

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

PROPOSTA DE MODELOS DE SIMULAÇÃO NO ESTUDO DA  
DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Marco Antonio de Almeida Leal

Orientador: Helvécio De-Polli.

Tese submetida como requisito  
parcial para a obtenção do grau  
de Mestre em Agronomia.  
Área de concentração em  
Ciência do Solo.

Itaguaí (Seropédica), Rio de Janeiro

Março de 1996.

631.4  
L4351p  
T

USO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO NO ESTUDO DA DINÂMICA  
DA MATÉRIA ORGÂNICA DOS SOLOS

Marco Antonio de Almeida Leal

Aprovado em 21/03/1996

Helvécio De-Polli.



Gabriel de Araujo Santos.



Antonio Carlos de Souza Abboud.





## Biografia do Autor

Marco Antonio de Almeida Leal nasceu em Valença-RJ em 20 de abril de 1966, filho de Inês Marlene de Almeida Leal e Edenyr Gomes Leal. Concluiu o primeiro e segundo graus no Instituto de Educação Deputado Luiz Pinto, em Valença-RJ.

Em 1984 ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), onde em 1987 obteve bolsa de Iniciação Científica pelo CNPq, desenvolvendo trabalhos na área de olericultura.

Diplomado Engenheiro Agrônomo em 1988, obteve bolsa de Aperfeiçoamento pelo CNPq, desenvolvendo trabalhos no Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (CNPAB) da EMBRAPA. Ingressou no curso de Mestrado em Ciência do Solo, no Departamento de Solos da UFRRJ em 1991, através do CNPAB. Em janeiro de 1994 foi contratado como pesquisador, através de concurso público, pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO-RIO), onde exerce suas atividades atuais.

## Sumário

1- Introdução. ....	1
2- Revisão de literatura .....	4
2.1- Definição de modelos .....	4
2.2- Importância .....	4
2.3- Classificação .....	6
2.4- Metodologia de montagem .....	8
2.4.1- Definição da viabilidade .....	8
2.4.2- Obtenção de dados .....	8
2.4.3- Montagem .....	9
2.4.4- Validação .....	9
2.4.5- Análise de sensibilidade .....	10
2.4.6- Parametrização .....	10
2.5- Exemplos de utilização de modelos .....	11
2.5.1- Uso de modelos na agricultura .....	11
2.5.2- Culturas .....	12
2.5.3- Crescimento vegetal .....	12
2.5.4- Dinâmica do carbono .....	12
2.5.5- Dinâmica do nitrogênio .....	13
2.5.6- Mineralização do nitrogênio .....	13
2.5.7- Dinâmica de fósforo e enxofre .....	14
2.5.8- Decomposição da M.O. ....	14
2.5.9- Biomassa microbiana .....	15

2.5.10- Raiz .....	15
2.5.11- Perdas no sistema .....	16
2.5.12- Outros .....	16
2.6- Modelos de simulação de M.O. do solo .....	17
 3- Material e Métodos .....	 19
3.1- Como funciona o modelo .....	19
3.2- Descrição do modelo .....	21
3.2.1- Ciclo do carbono .....	21
3.2.2- Ciclo do nitrogênio .....	29
3.2.3- Ciclo do fósforo .....	30
3.2.4- Ciclo do enxofre .....	33
3.2.5- Ciclo da planta .....	35
3.2.6- Efeito de perda de nutrientes .....	37
3.2.7- Efeito de ganho de nutrientes .....	38
3.2.8- Efeito do preparo do solo .....	39
3.2.9- Efeito da profundidade .....	40
3.2.10- Efeito do fracionamento do nutriente disponível, entre absorção pela planta, imobilização na M.O. e, perdas .....	40
3.3- As simulações .....	41
3.3.1- Valores iniciais inalterados .....	41
3.3.2- Análise de sensibilidade .....	46
3.3.3- Simulações didáticas .....	48
 4- Resultados e Discussão .....	 49
4.1- Dimensionamento inicial das variáveis locais .....	49
4.1.1- "Pools" 1, 2, 3 e 4 .....	49
4.1.2- Fracionamento da M.O. do solo entre os "pools" ativo, lento e passivo ..	50
4.1.3- Erosão de M.O .....	52
4.1.4- N e S minerais e P lábil .....	53

4.1.5- Entrada de N atmosférico + fixação biológica e S atmosférico .....	54
4.1.6- Perda de N e S por erosão + lixiviação, P por erosão e N por volatilização .....	55
4.1.7- Frações P e S primários e secundários .....	56
4.1.8- Fracionamento do C assimilado entre parte aérea e raiz .....	57
4.2- Resultado das simulações .....	58
4.2.1- Valores iniciais inalterados .....	58
4.2.2- Análise de sensibilidade .....	64
4.2.3- Simulações didáticas .....	65
4.3- Efeitos existentes no modelo .....	67
4.3.1- Produção vegetal, senescência vegetal e colheita .....	67
4.3.2- Relação parte aérea / raiz e o efeito da retirada de parte aérea nas raízes. .	68
4.3.3- Perda de nutrientes .....	68
4.3.4- Ganho de nutrientes .....	69
4.3.5- Preparo do solo .....	69
4.3.6- Fracionamento dos nutrientes disponíveis entre os drenos .....	70
4.4- Efeitos que poderiam ser incluídos .....	71
4.4.1- Fauna do solo .....	71
4.4.2- Produção de frutos e grãos .....	72
5- Conclusões .....	74
6- Referências Bibliográficas .....	75
7- Apêndice .....	95
7.1- Anexo 1: Lista de variáveis locais .....	95
7.2- Anexo 2: Lista de variáveis de saída .....	97
7.3- Anexo 3: Lista de variáveis padrões .....	101
7.4- Anexo 4: Guia de uso do programa .....	106

## Glossário de Figuras

	Página
Figura 1	Ciclo do Carbono. 23
Figura 2	Efeito da relação precipitação / evapotranspiração sobre a taxa de decomposição da M.O. do solo. 25
Figura 3	Efeito da temperatura sobre a taxa de decomposição da M.O. do solo. 26
Figura 4	Ciclo do nitrogênio. 29
Figura 5	Variação das relações C/N dos materiais incorporados aos “pools” 5, 6 e 7, como função dos níveis de N mineral. 30
Figura 6	Ciclo do fósforo. 31
Figura 7	Variação das relações C/P dos materiais incorporados aos “pools” 5, 6 e 7, como função dos níveis de P lábil. 32
Figura 8	Ciclo do enxofre. 33
Figura 9	Variação das relações C/S dos materiais incorporados aos “pools” 5, 6 e 7, como função dos níveis de S mineral. 34



Figura 10	Resposta das variáveis Carbono total (CT), “Pool” 5, “Pool” 6 e “Pool” 7 nas simulações com os valores iniciais inalterados.	59
Figura 11	Resposta das variáveis “Pool” 1, “Pool” 2 e “Pool” 3 e “Pool” 4 nas simulações com os valores iniciais inalterados.	60
Figura 12	Resposta das variáveis Massa de parte aérea (MPA) e Massa de raízes (MR) nas simulações com os valores iniciais inalterados.	60
Figura 13	Resposta das variáveis Nmin, Plab e Smin nas simulações com os valores iniciais inalterados.	61
Figura 14	Resposta das variáveis Efeito da temperatura (ET), Efeito da precipitação (EP) e Efeito do clima (EC) nas simulações com os valores iniciais inalterados.	62
Figura 15	Resposta das variáveis Razão de mineralização (RM) e Razão de produção vegetal (RPV) nas simulações com os valores iniciais inalterados.	63
Figura 16	Resposta da variável Carbono total (CT) nas simulações variando-se os valores de Carbono alocado na parte aérea (CAPA).	64
Figura 17	Resposta da variável Massa de parte aérea (MPA) nas simulações variando-se os valores de Fator de senescência (FS).	65
Figura 18	Resposta da variável Carbono total (CT) ao aumento da Fração argila (FA) do solo.	66
Figura 19	Resposta da variável Carbono total (CT) a adição de M.O.	67

## Resumo

Modelos de simulação são algoritmos que reproduzem, através de funções matemáticas, as respostas de um sistema a uma determinada combinação de fatores que influenciam neste sistema. Estes modelos são atualmente uma importante ferramenta de administração e de pesquisa em diversas áreas do conhecimento humano. A agricultura é uma das áreas em que tem se ampliado muito o uso de modelos de simulação.

