
MODELAGEM MATEMÁTICA DA DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA EM UM ESTADO TRANSIENTE DE REFLORESTAMENTO**Arlete Cherobini ORTH^{1*}; Geraldo Ceni COELHO²; Pedro Augusto Pereira BORGES²**

1. Faculdade La Salle, Lucas do Rio Verde, Mato Grosso, Brasil.
2. Unijuí- Universidade do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.
* Autor Correspondente: arlete@faculdadelasalle.edu.br

Recebido em: 21 de agosto de 2018 – **Aceito em:** 13 de dezembro de 2018

RESUMO: Constatou-se que a serapilheira é formada por todo o material biológico depositado sobre o solo, sendo composto basicamente por folhas, cascas, frutos e ramos. A decomposição da serapilheira e a consequente incorporação de matéria orgânica e nutrientes minerais ao solo, são processos importantes em sistemas agroflorestais e florestas em recuperação de ecossistemas degradados. Neste trabalho foram desenvolvidos dois modelos matemáticos: um para descrever a variação do fator de decomposição da serapilheira em função do tempo, com base em dados experimentais; e outro para prever a decomposição e o acúmulo de serapilheira em um sistema florestal transiente, com dados empíricos de plantios de grandúva (*Trema micrantha* (L.) Blume) e aroeira-periquita (*Schinus molle* L.). Foram obtidos três formas de dados experimentais: a massa que compõem a serapilheira (X_o); a variação da massa em decomposição (X), a variação do fator de decomposição (k). O modelo de serapilheira remanescente, para um caso transiente com entrada de massa, envolve três grandes variáveis relacionadas entre si: o crescimento das árvores, a decomposição da serapilheira e a massa X_o de entrada. As seguintes premissas orientam a formulação do modelo: 1. A entrada de massa na serapilheira (X_o) ocorre em porções, cada uma em um instante de tempo; 2. A massa de serapilheira acumulada em um determinado instante de tempo é composta por n frações (X_i), cada qual em um estágio de decomposição diferente, portanto com um valor de k correspondente; 3. Os valores do fator de decomposição variam de forma contínua. O aumento da produção de serapilheira mensal foi considerado como uma função do crescimento da população das árvores. Foram efetuadas comparações entre os resultados dos modelos com dados experimentais, especialmente no que se refere à massa de serapilheira remanescente. Os modelos foram utilizados para simular o acúmulo de serapilheira ao longo do tempo de vida das árvores. Em suma, verificou-se ainda que, o processo de decomposição do material biológico produzido pelas espécies em comento, bem como toda e qualquer matéria orgânica existente sobre o solo, está em constante processo de decomposição, portanto com tempo finito, não se coadunando com relatos superficiais de estudos, declarando que a partir de certo tempo de implantação das florestas, este processo ser infinito.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos Matemáticos. Decomposição. Serapilheira. Nutrientes. Produção.

INTRODUÇÃO

Em uma comunidade vegetal, há uma forte interação entre a vegetação e o substrato, que se expressa na ciclicidade da entrada e saída de matéria no solo (Medina, 1969).

A floresta, quando em equilíbrio, reduz ao mínimo a saída de nutrientes do ecossistema, através da interação do solo com a vegetação. Desta forma, o solo mantém sempre o mesmo nível de fertilidade, ou até melhora suas características ao longo do tempo. A floresta não perturbada, de forma geral, apresenta uma grande estabilidade, ou seja, os nutrientes introduzidos no ecossistema através da chuva e intemperismo geológico estão em equilíbrio

com os nutrientes perdidos, que são transportados para os rios e o lençol freático (Poggiani, 1998).

Nas regiões tropicais úmidas os solos tendem a se tornar empobrecidos em bases e em fósforo e com alto teor de alumínio trocável. Nestas regiões, a recirculação de nutrientes, através da queda e decomposição da serapilheira, é rápida e assegura a manutenção da vegetação florestal, apesar da baixa fertilidade do solo (Golley *et al.* 1978).

Assim, os nutrientes contidos na biomassa e aqueles encontrados na matéria orgânica dos primeiros centímetros do solo, podem desempenhar um papel vital na produtividade da floresta.

A ciclagem de nutrientes compreende a trajetória cíclica dos elementos essenciais à

vida dos ecossistemas. Resulta de um conjunto de processos interconectados, de forma que os mesmos recursos nutricionais são utilizados em sucessivos períodos de fixação de energia (Delitti, 1995).

Na pesquisa sobre a ciclagem de nutrientes, destaca-se o conhecimento do funcionamento de um ecossistema sob o ponto de vista de sua manutenção e estágio sucessional em que se encontra. Este estudo pode ser utilizado também para a detecção de distúrbios de origem natural ou antrópica (Lopes *et al.*, 2002). Nas florestas tropicais, esta interação se dá na ciclagem dos nutrientes, e o acúmulo da serapilheira exerce importante função neste processo, pois representa a mais significativa forma de transferência destes nutrientes, atuando na superfície do solo como um sistema de entradas e saídas. O estudo da quantificação das reservas minerais e orgânicas e suas transferências entre compartimentos são de extrema importância para compreender e comparar os diferentes ecossistemas e suas inter-relações com o meio (Golley *et al.* 1978).

