

## SISTEMA DE SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO PARA FLORESTAS NATURAIS

HENRIQUE SOARES KOEHLER<sup>1</sup>  
LUIZ MARCELO BRUM ROSSI<sup>2</sup>  
MARCOS VINICIUS GIONGO ALVES<sup>3</sup>

**RESUMO:** O Sistema Computacional para Dinâmica de Florestas Naturais (SISDIN) é a solução tecnológica desenvolvida para representar o sistema aberto floresta natural, modelando o crescimento pelo uso do método de matrizes de transição e permitindo acompanhar a dinâmica de florestas naturais, a partir de um banco de dados normalizado de parcelas permanentes de inventário florestal. O sistema desenvolvido é composto por oito módulos que permitem várias operações em um banco de dados relacional. A base de dados e as equações usadas para obtenção das estimativas, utilizadas para desenvolvimento e teste do sistema foram originárias de quatro parcelas permanentes do Projeto Ecológico de Longa Duração (PELD) desenvolvido em área de Floresta Ombrófila Mista, situada na Estação Experimental da Universidade Federal do Paraná em de São João do Triunfo. As prognoses efetuadas pelo sistema mostraram-se efetivas e não apresentaram diferenças estatisticamente significativas quando comparadas com os valores reais medidos em campo.

**PALAVRAS-CHAVE:** dinâmica, crescimento, prognose, matriz de transição, biomassa.

### GROWTH SIMULATION SYSTEM FOR NATURAL FORESTS

**ABSTRACT:** Natural Forest Dynamics Computational System (NFDCS) represents a technological solution developed to represent the open natural forest system, modeling growth by using the transition matrix method, allowing to follow up the dynamics of natural forests from a database for permanent forest inventory plots. The system is composed of eight procedures allowing generate several outputs. Data used to develop and test the system came from four permanent plots of 100 x 100 m, of mixed araucaria-hardwoods forest, located at the Experimental Station of São João do Triunfo-PR, Brazil. The estimated values generated by the developed system showed no significant differences when compared with the the measured values.

**HEY-WORDS:** forest dynamics; tree growth; projection; transition matrix; biomass.

## 1. INTRODUÇÃO

Modelos de crescimento constituem-se em excelente ferramenta, que permite aos profissionais encarregados de manejar florestas investigarem, de forma rápida e eficiente, a resposta da floresta sob diferentes regimes de manejo. VANCLAY (1983) definiu modelo de crescimento como sendo um sistema de equações que pode prever crescimento e produção de uma floresta sobre uma grande variedade de condições. Com certeza poder-se-ia acrescentar que a quantificação da biomassa de florestas e o estoque armazenado de carbono seriam outras funções importantes dos modelos de crescimento. As metodologias hoje disponíveis permitem que se modele o crescimento de florestas com exatidão satisfatória. O sistema computadorizado elaborado - **SISDIN** - foi a solução tecnológica desenvolvida para representar o sistema aberto floresta natural, pois modela e permite acompanhar o processo de

<sup>1</sup> Eng. Florestal, Dr., Professor, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, [koehler@ufpr.br](mailto:koehler@ufpr.br)

<sup>2</sup> Eng. Florestal, Dr., Pesquisador, Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus – AM, [mrossi@cpaa.embrapa.br](mailto:mrossi@cpaa.embrapa.br)

<sup>3</sup> Eng. Florestal, M.Sc., Doutorando, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, [malves@creapr.org.br](mailto:malves@creapr.org.br)

