



## Prognosis of the diametric distribution of tree species with the transition matrix and movement ratio methods

### *Prognose da distribuição diamétrica de espécies arbóreas com os métodos Matriz de Transição e Razão de Movimentação*

Larissa Corrêa Lopes Quadros Oliveira<sup>1\*</sup>; Jaqueline Macedo Gomes<sup>2</sup>

**Abstract:** Research is needed to subsidize foresters to manage the forest for better use of wood. To help in the research, analyzing the diameter distribution, the species can be grouped according to their characteristics concerning the diameter growth and projected their future growth, determining if they reached the expected diameter before the cutting cycle stipulated by law. The aim of the present research was to diametric distribution predict by a size class distribution method, by ecological groups. The study was carried out in Moju, PA. Nine clearings were selected, around which 4 sample plots of 10 x 50 m were installed, starting at the border of the clearing into the forest in the north, south, east and west directions. All individuals with DBH (diameter at breast height)  $\geq 5$  cm were measured. The species were grouped into tolerant, intermediate and intolerant regarding the demand for solar radiation. The methods tested were Transition Matrix and Moving Ratio, using data from 1998 and 2001 and making projections for 3 year periods (2007 and 2010). The efficiency of the projections was tested using the Kolgomorov-Smirnov adhesion test. The projections performed by the methods did not present a significant difference between the actual and projected values. Based on the results it is recommended to use the Transition Matrix for the prognosis of the diametrical distribution of individuals belonging to the group of tolerant and intermediate species and it is indicated to use both methods for intolerant species.

**Key words:** Growth. Rainforest. Ecological groups. Projection.

**Resumo:** Pesquisas são necessárias para subsidiar os silvicultores à manejarem a floresta visando o melhor aproveitamento da madeira. Para auxiliar as pesquisas pode-se, analisando a distribuição diamétrica, agrupar as espécies de acordo com as suas características em relação ao crescimento diamétrico e projetar o seu crescimento futuro, determinando se atingiu o diâmetro esperado antes do ciclo de corte estipulado em lei. Assim, objetivou-se com esta pesquisa prognosticar a distribuição diamétrica de espécies arbóreas, divididas em grupos ecológicos, por meio de dois métodos de distribuição de classe de tamanho. O estudo foi realizado em Moju-PA. Selecionou-se nove clareiras, em torno das quais instalou-se quatro parcelas amostrais de 10 x 50 m, começando na bordadura da clareira para dentro da floresta, nas direções Norte, Sul, Leste e Oeste. Foram medidos todos os indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) igual ou superior a 5 cm. As espécies foram agrupadas em tolerantes, intermediárias e intolerantes em relação à demanda por radiação solar. Os métodos testados foram Matriz de Transição e Razão de Movimentação, utilizando os dados de 1998 e 2001 e fazendo projeções para períodos de 3 anos (2007 e 2010). Testou-se a eficiência das projeções por meio do teste de aderência Kolgomorov-Smirnov. As projeções realizadas pelos métodos não apresentaram diferenças significativas entre os valores reais e projetados. Com base nos resultados, recomenda-se o uso da Matriz de Transição para a prognose da distribuição diamétrica de indivíduos que pertencem ao grupo de espécies tolerantes e intermediárias; indica-se utilizar os dois métodos para as espécies intolerantes.

**Palavras-chave:** Crescimento. Floresta Tropical. Grupos Ecológicos. Projeção.

\*Corresponding author

Submitted for publication on 13/09/2019, approved on 07/01/2020 and published on 24/01/2020

<sup>1</sup>Engenheira Florestal, Dr<sup>a</sup>., Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Avenida Presidente Tancredo Neves, n° 2501, bairro Terra Firme, cep 66077-530, Belém, Pará, Brasil. [larissaclquadros@gmail.com](mailto:larissaclquadros@gmail.com);

<sup>2</sup>Engenheira Florestal, Dr<sup>a</sup>., Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão-UEMASUL, Imperatriz, Maranhão, Brasil. [jaquelinegomes@uemasul.edu.br](mailto:jaquelinegomes@uemasul.edu.br).

## INTRODUCTION

The demand for information that helps in forestry activities planning is fundamental to effective sustained exploration, especially in native forests, where the models traditionally used are difficult to apply (EBLING *et al.*, 2014). To studies facilitate and considering the diversity of existing species, it is stated that grouping species of forestry and similar ecological characteristics facilitate the proposition methodologies applicable to each group, the choice of species to be explored and the definition of the minimum cutting diameter, and cutting cycle (OLIVEIRA *et al.* 2017; BRASIL, 2009).

The sustainability of forest management is not compromised if the cutting intensity does not exceed the capacity to recover the remaining stock in a given planned time (REIS *et al.*, 2018). According to Nascimento *et al.* (2014), decision-making in forest management requires precise growth and production forecasts in different scenarios capable of providing various possibilities for logging.

The growth prognosis methods can be used to predict the diametric distribution and future behavior of the species. The prognosis can be made, starting from current conditions, through growth models, which make it possible to predict production in future times (CHASSOT *et al.*, 2011). The mathematical models allow obtaining estimates for several variables of the forest, having great importance in modeling growth and forest production (WOLFF II, 2012).

Different methods to make projections in native forests are used, among these, we can mention the Transition Matrix, and Reason for Movement for such purposes in natural forests (VASCONCELOS *et al.*, 2009; MENON *et al.*, 2010; PENG *et al.*, 2010; STRIGUL *et al.*, 2012; EBLING *et al.*, 2013; LIANG; PICARD, 2013; SOUZA *et al.*, 2014; SALLNAS *et al.*, 2015; BATISTA *et al.*, 2016; LONGHI *et al.*, 2017; VAUHKONEN; PACKALEN, 2017; CONDÉ *et al.*, 2018).