O estudo da produção de serapilheira e do fluxo de nutrientes minerais, associados são de fundamental importância para a compreensão dos aspectos dinâmicos dos ecossistemas, motivo pelo qual sua quantificação vem sendo realizada em diversas partes do mundo, utilizando-se de uma metodologia simples, de baixo custo e relativamente padronizada. Tais estudos têm como objetivos fornecer índices de produção e noções acerca das taxas de decomposição da serapilheira, caracterizando-se como uma ferramenta indicadora do grau de fragilidade e do nível de perturbação dos ecossistemas florestais, em face da crescente ocupação destes ambientes naturais pelo homem (Proctor, 1983).

A serapilheira sobre o solo produz sombra e retém umidade, criando condições microclimáticas que influem na germinação de sementes e estabelecimento de plântulas (Moraes *et al.*, 1998).

De acordo com Lavelle e Kohlmann (1984). A liberação dos nutrientes contidos

na serapilheira ocorre através do processo de decomposição. A sua regulação depende fundamentalmente da atuação da fauna edáfica, que se encontra inteiramente envolvida nos processos de fragmentação da serapilheira e estimulação da comunidade microbiana do solo. Modificações na diversidade e densidade têm sido observadas nas comunidades de fauna em solos tropicais, sejam em sistemas florestais, cultivos ou áreas em diferentes estágios de sucessão. Sendo assim, o conhecimento da estrutura de tais comunidades pode ser utilizado como um indicador do funcionamento do subsistema solo, fornecendo informações sobre o grau de degradação ou recuperação de uma área, além da viabilidade de recuperação desta.

Uma série de fatores, bióticos e abióticos, influenciam na deposição de serapilheira. Dentre eles destacam-se: tipo de vegetação, estágio sucessional, latitude, altitude, temperatura, precipitação, herbivoria, disponibilidade hídrica e estoque de nutrientes do solo (Portes *et al.*, 1996), umidade do solo (Burghouts *et al.*, 1994) e vento (Dias & Oliveira Filho, 1997).

Segundo Martins e Rodrigues (1999). A quantidade de serapilheira depositada também pode variar dentro de um mesmo tipo de vegetação, dependendo dos graus de perturbação das áreas. Áreas com um grau de perturbação maior possuem um número elevado de espécies pioneiras de crescimento rápido, que investem muito em produção de biomassa e tendem a produzir maior quantidade de serapilheira. Situação diferente das áreas menos perturbadas, pois estas possuem menor número de espécies de crescimento rápido e, portanto, apresentam menor produção de biomassa. Entretanto, poucos estudos têm focado a deposição da serapilheira em áreas submetidas a distúrbios com o intuito de compreender sua relação com o processo regenerativo da vegetação.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e testar modelos matemáticos que descrevam a transferência de nutrientes para o solo, através do volume de decomposição da massa orgânica em cobertura do mesmo, através da queda e

decomposição da serapilheira. Foram analisadas duas plantas arbóreas pioneiras nativas do sul do Brasil: *Schinus molle* L. (aroeira-periquita) e *Trema micrantha* (L.) Blume (grandiúva). A aroeira-periquita é uma espécie nativa da América do Sul, e sua ocorrência natural inclui o Peru, a Bolívia, a Argentina, o Uruguai e o Brasil. Por ser bastante tolerante à geada, é utilizada em sistemas consorciados para proteger culturas de críticas ou associada a pastagens. Sabe-se pouco sobre seu crescimento, porém observa-se que pode chegar a 3 m de altura no primeiro ano, e que a média pode ultrapassar os 2 m no mesmo período (Carvalho, 1994). A grandiúva apresenta ampla distribuição geográfica, do sul do Brasil a Misiones, na Argentina, até a Florida, nos Estados Unidos. É considerada uma espécie de rápido crescimento, atingindo cerca de 3,8 m, em média aos 18 meses, para plantios no estado de São Paulo. Na mesma época, a copa atinge 4,0 m de diâmetro médio, indicando se tratar de uma espécie sombreadora (Barbosa, 2000). Estas espécies estão sendo estudadas por pesquisadores na UNIJUÍ e o presente trabalho objetivou associar às pesquisas em andamento (Petry *et al.*, 2003).

MATERIAL E MÉTODOS

Procedimentos e os equipamentos experimentais empregados.

Caracterização da área de estudo.

No IRDeR - Instituto Regional de Desenvolvimento Rural/Fidene, localizado no município de Augusto Pestana – RS, foram realizados dois tipos de experimentos, um para medir a massa de serapilheira que entra no reflorestamento das duas espécies arbóreas nativas, a grandiúva e a aroeira-periquita, outro para avaliar a taxa de decomposição da serapilheira destas duas espécies. Estes experimentos foram colocados sobre o reflorestamento de grandiúva, analisando as mesmas condições para as duas espécies. A área experimental situa-se nas coordenadas geográficas de 28°

26' 32'' de latitude Sul e 54° 00' 12'' de latitude Oeste.

Talhões experimentais

O experimento foi instalado em talhões de *Schinus molle* L. (aroeira-periquita) e *Trema micrantha* (L.) Blume (grandiúva), plantados em 2001. As mudas foram produzidas em tubetes e transplantadas com cerca de 20 a 25 cm de altura. O plantio foi efetivado no espaçamento 2,0 x 3,0 m e a fertilização utilizada no momento do plantio, foi uma mistura de 100g de NPK 4-16-10 e 1 litro de solo florestal superficial por muda. As áreas de plantio (talhões) de cada espécie foram estabelecidas lado a lado.