Apesar de sua importância, até o presente momento, é bem reduzido o número de pessoas que conhecem este assunto em nosso meio acadêmico (UFRRJ). Visando preencher esta lacuna, escolhemos como tema desta tese de mestrado o desenvolvimento de um modelo de simulação de dinâmica de matéria orgânica do solo, com fins principalmente didáticos. Além do modelo e do software que “roda” este modelo, as revisões, descrições e discussões são apresentadas de uma forma bastante didática, permitindo a qualquer interessado compreender o que é, como montar e os principais questionamentos encontrados na construção de um modelo de simulação.

O modelo por nós criado, foi baseado no modelo Century e simula a dinâmica de ciclagem de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, enxofre e produção vegetal. Simula também a consequência de diversos efeitos como: clima, preparo do solo, entradas e saídas de nutrientes e etc.

Para testar o modelo, foram observadas as suas respostas em simulações de 120 meses em um sistema hipotético de pastagens com capim colonião, nas condições de solo e clima de Seropédica-RJ. Foram feitas simulações com os valores iniciais inalterados, visando observar a resposta do modelo como um todo. E foram feitas simulações modificando-se o valor de apenas uma variável de entrada em estudo e fixando-se todas as outras, visando observar a resposta de cada variável em particular.

O resultado mostrou que o modelo apresenta respostas coerentes, sendo apto para o objetivo didático. Entretanto existem algumas alterações e ampliações que poderiam ser feitas para melhorar seu desempenho.



## Abstract

A combination of factors that interfere on the behaviour of a given system, may be represented by mathematical algorithm in a called "simulation model". This is an important tool in different fields of scientific research. In agriculture sciences, the use of simulation models are becoming more and more widespread.

Despite of its importance, this tool has not been largely used at UFRRJ. In an attempt to fill this gap, we chose this topic for this master thesis. A simulation model is proposed for soil organic matter dynamics to be used mainly for pedagogic purposes. Besides the model and the software that runs it, the literature review, descriptions and discussions are presented in an easy-to-understand manner, allowing users of any level to follow it and being able to grasp the main steps of building a model.

The model we developed was based on the Century model and it is a dynamic cycling simulation of soil organic matter, nitrogen, phosphorus, sulphur and vegetable production. Also, it simulates the response of a particular system to changes in climatic conditions, soil management input-output of nutrients.

To test the model we simulated responses over 120 months in a hypothetical *Panicum maximum* grassland system occurring under soil and environmental conditions of Seropédica area, Rio de Janeiro State. Simulations were performed with original data available without transformations. To observe the influence of a given parameter in the whole system, manipulations were done with the data, to observe the changing pattern. Results show a good performance of the model, being adequate mainly for pedagogic purposes. Nevertheless, some modifications and upgrading can be proposed to improve its performance.

# 1- Introdução

A busca do conhecimento sobre um fenômeno natural ou artificial, pode ser feita de duas maneiras:

1- Através do reducionismo, que é a decomposição do fenômeno em constituintes, pressupondo-os independentes, analisá-los isoladamente buscando conhecer seus comportamentos e explicar o comportamento do todo como sendo um somatório do comportamento das partes. Este enfoque permitiu o estabelecimento e o avanço da metodologia científica, principalmente nas ciências físicas. Entretanto, ele não contempla o efeito das interações nos componentes dos fenômenos.

2- Através do holismo, que é o conhecimento das partes como componentes de um conjunto, de forma a se conhecer os fenômenos como um todo ou como um sistema. Deste modo o interesse pelas partes é focado no seu funcionamento em relação ao todo, levando-se em conta que um sistema não é um somatório de partes e sim um conjunto indivisível.

O grande desenvolvimento dos computadores nos últimos anos possibilitou que a informação seja acessada e processada em uma velocidade milhares de vezes superior à que era possível anteriormente. Com isto, abriu-se novas perspectivas de desenvolvimento em diversas áreas do trabalho humano.

Na pesquisa científica, além de outros benefícios, a informática possibilitou que o conhecimento deixasse de ser tratado de uma maneira quase exclusivamente pontual e reducionista para ser tratado de uma maneira mais integrada e holística.

Uma das maneiras de se fazer esta integração do conhecimento, é através dos modelos de simulação, que são algoritmos que reproduzem, através de funções matemáticas, as respostas de um sistema a uma determinada combinação de fatores que influenciam neste sistema. Assim, através de um programa de computador, integra-se as partes de um

determinado sistema, de maneira que seja possível observar a ação de cada parte e a interação entre as partes, nas respostas finais deste sistema.

Por possibilitar o estudo dos sistemas naturais de uma maneira integrada, o modelo de simulação ao ser construído, possibilita a detecção de falhas e lacunas nos conhecimentos relativos a este sistema. Com isto, são facilmente identificadas linhas de pesquisa que são necessárias para a correção destas falhas e para o preenchimento destas lacunas.

A precisão com que estas respostas são reproduzidas depende da habilidade com que o modelo foi construído e principalmente do grau de detalhamento do modelo. Ou seja, o quanto um modelo leva em conta o maior número de fatores que influenciam neste sistema, quantificando sua influência e suas interações. Por exemplo: um modelo de lixiviação de N pode ser construído levando-se em conta apenas o conteúdo de N do solo e a precipitação pluviométrica do local. Entretanto, sua precisão aumentaria muito se outros fatores fossem considerados, como: fracionamento do N, conteúdo de matéria orgânica, evapotranspiração, textura do solo e etc. Porém deve-se ter em mente que quanto mais fatores, mais difícil é a construção do modelo e, mais importante, mais difícil será “rodar” este modelo por este requerer dados difíceis de serem obtidos.

Além disto, o uso de um modelo de simulação bem construído pode auxiliar no planejamento de experimentos de campo ou laboratório, possibilitando uma antecipação dos resultados e permitindo ensaios com combinações de fatores difíceis de se obter na prática.

Quando comprovado a sua eficiência em reproduzir o sistema, os modelos de simulação são também uma importante ferramenta de administração, auxiliando na tomada de decisões, já que possibilita antecipar resultados futuros.

Diversos modelos de simulação têm sido construídos para os mais variados fins, e é crescente no mundo todo o número de equipes trabalhando no desenvolvimento destes modelos. No Brasil, esta ferramenta também já está sendo divulgada e desenvolvida. Entretanto, em nosso meio acadêmico (UFRRJ), até o presente momento, é bem reduzido o número de pessoas que conhecem este assunto.

Assim, visando preencher esta lacuna, optamos por desenvolver este trabalho com o objetivo de compreender o que é, como montar e quais os principais questionamentos



encontrados na construção de um modelo de simulação. Este trabalho, de uma forma bastante didática, apresenta:

- \* Uma revisão sobre modelos de simulação.
- \* Um levantamento bibliográfico sobre o uso de modelos de simulação na agricultura.
- \* A descrição detalhada de um modelo criado para esta tese, que simula dinâmica da matéria orgânica (M.O.) do solo, ciclos de N, P e S, e o desenvolvimento vegetal.
- \* Discussão sobre como foi montado o modelo, a obtenção dos dados necessários e, os resultados apresentados.

Além disto, para “rodar” o modelo, foi criado um programa de computador de fácil utilização, cuja cópia encontra-se em anexo, permitindo a qualquer interessado, um contato prático com esta importante ferramenta.

## 2-Revisão de Literatura

### 2.1- DEFINIÇÃO DE MODELOS

Segundo Addiscott (1993), modelo é uma representação da realidade, embora seja uma representação simplificada. Para este autor, modelos são úteis não porque reproduzem a realidade, mas porque simplificam a realidade, possibilitando que os aspectos mais importantes sejam identificados, estudados e reproduzidos, e se isto for bem feito, possibilita que sejam feitas previsões que auxiliam em tomadas de decisões.