According to Azevedo *et al.* (1995), the transition matrix is based on the concept of state, that is, the situation in which the tree can be found (entry, mobility or not in the diameter, and mortality classes). Thus, it assumes that a tree, being in one state, can remain in it, or move to another state. The Moving Ratio is a method based on the projection theory of the population tables applied to natural forests, in which the use of the average diametric increment is the most common variable to generate the estimates. In this method, it is assumed the trees are evenly distributed within the classes and that each tree grows at an average rate (SCOLFORO *et al.*, 1998). The distribution of trees among classes is unknown. However, it is assumed to be uniform. So, the proportion of trees that pass from one class to others, can be assumed as a Ratio of Movement (AUSTREGÉSILO *et al.*, 2004).

## INTRODUÇÃO

A demanda por informações que auxiliem no planejamento das atividades florestais é fundamental para a efetiva exploração sustentada, especialmente, em florestas naturais, onde os modelos tradicionalmente empregados são de difícil aplicação (EBLING *et al.*, 2014). Para facilitar os estudos e considerando a diversidade de espécies existentes, afirma-se que agrupar as espécies de características ecológicas e silviculturais semelhantes facilita a proposição de metodologias aplicáveis a cada agrupamento, a escolha das espécies a serem exploradas e a definição do diâmetro mínimo de corte e ciclo de corte (OLIVEIRA *et al.* 2017; BRASIL, 2009).

A sustentabilidade do manejo florestal não é comprometida se a intensidade de corte não ultrapassar a capacidade de recuperação do estoque remanescente em um determinado tempo planejado (REIS *et al.*, 2018). Segundo Nascimento *et al.* (2014), a tomada de decisão na gestão das florestas exige previsões precisas de crescimento e produção em diferentes cenários capazes de fornecer várias possibilidades para a exploração madeireira.

Para prever a distribuição diamétrica e o comportamento futuro das espécies pode-se utilizar dos métodos de prognose de crescimento. A prognose pode ser feita por meio de modelos de crescimento, os quais possibilitam a predição de produção em tempos futuros, partindo-se das condições atuais (CHASSOT *et al.*, 2011). Os modelos matemáticos permitem obter estimativas para diversas variáveis da floresta, possuindo grande importância na modelagem do crescimento e da produção florestal (WOLFF II, 2012).

Diferentes métodos são utilizados para fazer projeções em florestas nativas, dentre esses, pode-se citar a Matriz de Transição e Razão de Movimentação para tais fins em florestas naturais (VASCONCELOS *et al.*, 2009; MENON *et al.*, 2010; PENG *et al.*, 2010; STRIGUL *et al.*, 2012; EBLING *et al.*, 2013; LIANG; PICARD, 2013; SOUZA *et al.*, 2014; SALLNAS *et al.*, 2015; BATISTA *et al.*, 2016; LONGHI *et al.*, 2017; VAUHKONEN; PACKALEN, 2017; CONDÉ *et al.*, 2018).

De acordo com Azevedo *et al.* (1995), a matriz de transição está fundamentada no conceito de estado, ou seja, na situação em que a árvore pode ser encontrada (ingresso, mobilidade ou não nas classes de diâmetro e mortalidade). Portanto, parte do princípio que uma árvore, encontrando-se em um estado, pode permanecer nele, ou mover-se para outro. A Razão de Movimentação é um método baseado na teoria de projeção das tabelas de povoamento aplicada às florestas naturais, em que o emprego do incremento diamétrico médio é a variável mais usual para gerar as estimativas. Nesse método, assume-se que as árvores estão distribuídas uniformemente no interior das classes e que cada árvore cresce a uma taxa média (SCOLFORO *et al.*, 1998). A distribuição das árvores no interior das classes é desconhecida, mesmo assim, assume-se que ela é uniforme. A partir daí, a proporção de árvores que passam de uma classe para outra pode ser assumida como Razão de Movimento (AUSTREGÉSILO *et al.*, 2004).

Considering the need to predict the rainforest growth, the present article addresses the following question: which method has greater precision by ecological groups for the diametric growth prognosis in a “Terra Firme” Rainforest? To answer the question were tested the following hypotheses: (1) null hypothesis: the Transition Matrix and the Moving Ratio perform the diameter distribution prognoses, so the observed values do not differ statistically from the estimated values for each ecological group evaluated; and (2) alternative hypothesis: the Transition Matrix and the Moving Ratio perform the diameter distribution prognoses, so the observed values differ statistically from the values for each ecological group evaluated. Therefore, the objective was to select the best distribution method by size class (Transition Matrix or Movement Ratio) by ecological groups for the prognosis of the “Terra Firme” Rainforest.

## MATERIAL AND METHODS

The data collection area is located in the experimental farm of Embrapa Amazônia Oriental, km 30 of highway PA 150, in the municipality of Moju, Pará, situated between latitudes 2°07'30" S and 2°12'06" S and longitudes 48°46'57" W and 48°48'30" W of the Greenwich meridian. The area has 1,059 ha, with 200 ha being selectively explored.

The climate of the region is of the Ami type (warm and humid climate), according to the Köppen classification, with average monthly temperatures ranging from 21 to 33 °C and the annual mean is around 26 °C. The annual rainfall varies from 2,000 to 3,000 mm, distributed irregularly. The relative humidity is around 85%. The relief is flat, with small undulations. The dystrophic Yellow Latosol with different textures predominates in the area, and soils of the Red-Yellow Podzolic, Little Umbrian Gleis and Plintossolo classes also occur. The typology of the experimental area is the Dense Ombrophilous Forest of Terra Firme (SILVA *et al.*, 2001).

An area of 200 ha has been selected in the experimental farm of Embrapa, which underwent selective forest exploitation in 1997, through a partnership between Embrapa and the logging company Perachi. It was installed strips of 10 x 50 m in each of the nine clearings selected, starting at the edge of the clearing into the forest, in the North, South, East and, West directions; therefore, four strips per clearing. In these plots were inventoried all trees with DBH  $\geq$  5 cm.