ingresso, crescimento e supressão das árvores que compõem parcelas permanentes, apoiado em um banco de dados relacional normalizado. Considerando o objetivo de implementar um modelo computacional de crescimento, o modelo elaborado pode ser classificado, segundo SANQUETTA (1996a), como empírico (aquele que procura explicar o que ocorreu, está ocorrendo ou pode ocorrer), estático (aquele no qual as funções de crescimento e produção não permitem variações na história dos tratamentos no povoamento), determinístico (aquele que produz estimativas das tendências de desenvolvimento de um povoamento e onde, dadas as mesmas condições iniciais o modelo produzirá os mesmos resultados), não espacial (onde a distribuição das árvores não é levada em conta), por classes de diâmetro e que utiliza o processo de matrizes de transição. Matrizes de transição compõem o tipo de modelo de crescimento onde se usa o critério de separar árvores entre aquelas que, após determinado período de tempo, apresentam crescimento que as posiciona como pertencentes a uma, duas ou mais que duas classes de tamanho subsequentes à classe onde se encontravam, árvores que permaneceram na mesma classe de tamanho e árvores que morreram durante o período. O ingresso ou recrutamento também pode ser incorporado ao sistema. O movimento ou dinâmica das classes de tamanho é calculado em proporções ou probabilidades que constituem a chamada matriz de transição. Essa matriz é então multiplicada por um vetor de frequências por classes de tamanho de modo a se obter outro vetor de frequências projetadas para o momento futuro VANCLAY (1994). Tanto ALDER (1995) como VANCLAY (1994) consideram haver três grandes correntes na aplicação de matrizes de transição na modelagem do crescimento de povoamentos de florestas naturais, representadas pelos trabalhos de USHER (1966), BRUNER e MOSER (1973) e MENGIN-LECREUIX (1990). O presente teve por objetivo testar a viabilidade do uso de matrizes de transição para estimar o crescimento de florestas naturais baseado no crescimento medido em quatro parcelas permanentes de inventário florestal.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados usados para desenvolvimento e teste do sistema são oriundos de parcelas permanentes de inventário florestal integrantes do “Programa Ecológico de Longa Duração” (PELD) localizadas na Estação Experimental de São João do Triunfo, da Universidade Federal do Paraná. A área florestal da estação foi dividida em parcelas de 100 x 100 m. Os dados são coletados anualmente em quatro parcelas. Cada parcela é dividida em sub-parcelas de 10 x 10 m, onde todas as árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) igual ou superior a 10 cm são medidas com fita métrica ou trena.

A linguagem de programação utilizada foi a MICROSOFT VISUAL BASIC 6.0 ®. A escolha desta linguagem dependeu, como preconiza ALDER (1995), basicamente dos padrões existentes e das preferências do usuário.

No sistema computacional elaborado foi utilizado um modelo de banco de dados relacional normalizado para armazenar os dados oriundos de medições de parcelas permanentes, composto por tabelas com relações previamente estabelecidas.

Os processos dinâmicos têm as funções de ingresso, crescimento e mortalidade ajustadas com bases nas estatísticas geradas, permitindo que na etapa seguinte o modelo de crescimento forneça as estimativas das projeções desejadas.

O sistema possibilita que as espécies sejam agrupadas de três formas distintas: a) todas as espécies presentes nas parcelas utilizadas formam um grupo; b) as espécies serão agrupadas segundo critério subjetivo definido pelo usuário do sistema; e c) as espécies são agrupadas por classificação hierárquica, segundo o método de WARD (1963), com base nas variáveis incremento médio em diâmetro e diâmetro máximo observado por espécie, como utilizado por ALDER (1995) na Amazônia.

O cálculo do número de árvores que ingressam no povoamento é tratado pelo sistema por meio de duas abordagens distintas. Na primeira o ingresso é representado por um número fixo de árvores especificado pelo usuário e na segunda pelo número de árvores que ingressaram no período de tempo considerado, de acordo com o encontrado para os dados utilizados para a simulação.

Para cada grupo de espécies ou para o conjunto total delas, uma matriz P de probabilidades de transição é aplicada a um vetor  $Y_t$  que contém o número de árvores vivas no tempo t de determinada espécie ou grupo de espécies, em cada classe de diâmetro. Adicionando-se o ingresso ao resultado gera-se uma tabela para o povoamento a it anos depois, onde it é o intervalo de tempo entre a primeira e a segunda medição das parcelas permanentes.

A mortalidade  $M_i$ , para cada classe de diâmetro é estimada por uma função ajustada ou mantida em um valor fixo. O sistema fornece uma listagem da matriz de progressão e da matriz de probabilidades calculada, para classes de diâmetros fixas e variáveis.

