>n</sub>* = *i*-ésima classe de diâmetro;

*a<sub>i</sub>*, *b<sub>i</sub>*, *c<sub>i</sub>* = probabilidades de uma árvore viva permanecer na mesma classe diamétrica (*a<sub>i</sub>*), mudar para a classe diamétrica subsequente (*b<sub>i</sub>*), ou ainda mudar duas classes (*c<sub>i</sub>*).

*m<sub>i</sub>* = probabilidade das árvores morrerem no período estudado.

A estrutura diamétrica da floresta no tempo futuro foi o resultado da multiplicação da matriz de probabilidade de transição pelo número de árvores no período atual, somado ao número de árvores ingressas (Buongiorno & Michie, 1980), como segue:

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

em que:

*Y<sub>t+Δt</sub>* = número de árvores projetadas;

G = probabilidade de transição por classe diamétrica;

*Y<sub>it</sub>* = número de árvores por classe de diâmetro no período atual;

*I<sub>it</sub>* = número de árvores ingressas ou recrutadas.

A forma matricial da expressão 1 é:

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

A prognose da distribuição diamétrica foi realizada para períodos equivalentes às medições realizadas, ou seja, para períodos de três anos, neste caso, partindo-se dos dados de 2002 a 2005, projetou-se a distribuição diamétrica para 2008. Estes dados projetados permitiram comparar a distribuição diamétrica projetada com a distribuição diamétrica real, obtida na remedição de 2008.

**Razão de movimento**

Na razão de movimento, assumiu-se que as árvores estavam distribuídas uniformemente no interior das classes, onde cada árvore cresce a uma taxa média. A distribuição das árvores no interior das classes é desconhecida, mesmo assim, assumiu-se que ela é uniforme (Austregésilo et al., 2004). A partir daí, a proporção de árvores que passam de uma classe para outra pode ser assumida como razão de movimento, tendo-se:

$$RM = \left( \frac{IPD_j}{C} \right) 100$$

em que:

RM = razão de movimento;

*IPD<sub>j</sub>* = incremento periódico anual em diâmetro da *j*-ésima classe de diâmetro;

$C$  = amplitude de classe de diâmetro.

Para interpretação da taxa de movimentação, considerou-se que os dois dígitos à direita expressam o percentual de árvores que avançam uma classe de diâmetro em relação ao terceiro dígito a partir da direita. A prognose por este método foi realizada conforme as seguintes etapas (Scolforo et al., 1996):

1 - Tabulou-se a distribuição diamétrica no tempo  $t+1$ , ou seja, relacionou-se o número de árvores por hectare e por classe de diâmetro.

2 - Quantificou-se o incremento periódico médio em diâmetro, por classe de diâmetro.

3 - Calculou-se a razão de movimento por meio da utilização de fórmula que leva em consideração o incremento diamétrico médio (\_\_\_\_).

4 - Estimou-se o ingresso e a mortalidade em função do valor central da  $i$ -ésima classe de diâmetro ( $d_i$ ), considerando-se todos os indivíduos que no tempo  $t+1$  entraram ou saíram, respectivamente, no processo de medição.

5 - Por fim, depois de implementada a movimentação

por classe de diâmetro, descontou-se as árvores mortas, utilizando-se a equação que estima esta variável. Também agregou-se às árvores existentes em cada classe de diâmetro o número de árvores que ingressaram no processo de medição (ingresso).

As projeções neste método seguiram procedimento similar ao empregado para o método matriz de transição, ou seja, fez-se a prognose para 2008 com base nas medições de 2002 e 2005, tendo sido comparado com a distribuição diamétrica real obtida com a remedição de 2008.