Considerando a necessidade de predição do crescimento das florestas tropicais, o presente artigo aborda a seguinte questão: qual método possui maior precisão por grupos ecológicos para prognose do crescimento diamétrico em uma Floresta Tropical de Terra Firme? Para responder a questão foram testadas as seguintes hipóteses: hipótese nula: a Matriz de Transição e a Razão de Movimentação realizam as prognoses da distribuição diamétrica de modo que os valores observados não diferem estatisticamente dos valores estimados para cada grupo ecológico avaliado; hipótese alternativa: a Matriz de Transição e a Razão de Movimentação realizam as prognoses da distribuição diamétrica de modo que os valores observados diferem estatisticamente dos valores para cada grupo ecológico avaliado. Portanto, objetivou-se selecionar o melhor método de distribuição por classe de tamanho (Matriz de Transição ou Razão de Movimentação) por grupos ecológicos para prognose da Floresta Tropical de Terra Firme.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de coleta de dados está localizada no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, km 30 da Rodovia PA 150, no município de Moju, Pará, situado entre as latitudes 2°07'30" S e 2°12'06" S e longitudes 48°46'57" W e 48°48'30" W do meridiano de Greenwich. A área possui 1.059 ha, sendo explorados seletivamente 200 ha.

O clima da região é do tipo Ami (clima quente e úmido), segundo a classificação de Köppen, com temperaturas médias mensais oscilando entre 21 e 33 °C e a média anual é, em torno, de 26 °C. A precipitação pluviométrica anual varia de 2.000 a 3.000 mm, distribuída irregularmente. A umidade relativa do ar está em torno de 85%. O relevo é plano, com pequenas ondulações. Predomina na área o Latossolo Amarelo distrófico com diferentes texturas, ocorrendo também solos das classes Podzólico Vermelho-Amarelo, Gleis Pouco Úmicos e Plintossolo. A tipologia da área experimental é Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme (SILVA *et al.*, 2001).

Dentro da Estação Experimental da Embrapa, foi selecionada uma área de 200 ha, que sofreu exploração florestal seletiva em 1997, por meio de parceria entre a Embrapa e a empresa madeireira Perachi. Nessa área, foram selecionadas nove clareiras provenientes da exploração, em torno das quais foi realizada a marcação das parcelas amostrais. Em cada uma das nove clareiras selecionadas foram instaladas faixas de 10 x 50 m, começando na bordadura da clareira para dentro da floresta, nas direções Norte, Sul, Leste e Oeste, portanto, quatro faixas por clareira. Dentro dessas parcelas, foram inventariadas todas as árvores com DAP  $\geq$  5 cm.

The unknown specimens were identified by common names and had vegetative material collected to determine the scientific names from a comparison made at the IAN Herbariums of Embrapa Amazônia Oriental and the Emílio Goeldi Museum. The botanical classification system used was “Angiosperm Phylogeny Group” (APG III, 2009), and the botanical nomenclature conferred with the electronic database made available by the Missouri Botanical Garden (MOBOT, 2016).

Measurements were made between June 1998 to June 2001, from the first measurement, every three months and always right after the end of each season. Also, in 2007 was made two more measurements, and in 2010 was made the last one, totaling 16 measurements. For this analysis were used the 1st measurement (1998), the 13th measurement (2001), the 14th measurement (2007), and the 16th measurement (2010).

The diametric distribution of tree species was analyzed using the  $DBH \geq 5$  cm for all species at intervals with an amplitude of 10 cm in diameter, according to Brazilian Normative Instruction No. 05 of 2006 from the Ministry of Environment (BRASIL, 2006), totaling 7 diametric classes (DC 1:  $5 \leq DAP < 15$ ; DC 2:  $15 \leq DAP < 25$ ; DC 3:  $25 \leq DAP < 35$ ; DC 4:  $35 \leq DAP < 45$ ; DC 5:  $45 \leq DAP < 55$ ; DC 6:  $55 \leq DBH < 65$ ; DC 7:  $DBH \geq 65$ ).

Diametric distribution prognosis was carried out according to the measurements made, in this case, starting from the data from 1998 to 2001, for a range of time of three years. It was projected for 2004, 2007, and 2010, the last two years being compared with the actual diametric distribution.

The Transition Matrix was based on Sanquetta *et al.* (1996) and is structured in nine states  $e_1$  (recruitment),  $e_2$  to  $e_8$  (diametric classes with an amplitude of 10 cm),  $e_9$  (mortality). Recruitment is the change from state  $e_1$  to any state among  $e_2$  a  $e_8$ ; the diameter class is the change to higher diameter classes through the diametric increment, or staying in the same class when the increment is not enough to change it; mortality is the change from any state to  $e_9$ . After defining the states, the probabilistic transition matrix ( $pij$ ) was calculated, according to Equation 1.

$$pi_{i,j} = \frac{n_{ij}}{N_j} \quad (1)$$

Where  $pi_{i,j}$  = probability of occurrence of individuals in class  $j$  at time  $t + 1$  (second occasion considered), given class  $i$  at time  $t$  (first occasion considered);  $n_{ij}$  = number of individuals in class  $j$  at time  $t + 1$  (second occasion), given class  $i$  at time  $t$  (first occasion); and  $N_j$  = total number of trees in state  $i$  at time  $t$ .

Os espécimes desconhecidos foram identificados por nomes vulgares e tiveram material vegetativo coletado para a determinação dos nomes científicos a partir de comparação realizada nos Herbários IAN da Embrapa Amazônia Oriental e do Museu Emílio Goeldi. O sistema de classificação botânica utilizado foi o de “Angiosperm Phylogeny Group” (APG III, 2009), e a nomenclatura botânica conferida com o banco de dados eletrônico disponibilizado pelo Missouri Botanical Garden (MOBOT, 2016).

A partir da primeira medição, a cada três meses e sempre logo após o final de cada estação do ano, foram feitas medições, que começaram em junho de 1998 e terminaram em junho de 2001. Em 2007, foram realizadas mais duas medições; em 2010, foi feita a última medição, totalizando 16 medições. Para essa análise, foi utilizada a 1ª medição (1998), 13ª medição (2001), 14ª medição (2007) e 16ª medição (2010).