Odum (1988) define modelos como uma formulação que imita um fenômeno real e pelo qual se pode fazer previsões. Segundo o mesmo autor, na sua forma mais simples, os modelos podem ser verbais ou gráficos (informais). No final porém, os modelos têm que ser estatísticos e matemáticos (formais) para permitir previsões quantitativas com um certo grau de confiabilidade.

Embora não exista uma diferença clara entre modelos matemáticos e modelos de simulação, a princípio, modelos matemáticos são representações matemáticas de um fenômeno, e modelos de simulação são algoritmos que englobam um ou mais modelos matemáticos e que representam fenômenos mais complexos. Devido à sua maior complexidade, os modelos de simulação geralmente tem seus algoritmos transformados em programas de computador, visando aumentar a velocidade de cálculo.

### 2.2- IMPORTÂNCIA

Os modelos de simulação são atualmente um importante ferramenta de pesquisa e de administração para diversas áreas da ciência.

Segundo Addiscott (1993), apesar de a poucos anos atrás os modelos de simulação serem vistos como uma coisa “esotérica”, atualmente podem ser encontrados contribuindo nas tomadas de decisões sobre meio ambiente e assuntos correlatos em esferas governamentais. Para este autor, esta mudança reflete o enorme avanço no poder e na facilidade de acesso aos computadores.

Whisler *et al.* (1986), ressaltou o potencial que os modelos de simulação tem no desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

Segundo Woerner (1993), um modelo de simulação bem construído e validado é uma importante ferramenta de pesquisa. Quando os dados necessários para iniciar estes modelos estão disponíveis, é possível avaliar as relações causa-efeito ou distúrbios ambientais relacionados ao uso da terra. Para este autor, os modelos que estão de acordo com os interesses de pesquisa, estabelecem critérios para a caracterização inicial de sítios, possibilitam uma seleção mais efetiva de tratamentos experimentais e aumentam a identificação e a transferibilidade de estratégias de uso da terra mais eficientes. Entretanto, os modelos podem melhorar, mas não substituir atividades de campo ou laboratório, e o perigo em seu uso está quando o desenvolvimento do modelo vira uma obsessão dos cientistas, tornando-se a finalidade dele próprio.

Segundo Greenland *et al.* (1992), não se pode fazer afirmações genéricas sobre as características da M.O. em solos tropicais, devido à diversidade de solos e de fatores afetando a sua dinâmica. Utilizando os modelos de simulação, estamos habilitados a levar em conta um maior número de fatores que influenciam nesta dinâmica.

Para Frissel & Van Veen (1982), a única maneira de integrar o conhecimento sobre todos os fenômenos envolvendo o ciclo do N, com suficiente detalhe, é através do desenvolvimento dos modelos de simulação.

Wullschleger *et al.* (1994), afirmou que os modelos de simulação são uma importante ferramenta para a compreensão da função da planta e da previsão das resposta das plantas quando ocorrem mudanças de condições edáficas e climáticas. Podem também ser eficientes para identificar falhas em nosso conhecimento dos processos do ecossistema.

O desenvolvimento de modelos biologicamente realísticos, de crescimento de florestas e de respostas a inputs ambientais, é importante por inúmeras razões: conhecimento



científico, eficiência no reflorestamento, e prever consequências de poluição atmosférica e mudanças no clima (Thornley, 1991).

Segundo Whisler *et al.* (1986), provavelmente existam tantas respostas para a questão “Porque construir um modelo de simulação?” quanto existem modeladores. Para este autor, são três as razões de se construir modelos de simulação para a agricultura:

- \* Como uma ferramenta de pesquisa agronômica.
- \* Como uma ferramenta na administração de culturas.
- \* Para auxiliar na interpretação de resultados experimentais.

### 2.3- CLASSIFICAÇÃO

Existem diversas maneiras de se classificar os modelos de simulação, sendo que praticamente cada autor tem a sua própria.

Uma destas classificações, é apresentada por Frissel & Van Veen (1982), segundo os quais, os modelos de simulação podem ser separados segundo os seguintes critérios:

#### 1- Objetivo do modelo:

\* **Predição:** São modelos baseados no tratamento estatístico de resultados anteriores. São específicos para certa atividade e tem característica de baixa interação.

\* **Administração:** São parecidos com os modelos de predição, sendo mais interativos e abrangendo mais atividades, além de trabalharem com casualidades.

\* **Científicos:** São modelos montados para organizar o conhecimento existente sobre um sistema, visando um melhor entendimento deste. Geralmente requerem uma enorme quantidade de dados de entrada, sendo por isto, de pouca utilidade prática.

#### 2- Duração do ciclo:

Varia de algumas horas, como em modelos de temperatura do solo, até a algumas centenas de anos, como em modelos de dinâmica de M.O. Ao se projetar a duração do ciclo de um modelo, além dos objetivos deste, deve-se levar em conta os recursos computacionais disponíveis e os dados de entrada disponíveis.

#### 3- Conceito:

\* **Empíricos ou correlativos:** São modelos que descrevem as relações entre as variáveis sem se preocupar em entender as estruturas físicas ou biológicas que existem entre estas variáveis. São construídos baseando-se em resultados obtidos anteriormente, sem se preocupar em explicar estes resultados.

\* **Mecanistas ou explanatórios:** Nestes modelos, todas as variáveis que podem influir no sistema e suas interações, são estudadas em detalhe. Baseado neste conhecimento, é que se constroem as relações matemáticas que descrevem o sistema.

Embora a distinção entre modelos empíricos e mecanistas seja útil, os modelos de simulação geralmente contêm uma mistura de empirismo e mecanismo.

Outra classificação é apresentada por Addiscott (1993), que identificou duas classes de modelos de simulação:

\* **Determinísticos:** São aqueles que presumem que um certo conjunto de eventos levam a um resultado único e definido.

\* **Estocásticos:** São aqueles que pressupõem que os resultados são incertos e, estão estruturados para trabalhar com esta incerteza.

Cada uma destas classes pode ser dividida em:

\* **Mecanistas:** São modelos que procuram descrever o mecanismo do processo em seus fundamentos.

\* **Funcionais:** São modelos que procuram uma descrição geral do processo, sem entrar em muitos detalhes.

Além desta classificação, este mesmo autor acrescenta que os modelos de lixiviação podem ser classificados quanto ao seu propósito (pesquisa ou administração), quanto à sua complexidade, quanto à sua flexibilidade (o grau em que o uso do modelo é restrito às condições para o qual ele foi projetado), e quanto à sua transferibilidade (o grau em que este modelo se adapta ao uso por pessoas e computadores diversos daqueles para o qual o modelo foi criado).



## 2.4- METODOLOGIA DE MONTAGEM

Para Woormer (1993), os programas de pesquisa que buscam iniciar o uso de modelos em suas atividades, possuem duas opções: desenvolver um novo modelo, ou modificar um modelo já existente. Como atualmente existem modelos para os mais variados objetivos, seria um consumo de tempo e recurso querer criar novos modelos sem explorar os recursos dos modelos já existentes.

Apesar de não haver uma metodologia definida para a construção de modelos de simulação, existem algumas fases que devem ser obedecidas por quem deseja construir um modelo novo ou modificar um modelo já existente:

### 2.4.1- DEFINIÇÃO DA VIABILIDADE

Antes de se começar a construção de um modelo de simulação, deve-se ter bem claro quais são os objetivos deste modelo. Isto é necessário principalmente para se determinar a viabilidade da construção deste modelo, já que é difícil conciliar precisão com simplicidade. Ou seja, pode-se construir um modelo de simulação com a precisão desejada, mas para isto pode ser necessário um volume tão grande de dados de entrada que inviabiliza sua aplicação prática. Além disto, o conhecimento existente sobre o sistema que este modelo vai simular, pode não ser suficiente para se atingir tais objetivos.

Em termos gerais, a viabilidade de se construir um modelo de simulação depende de se conseguir conciliar seus objetivos com os recursos materiais e tecnológicos disponíveis.