### Estimativa do ingresso e mortalidade

A prognose da estrutura diamétrica pelos métodos razão de movimentos e matriz de transição necessita da estimativa do ingresso, sendo que o primeiro ainda exige a estimativa da mortalidade. Desta forma, as equações que estimam o ingresso e a mortalidade por classe de diâmetro, desenvolvidas por Stepka (2008) foram empregadas (Tabela 1):

**Tabela 1.** Equações para estimar o ingresso e a mortalidade.

	Equação	R <sup>2</sup> ajust	Syx%
Ingresso	$I = 191579,8 * e^{-0,599 * Di}$	0,9996	7,34
Mortalidade	$M = 98,90 * e^{-0,106 * Di}$	0,9910	25,3

$I$  = ingresso de árvores por hectare no intervalo de crescimento;  $M$  = número de árvores mortas por hectare no intervalo de crescimento;  $Di$  = centro de classe de DAP (cm); R<sup>2</sup>ajust = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa em percentagem.

### Estadísticas empregadas para a avaliação das prognoses

A partir das projeções da distribuição diamétrica, por meio dos métodos matriz de transição e razão de movimentos, comparou-se a estrutura diamétrica estimada para 2008 com a estrutura diamétrica observada a partir dos dados coletados na remedição de 2008. Para isso, utilizou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S), o qual avalia se há concordância entre as duas distribuições cumulativas (distribuição diamétrica observada e predita em 2008). O teste de K-S foi utilizado por Austregésilo et al. (2004) para avaliar a aderência da prognose em Floresta Estacional Semidecidual Secundária.

Se duas distribuições cumulativas amostrais estão muito grandes em qualquer ponto, isso sugere que as amostras vêm de populações diferentes. O teste é focado na maior diferença entre duas distribuições. A fórmula

empregada para medir as possíveis discrepâncias entre proporções observadas e esperadas é a seguinte:

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

em que:

$F_{o(x)}$  = frequência observada acumulada para cada classe;

$F_{e(x)}$  = frequência estimada acumulada para cada classe;

$D$  = o ponto de maior divergência é o valor  $D$  de K-S.

O menor valor para  $D$  entre as duas distribuições testadas indicará o melhor ajuste. A conclusão de significância do teste é dada pela seguinte fórmula:

$$D_{calc} = D / N$$

em que:

$D$  = valor de maior divergência da distribuição;

$N$  = número total de árvores.

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

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

Na pesquisa, considerou-se um nível  $\alpha = 0,01$  de significância para o  $D_n$ .

## Resultados e discussões

### Distribuição diamétrica observada

Em 2008, a floresta tinha 14.178 árvores em 25 ha ou 567 árvores  $ha^{-1}$  distribuídas em 118 espécies e 45 famílias. A floresta apresentava uma área basal de 30,1  $m^2 ha^{-1}$ . Em relação à mortalidade e ingresso, a floresta apresentou, em média, para o período entre medições (3 anos), 30,28 árvores  $ha^{-1}$  (1,78%/ano) e 23,64 árvores  $ha^{-1}$  (1,39% ano<sup>-1</sup>), respectivamente.

A distribuição diamétrica observada nas três ocasiões de medições está na Figura 1, onde se verifica a característica do formato J-invertido, típico da estrutura diamétrica para florestas mistas, constatando-se a existência de poucas árvores com mais de 60 cm de DAP. Além disso, verifica-se que o número de árvores por hectare no decorrer do período estudado diminuiu. Esta redução é mais acentuada na primeira classe de DAP. Nas demais classes, ocorreu o inverso, ou seja, o número de árvores por hectare aumentou com o passar dos anos.

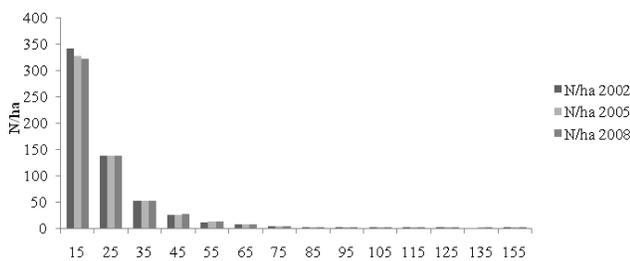


Figura 1. Distribuição diamétrica da floresta em 2002, 2005 e 2008.