A distribuição diamétrica das espécies arbóreas foi analisada a partir do  $DAP \geq 5$  cm para todas as espécies em intervalos com amplitude de 10 cm de diâmetro, conforme Instrução Normativa Brasileira nº 05 de 2006 do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2006), totalizando 7 classes diamétricas (CD 1:  $5 \leq DAP < 15$ ; CD 2:  $15 \leq DAP < 25$ ; CD 3:  $25 \leq DAP < 35$ ; CD 4:  $35 \leq DAP < 45$ ; CD 5:  $45 \leq DAP < 55$ ; CD 6:  $55 \leq DAP < 65$ ; CD 7:  $DAP \geq 65$ ).

A prognose da distribuição diamétrica foi realizada de acordo com as medições realizadas, neste caso, partindo-se dos dados de 1998 a 2001, para amplitude de tempo de três anos. Foi projetada a distribuição diamétrica para 2004, 2007 e 2010, sendo estes dois últimos anos comparados com a distribuição diamétrica real.

A Matriz de Transição foi baseada em Sanquetta *et al.* (1996) e está estruturada em nove estados:  $e_1$  (recrutamento),  $e_2$  a  $e_8$  (classes diamétricas com amplitude de 10 cm),  $e_9$  (mortalidade). O recrutamento é a mudança do estado  $e_1$  para qualquer dos estados  $e_2$  a  $e_8$ ; a classe diamétrica é a mudança para as classes diamétricas superiores por meio do incremento diamétrico, ou permanência na mesma classe quando o incremento não é suficiente para mudança de classe; e a mortalidade é a mudança de qualquer estado para o estado  $e_9$ . Após a definição dos estados, foi calculada a matriz de transição probabilística ( $pij$ ), de acordo com a Equação 1.

Em que  $pi_{i,j}$  = a probabilidade de ocorrência de indivíduos na classe  $j$  no tempo  $t + 1$  (segunda ocasião considerada), dado a classe  $i$  no tempo  $t$  (primeira ocasião considerada);  $n_{ij}$  = o número de indivíduos na classe  $j$  no tempo  $t + 1$  (segunda ocasião), dado a classe  $i$  no tempo  $t$  (primeira ocasião); e  $N_j$  = o número total de árvores no estado  $i$  no tempo  $t$ .

To predict after  $n$  growing seasons, the transition probability matrix is raised to the power  $n$ . Thus, according to Sanqueta *et al.* (1996), it is possible to obtain the forest diametric structure in a future time by Equation (2).

$$E_j = A \times E_0 + R \quad (2)$$

On what  $E_j$  = Stock at time one, at future prediction time;  $A$  = is the transition probability matrix of the trees in the diametric classes;  $E_0$  = Stock at time zero, that is, the diametric distribution before prediction; and  $R$  = recruitment.

Moving Ratio is defined by the proportion of trees that advance among the diametric classes as a function of the diametric increment, calculated by Equation 3 (SCOLFORO, 1998):

$$RM = \left( \frac{IPD_j}{C} \right) \times 100 \quad (3)$$

On what  $RM$  = Movement Ratio;  $IPD_j$  = Mean Periodic Increment in diameter of the  $j$ -th diameter class;  $C$  = Diameter Class Range.

Mean Periodic Increment, by diametric class, was obtained from Equation 4:

$$IPD_j = \sum_{i=1}^n \quad (4)$$

On what  $IPD_j$  = Average periodic increase in diameter of the  $j$ -th diameter class;  $DAP1_i$  =  $DAP$  of the  $i$ -th tree in the 1st measurement;  $DAP2_i$  =  $DAP$  of the  $i$ -th tree in the 2nd measurement;  $N$  = Total number of trees in each diameter class.

The Kolmogorov-Smirnov (K-S) test was used to compare the estimated diameter structure for 2007 and 2010 with the actual inventory data for the Transition Matrix and Movement Ratio methods. According to the result of the Kolmogorov-Smirnov (K-S) test and the graphical analysis of the diametric distribution between the observed and estimated years, were determined the best precision methods for the prognosis of commercial species.

The prognosis was carried out by the ecological group, in which the species were classified into three groups: shade tolerant species, shade intolerant and intermediate species, as proposed by Jardim *et al.* (1996) and classified by Oliveira *et al.* (2017).

## RESULTS AND DISCUSSION

In 1998, were observed a total of 551.67 individuals  $ha^{-1}$  for the tolerant species, 6.11 and 300 individuals  $ha^{-1}$  for the intolerant and intermediate species, respectively. In 2001, the abundance was 634.44 and 330 individuals  $ha^{-1}$  for the tolerant and intermediate species, respectively. As there was no recruitment and mortality in this period for intolerant species, there was no change in the abundance of this group. Recruitment was 93.89 and 40.56 individuals  $ha^{-1}$ , and mortality showed 11.11 and 10.56 individuals  $ha^{-1}$  among 1998 and 2001 for the tolerant and intermediate species, respectively.

Para fazer a predição após  $n$  estações de crescimento, a matriz de probabilidade de transição é elevada a potência  $n$ . Após isso, segundo Sanqueta *et al.* (1996), a estrutura diamétrica da floresta em um tempo futuro é obtida pela equação (2).

Em que  $E_j$  = Estoque no momento um, no tempo de predição futuro;  $A$  = é a matriz de probabilidade de transição das árvores nas classes diamétricas;  $E_0$  = Estoque no momento zero, ou seja, a distribuição diamétrica antes da predição; e  $R$  = recrutamento.

A Razão de Movimentação é definida pela proporção de árvores que avançam entre as classes diamétricas em função do incremento diamétrico, calculada a partir da equação 3 a seguir (SCOLFORO, 1998):

Em que  $RM$  = Razão de Movimento;  $IPD_j$  = Incremento Periódico Médio em diâmetro da  $j$ -ésima classe de diâmetro;  $C$  = Amplitude de Classe de Diâmetro.

O Incremento Periódico médio, por classe diamétrica, foi obtido a partir da equação 4:

Em que  $IPD_j$  = Incremento periódico médio em diâmetro da  $j$ -ésima classe de diâmetro;  $DAP1_i$  =  $DAP$  da  $i$ -ésima árvore na 1ª medição;  $DAP2_i$  =  $DAP$  da  $i$ -ésima árvore na 2ª medição;  $N$  = Número Total de árvores em cada classe diamétrica.