### 2.4.2- OBTENÇÃO DE DADOS

Grande parte, ou algumas vezes, a totalidade do conhecimento necessário para a construção de um modelo de simulação simples, pode ser obtido através da literatura existente. Entretanto na montagem de modelos mais detalhados, parte deste conhecimento não existe ou deve ser adaptado a uma determinada condição. Por exemplo, existem na literatura diversas referências sobre taxas de decomposição de matéria orgânica (M.O.), mas

para se construir um modelo com razoável precisão sobre este assunto, é necessário obter esta taxa para a condição de clima e solo na qual o modelo vai atuar.

Assim, a fonte que deve ser usada para a obtenção de dados, vai depender principalmente da precisão desejada. Esta fonte pode ser a literatura existente, ensaios de laboratório ou ensaios de campo.

#### 2.4.3- MONTAGEM

Para se construir um modelo de simulação, primeiro é necessário dividir o sistema em partes. Segundo Whisler *et al.* (1986), na construção de um modelo sobre culturas, é necessário dividir o sistema da cultura em várias partes, possibilitando modelar separadamente cada processo envolvido. Esta afirmação também é válida para os outros modelos.

Após cada parte do sistema ter sido trabalhada separadamente, faz-se a integração destas partes, de modo que o modelo funcione como um todo.

Para ajustar as interações entre cada segmento do modelo, é feita a calibração deste modelo. Whisler *et al.* (1986), afirmou que frequentemente ocorre que um modelo quando inicialmente desenvolvido, falhe na simulação para qual este foi construído. Para fazer este modelo trabalhar corretamente, alguns parâmetros de suas equações e algumas de suas interações devem ser reajustadas. Este processo é chamado calibração.

Quando a calibração se torna difícil, isto nos alerta que o modelo não é viável ou então que há algum mecanismo que deve ser adicionado ou modificado.

#### 2.4.4- VALIDAÇÃO

Lemon (1977) citado por Whisler *et al.* (1986) definiu validação como sendo a comparação entre os resultados obtidos de um modelo, e os resultados do mundo real. E se estes resultados estão de acordo com os objetivos pré-estabelecidos.

Para que a validação de um modelo seja correta, seus resultados devem ser comparados com dados experimentais diversos daqueles usados na construção e calibração

deste modelo. Segundo Addiscott (1993), os dados utilizados para a validação devem ser escolhidos com muito critério, para não ocorrer de dados pouco confiáveis levarem à aceitação de modelos ruins ou à rejeição de modelos bem construídos.

Frissel & Van Veen (1982) enfatizaram que para a sua validação, o tipo do modelo é importante. Para modelos baseados em estatísticas, a validação é supérflua. Mas para modelos baseados em parâmetros determinados independentemente, a validação é fundamental.

Para um modelo de simulação ser considerado válido, este deve reproduzir não só a resposta final de um sistema, mas deve também reproduzir todo o comportamento deste sistema ao longo do tempo.

Não existem critérios quantitativos de validação que sejam universalmente adotados. Addiscott (1993) sugeriu alguns critérios matemáticos baseados no ajuste gráfico entre a curva de resultados do modelo e a curva de resultados reais.

#### 2.4.5- ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

É feita para se quantificar a sensibilidade do modelo a um determinado parâmetro ou variável. Isto é, determinar o quanto que uma variação no valor de um parâmetro ou variável influenciam na resposta final deste modelo. Geralmente é feita variando-se apenas o parâmetro ou a variável em estudo, fixando-se todas as outras e quantificando a resposta do modelo a esta variação.

Segundo Addiscott (1993), é necessário saber o que cada parâmetro faz e esta é a razão porque publicações sobre modelos frequentemente incluem análises de sensibilidade. Este autor descreve algumas maneiras de se fazer esta análise, utilizando tabelas e diagramas.

#### 2.4.6- PARAMETRIZAÇÃO

É a obtenção dos dados necessários para “rodar” o modelo, ou seja, colocar o modelo para funcionar. Estes dados podem ser obtidos das mesmas formas que os dados necessários



à montagem do modelo, mas ao contrário desta, que é feita apenas uma vez, a obtenção dos dados para a parametrização é feita para cada simulação a ser realizada.

## 2.5- EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO

Foi feito um amplo levantamento bibliográfico com o objetivo de apresentar alguns usos de modelos na agricultura e, principalmente na área de ciências do solo.

Para facilitar uma eventual busca, os trabalhos pesquisados estão catalogados em áreas de afinidade. Entretanto, muitos trabalhos se relacionam com mais de uma área, sendo que para uma busca mais precisa, é necessário consultar todos os trabalhos listados abaixo.

### 2.5.1- USO DE MODELOS NA AGRICULTURA

Assunto do Modelo	Observação	Autor
Aptidão de uso da terra	Modelo baseado em redes	Câmara <i>et al.</i> (1986)
Aptidão de uso da terra	Modelo matemático simples	Tercafs (1986)
Manejo de culturas e produção vegetal	Descreve a situação atual de seu uso na Alemanha	Hagemann (1989)
Agricultura em geral	Descreve o seu desenvolvimento nos E.U.A	Benson <i>et al.</i> (1992)
M.O. em geral	Utiliza modelos na discussão de mitos da M.O..	Greenland <i>et al.</i> (1992)
Ciclo dos nutrientes	Discute o papel dos modelos neste estudo	Hendrix <i>et al.</i> (1992)
Predição de erosão	Modelos didáticos	Ross <i>et al.</i> (1992)
Sistemas de agricultura sustentável	Discute a importância e o potencial dos modelos	Whitmore (1993)
Pesquisa agroecológica	Discute o desempenho de modelos	Woomer (1993)
Sistema agrícola e de preços	Descrição de modelo	Veloso <i>et al.</i> (1994)

## 2.5.2- CULTURAS

Assunto do Modelo	Observação	Autor
Cultura do milho	Manejo de resíduos, preparo do solo e dinâmica de N	Clay <i>et al.</i> (1985)
Cultura da soja	Revisão sobre modelos	Sinclair (1986)
Culturas em geral	Revisão ampla	Whisler <i>et al.</i> (1986)
<i>Cynodon dactylon</i> e <i>Paspalum notatum</i>	Estima a produção de matéria seca	Overman <i>et al.</i> (1990)
Cultura do feijoeiro	Descrição do modelo	Hoogenboon <i>et al.</i> (1994)

## 2.5.3- CRESCIMENTO VEGETAL

Assunto do Modelo	Observação	Autor
Resposta de culturas a uma adubação nitrogenada	Apresentação de modelos matemáticos.	Greenwood (1982)
Relação entre disponibilidade de N e produção vegetal	Modelos matemáticos	Nadelhoffer (1985)
Taxa de crescimento vegetal	Estuda o efeito da concentração de N	Greenwood <i>et al.</i> (1986)
Limitação múltipla de nutrientes no crescimento vegetal	Compara oito diferentes modelos	O'Neill <i>et al.</i> (1989)
Produção de pastagens limitada por água e N	Apresentação de modelo	Seligman & Van Keulen (1989)
Resposta de culturas a uma adubação nitrogenada	Descrição de modelo	Wolf <i>et al.</i> (1989)
Suprimento de N, P e K na produção de pastagens	Compara com resultados de campo	Overman <i>et al.</i> (1991)

## 2.5.4- DINÂMICA DO CARBONO

Assunto do Modelo	Observação	Autor
Dinâmica de C em pastagens	Apresentação de modelo	Van Veen <i>et al.</i> (1981)
Dinâmica de C, N orgânico, amônio e nitrato	Descrição de modelo	Molina <i>et al.</i> (1983)
Movimento de C e N no solo	Descrição de modelo	Van Veen <i>et al.</i> (1985)
Dinâmica de C e N em substratos com lignina	Modelo matemático	Berendse <i>et al.</i> (1987)
Influência do preparo do solo e adubação na M.O.	Utilização de modelo	Rasmussen & Collins (1991)
Transformações de C e N no solo	Descrição detalhada do modelo	Grant <i>et al.</i> (1993)
Formas de C no solo após a adição de resíduos orgânicos	Utilização de modelo	Sallih & Pansu (1993)