Obtenção dos dados: Estimativa de produção mensal de serapilheira.

Foram distribuídos no interior de cada talhão, 20 coletores de serapilheira de 0,25 m² de superfície (0,50 x 0,50 m). A moldura e os pés dos coletores foram construídos em madeira. No interior da moldura de cada coletor, fixou-se uma tela de nylon com malha de 1,0 x 1,0 mm. A parte central das telas possuía forma côncava, de tal modo a permitir o acúmulo da serapilheira e facilitar o escoamento da água através das malhas.

Os coletores foram suspensos a 0,50 m de altura (para evitar contaminações), numerados e distribuídos de forma sistemática na parte central dos talhões, para evitar o efeito de bordadura. A serapilheira depositada nos coletores ou armadilhas foi recolhida mensalmente, durante 12 meses, de dezembro de 2003 a dezembro de 2004. Como serapilheira considerou-se todo o material vegetal composto por folhas, cascas, frutos e ramos finos com menos de 1 cm de diâmetro (serapilheira fina). A serapilheira foi seca em estufa a 50° C por 48 h, no Laboratório de Botânica do Departamento de Biologia e Química da UNIJUÍ, até alcançar peso constante. Com os valores de peso seco estimou-se a biomassa seca ao longo do período de estudo e a deposição média mensal de serapilheira p/ ha (hectare).

Estimativa do estoque de serapilheira acumulada no solo.

A coleta de serapilheira acumulada sobre o solo foi realizada colocando sobre o piso das plantações de grandúva e aroeira-periquita um molde vazado de madeira com 0,09 m² de área (0,3 x 0,3 m). Com o auxílio de uma espátula, foram retiradas, em cada parcela, 10 amostras de serapilheira presentes na área delimitada pelo molde. Como serapilheira considerou-se todo o material vegetal depositado sobre o solo, composto por folhas, casca, frutos e ramos finos com menos de 1 cm de diâmetro (serapilheira fina). A avaliação da biomassa de serapilheira acumulada foi realizada em três momentos: outono (abril/2004), primavera (setembro/2004) e verão (janeiro/2005). Estas amostras foram levadas ao laboratório, para secagem em estufa de circulação forçada a 50°C, até alcançarem peso constante. Após a secagem, foram pesadas, sendo estimada, posteriormente, a biomassa da serapilheira acumulada sobre o solo, em cada um dos tratamentos.

RESULTADOS

MODELO MATEMÁTICO DA MASSA REMANESCENTE DA SERAPILHEIRA.

Modelo para a massa que compõe a serapilheira.

A massa que compõe a serapilheira ($ML(t)$) foi obtida monitorando exemplares de árvores entre o 30º e o 42º mês (idade das árvores). Os resultados estão na Tabela 3, para cada uma das espécies estudadas. Estes dados foram ajustados como funções contínuas $ML(t)$ para um ano e extrapolados para todo o período de crescimento da árvore, de acordo com as seguintes hipóteses:

1ª) A massa final de produção de serapilheira (entrada) de um ano é a massa inicial do ano seguinte (continuidade);

2ª) A cada ano a massa inicial é acrescida de um valor Δ_i proporcional ao crescimento da árvore no período i ;

3ª) A função $ML(t)$ repete sua forma (ajuste com polinômio de 3º grau) a cada período, mas modifica a amplitude em cada ponto, com um valor Δ_i

Estas hipóteses foram adaptadas para esta finalidade, não se tem relatos de que outros estudos foram realizados neste sentido, porém, as espécies mencionadas, são utilizadas em uma área destinada a experimentos, sendo assim, sabe-se que inúmeros experimentos são efetivados neste espaço.

Berg (1996) relaciona a massa de serapilheira produzida com a altura, área basal e o diâmetro da copa. No entanto, nenhuma destas variáveis, ou suas combinações, constituem uma relação absoluta, Para simplificar esta questão neste trabalho, admitiu-se a hipótese de que a massa de serapilheira produzida é proporcional a altura (Y) da árvore. Com os dados de crescimento já existentes para o talhão (Petry *et al.*, 2003), foi escolhida a função de Richards (Finger, 1992) para calcular a altura da árvore em cada tempo.

$$Y = A(1 - e^{-at})^{1/(1-m)} \quad (1)$$

onde Y é a altura da árvore (m)
 A é a altura estimada da árvore (m)
 a e m são parâmetros de ajuste e
 t é o tempo.

Com a informação do crescimento, foi estabelecido uma relação de proporcionalidade entre a altura da árvore e o acréscimo Δ_i , para $i=1,2,3,\dots$ anos, na produção de serapilheira, expressa pela equação (2).

$$\frac{ML_{i+1}}{ML_i} = \frac{Y_{i+1}}{Y_i} \quad \text{ou}$$

$$ML_{i+1} = \frac{Y_{i+1}}{Y_i} ML_i \quad (2)$$

Onde ML é a massa que entra na serapilheira
 Y é a altura da árvore
 os índices i e $i+1$ indicam os meses anteriores e posterior, respectivamente.