Foi empregado o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para comparar a estrutura diamétrica estimada para 2007 e 2010 com os dados reais inventariados para os métodos Matriz de Transição e Razão de Movimentação. De acordo com o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e com a análise gráfica da distribuição diamétrica entre os anos observados e estimados, foi determinado o método de melhor precisão para realizar a prognose das espécies comerciais.

A prognose foi realizada por grupo ecológico, para tanto as espécies foram classificadas em três grupos: espécies tolerantes à sombra, espécies intolerantes à sombra e intermediárias, como proposto por Jardim *et al.* (1996) e classificadas em Oliveira *et al.* (2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado em 1998 um total de 551,67 indivíduos  $ha^{-1}$  para as espécies tolerantes, 6,11 e 300 indivíduos  $ha^{-1}$  para as espécies intolerantes e intermediárias, respectivamente. Em 2001, a abundância foi de 634,44 e 330 indivíduos  $ha^{-1}$  para as espécies tolerantes e intermediárias, respectivamente. Como não houve recrutamento e mortalidade nesse período para as espécies intolerantes, não houve mudança na abundância desse grupo. O recrutamento foi de 93,89 e 40,56 indivíduos  $ha^{-1}$  e de mortalidade apresentou 11,11 e 10,56 indivíduos  $ha^{-1}$  entre 1998 e 2001 para as espécies tolerantes e intermediárias, respectivamente.

Table 1 shows the final product of the Transition and Movement Ratio Matrix, which is the projection of the distribution of the number of trees ha<sup>-1</sup> in the diametric classes for the periods 2004, 2007, and 2010. These last two years were compared with the real data collected in the experiment area.

The result of the Kolmogorov-Smirnov (K-S) statistical test showed the projections made by the two methods did not present any significant difference between the actual and projected values for the years 2007 and 2010 (Table 2). Therefore, the diametric distribution predicted by the two methods is similar to the actual one for the years 2007 and 2010 ( $P \leq 0.05$ ).

Na Tabela 1, está presente o produto final da Matriz de Transição e Razão de Movimentação, que é a projeção da distribuição do número de árvores ha<sup>-1</sup> nas classes diamétricas para os períodos 2004, 2007 e 2010. Sendo que esses dois últimos anos foram comparados com os dados reais coletados na área do experimento.

O resultado do teste estatístico Kolmogorov-Smirnov (K-S) demonstrou que as projeções realizadas pelos dois métodos não apresentaram diferença significativa entre os valores reais e projetados para os anos 2007 e 2010 (Tabela 2). Dessa forma, a distribuição diamétrica prognosticada pelos dois métodos é similar à distribuição real para os anos 2007 e 2010 ( $P \leq 0,05$ ).

**Table 1** – Individuals per hectare projected (2004, 2007 and 2010) and real (2007 and 2010) for ecological groups of tolerant, intolerant and intermediate species using the Transition Matrix and Movement Ratio methods

**Tabela 1** – Indivíduos por hectare projetados (2004, 2007 e 2010) e reais (2007 e 2010) para os grupos ecológicos de espécies tolerantes, intolerantes e intermediárias utilizando os métodos Matriz de Transição e Razão de Movimentação

GE	CD	2004		2007			2010		
		MT	RM	MT	RM	real	MT	RM	real
TOLERANT	1	460.5	169.4	508.0	629.5	552.2	550.9	702.1	501.1
	2	116.2	73.9	130.1	123.4	120.6	145.0	131.5	115.6
	3	37.3	31.1	44.6	36.5	33.3	52.4	38.1	35.0
	4	11.2	17.2	11.5	11.5	10.0	12.0	11.8	11.7
	5	11.1	11.7	11.1	4.8	4.4	11.1	5.0	3.3
	6	2.9	3.9	2.1	3.3	2.2	1.5	3.2	2.8
	7	2.1	4.4	2.9	2.0	2.8	3.5	2.1	2.8
INTOLERANT	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	0.0
	5	1.7	1.6	1.7	1.6	0.6	1.7	1.5	0.6
	6	0.7	1.1	0.3	1.0	1.7	0.2	1.0	0.6
	7	2.6	2.2	3.0	2.2	2.8	3.2	2.2	3.3
INTERMEDIATE	1	183.1	218.2	179.9	231.1	195.6	177.5	242.6	169.4
	2	75.1	76.5	88.5	85.3	65.0	98.1	94.1	73.9
	3	33.0	36.1	35.4	40.1	35.6	39.1	44.7	31.1
	4	21.6	21.2	24.2	22.7	20.0	26.8	24.6	17.2
	5	9.1	10.0	10.6	11.6	12.2	12.1	13.1	11.7
	6	5.5	5.3	7.6	6.5	4.4	9.6	7.9	3.9
	7	2.9	1.9	2.1	1.2	3.9	1.5	0.9	4.4

Where: GE = ecological groups; CD = Diametric classes; MT = Transition Matrix; RM = Moving Ratio.

Em que: GE = grupos ecológicos; CD = Classes diamétricas; MT = Matriz de Transição; RM = Razão de Movimentação.

**Table 2** - Kolmogorov-Smirnov Adherence Test (K-S) for the projections made for the years 2007 and 2010 by the Transition Matrix and Movement Ratio method, for species divided into three ecological groups

**Tabela 2** - Teste de Aderência Kolmogorov-Smirnov (K-S) para as projeções realizadas para os anos 2007 e 2010, pelo método Matriz de Transição e Razão de Movimentação, para espécies divididas em três grupos ecológicos

Ecological Groups	Year	Transition Matrix		Movement Ratio	
		DCAL	DTAB (5%)	DCAL	DTAB (5%)
Tolerant	2007	0.046**	0.05	0.015**	0.05
	2010	0.036**	0.052	0.040**	0.052
Intolerant	2007	0.182**	0.519	0.174**	0.519
	2010	0.330**	0.624	0.369**	0.624
Intermediate	2007	0.064**	0.074	0.020**	0.074
	2010	0.057**	0.076	0.023**	0.076

Where: \*\* Not significant at 95%; DCAL: values calculated for the diametric distribution; DTAB: critical values for the K-S table.