## 2.5.5- DINÂMICA DO NITROGÊNIO

Assunto do Modelo	Observação	Autor
N em solos irrigados	Apresentação de modelo	Tanji & Gupta (1979)
Reações do N no solo	Discussão sobre modelos	Bosatta <i>et al.</i> (1981)
Dinâmica do N no solo	Revisão sobre modelos	Frissel & Van Veen (1982)
Fixação biológica de N	Descrição de modelo	Jones (1985)
Mineralização, imobilização e nitrificação de N <sup>15</sup>	Descrição de modelo	Barraclough & Smith (1987)
Mineralização de N induzida pela raiz	Revisão sobre modelos matemáticos	Robinson <i>et al.</i> (1989)
Fluxos de N em pastagens	Descrição de modelo	Thornley & Verberne (1989)
Diversos efeitos que influenciam o N em solos adubados	Apresentação de modelo	Borg <i>et al.</i> (1990)
Aspectos da dinâmica de N e M.O. no solo	Descreve vários modelos matemáticos	Bosatta & Agren (1991a)
Movimento de N em solos cultivados	Compara 14 modelos	Willigen (1991)
Estimação de fatores que afetam a imobilização de N	Utilização do modelo NCSOIL	Hadas <i>et al.</i> (1992)
Predição de adubação com N a longo prazo	Utilização de modelo	Osmond <i>et al.</i> (1992)

## 2.5.6- MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO

Assunto do Modelo	Observação	Autor
Mineralização potencial de N	Apresentação de modelo matemático	Stanford & Smith (1972)
Previsão de mineralização	Apresentação e comparação de modelo	Broadbent (1986)
N potencialmente mineralizável	Comparação entre dois modelos	Deans <i>et al.</i> (1986)
Mineralização de N e S	Comparação entre diversos modelos matemáticos	Ellert & Bettany (1988)
Mineralização de N relacionada com relações C/N e % de lignina	Estudo de modelos matemáticos	Virgil & Kissel (1991)
Mineralização de N relacionada com secagem e reumidamento do solo	Teste de modelos matemáticos	Cabrera (1993)

## 2.5.7- DINÂMICA DE FÓSFORO E ENXOFRE

Assunto do Modelo	Observação	Autor
Dinâmica de P no solo e na planta	Descrição de modelo	Jones <i>et al.</i> (1984)
Recuperação de P em longo prazo	Descrição de modelo	Wolf <i>et al.</i> (1987)
Absorção de P em diferentes volumes de solo	Apresentação de modelo matemático	Kovar & Barber (1989)
Adubação com P na cultura da soja	Teste de modelo matemático	Lins <i>et al.</i> (1989)
Influência da inclinação do solo na dinâmica de P e S	Apresentação de modelo	Saggar <i>et al.</i> (1990)
S orgânico do solo e adubação com S	Apresentação de modelo matemático	Castellano & Dick (1991)
Cinética de absorção de P	Modelos para reações de equilíbrio	Shnek <i>et al.</i> (1991)

## 2.5.8- DECOMPOSIÇÃO DA M.O.

Assunto do Modelo	Observação	Autor
Velocidade de decomposição de C em função da latitude	Apresentação de alguns modelos matemáticos	Schlesinger (1977)
Acumulação e decomposição de M.O. jovem	Descrição, calibração e validação de modelo	Janssen (1984)
Mineralização de C e N em solos adubados	Utilização do modelo NCSOIL	Houot <i>et al.</i> (1989)
Transformações de liteira de pinho vermelho	Apresentação de alguns modelos matemáticos	Melillo <i>et al.</i> (1989)
Acumulação e mineralização de resíduos vegetais	Apresentação de modelo matemático	Plichta & Gurtowisk (1989)
Efeito da umidade na taxa de decomposição de esterco	Descrição de modelos matemáticos	Murwira <i>et al.</i> (1990)
Interação entre N, P e S na decomposição de liteira	Teste de modelos matemáticos	Bosatta & Agren (1991b)
Decomposição de liteira em regiões áridas	Descrição de modelo simples	Moorhead & Reynolds (1991)
Taxa de decomposição de resíduos vegetais	Apresentação de modelo matemático	Douglas & Rickman (1992)



## 2.5.9- BIOMASSA MICROBIANA

Assunto do Modelo	Observação	Autor
Movimento de C e N através da biomassa microbiana do solo	Descrição de modelo	Van Veen <i>et al.</i> (1984)
Microorganismos e seus predadores afetando o ciclo de N	Exemplo de modelo	Ingham <i>et al.</i> (1986)
Efeito da denitrificação no crescimento microbiano	Apresentação de modelo	Leffelaar & Wessel (1988)
Ciclo de N na biomassa microbiana	Apresentação de modelo matemático	Jenkinson & Parry (1989)

## 2.5.10- RAIZ

Assunto do Modelo	Observação	Autor
Relação raiz / parte aérea, baseada na utilização de C e N pela planta	Descrição de modelo matemático	Thornley (1972)
Partição de C entre raiz e parte aérea	Descrição de modelo	Johnson & Thornley (1987)
Absorção de nutrientes em função da raiz	Descrição de modelo matemático	Hoffland <i>et al.</i> (1990)
Crescimento radicular	Apresentação de modelo	Klepper & Rickman (1990)
Influência da anatomia radicular na absorção de P	Estudo utilizando alguns modelos matemáticos	Fohse <i>et al.</i> (1991)
Efeito do potencial de água na raiz sobre a abertura estomacal	Apresentação de modelo matemático	Lafolie <i>et al.</i> (1991)
Partição de solutos entre raiz e parte aérea	Apresentação de modelo	Thornley (1991)
Extração de nutrientes pela raiz	Apresentação de modelo	Sharpley <i>et al.</i> (1992)
Partição de fotossintatos entre raiz e parte aérea em trigo	Apresentação de modelo matemático	Li <i>et al.</i> (1994)
Crescimento e arquitetura radicular	Utilização de modelo	Nielsen <i>et al.</i> (1994)



## 2.5.11- PERDAS NO SISTEMA

Assunto do Modelo	Observação	Autor
Poluição causada por erosão e perda de nutrientes	Descrição detalhada do modelo	Haith <i>et al.</i> (1984)
Lixiviação de nitrato	Apresentação de modelo	Barracclough (1989)
Denitrificação em solos cultivados	Apresentação de modelos matemáticos	Elliott & Jong (1992)
Taxas de denitrificação	Descrição de modelo matemático	Elliott & Jong (1993)

## 2.5.12- OUTROS

Assunto do Modelo	Observação	Autor
Efeito do preparo sobre a temperatura do solo	Apresentação de vários modelos matemáticos	Cruse <i>et al.</i> (1980)
Movimento de água e solutos, transferência de calor e difusão de gases no solo	Discussão sobre modelos matemáticos	Addiscott <i>et al.</i> (1981)
Influência de uma toposequência em um Black chernozemic	Apresentação de modelo	Voroney <i>et al.</i> (1981)
Retenção de $\text{NH}_3$	Apresentação de modelo	Izaurrealde <i>et al.</i> (1990)
Modelos em geral	Discute sua contribuição para a ciência natural	Philip (1991)
Balanco de massa e energia em um ecossistema	Exemplo de utilização de modelo matemático	Ulanowicz (1991)
Movimento de água e solutos no solo	Teste de um modelo	Cardon & Letey (1992)
Modelos em geral	Ampla revisão	Addiscott (1993)
Excreções animais afetando os ciclos de N, P, S e N	Exemplo de utilização de modelos	Hynes & Williams (1993)
Ecotecnologia	Discute a importância dos modelos neste estudo	Straskraba (1993)
Incubação de longo prazo	Utilização do modelo NCSOIL	Nicolardot <i>et al.</i> (1994)
Resposta da planta e biomassa microbiana a mudanças de clima e solo	Exemplos de utilização de modelos	Wullschlegel <i>et al.</i> (1994)

## 2.6- MODELOS DE SIMULAÇÃO DE M.O. DO SOLO

Um manejo eficiente da M.O. do solo é uma condição chave para uma agricultura sustentável (Addiscott, 1993). Entretanto este é um manejo muito difícil, pois são muitas as variáveis que influenciam na dinâmica da M.O. Segundo Parton *et al.* (1987), a incorporação dos conceitos de formação e “turnover” da M.O. do solo em modelos de simulação, é um excelente meio de integrar estes conhecimentos.