Assim, o acréscimo de massa a cada ano, de acordo com a 2ª hipótese é

$$\Delta_i = ML_i \left(\frac{Y_{i+1}}{Y_i} - 1 \right). \quad (3)$$

Os dados experimentais utilizados neste trabalho, referem-se ao 4º ano de vida da árvore, em virtude de que as espécies herbáceas aqui catalogadas e disponíveis no momento, possuíam 4 anos de sua implantação. Por isso foi necessário adaptar a equação (2) para o cálculo da massa que compõem a serapilheira nos três primeiros anos. Essa adaptação foi realizada da seguinte maneira:

1. A massa do 1º ano, foi obtida subtraindo a massa do 1º mês em todas as massas dos meses do 4º ano. Esse procedimento admite que no instante do nascimento da árvore não há produção de serapilheira. Os valores negativos foram considerados de massa zero.

2. A massa do 2º e 3º ano foi determinada aplicando o acréscimo proporcional a altura da árvore, de acordo com a equação (3).

Fator de decomposição (k)

O fator de decomposição k é um número associado à taxa de decomposição da serapilheira. Neste trabalho, sua unidade de medida é $1/dia$ e foi determinado experimentalmente para cada espécie por ajuste de curvas com base na função. Conforme mencionado anteriormente, não se tem relatos de outros estudos neste sentido, salienta-se que os ajustes de curvas com base nesta função foram criados, especificamente para este trabalho.

$$k(t) = (k_o - k_\infty)e^{-bt} + k_\infty \quad (4)$$

onde k_o é o valor de k no primeiro mês de coleta de dados
 k_∞ é o valor de k estacionário (quando t tende a infinito)
 b é um parâmetro de ajuste.

A escolha deste modelo de função deve-se à natureza da curva apresentada pelos dados experimentais no período de 240 dias, os quais apresentam um forte decaimento dos valores de k nos primeiros 90 dias e uma tendência à estabilização em torno de um valor constante (k_∞) para valores finais do intervalo de tempo estudado. O ajuste exponencial com a função do tipo $y = Ae^{-bx}$ mostrou-se inviável por dois motivos: primeiro, a estabilização do valor de k para tempos grandes, exigiu a adição do termo k_∞ para garantir tendência. Sem isso, o valor de k tenderia a 0 o que significaria que a massa de serapilheira não mais se degradaria a partir deste momento, e se acumularia infinitamente. Dessa forma a equação (4) ficou com somente um parâmetro (b) para ser encontrado.

Em segundo lugar, é importante que a função ajustada tenha seu ponto inicial muito próximo do valor de $k(0)$, para garantir a magnitude da taxa de decaimento nos primeiros instantes (isto determinou a forma do $A=k_o-k_\infty$). O cálculo de b foi realizado pelo método dos mínimos quadrados.

Modelo de decomposição e acúmulo de serapilheira

Considerando a apresentação e análise dos modelos de decomposição e acúmulo de massa na serapilheira da revisão bibliográfica segundo Kolm (2001), utilizou-se o modelo de decomposição individual de cada porção de massa X_i , com valores variáveis do fator de decomposição, expresso pela seguinte equação.

$$\frac{dX_i}{dt} = k^{(i)}(t)X_i \quad (5)$$

onde X_i é a massa remanescente de serapilheira (g) $k(t)$ é a função fator de decomposição (1/mês) e i indica o número da massa que entra na serapilheira.

Esta equação não é uma equação de balanço de massa como a equação proposta por Turner e Lambert (2002) e Raison *et al.* (1983) citando o princípio de Olson (1963), mas apenas uma relação da taxa de variação de X_i com a X_i presente. Assim, para $i=0$ tem-se X_o que é a massa que entra na serapilheira em um instante de tempo, considerado sempre zero para o cálculo de X_i . Esta é uma condição inicial da equação diferencial (5).

$$X(0) = X_o \quad (6)$$

A solução de (5) com a condição inicial (6) dá a massa de serapilheira remanescente em cada instante de tempo, de cada entrada i

$$X_i(t) = X_o e^{\frac{k_o - k_\infty}{b} [e^{-bt} - 1] - k_\infty t} \quad (7)$$

Colocando a massa X_o de cada entrada i na diagonal principal de uma matriz $\mathbf{X}_{n \times n}$ onde n é o número total de entradas de massa em um tempo Δt e os valores de X_i calculados com a equação (7) nas respectivas linhas,

obtem-se a matriz de decomposição e acúmulo de serapilheira.

$$X = \begin{bmatrix} X_{o1} & X_1(1\Delta t) & X_1(2\Delta t) & X_1(3\Delta t) & \dots & X_1(n\Delta t) \\ 0 & X_{o2} & X_2(1\Delta t) & X_2(2\Delta t) & \dots & X_2(n\Delta t) \\ 0 & 0 & X_{o3} & X_3(1\Delta t) & \dots & X_3(n\Delta t) \\ 0 & 0 & 0 & X_{o4} & \dots & X_4(n\Delta t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & X_{on} \end{bmatrix} \quad (8)$$

onde X_{oi} são as massas que entram na serapilheira $X_i(p\Delta t)$ é a massa remanescente de serapilheira relativa a entrada i no instante $p\Delta t$, sendo que $i \leq p \leq n$.