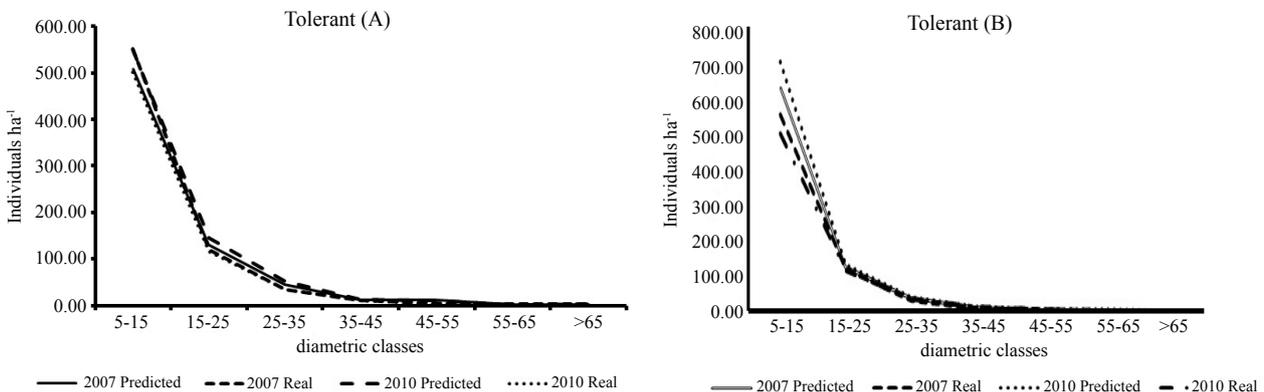
Em que: \*\* Não significativo a 95%; DCAL: valores calculados para a distribuição diamétrica; DTAB: valores críticos para a tabela K-S.

In the present study, both the matrix method and the movement ratio method were able to estimate values close to the real ones without statistical difference for the three ecological groups. Pulz *et al.* (1999) and Dalla Lana *et al.* (2015) also found no difference between the two methods, that is, both had the same degree of precision, with values projected close to the forest structure for the total number of trees per hectare. The same standard was observed by Stepka *et al.* (2010) in Mixed Ombrophilous Forest for the Transition Matrix.

The graphical analysis of the diametric distributions was carried out with the comparison of the real and estimated data by the two methods for the years 2007 and 2010 for the three ecological groups (Figures 1 to 3).

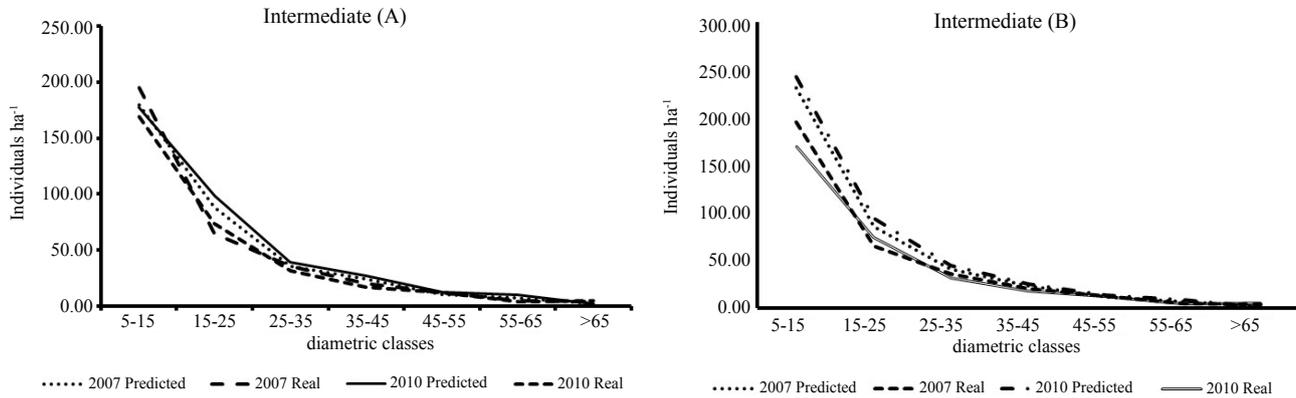
No presente estudo, tanto o método de matriz quanto o método de razão de movimento foram capazes de estimar valores próximos aos reais sem diferença estatística para os três grupos ecológicos. Pulz *et al.* (1999) e Dalla Lana *et al.* (2015) também não encontraram diferença entre os dois métodos, ou seja, ambos apresentaram mesmo grau de precisão, com valores projetados próximos a estrutura da floresta para o número total de árvores por hectare. O mesmo padrão foi observado por Stepka *et al.* (2010) em floresta ombrófila mista para a Matriz de Transição.

Foi realizada a análise gráfica das distribuições diamétricas com a comparação dos dados reais e estimados pelos dois métodos para os anos 2007 e 2010 para os três grupos ecológicos (Figuras de 1 a 3).



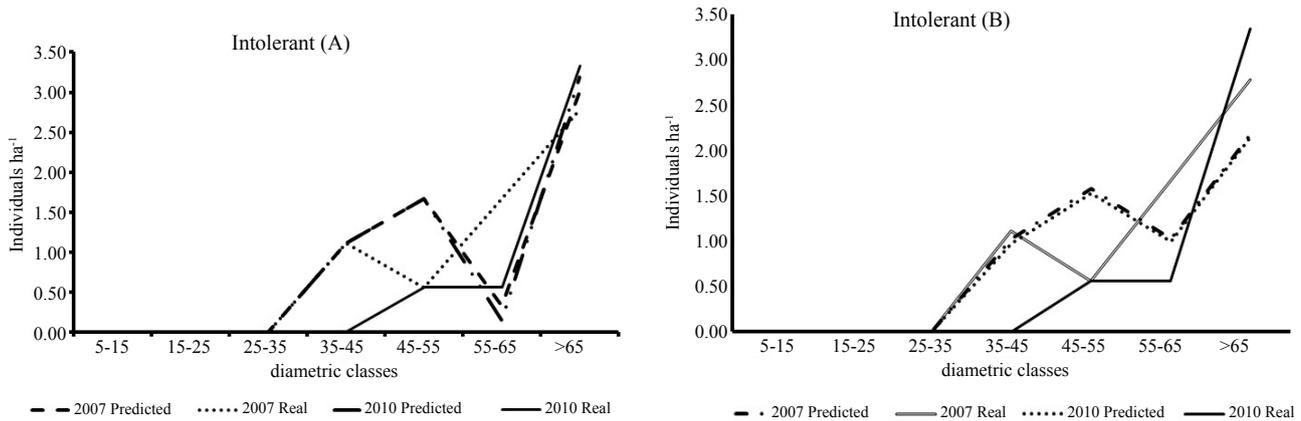
**Figure 1** - Real and predicted diametric distribution for years 2007 and 2010, using the Transition Matrix (A) and Movement Ratio (B) methods for the group of tolerant species in a "Terra Firme" Rainforest, Moju-PA.