Tendo sido calculadas as matrizes de transição, o sistema projeta o número de árvores, o volume de fuste, o peso verde da biomassa do fuste e a quantidade de carbono armazenada no fuste, por classes de diâmetros fixas e variáveis, para o período de tempo especificado. O número de árvores é calculado multiplicando-se a matriz de transição encontrada pelo vetor inicial determinado, somando-se a seguir o ingresso ocorrido no período considerado.

### 3. RESULTADOS

O resultado da implementação em linguagem computacional de um modelo de crescimento para florestas naturais utilizando o método de matrizes de transição é o **Sistema Computacional de Dinâmica para Florestas Naturais – SISDIN**. O sistema é composto de oito módulos que compreendem os procedimentos relativos à operação do banco de dados para inventários florestais de parcelas permanentes de florestas naturais, para os cálculos que descrevem a estrutura horizontal, as estatísticas das parcelas, a dinâmica, o agrupamento de espécies, a prognose e a apresentação gráfica ou impressa dos resultados obtidos. Essas funções podem ser acessadas pelo menu ou pela barra menu, ambas desempenhando as mesmas funções, a exceção de encerrar o programa que só poder ser feita pelo menu por uma restrição da linguagem. A tela principal do sistema é apresentada na Figura 1.

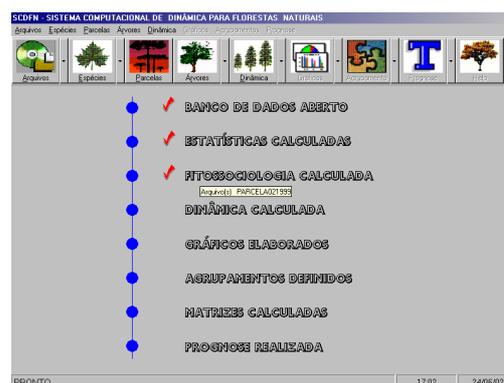


Figura 1 - Tela principal do sistema apresentando o menu e a barra menu na parte superior, a descrição dos módulos e a barra de tarefas na parte inferior.

Os relatórios e gráficos gerados podem ser analisados na tela e impressos, se desejado. Cada relatório apresenta um título identificando o sistema, o número da página, o número total de páginas do relatório e a data em que foi gerado. A opção “Calcula Estatísticas por Parcela(s)”, após a escolha da ordem de impressão dos resultados, calcula as estatísticas para a parcela ou

parcelas selecionadas, para classes de diâmetros fixas e variáveis e habilita a opção de impressão dos resultados. Para cada uma das espécies presentes na parcela ou parcelas são apresentados o nome comum, o nome científico, a família e as estatísticas número de árvores por parcela, DAP médio, mínimo e máximo, em cm, área basal em m<sup>2</sup> por parcela e desvio padrão do DAP, sendo que somente as árvores vivas são consideradas para efeito dos cálculos. Ao final do relatório são apresentadas as mesmas estatísticas para o total da parcela ou parcelas. Os índices fitossociológicos são calculados para a parcela ou parcelas selecionadas executando-se a opção correspondente do sub menu “Árvores”. Quando solicitada a impressão dos índices calculados, o sistema apresenta para todas as espécies presentes nas parcelas, para as árvores mortas e para o total a densidade absoluta (Número de árvores por parcela), a densidade relativa (%), a frequência absoluta (%), a frequência relativa (%), a dominância absoluta (m<sup>2</sup> por parcela), a dominância relativa (%), o valor de importância (%), o valor de importância percentual, o valor de cobertura (%) e o valor de cobertura percentual. A obtenção dos índices fitossociológicos habilita a opção que permite a obtenção do gráfico “Relação Espécies/Área” do sub menu “Gráficos”. A opção “Gráficos” do menu e barra menu torna-se habilitada após a execução dos cálculos das estatísticas da dinâmica por parcelas e apresenta o sub menu onde somente a opção “Elabora gráficos” esta habilitada. Ao ser executada essa opção ficam disponíveis, ao usuário, os gráficos cuja elaboração depende dos resultados obtidos quando da execução da dinâmica, tanto para classes de diâmetros fixas quanto para classes de diâmetro variáveis. A opção que permite que espécies sejam agrupadas, segundo a técnica de análise de grupos hierárquicos, torna-se habilitada após a obtenção das estatísticas da dinâmica. Os agrupamentos ótimos são feitos considerando as estatísticas diâmetro máximo, oriunda das estatísticas das parcelas e incremento periódico médio em DAP, originado quando da cálculo das estatísticas da dinâmica, para todas as espécies presentes nas parcelas processadas. A opção do sub menu que calcula a projeção, quando acessada, apresenta a tela específica onde são apresentadas ao usuário as opções disponíveis para o cálculo das projeções. Inicialmente o usuário especifica o número de períodos desejado na prognose, onde um período corresponde ao número de anos que foi usado para a obtenção da matriz de transição. Uma vez determinado o número de períodos a serem projetados o usuário pode escolher entre usar como número de indivíduos ingressos o valor apurado nos cálculos das estatísticas da dinâmica ou especificar um valor total arbitrário. Os relatórios gerados contém as projeções do número de árvores por parcelas, o volume do fuste em m<sup>3</sup> por parcela, o peso da biomassa verde de fuste em t por parcela e o estoque de carbono no fuste em t por parcela, conforme mostrado na Figura 2.