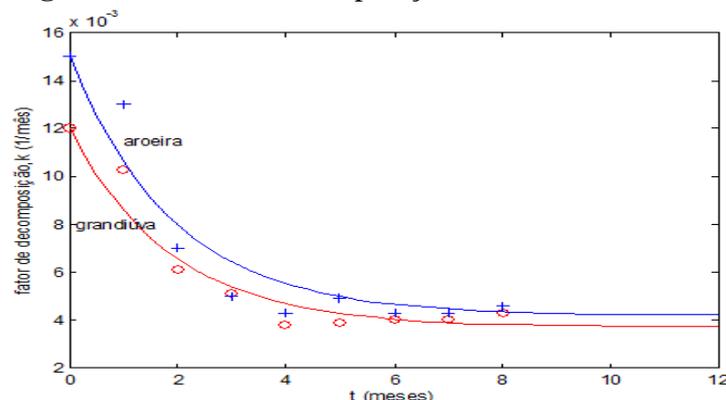
A soma dos elementos de uma coluna j de \mathbf{X} dá a massa acumulada de serapilheira no instante $j\Delta t$, equação (9), e os valores de $X(j\Delta t)$ para $j = 1, 2, 3, \dots, n$, são os valores da função massa remanescente de serapilheira, $X(t)$.

$$X(j\Delta t) = \sum_{i=1}^n X_{ij} \quad (9)$$

ANÁLISE DOS RESULTADOS.

A figura 1 mostra a evolução do fator de decomposição k durante o período experimental (8 meses). Observa-se uma tendência à estabilização dos valores a partir do 4º mês. O ajuste destes dados à equação (4) foi utilizado no modelo para a projeção da serapilheira remanescente.

Figura 1 - Fator de decomposição.

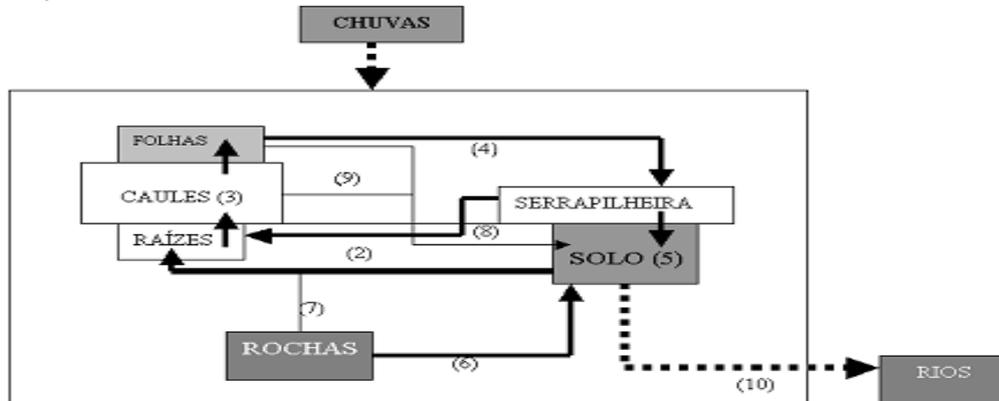


Fonte: Dados da pesquisa.

Período de 8 meses em experimentação, para as folhas de grandíuva e aroeira.

Os círculos (grandíuva) e as cruzes (aroeira) representam os dados experimentais. O mês 1 é abril de 2004.

Figura 2 - Transferência de nutrientes em sistemas naturais.



Fonte: Adaptado de Coelho 2003.

Nota: 1. Entrada de nutrientes através da chuva; importante para os elementos S e N.

2. Absorção de nutrientes pelas plantas a partir do solo.

3. Transferência interna entre os subcompartimentos das plantas.

4. Queda de folhas, ramos, flores e frutos para o solo, formando a serrapilheira.

5. Transferência de nutrientes da serrapilheira para o solo através da decomposição da matéria orgânica morta.

6. Solubilização dos componentes minerais da rocha matriz para o solo através de processos de intemperização.

7. Transferência direta das rochas para as raízes vegetais através da interferência de fungos endomicorrízicos.

8. Transferência direta da serrapilheira para as raízes através da ação de micorrizas; importante em solos tropicais de baixa fertilidade e clima pluvial.

9. Transferência de nutrientes da parte aérea das plantas para o solo através da ação da chuva (lixiviação).

10. Perda de nutrientes dos ecossistemas terrestres para os ecossistemas aquáticos.

A Figura 2 mostra o resultado da aplicação do modelo de Richards para o crescimento das espécies arbóreas estudadas, ajustado aos dados de crescimentos de Petry

et al., 2003 e outros dados posteriores (não publicados; Tabela 1) e altura máxima observada em espécies existentes na região de Ijuí (Tabela 2).

Tabela 1: Dados de altura

Tempo (meses)	Grandíuva	Aroeira
12	210,6	171
23	363,9	276,6
33	609,3	410,8

Fonte: Dados da pesquisa.

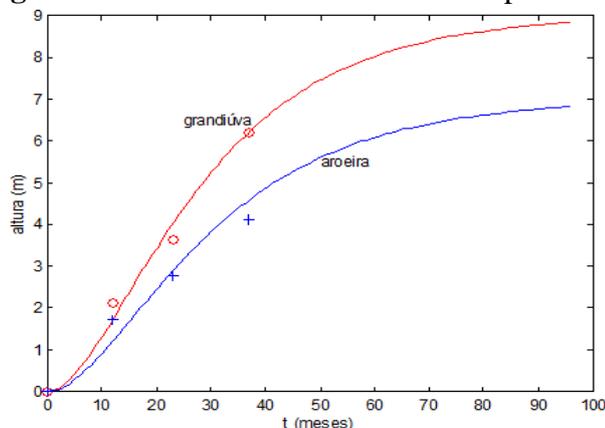
Tabela 2: Dados e parâmetros de crescimento de árvores

	Altura máxima estimada (Y) (m)	Tempo para adquirir altura máxima (anos).	para altura estimada a
Grandíuva	9	8	0,048
Aroeira	7	8	0,044

Fonte: Dados da pesquisa.