**Figura 1** - Distribuição diamétrica real e prognosticada para os anos 2007 e 2010, utilizando os métodos Matriz de Transição (A) e Razão de Movimentação (B) para o grupo de espécies tolerantes em uma floresta tropical de Terra Firme, Moju-PA.



**Figure 2** - Real and predicted diametric distribution for years 2007 and 2010, using the Transition Matrix (A) and Movement Ratio (B) methods for the group of intermediate species in a “Terra Firme” Rainforest, Moju-PA.

*Figura 2* - Distribuição diamétrica real e prognosticada para os anos 2007 e 2010, utilizando os métodos Matriz de Transição (A) e Razão de Movimentação (B) para o grupo de espécies intermediárias em uma floresta tropical de Terra Firme, Moju-PA.



**Figure 3** - Real and predicted diametric distribution for years 2007 and 2010, using the Transition Matrix (A) and Movement Ratio (B) methods for the group of intolerant species in a “Terra Firme” Rainforest, Moju-PA.

*Figura 3* - Distribuição diamétrica real e prognosticada para os anos 2007 e 2010, utilizando os métodos Matriz de Transição (A) e Razão de Movimentação (B) para o grupo de espécies intolerantes em uma floresta tropical de Terra Firme, Moju-PA.

It is possible to verify some standards regarding the behavior of ecological groups. For tolerant and intermediate species, the J-inverted standard is evident for both methods and with the real and estimated data (Figures 1 and 2), characterizing the forest populations perpetuity according to the successional advance (MACHADO *et al.*, 2017), due to the composition of young individuals in its population. For the group of intermediaries, the lack of discontinuity occurs due to the sum of individuals of all species in this group, by diametric class. Oliver and Larson (1996) stated that often a combination of species or groups of species shows a diametric distribution in the form of an inverted J, even when, individually, species or groups of species do not present this distribution.

Pode-se verificar alguns padrões quanto ao comportamento dos grupos ecológicos. Para as espécies tolerantes e intermediárias, o padrão J-invertido é evidente para os dois métodos e com os dados reais e estimados (Figura 1 e 2), caracterizando a perpetuidade das populações florestais conforme o avanço sucessional (MACHADO *et al.*, 2017), por possuir indivíduos jovens em sua população. Para o grupo das intermediárias, a falta da descontinuidade ocorre pela soma dos indivíduos de todas as espécies nesse grupo, por classe diamétrica. Oliver e Larson (1996) afirmaram que, muitas vezes, uma combinação de espécies ou grupos de espécies mostra uma distribuição diamétrica na forma de um J-invertido, mesmo quando, individualmente, espécies ou grupos de espécies não apresentam essa distribuição.

The intolerant species showed, visually, a difference between the observed and estimated values between the ha<sup>-1</sup> individuals distributed in the diameter classes (Figure 3). Even so, the K-S test showed no significant difference between the two methods used in the prognosis. In this context, particular attention is drawn to the fact that this ecological group differs from the others, since, during the 16 measurements (12 years), there was no recruitment and mortality of individuals from the group of these species, indicating stability. Whitmore (1990) claims that species that cannot tolerate shade have a low mortality rate.

It is important to emphasize, the limitations of these two methods, as the projections, depend only on the state that the forest presents during the inventory that originated the data used in the models (EBLING *et al.*, 2014). For the transition matrix, this constant state for future projections is defined as a Markovian property (SCOLFORO *et al.*, 1998).

## CONCLUSIONS

It is recommended the Transition Matrix method for the prognosis of the diametric distribution for individuals belonging to the group of tolerant and intermediate species;

For intolerant species, there is a difference in the number of real and estimated individuals ha<sup>-1</sup>, for the years 2007 and 2010 and, therefore, it is recommended to use both methods (Transition Matrix and Movement Ratio).

As espécies intolerantes apresentaram, visualmente, uma diferença entre os valores observados e estimados entre os indivíduos ha<sup>-1</sup> distribuídos nas classes de diâmetro (Figura 3). Mesmo assim, o teste K-S não apresentou diferença significativa para os dois métodos utilizados nas prognoses. Ressalta-se que esse grupo ecológico apresenta diferença em relação aos demais, visto que, durante as 16 medições (12 anos) não houve recrutamento e mortalidade de indivíduos do grupo dessas espécies, indicando a estabilidade. Whitmore (1990) afirma que espécies que não toleram sombra apresentam baixa taxa de mortalidade.

Ressalta-se as limitações destes dois métodos, pois as projeções dependem somente do estado que a floresta apresenta durante o inventário que originou os dados empregados nos modelos (EBLING *et al.*, 2014). Para a matriz de transição, esse estado constante para as projeções futuras é definido como propriedade Markoviana (SCOLFORO *et al.*, 1998).

## CONCLUSÕES

Recomenda-se o método Matriz de Transição para a prognose da distribuição diamétrica para indivíduos que pertencem ao grupo das espécies tolerantes e intermediárias;

Para as espécies intolerantes, há diferença no número de indivíduos ha<sup>-1</sup> real e estimado, para os anos 2007 e 2010 e, por isso, recomenda-se utilizar os dois métodos (Matriz de Transição e Razão de Movimentação).