A diminuição do número de árvores no decorrer dos anos ocorre em consequência da taxa de mortalidade maior que a taxa de ingresso, ou seja, no período estudado, 64,8% dos indivíduos mortos são da menor classe de DAP; 22,4% da segunda menor classe e 7,9% da terceira menor classe. Já em relação ao ingresso, 99,8% das árvores ingressas estão na menor classe de DAP e as demais na segunda menor classe.

A maior quantidade de árvores mortas em relação ao ingresso pode ser atribuída a uma fase cíclica que a floresta esteja passando ou devido a uma maior competição das árvores, principalmente nas menores classes de diâmetro onde ocorreram as maiores taxas de mortalidade.

### Matriz de transição

A matriz de probabilidade de transição elaborada com os dados das medições de 2002 e 2005 pode ser observada na Tabela 2, onde são apresentadas as probabilidades de transição das árvores, que morreram e que avançaram uma classe. Na diagonal principal da matriz de probabilidade nas classes de 135 e 145 ocorre a probabilidade zero, ou seja, para efeito de projeção, ocorre o que se denomina de estado absorvente. Desta forma, quando se projeta a estrutura, não há transição de árvores desta classe para a classe seguinte. Este estado absorvente é uma desvantagem deste método que também foi observado por outros pesquisadores que o utilizaram, dentre eles: Scolforo et al. (1996), Pulz et al. (1999) e Austrégesilo et al. (2004).

Os valores projetados pelo método da matriz de transição podem ser observados na Tabela 4, juntamente com os valores projetados pela razão de movimentos e com os valores reais.

Observa-se que o modelo matricial é uma forma interessante de sintetizar o que ocorre na vegetação, usando apenas dados de diâmetro de duas amostragens sucessivas. Neste caso, os valores projetados por este método foram bastante próximos da estrutura real da floresta, no que se refere ao número de árvores total por hectare. Porém, para algumas classes, os valores projetados foram inferiores aos reais, principalmente na primeira classe de DAP, em que aconteceu a maior parte da mortalidade da floresta. Já nas classes de 25 a 105, ocorre um aumento do número de árvores em relação ao observado, porém, nas classes de 125 e 135, o número projetado voltou a diminuir e nas classes de 115 e 155 as frequências observadas e projetadas foram idênticas.

Este modelo apresenta algumas desvantagens como, por exemplo, o fato de as projeções realizadas tomarem como base somente os dados das duas medições em que foram construídas, dependendo assim somente do estado presente da floresta. Isso demonstra certa inflexibilidade do modelo, uma vez que possíveis mudanças no padrão de crescimento da floresta não seriam contempladas. Outra limitação é que o período de projeção só pode ser múltiplo do período em que a matriz de probabilidade foi construída, neste caso, 3 anos.

**Tabela 2.** Matriz de Probabilidade de transição com dados das medições de 2002 e 2005.

Classe 2005	Classe 2002														
	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155
15	0,89*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0,05**	0,88*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0,06**	0,86*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0,09**	0,85*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0,10**	0,82*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0,16**	0,84*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0,13**	0,85*	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0,15**	0,94*	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0,06**	1*	0	0	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0**	1*	0	0	0	0	0
115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0**	1*	0	0	0	0
125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0**	0,5*	0	0	0
135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5**	0*	0	0
145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0**	0*	0
155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0**	1*
Mortas	0,06***	0,05***	0,05***	0,04***	0,02***	0,03***	0***	0***	0***	0***	0***	0***	0***	0***	0***

\* Probabilidade de árvores que permaneceram na mesma classe de DAP;  
 \*\* Probabilidade de árvores que avançaram para a classe de DAP seguinte;  
 \*\*\* Probabilidade de árvores que morreram;

Porém, dentre as vantagens do método, estão a facilidade de ser construída com poucas informações da floresta, e mesmo assim chegar a resultados bastante satisfatórios, como relatado por Austregésilo et al. (2004), que também obtiveram valores projetados bastante semelhantes com os reais para o número total de árvores por hectare, e da mesma encontraram também subestimativa na primeira classe de DAP. Pulz et al. (1999) também observaram que a redução do número de árvores projetada na totalidade da floresta e para as classes de menor tamanho está aliada ao baixo número de árvores recrutadas, contribuindo para essa diminuição.