Para facilitar a linearização do resultados do modelo e os dados modelo de Richards, foi usado $m=0,5$, experimentais (figura 2). obtendo-se uma boa aproximação entre os

Figura 3 - Curvas de crescimento das espécies.



Fonte: Dados da pesquisa.

Considerando o parâmetro altura, para grandiuva e aroeira-periquita, e ajustada segundo a equação de Richards.

A Figura 4 mostra os dados experimentais coletados para um ano (Tabela 3) e os resultados da aplicação do modelo de crescimento da massa que entra na serapilheira, de acordo com as hipóteses realizadas no Modelo Matemático da massa remanescente da serapilheira.. Foi utilizado

um polinômio de 3º grau para descrever a tendência dos dados experimentais.

$$ML(t) = a_0 + a_1 t + a_1 t^2 + a_1 t^3$$

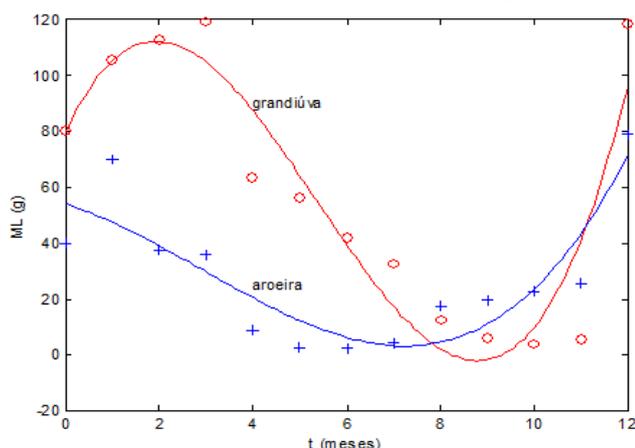
Onde: São os parâmetros de ajuste. A escolha deste tipo de função, deve-se à forma de distribuição dos dados experimentais e a possibilidade de existência de um ponto máximo e outro mínimo, característica dos polinômios de 3º grau que possuem duas raízes distintas na derivada.

Tabela 3: Massa adicionada á serapilheira no período de um ano para as espécies Grandiuva e Aroeira Periquita.

Tempo (meses)	Grandiuva (g/m ²)	Aroeira (g/m ²)
1 (fevereiro)	105,61	69,89
2	112,50	37,56
3	119,18	35,73
4	63,18	8,72
5	56,16	2,56
6	42,00	2,06
7	32,39	4,15
8	12,50	17,48
9	5,71	19,48
10	3,63	22,71
11	5,46	25,52
12	118,31	78,89

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 4 - Massa que compõem a serapilheira.



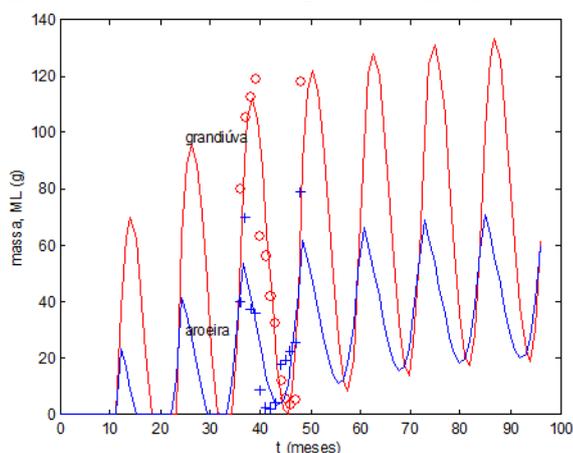
Fonte: Dados da pesquisa.

Este gráfico representa a massa que compõe a serapilheira no período de 1 ano para as espécies estudadas, grandiúva e aroeira-periquita. Os círculos (grandiúva) e as cruces (aroeira) representam os dados experimentais obtidos durante o ano de 2004.

Usando as equações (1) e (3) associadas ao modelo de decomposição e acúmulo de serapilheira (eq.7) foi calculada a

massa remanescente, não acumulativa, para 8 anos de vida das árvores, mostrada na Figura 6. Observa-se que, de acordo com o modelo, não há acúmulo de serapilheira no primeiro ano. Nos anos seguintes observa-se a reprodução da forma das curvas de entrada de massa de serapilheira (ML). Isto significa que a massa de entrada é muito superior à massa decomposta.

Figura 5 - Massa de serapilheira agregada ao solo.

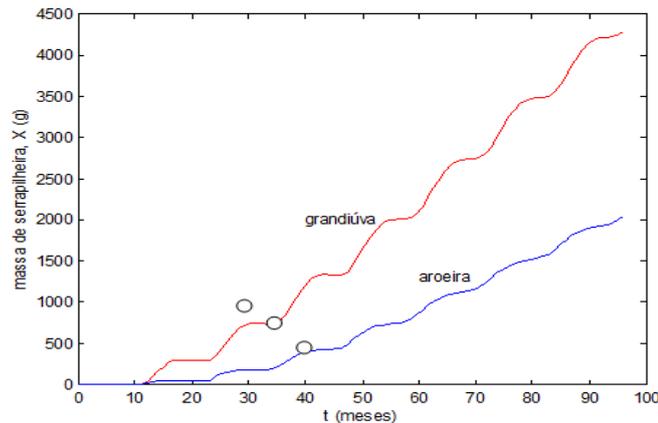


Fonte: Dados da pesquisa.