#### 4. CONCLUSÕES

Consoante com as idéias e objetivos iniciais, o “Sistema Computacional de Dinâmica para Florestas Naturais” – **SISDIN** - engloba, em si, um gerenciador de banco de dados para observações oriundas de parcelas permanentes de inventários florestais e um modelo de predição de crescimento para florestas naturais, que utiliza o processo de matriz de transição, usando os dados armazenados no banco de dados criado. Como modelo de predição alguns detalhes específicos do crescimento foram sacrificados em favor de maior eficiência e exatidão nas informações fornecidas para o usuário. Apesar de modelos determinísticos não gerarem algumas informações importantes, fornecidas pelos modelos estocásticos, a maior parte das informações necessárias para planejamento e manejo de florestas naturais pode ser obtida de modo eficiente pelo uso desses modelos.

| TEMPO EM PERÍODOS | CLASSES DE DIÂMETRO (cm) |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        | TOTAL |        |
|-------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|
|                   | 10,00                    | 20,00 | 30,00 | 40,00 | 50,00 | 60,00 | 70,00 | 80,00 | 90,00 | 100,00 | 110,00 | 120,00 |       | 130,00 |
| <b>001</b>        |                          |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |       |        |
| Nº Árvores        | 1798                     | 401   | 206   | 130   | 86    | 27    | 20    | 5     | 2     | 1      |        |        | 3     | 2852   |
| Vol Fuste m³      | 106,7                    | 85,4  | 121,1 | 174,2 | 180,1 | 104,3 | 99,4  | 35,3  | 17,7  | 4,6    |        |        | 19,5  | 949,3  |
| Biom. Fuste ton   | 127,2                    | 88,3  | 107,2 | 138,7 | 134,0 | 73,1  | 68,9  | 23,7  | 12,0  | 3,9    |        |        | 15,8  | 792,9  |
| Estoque C ton     | 25,3                     | 17,1  | 20,2  | 25,8  | 24,7  | 13,3  | 12,7  | 4,4   | 2,2   | 0,8    |        |        | 3,2   | 149,7  |
| <b>002</b>        |                          |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |       |        |
| Nº Árvores        | 1854                     | 425   | 217   | 140   | 93    | 25    | 25    | 8     | 1     | 1      |        |        | 3     | 2893   |
| Vol Fuste m³      | 117,8                    | 90,5  | 127,4 | 178,9 | 210,3 | 95,4  | 124,9 | 58,8  | 11,8  | 3,1    |        |        | 18,5  | 1092,2 |
| Biom. Fuste ton   | 140,5                    | 93,6  | 112,8 | 140,9 | 156,3 | 68,8  | 86,5  | 38,8  | 8,0   | 2,6    |        |        | 15,8  | 863,5  |
| Estoque C ton     | 28,0                     | 18,2  | 21,3  | 26,2  | 26,8  | 12,2  | 15,9  | 7,3   | 1,5   | 0,5    |        |        | 3,2   | 162,9  |
| <b>003</b>        |                          |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |       |        |
| Nº Árvores        | 2114                     | 455   | 228   | 143   | 105   | 24    | 29    | 13    | 1     |        |        |        | 3     | 3115   |
| Vol Fuste m³      | 127,5                    | 96,9  | 134,2 | 180,8 | 237,1 | 93,3  | 142,4 | 88,4  | 7,9   | 2,1    |        |        | 19,5  | 1129,9 |
| Biom. Fuste ton   | 152,0                    | 100,2 | 118,9 | 143,9 | 176,4 | 65,4  | 98,7  | 59,4  | 5,4   | 1,7    |        |        | 15,8  | 937,8  |
| Estoque C ton     | 30,2                     | 19,4  | 22,4  | 28,7  | 32,2  | 15,9  | 18,2  | 10,8  | 1,9   | 0,3    |        |        | 3,2   | 175,9  |
| <b>004</b>        |                          |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |       |        |
| Nº Árvores        | 2353                     | 487   | 241   | 147   | 116   | 25    | 31    | 17    | 1     |        |        |        | 3     | 3322   |
| Vol Fuste m³      | 135,9                    | 103,8 | 141,9 | 185,7 | 261,8 | 95,4  | 156,2 | 122,1 | 5,2   | 1,4    |        |        | 18,5  | 1228,9 |
| Biom. Fuste ton   | 161,8                    | 107,3 | 125,7 | 147,8 | 194,8 | 68,9  | 108,3 | 82,1  | 3,6   | 1,1    |        |        | 15,8  | 1015,4 |