### Prognose por razão de movimentação

Observam-se na Tabela 3, o número de árvores por classe de diâmetro, o incremento periódico médio por classe de diâmetro (IPD); a razão de movimentos e a porcentagem de árvores movimentadas por classe de diâmetro. Ainda apresentam-se as árvores após a movimentação, os valores de ingressos e mortalidade estimados pelos modelos matemáticos e as árvores projetadas para 2008.

Da mesma forma que nos valores projetados pela matriz de transição, o número de árvores nas classes 15, 125 e 135 projetados pela razão de movimentos, diminuiu em relação ao real. Pulz (1998), Silva (1989) e Austregésilo et al. (2004) também observaram uma subestimativa na menor classe de DAP nos valores projetados pelo método razão de movimentos. Já nas classes de 25 a 105 e na classe 145 ocorreu um aumento do número de árvores em relação ao observado.

Os resultados da projeção por este método apresentam valores totais por hectare muito próximos aos reais, assim como a matriz de transição, porém este modelo tem como vantagem em relação à matriz de transição a não ocorrência de estados absorventes que impedem a projeção de árvores para as classes seguintes de DAP.

Neste procedimento, as projeções do ingresso e da mortalidade podem ser realizadas por equações matemáticas, diferente da matriz de transição que somente o ingresso pode ser assim estimado já que a mortalidade está implícita no modelo.

**Tabela 3.** Prognose da distribuição diamétrica para 2008 utilizando o método razão de movimentos.

Centro de Classe (cm)	N ha <sup>-1</sup> 2005	IPD	Razão	% árvores movimentadas			Árvores movidas			APM	I (N ha <sup>-1</sup> )	M (N ha <sup>-1</sup> )	Prognose 2008 (N ha <sup>-1</sup> )
				0	1	2	0	1	2				
15	326,9	0,72	7,22	92,78	7,22	0	303,28	23,60	0	303,28	24,00	20,04	307,24
25	138,7	1,00	10,00	90,00	10,00	0	124,85	13,87	0	148,45	0,06	6,91	141,60
35	53,16	1,30	13,02	86,98	13,02	0	46,24	6,92	0	60,11	0,00	2,38	57,73
45	26,52	1,57	15,66	84,34	15,66	0	22,37	4,15	0	29,29	0,00	0,82	28,47
55	12,52	1,74	17,41	82,59	17,41	0	10,34	2,18	0	14,49	0,00	0,28	14,21
65	7,88	2,09	20,95	79,05	20,95	0	6,23	1,65	0	8,41	0,00	0,10	8,31
75	4,04	1,91	19,13	80,87	19,13	0	3,27	0,77	0	4,92	0,00	0,03	4,88
85	1,72	2,17	21,68	78,32	21,68	0	1,35	0,37	0	2,12	0,00	0,01	2,11
95	0,28	2,61	26,15	73,85	26,15	0	0,21	0,07	0	0,58	0,00	0,00	0,58
105	0,12	1,59	15,92	84,08	15,92	0	0,10	0,02	0	0,17	0,00	0,00	0,17
115	0,04	3,02	30,24	69,76	30,24	0	0,03	0,01	0	0,05	0,00	0,00	0,05
125	0,04	0	0	100	0	0	0,04	0	0	0,05	0,00	0,00	0,05
135	0,04	3,50	35,01	64,99	35,01	0	0,03	0,01	0	0,03	0,00	0,00	0,03
145	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0,01
155	0,04	4,14	41,38	58,62	41,38	0	0,02	0,02	0	0,02	0,00	0,00	0,02
<b>Total</b>	<b>572</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>24,06</b>	<b>30,59</b>	<b>565,45</b>

IPD=incremento periódico por classe de diâmetro; APM=árvores após movimentação; I=ingresso e M=mortalidade.