Mudanças na quantidade e na concentração da M.O. são lentas, de modo que as escalas de tempo dos modelos tendem a ser décadas, e o número de conjunto de dados para a validação tende a ser muito limitado (Addiscott, 1993).

Uma variedade de tipos de modelos têm sido usados para representar mudanças a longo prazo no C e N do solo. Jenny (1941) citado por Parton *et al.* (1987), usou um modelo com um único “pool”, para representar o declínio do C e do N em solos cultivados. Campbell (1978) citado por Parton *et al.* (1987), melhorou este conceito, dividindo a M.O. do solo em dois diferentes compartimentos, que incluem a M.O. estável e a M.O. lábil, com um “turnover” de 53 e 1429 anos respectivamente.

Obs: É estranho que este autor coloque o compartimento lábil com um “turnover” maior que o compartimento estável. Provavelmente houve um erro de publicação, trocando-se os valores.

Novos avanços foram introduzidos por Van Veen & Paul (1981), ao dividir os resíduos vegetais em fração decomponível e fração recalcitrante e, ao introduzir o conceito de M.O. fisicamente protegida, que tem um “turnover” muito maior que a M.O. fisicamente não protegida.

Modelos mais complexos foram desenvolvidos assumindo que as transformações da M.O. do solo ocorrem em uma cinética de primeira ordem e, que o grau de complexidade é determinado pelo número de compartimentos e categorias nas quais a M.O. é fracionada (Addiscott, 1993).

Entre estes, está o modelo Century. Inicialmente este modelo simulava somente a dinâmica da planta, do C e do N (Parton *et al.*, 1983; Parton *et al.*, 1987). Em seguida foram incorporados as dinâmicas de P e S (Parton *et al.*, 1988). Atualmente o modelo Century

(Metherell *et al.*, 1993) simula a dinâmica de longo prazo de C, N, P e S para diferentes sistemas de solo e planta. Este modelo pode simular a dinâmica de sistemas de pastagens, sistemas de produção de grãos, sistemas florestais e sistemas de savana. O modelo simula também os efeitos de: balanço hídrico, temperatura do solo, adição de fertilizantes, irrigação, preparo do solo, pastejo, fogo e incubação do solo (microcosmo). Além disto, este modelo possui uma série de recursos que permitem uma grande versatilidade na composição dos sistemas a serem simulados.

Por ser um dos modelos de simulação de M.O. mais desenvolvidos, recentemente vários trabalhos tem sido publicados usando o Century como ferramenta de pesquisa.

Burke *et al.* (1989), utilizaram o modelo Century no estudo da relação entre a M.O. e outros fatores do solo em 500 pastagens e 300 solos cultivados.

Parton *et al.* (1989), utilizaram o modelo Century para observar a dinâmica de longo prazo de três solos tropicais.

Bonde *et al.* (1992), estudando a distribuição e a idade da M.O. do solo como função do fracionamento de partículas do solo em condições brasileiras, utilizaram o modelo Century para sua discussão.

Paustian *et al.* (1992), utilizaram o modelo Century no estudo da M.O. em experimentos de longo prazo sobre adubação orgânica e adubação química nitrogenada.

Carter *et al.* (1993), utilizaram o modelo Century para simular a cultura do trigo em cinco diferentes solos por períodos de 10 e 20 anos no sul da Austrália.

Motavalli *et al.* (1994), utilizaram os resultados obtidos com o modelo Century como um dos tratamentos em uma pesquisa sobre os "Pools" do C em solos tropicais.



### 3- Material e Métodos

As versões mais atuais do modelo Century (Metherell *et al.*, 1993) exigem para a sua parametrização, dados muito difíceis de se obter, principalmente para a realidade brasileira, onde há uma grande carência no levantamento de parâmetros mais refinados de nossas condições de solo e clima.

Além disto, as descrições feitas deste modelo em jornais e revistas de acesso público, são suficientes apenas para se ter uma idéia geral do modelo. Os detalhes que são fundamentais para se reproduzir o modelo Century, não são publicados.

Assim, decidimos criar um modelo de simulação de dinâmica de M.O. do solo, com fins simplesmente didático e demonstrativo, baseado no modelo Century (Parton *et al.*, 1987; Parton *et al.*, 1988 e Metherell *et al.*, 1993). O modelo por nós criado é mais simples, facilitando a sua parametrização em condições brasileiras. Além disto, este modelo está descrito nos seus detalhes, possibilitando sua reprodução e modificação, e trazendo para o nosso meio acadêmico detalhes da construção de um modelo de simulação.

#### 3.1- COMO FUNCIONA O MODELO

O principal objetivo deste modelo é simular a dinâmica da matéria orgânica em um determinado sistema agrícola. O modelo também simula:

\* As dinâmicas de N, P e S, permitindo escolher o número de nutrientes que influenciam no sistema, com as seguintes opções: M.O. + N, M.O. + N + P ou M.O. + N + P + S.

\* A produção vegetal. Este modelo foi criado para simular culturas sem colheitas de grãos ou frutos, como pastagens. Os seus recursos também não permitem simular sistemas florestais ou silvopastoris.

\* Diversos efeitos existentes em um sistema:

\_ Efeito do clima sobre a decomposição da M.O. e outras reações do solo, como por exemplo, a solubilização de P e S primários.

\_ Crescimento, senescência e colheita da massa vegetal.

\_ Preparo do solo.

\_ Adubação, entrada de N e S via deposição atmosférica, fixação biológica de N e adição de M.O.

\_ Erosão + lixiviação de N e S, erosão de M.O. e P e, volatilização de N.

Para “rodar” o modelo, foi criado um programa em linguagem PASCAL. Este programa possui os seguintes recursos:

\* Interface com o usuário facilitada através de janelas.

\* Entrada de dados inicial ou através de arquivo de dados já existente.

\* Fácil manipulação dos dados.

\* Apresentação dos resultados através de tabelas ou de gráficos multivariados, possuindo como opção um total de 109 variáveis de saída (estas variáveis estão listadas no anexo 2).

\* Gravação das variáveis locais em arquivos de dados.

\* Gravação dos resultados em arquivos de dados, permitindo a sua importação por softwares de criação de gráficos, edição de textos e outros.

O programa está dividido entre as seguintes unidades:

\* Programa principal: abre o menu principal e faz as ligações entre as outras unidades.

\* Unidade de entrada: faz a entrada inicial dos dados, lê as variáveis locais e as variáveis padrões nos arquivos de dados, grava as variáveis locais no arquivo de dados, manipula as variáveis locais e as variáveis padrões.

\* Unidade de saída: Define as variáveis de saída, define o modo de saída (tabela ou gráfico), cria a tabela de saída e cria o gráfico de saída.

\* Unidade modelo: é onde está o modelo de simulação, com todas as suas dinâmicas e efeitos.

Neste trabalho, está incluído um disquete com o programa compilado, que pode ser rodado em qualquer PC (pode haver incompatibilidade do modo gráfico com o padrão de vídeo, não sendo possível a saída por gráfico) e, está incluído também, no anexo 4, um guia de uso do programa.

Para realizar suas simulações, o modelo necessita de vários dados relativos ao sistema que se queira simular, como: clima, solo, espécies vegetais e manejo do sistema. Estes dados, quando no programa, podem ser facilmente modificados através da rotina "MODIFICAÇÃO DE VARIÁVEIS LOCAIS". Os dados necessários estão listados no anexo 1.

Além disto, existem valores de equações, intervalos, constantes e relações que regulam as dinâmicas do modelo, e que são independentes do sistema que se queira simular. Estes valores, obtidos na literatura, estão em uma forma padrão (fixa) mas que podem ser facilmente modificados no programa através da rotina "MODIFICAÇÃO DE VARIÁVEIS PADRÕES". A listagem destes parâmetros fixos, junto com seus respectivos valores padrões, estão no anexo 3.

## 3.2- DESCRIÇÃO DO MODELO

### 3.2.1- CICLO DO CARBONO

Baseado em Parton *et al.* (1987) o modelo assume que existem 7 "pools" orgânicos (Figura 1).