Constatou-se que em um período de 8 anos, nas espécies estudadas, grandiúva e aroeira-periquita, o volume de massa de serapilheira que se unirá ao solo, terá aproximadamente o volume de $4,3 \text{ kg/m}^2$ de serapilheira, o que considera-se um volume

expressivo. Os círculos (grandiúva) e as cruces (aroeira) representam os dados experimentais obtidos durante o ano de 2004.

A Figura 6 apresenta os resultados da equação (9) para a grandiúva e aroeira-periquita, para o período de 8 anos.

Figura 6 - Massa de serapilheira remanescente.

Fonte: Dados da pesquisa.

Volume de massa de serapilheira que será agregada ao solo, (g/m^2) no período de 8 anos para as duas espécies estudadas.

Os círculos representam os dados experimentais de acumulação de serapilheira no talhão de grandiúva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que toda a massa de serapilheira depositada se decompõe em um tempo finito, dispensando o estabelecimento de um valor assintótico como o proposto por outros autores, tais como Berg *et al.* (1996). Tal fração indecomponível, denominada recalcitrante, se acumularia infinitamente, o que não corresponde à realidade. Com efeito, existem estudos propondo que a matéria orgânica acumulada em ecossistemas terrestres continua se degradando após centenas de anos, embora a taxas muito reduzidas (Coûteaux *et al.*, 2002).

Entretanto, com o ajuste da variação do $k(t)$ a uma função exponencial, faz-se necessário usar um valor assintótico para esta variável. Este valor é obtido a partir de experimentos de decomposição, supondo-se que o valor estacionário de k possa ser encontrado neste prazo curto, que no presente estudo foi de 8 meses

O modelo propõe um acúmulo de cerca de $4,3 \text{ kg}/\text{m}^2$ de serapilheira após 8 anos, o que pode ser considerado um volume bastante expressivo. Vários fatores podem estar interferindo no modelo, e que

necessitam de ajustes ou até mesmo estudos complementares.

A relação entre crescimento, altura e produção de serapilheira pode estar gerando uma superestimativa da produção de serapilheira; neste caso a altura poderia ser substituída pela área basal, no sentido de verificar se há uma correspondência mais precisa.

A relação entre produção de serapilheira e parâmetros de crescimento não é linear, e neste caso deve ser utilizada outro tipo de função para correlacionar a produção de serapilheira com o crescimento, tais como uma função potência ou logarítmica.

A altura após oito anos pode estar superestimada, o que aumentaria a quantidade de serapilheira produzida (X_0) e, conseqüentemente, a quantidade de serapilheira acumulada (X) no modelo.

As taxas de decomposição mudam ao longo do tempo e podem sofrer interferência da própria acumulação de serapilheira e também das condições climáticas vigentes no período, (luminosidade, umidade, nutrientes nas camadas superiores do solo, etc.).

A composição química da serapilheira produzida altera de acordo com a idade das árvores, o que pode interferir nas taxas de decomposição (fator k).

Cabe ainda comentar que os dados experimentais para serapilheira acumulada (figura 5), obtidos entre 30 e 40 meses, apresentaram uma tendência de queda, ao contrário do que o modelo propõe.

Provavelmente isto deu-se em função do período de forte estiagem ocorrido no início de 2005, e o efeito acumulado do déficit hídrico ocorrido no ano anterior, observando-se uma precipitação de apenas 60 %, em relação à média histórica, durante o ano de 2004 (dados da Estação Meteorológica do IRDeR).

MATHEMATICAL MODELING OF SERAPILHEIRA DECOMPOSITION IN A TRANSIENT STATE OF REFLORATION

ABSTRACT: It was verified that all the biological material deposited on the soil, being composed by leaves, barks, fruits and branches, forms the litter. The litter decomposition, thereafter the organic matter and nutrients incorporation into the soil are main process to the forests, agro forestry systems and ecosystem recovery. The aim this study was demonstrated two mathematical models: the first one to describe the k decomposition factor variation as a time function, based on experimental data; the second model to predict the time of the litter accumulation in a transient (even-aged) forest system, using empirical data from grandiúva (*Trema micrantha* (L.) Blume) and aroeira-periquita (*Schinus molle* L.). Three kinds of data were obtained: the incoming litter mass (X_o); the mass variation during the decomposition (X) and the decomposition factor k variation. The Mathematical model of accumulated litter is applied to a transient case with mass incoming, and show connected to three interrelated variable parameters: the tree growth, the mass incoming (X_o , and the litter decomposition. The model considers: 1- litter mass (X_o) is formed by fractions, each one incoming in a time instant; 2. accumulated litter in a instant time is composed by n fractions, each one in a decomposition stage, therefore with a correspondent k ; and 3- factor k is a continuous variable (continuous quality model). The monthly increase in litter production occurred as a function of tree population growth. Comparisons were made between the results of the tests with experimental data, especially to the remaining litter mass. The models were used to simulate the litter accumulation over the lifetime of the trees. The results showed that the decomposition process of the biological material produced by the species studied, as well as any organic matter on the soil, show in a constant process of decomposition therefore with finite time, not in accordance with others studies, declaring that from a certain time of implantation of the forests, this process be infinite.