**Avaliação das Prognoses**

Na Tabela 4 são mostradas as estruturas diamétricas real e projetada pelos métodos razão de movimentos e matriz de transição para o ano de 2008. Observa-se que a diferença entre os valores projetados e real ocorre principalmente na classe 15 cm, em que os valores projetados são menores que o valor real. Esta diferença

é um pouco maior nos valores projetados pela razão de movimentos. Nas demais classes, os valores projetados são sempre maiores que os valores reais, e em maior escala nas estimativas feitas pela matriz de transição. As estimativas para o número total de árvores por hectare projetado pela razão de movimentos estão mais próximas dos valores reais.

**Tabela 4.** Distribuição diamétrica observada e projetadas pelos métodos matriz de transição e razão de movimentos para o ano de 2008.

Classe de DAP(cm)	Número de árvores por ha para 2008		
	Observado	Matriz de transição	Razão de movimentos
15	322,36	313,78	307,24
25	137,64	138,67	141,60
35	52,4	54,51	57,73
45	26,92	27,58	28,47
55	12,84	13,03	14,21
65	8,08	8,63	8,31
75	4,28	4,45	4,88
85	2	2,22	2,11
95	0,32	0,39	0,58
105	0,08	0,12	0,17
115	0,04	0,04	0,05
125	0,08	0,02	0,05
135	0,04	0,02	0,03
145	0	0	0,01
155	0,04	0,04	0,02
<b>Total</b>	<b>567,12</b>	<b>563,50</b>	<b>565,45</b>

Os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov para detectar diferenças estatísticas entre os dois métodos podem ser observados na Tabela 5.

Os valores projetados e observados apresentaram poucas diferenças. Porém, como o teste K-S detecta o ponto de maior divergência e compara-o com um valor tabelado a um dado nível de significância, neste caso, constatou-se que este ponto de maior divergência em todos os casos testados foi na classe de menor tamanho.

Com isso, no método da matriz de transição o valor “D” calculado foi de 0,0151. Já nos valores projetados pela razão de movimentos, o “D” calculado foi de 0,0266. Estes resultados foram inferiores aos valores tabelados (Dn tabelar igual a 0,0684 para  $\alpha=0,01$ ). Desta forma, aceita-se a hipótese da nulidade, constatando-se então que as projeções por ambos os métodos são aderentes aos valores reais e adequados para as prognoses.

**Tabela 5.** Diferenças entre os valores observados e os estimados pelos métodos de prognose.

Classes de DAP (cm)	Matriz de transição	Razão de movimentação
15	8,5795	15,1233
25	7,5533	11,1664
35	5,4409	5,8370
45	4,7775	4,2910
55	4,5917	2,9213
65	4,0417	2,6907
75	3,8725	2,0865
85	3,6487	1,9783
95	3,5777	1,7225
105	3,5377	1,6298
115	3,5377	1,6233
125	3,5977	1,6514
135	3,6177	1,6654
145	3,6177	1,6514
155	3,6177	1,6680
<b>Dcalc</b>	<b>0,0151</b>	<b>0,0266</b>

É importante salientar que o teste aplicado indica ainda que o método Matriz de Transição apresenta um Dn calculado menor e, portanto, pode ser considerado como mais preciso que o método Razão de Movimentos.

Resultados diferentes para estes procedimentos foram encontrados por Austregésilo et al. (2004). Esses autores utilizaram o teste K-S para a avaliação das prognoses de razão de movimentação e matriz de transição, porém

os resultados não foram satisfatórios para o nível de significância  $\alpha=0,05$ . Os autores ainda relataram que não utilizaram a modelagem do ingresso, o que pode ter influenciado a precisão da simulação. Já Teresczuch et al. (2007) encontraram estimativas homogêneas para os valores projetados em relação aos reais, porém utilizaram o teste do Qui-quadrado para validar a aderência.

## Conclusões

Os métodos de projeção apresentam valores estimados bastante próximos aos reais, ocorrendo uma ligeira subestimativa no número total de árvores por hectare, como também na classe de menor valor.

Ambos os métodos apresentam estimativas aderentes às reais segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Os dois modelos testados apresentam resultados satisfatórios na projeção da estrutura diamétrica, uma grande facilidade de serem desenvolvidos e geram estimativas muito precisas.