Os resíduos vegetais (parte dos vegetais que morrem e se despreendem da planta) são divididos em:

\* Superficiais, que compreende resíduos da parte aérea (liteira).

\* Do solo, que compreende resíduos do sistema radicular.

Estas frações, por sua vez, se subdividem em:

\* "Pool" metabólico: que é constituído pelo conteúdo intracelular das células vegetais. Possui um "turnover" de 0,1 a 1 ano.

\* "Pool" estrutural: que é constituído pela parede celular dos resíduos vegetais, com um "turnover" que varia de 1 a 5 anos.

Assim, o modelo assume que existem 4 "pools" de resíduos vegetais:

\* Estrutural superficial ("Pool" 1).

\* Metabólico superficial ("Pool" 2).

\* Estrutural do solo ("Pool" 3).

\* Metabólico do solo ("Pool" 4).

O modelo assume que os "pools" metabólico e estrutural superficiais (oriundos de resíduos da parte aérea) tem uma velocidade de "turnover" 20% mais lentos do que os "pools" estrutural e metabólico do solo.

A matéria orgânica (M.O.) do solo é dividida em 3 frações:

\* "Pool" ativo (Pool 5): representa a biomassa microbiana do solo e seus produtos. Tem um "turnover" que varia de alguns meses a alguns anos, dependendo das condições ambientais.

\* "Pool" lento (Pool 6): Inclui os materiais vegetais mais resistentes e produtos microbianos estabilizados. Possui um "turnover" de 20 a 50 anos.

\* "Pool" passivo (Pool 7): material muito resistente a decomposição, que inclui a M.O. fisicamente e quimicamente estabilizada, com um "turnover" que varia de 400 a 2000 anos.



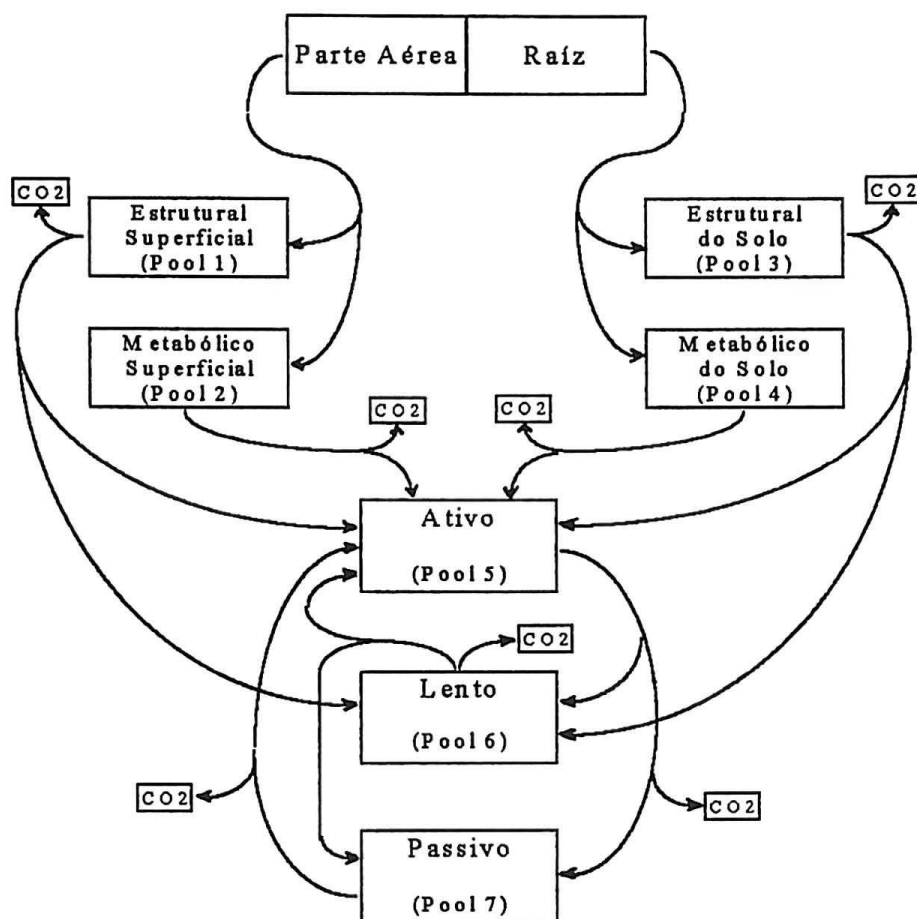


Figura 1: Ciclo do carbono.

O fracionamento dos resíduos vegetais em “pools” metabólicos e estruturais é feito em função da relação lignina / nitrogênio de seus tecidos, através da seguinte equação:

$$FM = iL + sL \times L/N. \quad \text{onde:}$$

FM = Fração do resíduo vegetal que vai para o “pool” metabólico.

iL = Ponto de intercessão da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é 0.85.

sL = Coeficiente angular da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é -0.018.

L/N = Relação lignina / nitrogênio.

Deste modo, quanto maior a relação lignina / nitrogênio, maior é a fração do resíduo vegetal que é alocado no “pool” estrutural.

A velocidade de decomposição de cada “pool” é calculada através da equação (Parton *et al.*, 1987):



$$PC_i = K_i \times EU \times ET \times C_i \quad \text{onde:}$$

$PC_i$  = Perda mensal de carbono no "pool"  $i$ .

$K_i$  = Taxa de decomposição máxima mensal do "pool"  $i$ .

$EU$  = Efeito da umidade.

$ET$  = Efeito da temperatura.

$C_i$  = Quantidade de carbono no "pool"  $i$ .

As taxas de decomposição  $K$  são fixas para os "pools" 2, 4, 6 e 7 e, são variáveis para os "pools" 1, 3 e 5, mas estes partem de um valor inicial. Os valores de  $K$  (fixos para os "pools" 2, 4, 6 e 7 e iniciais para os "pools" 1, 3 e 5) foram calculados a partir dos dados de Parton *et al.* (1987). Como o nosso modelo utiliza "turnovers" mensais, e o modelo original utiliza "turnovers" semanais, os dados foram transformados para "turnovers" mensais através da equação:

$K_{\text{mensal}} = 1 - e(4.345238 \times \ln(1 - K_{\text{semanal}}))$ , onde o valor 4.345238 é o número médio de semanas em um mês. Assim, obteve-se os seguintes valores padrões (podem ser alterados) de  $K_s$ :

\* Estrutural superficial ("Pool" 1): 0.286659.

\* Metabólico superficial ("Pool" 2): 0.765579.

\* Estrutural do solo ("Pool" 3): 0.348718.

\* Metabólico do solo ("Pool" 4): 0.851032.

\* Ativo ("Pool" 5): 0.480746.

\* Lento ("Pool" 6): 0.016560.

\* Passivo ("Pool" 7): 0.000550.

As taxas de decomposição dos "pools" estruturais ("pools" 1 e 3) são função do seu teor de lignina, através da equação:

$$K_{13} = K_{13i} \times e(sK_{13} \times L) \quad \text{onde:}$$

$K_{13}$  = Taxa de decomposição final.

$K_{13i}$  = Taxa de decomposição inicial.

$sK_{13}$  = Coeficiente angular da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é

L = Fração do “pool” estrutural que é constituído de lignina. A lignina do “pool” estrutural é incorporada diretamente no pool lento da M.O.

A taxa de decomposição do “pool” ativo (“pool” 5) é função da fração argila + silte do solo. Isto é regulado pela equação:

$$K5 = K5i \times (iK5 + sK5 \times FAS) \quad \text{onde:}$$

$K5$  = Taxa de decomposição final.

$K5i$  = Taxa de decomposição inicial.

$iK5$  = Ponto de intercessão da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é 1.

$sK5$  = Coeficiente angular da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é -0.75.

FAS = Fração argila + silte.