KEYWORDS: Mathematical models. Decomposition. Burlap. Nutrients. Production.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, J.H.C. **Dinâmica da serapilheira em estágios sucessionais de Floresta Atlântica** (Reserva Biológica de Poço das Antas RJ). 2000. 202p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2000.
- BERG, B.; EKBOHM, G.; JOHANSSON, M.-B.; MCCLAUGHERTY, C.; RUTIGLIANO, F.; DE SANTO, A. V. **Some foliar litter types have a maximum limit for decomposition—a synthesis of data from forest systems.** *Canadian Journal of Botany*, vol. 74, p. 659–672, 1996.
- BURGHOUTS, T. B. A.; CAMPBELL, E. J. F.; KODERMAN, P. J. **Effects of tree species heterogeneity on leaf fall in primary an logged dipterocarp forest in the Ulu Segana Forest Reserve, Sabah, Malasia.** *Journal of Tropical Ecology*, v. 10, p. 1-26, 1994.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações, potencialidades e uso da madeira.** Brasília: EMBRAPA – CNPF, 1994.
- COÛTEAUX, M.-M.; ABDELKADER, A.; KURZ-BESSON, C. **Pinus halepensis litter decomposition in laboratory microcosms as influenced by temperature and a millipede, Glomeris marginata.** *Applied Soil Ecology*, v. 20, n. 2, p85-96, 2002.

DELITTI, W. B. C. **Estudos de ciclagem de nutrientes: Instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres.** Revista Oecologia Brasiliensis, Volume I: Estrutura, Funcionamento e Manejo de Ecossistemas Brasileiros. Pós-graduação em Ecologia, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, p. 469-486, 1995.

DIAS, H. C. T.; OLIVEIRA FILHO, A. T. **Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de Floresta Estacional Semidecídua Montana em Lavras-MG.** Revista Árvore, v. 21, n. 1, p. 11-26, 1997.

GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. I.; DUEVER, M. J. **Ciclagem de Minerais em um Ecossistema de Floresta Tropical Úmida.** São Paulo: São Paulo: EDUSP, 1978.

J. Petry; A. Hüller e G. C. Coelho. **Análise Comparativa do crescimento inicial de *Schinus molle* L. (aroeira periquita) e *Trema micrantha* (L.) Blume (grandiúva).** In: O. A. Lucchese,; G. C. Coelho, (Org.). Biodiversidade e cultura: a gestão ambiental em foco. Editora da UNIJUÍ: Ijuí, 2003, p.127-133.

KOLM, L. **Ciclagem de nutrientes e variações do microclima em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden manejadas através de desbastes progressivos.** Dissertação (mestrado). . Piracicaba, 2001.

LANDSBERG, J. J. & GOWER, S. T. **Applications of physiological ecology to forest management.** Academic Press. CSIRO, Institute of Natural Resources and Environment, Canberra, Australia and University of Wisconsin, Department of Forestry, Madison, Wisconsin, USA. 1997. 355p.

LOPES, M. I. S.; DOMINGOS, M.; STRUFFALDI-DE VUONO, Y.; **Ciclagem de nutrientes minerais.** In: SYSLVESTRE, L. s. & ROSA M. M. T., Manual metodológico para estudos botânicos na mata atlântica. EDUR – UFRRJ, Seropédica, RJ, p.72-102, 2002.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. **Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP.** Revista Brasileira de Botânica, vol. 22, n.3, p.405-412, 1999.

MEDINA, E.,1969. **Respiracion edáfica de algunas comunidades tropicales.** Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales, 28(115/116): In: CESAR, O., 1993. Produção de serrapilheira na mata mesófila semidecídua da Fazenda Barreiro Rico, município de Anhembi, SP. Revta Brasil. Biol. 53:659-669.

MORAES, R. M.; DELITTI, W. B. C.; RINALDI, M. C. S.; REBELO, C. F. **Ciclagem mineral em Mata Atlântica de encosta e mata sobre restinga, Ilha do Cardoso, SP: nutrientes na serapilheira acumulada.** In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 4., 1998, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia: ACIESP, 1998. p. 71-77.

NASCIMENTO, M.T. & PROCTOR, J. **Insect defoliation of a monodominant Amazonian rain forest.** Journal of Tropical Ecology: 10, 1994. 633-636p.

OLSON, J. S. **Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems.** *Ecology*, 44:322-331, 1963.

POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes e manutenção da produtividade da floresta plantada.** In: PENEDO, W.R.(Ed.), *Gaseificação da madeira e carvão vegetal*, belo Horizonte: Fundação tecnológica de MG./CETEC., 1981. 1v. (Série de Publicações Técnica , v. 4)

POGGIANI, F.; STAPE, J.L.; GONÇALVES, J.L.M. **Indicadores de Sustentabilidade das plantações florestais.** *Série Técnica IPEF*, v.12, n.31, p. 33-34, abril. 1998.

PORTES, M. C. G. O.; KOEHLER, A.; GALVÃO, F. **Variação sazonal de deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Densa Altomontana no morro do Anhangava – PR.** *Floresta*, v. 26, n. 1/2, p. 3-10, 1996.

RAISON R. J., WOODS P. V. & KHANNA P. K. **Dynamics of fire fuels in recurrently burnt eucalypt forest.** *Aust. For.* 46, 294–302, 1983.