## Referências

- ARCE, J. E.; PIZATTO, W.; SANQUETTA, C. R.; WENDLING, J. L. G.; MAESTRI, R. **Utilização das matrizes de transição na avaliação e simulação precoces do crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* L.** Revista Floresta, Curitiba, v. 27, n. 1/2, p. 83-98, 2001.
- AUSTREGÉSILO, S. L.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; SOUZA, A. L.; MEUNIER, I. M. J.; SANTOS, E. S. **Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma floresta estacional semidecidual secundária.** Revista Árvore, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 227-232, 2004.
- AZEVEDO, C. P.; SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. **Um modelo de matriz de transição para prognose do crescimento de um povoamento natural remanescente não manejado de mata atlântica.** Revista Árvore, Viçosa, v. 19, n. 2 p. 187-199, 1995.
- BUONGIORNO, J.; MICHIE, B. R. A matrix model of uneven-aged forest management. **Forest Science**, Washington, v. 26, n. 4, p. 609-625, Dec. 1980
- CUNHA, U. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A., SANQUETTA, C. R. **Predição da estrutura diamétrica de espécies comerciais de terra firme da Amazônia por meio de matriz de transição.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 109-122. 2002.
- FREITAS, J. V. de; HIGUCHI, N. Projeções da distribuição diamétrica de uma floresta tropical úmida de terra firme pela cadeia de Markov. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. Floresta para o Desenvolvimento: Política, Ambiente, Tecnologia e Mercado: **anais.** São Paulo: SBS; [S.l.]: SBEF, 1993. v. 2, p. 545- 548.

- HIGUCHI, N. O uso da cadeia de Markov para projetar a distribuição de frequência (diâmetro e mortalidade) em uma Floresta Tropical Úmida de Terra Firme. In: ENCONTRO SOBRE SILVICULTURA E MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA, 1987, Manaus, **Anais**. Manaus: INPA/IBDF, 1987, p. 118.
- HOPPE, J. M.; SCHUMACHER, M. V. **A floresta e os animais**. Santa Cruz do Sul: Afubra, 2001. 102 p. il. (Série ecologia, v. 5).
- PULZ, F. A. **Estudo da dinâmica e a modelagem de uma floresta semidecídua montana na região de Lavras-MG**. 1998. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.
- 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 ineqüiânea com a matriz de transição. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 1 p. 1-14, 1999.
- SANQUETTA, C. R.; BRENDA, A.; ÂNGELO, H.; MENDES, J. B. Matriz de transição para simulação da dinâmica de florestas naturais sob diferentes intensidades de corte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 65-78, 1996.
- SANQUETTA, C. R.; CUNHA, U. S.; WATZLAWICK, L. F.; CAMPOS, M. L. B. Projeção da distribuição diamétrica de fragmentos de florestas semidecíduas com matriz de transição. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 3, n. 1, p. 75-85, jan./jun. 2001.
- SCHAAF, L. B. **Florística, estrutura e dinâmica no período 1979-2000 de uma floresta ombrófila mista localizada no Sul do Paraná**. 2001. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Paraná, Curitiba.
- SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M. de. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural. In: SCOLFORO, J. R. S. (Org.). **Manejo Florestal**. UFLA/FAEPE, 1998, Lavras, p. 189-246.
- SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M. de; 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.
- SILVA, J. N. M. **The behavior of the tropical rain forest of the Brazilian Amazon after logging**. 1989. 302 f. Thesis (Ph.D.) – Oxford University, Oxford.
- STEPKA, T. F. **Modelagem da Dinâmica e Prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista por meio de Matriz de Transição e Razão de Movimentação**. 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati.
- TERESCZUCH, S. M.; MAC DONAGH, P. M.; OLIVEIRA, A. J. de; RIVERO, L. E.; BULFE, N. M. L. Predicción de la estructura diamétrica de especies comerciales de un bosque subtropical por medio de matrices de transición. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 1, p. 71-80, jan./abr. 2007.

---

Recebido em 30 de maio de 2010 e aprovado em 25 de outubro de 2010