## CITED SCIENTIFIC LITERATURE

APG III. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, n. 2, p. 105- 121, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>

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**, v. 28, n. 2, p. 227-232, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000200009>

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**, v. 19, n. 2, p. 171-186, 1995.

BATISTA, A. P. B.; RODAL, M. J. N.; SILVA, J. A. A. da; SILVA, A. C. B. L. e; ALVES JUNIOR, F. T.; MELLO, J. M. Dynamics and prediction of diametric structure in two atlantic forest fragments in northeastern Brazil. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 307-317, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000200013>

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO Nº 406, D 02 DE FEVEREIRO DE 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, nº 26, 06 de fev. 2009.

- 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. 303-313, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198050983234>
- CONDÉ, T. M.; SILVA, F. da; SOUZA, A. L. de; LEITE, H. G.; GARCIA, E. A.; COSTA, W. da S.; CHAVES, A. de S.; LOPES, P. F. Palmeiras exóticas ameaçam palmeiras nativas: risco para a biodiversidade vegetal da mata atlântica. **Revista Árvore**, v. 42, n. 2, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882018000200016>
- DALLA LANA, M.; NETTO PÉLLICO, S.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; EBLING, A. A. Prognose da estrutura diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 71-78, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.072914>
- EBLING A. A.; PÉLLICO S. No.; WATZLAWICK L. F.; MIRANDA R.; ABRÃO S. F. Ecologia e projeção diamétrica de três grupos arbóreos em remanescente de floresta ombrófila mista em São Francisco de Paula, RS. **Floresta**, v. 43, n.2, p. 261-270, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i2.28604>
- EBLING, A. A.; PELISSARI, A. L.; ABRÃO, S. F.; BAMBERG, R. Prognose da estrutura diamétrica de remanescente de floresta com Araucária utilizando a função densidade de probabilidade Weibull. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 112-118, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v8i1.1278>
- JARDIM, F. C. S.; SOUZA, A. L.; BARROS, N. F.; SILVA, E.; MACHADO, C. C.; SILVA, A. F. Agrupamento das espécies arbóreas de uma floresta equatorial na região de Manaus-AM. **Boletim da Fcap**, v. 26, p. 7-29, 1996.
- LIANG, J.; PICARD, N. Matrix model of forest dynamics: An overview and outlook. **Forest Science**, v. 59, p. 359-378, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5849/forsci.11-123>
- LONGHI, R. V.; SCHNEIDER, P. R.; LIRA, D. F. de S.; LISBOA, G. dos S. 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v12i2a5437>
- 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, p. 1-10, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.001216>
- MENON, M. U.; FIGUEIREDO FILHO, A.; WATZLAWICK, L. F. Matriz de Transição para predição da distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista na flona de Irati (PR). **Ambiência**, v. 6, n. 2, p. 271-280, 2010.
- MOBOT, Missouri Botanical Garden (2016). **Trópicos Search**. Disponível em: <http://www.tropicos.org/Home.aspx>. Acessado em 03/02/17.
- 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**, n. 327, p. 201-208, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.05.007>
- OLIVEIRA, L. C. L. Q.; JARDIM, F. C. S.; GOMES, J. M.; RAMOS, E. M. L. S. Classificação ecológica de espécies arbóreas por meio da análise da distribuição diamétrica. **Espacios**, v. 38, n. 42, 2017.
- OLIVER, C. D.; LARSON, B. C. **Forest stand dynamics**. Update edition. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- PENG, S. L.; HOU, Y. P.; CHEN, B. M. Establishment of Markov successional model and its application for forest restoration reference in Southern China. **Ecological Modelling**, v. 221, n. 9, p. 1317-1324, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.01.016>
- PULZ, F. A.; SCOLFORO, J. R.; 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**, v. 5, n. 1, p. 1-14, 1999.
- REIS, L. P.; SOUZA, A. L. de; REIS, P. C. M. dos R.; MAZZEI, L.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Prognose da Distribuição diamétrica na Amazônia utilizando Redes Neurais artificiais e autômatos celulares. **Revista Floresta**, v. 48, n. 1, p. 93-102, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v48i1.52748>
- SALLNÄS, O.; BERGER, A.; RÄTY, M.; TRUBINS, R. An area-based matrix model for uneven-aged forests. **Forests**, v. 6, n. 5, p. 1500-1515, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/f6051500>
- 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.

SCOLFORO, J. R. S., PULZ, F. A. & MELO, J. M. **Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e análise estrutural**. Lavras: FAEPE, 1998, 246 p.

SILVA, S. M. A. S.; SILVA, J. N. M.; BAIMA, A. M. V.; LOBATO, N. M.; THOMPSON, I. S.; COSTA FILHO, P. P. Impacto da exploração madeireira em floresta de terra firme no município de Moju, estado do Pará. In: SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; YARED, J. A. G. (Eds.). **A silvicultura na Amazônia Oriental: contribuições do projeto Embrapa/DFID**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental - DFID, 2001. p. 227-251.

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**, v. 44, n. 3, p. 525-534, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v44i3.32854>

STEPKA, T. F.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; SAWCZUK, A. R. 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. 1, p. 327-335, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.327>

STRIGUL, N.; FLORESCU, I.; WELDEN, A. R.; MICHALCZEWSKI, F. Modelling of forest stand dynamics using Markov chains. **Environmental Modelling and software**, v. 31, p. 64-75, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.12.004>

VASCONCELOS, S. S.; HIGUCHI, N.; DOLIVEIRA, M. V. N. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. **Acta Amazônica**, v. 31, n. 1, p. 71-80, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000100007>

VAUHKONEN, J.; PACKALEN, T. A Markov Chain Model for Simulating Wood Supply from Any-Aged Forest Management Based on National Forest Inventory (NFI) Data. **Forests**, v. 8, n. 9, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/f8090307>

WHITMORE, T. C. **An introduction to tropical rain forests**. Blackwell, London, 1990.

WOLFF II, N. I. **Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L.** 2012. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Paraná.