Figura 2 - Tela mostrando os resultados das projeções obtidas com base na matriz de transição para classes de diâmetros fixas.

Considerada a natureza determinística do modelo computacional apresentado, o que se espera é que estimativas do crescimento esperado sejam fornecidas e, nesse aspecto, o sistema apresentado atinge os objetivos, ultrapassando-os até quando possibilita a obtenção de estimativas de estoque de carbono no fuste para classes de diâmetros fixas e variáveis. Nos modelos de crescimento disponíveis o estoque de carbono não é contemplado, enquanto que no presente modelo este componente está inserido explicitamente nas predições da dinâmica florestal. O sistema desenvolvido circunscreveu-se ao processo de prognose por meio do uso de matrizes de transição, muito embora apresente abordagens inovadoras, como o uso de classes de diâmetros variáveis, que reduz a possibilidade do aparecimento de estados absorventes (SCOLFORD, 1988), a possibilidade de se alterar o ingresso, a possibilidade de se estimar a mortalidade por meio das equações de regressão ajustadas e a possibilidade de se alterar a mortalidade pelo uso de um valor arbitrário. As prognoses geradas mostraram-se acuradas, pois não diferiram dos valores observados quando comparadas estatisticamente pelo teste de  $\chi^2$  ao nível de 99% de probabilidade, para todas as situações testadas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDER, D. **Growth modelling for mixed tropical forests**. Oxford: Tropical Forestry Papers, 1995. 231 p. (n.30).
- BRUNER, H.D. ; MOSER, J.W. A markov chain approach to the prediction of diameter distribution in uneven-aged forest stands. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.3, n.3, p. 409-417, 1973.
- MENGIN-LECREUX, P. **Simulation de la croissance d'un peuplement de forêt dense: le cas de la forêt de Yapo (Cote d'Ivoire)**. Paris: International Research Report, CTFT, 1990. 55 p.
- SANQUETTA, C.R. Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal. **FUPEF: Série Didática**, Curitiba, n.8, 49 p, 1996a.
- USHER, M.B. A matrix approach to the management of renewable resources with special reference to selection forests. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.6, n.2, p. 347-348, 1966.
- VANCLAY, J.K. **Modelling forest growth and yield. Applications to mixed tropical forests**. Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.
- VANCLAY, J.K. **Techniques for modelling timber yield from indigenous forests with special reference to Queensland**. Oxford: 1983. 194 f. Dissertation (M.Sc. in Forestry) - Oxford University.
- WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize na objective function. **American Statistical Association Journal**, Alexandria, n.58, p. 236-244, 1963.