Conforme o observado na Figura 2, o efeito da umidade é função da razão entre precipitação mensal e evapotranspiração potencial mensal ( $ppm / evp$ ), através da equação obtida por Parton *et al.* (1987):

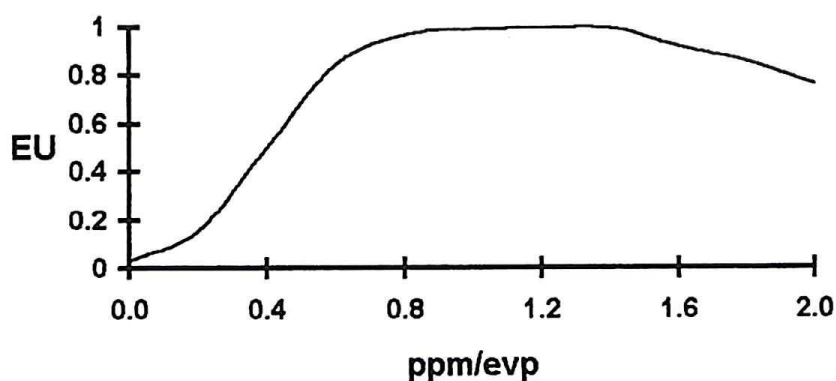


Figura 2: Efeito da relação precipitação/evapotranspiração sobre a taxa de decomposição da M.O. do solo (Parton *et al.*, 1987).

\* Se  $ppm / evp$  for menor ou igual a 1.5 (condição aeróbica):

$$EU = 1 / (1 + 30 \times e^{(-8.5 \times (ppm / evp))}).$$

\* Se  $ppm / evp$  for maior que 1.5 (condição anaeróbica):

$$EU = 1 - 0.7 \times ((\text{ppm} / \text{evp}) - 1.5) / 1.5.$$

A evapotranspiração potencial é calculada pela equação de Thornthwaite (Bernardo, 1987), escolhida entre outras fórmulas por ser a mais precisa das fórmulas que usam dados meteorológicos comuns como entrada e também por ser a mais usada no Brasil (Tubelis, 1980):

$$\text{evp} = 16 \times D \times (10 \times T / I)^a \quad \text{onde:}$$

evp = Evapotranspiração potencial mensal (30 dias) em mm / mês.

D = Comprimento médio dos dias do mês, em unidades de 12 horas.

T = temperatura média mensal, em °C.

I = Índice de calor anual, correspondente a soma dos 12 índices mensais "i", sendo:

I = Somatório de i, e  $i = (T/5)^{1.514}$ .

a = É uma função cúbica de I, sendo a equação:

$$a = 0.675 \times 10^{-6} \times I^3 - 0.771 \times 10^{-4} \times I^2 + 1.792 \times 10^{-2} \times I + 0.49$$

O efeito da temperatura média do solo sobre a taxa de decomposição (Figura 3), é obtida através da equação (Parton *et al.*, 1987):

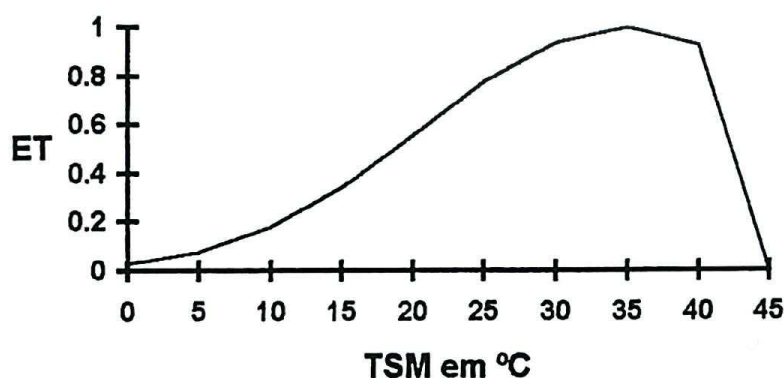


Figura 3: Efeito da temperatura sobre a taxa de decomposição da M.O. do solo (Parton *et al.*, 1987).

$$ET = e(0.2 \times \ln(t1)) \times t2$$

$$t1 = (45 - TSM) / (45 - 35)$$

$$t2 = e(0.076 \times (1 - e(2.63 \times \ln(t1))))$$



A temperatura média do solo (TSM) foi calculada através da temperatura máxima e mínima da superfície do solo, que são calculadas como funções das temperaturas máximas e mínimas mensais do ar (2 metros de altura) e da biomassa vegetal presente (Parton, 1984):

$$TSM = TSX \times 0.41 + TSN \times 0.59.$$

$$TSX = TAX + ET \times EB.$$

$$ET = 25.4 / (1.0 + 18.0 \times e^{(-0.2 \times TAX)}).$$

$$EB = e^{(-0.0048 \times BIO)} - 0.13. \quad \text{onde:}$$

TSX = temperatura máxima do solo em °C.

TAX = temperatura máxima do ar em °C.

ET = Elevação máxima da temperatura da superfície do solo.

EB = Efeito da cobertura vegetal.

BIO = Biomassa vegetal em g de M.S. / m<sup>2</sup>.

$$TSN = TAN + 0.006 \times BIO - 1.82. \quad \text{onde:}$$

TSN = temperatura mínima do solo em °C.

TAN = temperatura mínima do ar em °C.

Segundo Parton (1984), esta equação apesar de simples, possui eficiência semelhante à da equação que considera o efeito de radiação solar. Também este autor coloca que o efeito da água do solo e da precipitação afetam muito pouco o desempenho desta equação.

Existem diversos fluxos de carbono entre os "pools", e alguns são funções de parâmetros do solo ou da planta. O modelo adota os seguintes valores padrões (podem ser alterados) para os fluxos (Parton *et al.*, 1987):

F15 (fluxo do "pool" 1 para o "pool" 5): 55% do carbono que não é lignina e que se decompõe no "pool" 1 é incorporado ao "pool" 5. O restante é perdido como CO<sub>2</sub>.

F16: 70% do carbono que é lignina e que se decompõe no "pool" 1 é incorporado ao "pool" 6. O restante é perdido como CO<sub>2</sub>.

F25: 45% do carbono que se decompõe no "pool" 2 é incorporado diretamente no "pool" 5. O restante é perdido como CO<sub>2</sub>.

F35: O mesmo que no F15, só que o valor perdido como CO<sub>2</sub> é 55%.

F36: O mesmo que para o F16.

F45: O mesmo que para o F25.

F56: É a fração do carbono que se decompõe no “pool” 5 e que sobra do F57 e do carbono que é perdido como  $\text{CO}_2$ .

F5 $\text{CO}_2$ : É função do teor de silte + argila, regulado pela equação:

$$F5\text{CO}_2 = (iCF5\text{CO}_2 + sCF5\text{CO}_2 \times FAS) \times CDP5 \quad \text{onde :}$$

F5 $\text{CO}_2$  = Carbono perdido como  $\text{CO}_2$  (g de C/m<sup>2</sup>) no “pool” 5.

iCF5 $\text{CO}_2$  = Ponto de intercessão da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é 0.85.

sCF5 $\text{CO}_2$  = Coeficiente angular da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é -0.68.

FAS = Fração silte + argila.

CDP5 = Carbono que se decompõe no “pool” 5.

F57: É função do teor de argila, regulado pela equação:

$$F57 = (iCF57 + sCF57 \times FA) \times CDP5 \quad \text{onde:}$$

iCF57 = Ponto de intercessão da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é 0.003.

sCF57 = Coeficiente angular da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é 0.32.

FA = Fração argila.

CDP5 = Carbono que se decompõe no “pool” 5.

F6 $\text{CO}_2$ : 55% do carbono que se decompõe no “pool” 6 é perdido como  $\text{CO}_2$ .

F65: É a fração do carbono que se decompõe no “pool” 6 e que sobra do F67 e do carbono perdido como  $\text{CO}_2$ .

F67: É função do teor de argila, regulado pela equação:

$$F67 = (iCF67 + sCF67 \times FA) \times CDP6 \quad \text{onde:}$$

iCF67 = Ponto de intercessão da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é 0.003.

sCF67 = Coeficiente angular da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é 0.009.

FA = Fração argila.

CDP6 = Carbono que se decompõe no “pool” 6.

F75: 45% do carbono que se decompõe no “pool” 7. O restante é perdido como  $\text{CO}_2$ .

### 3.2.2- CICLO DO NITROGÊNIO

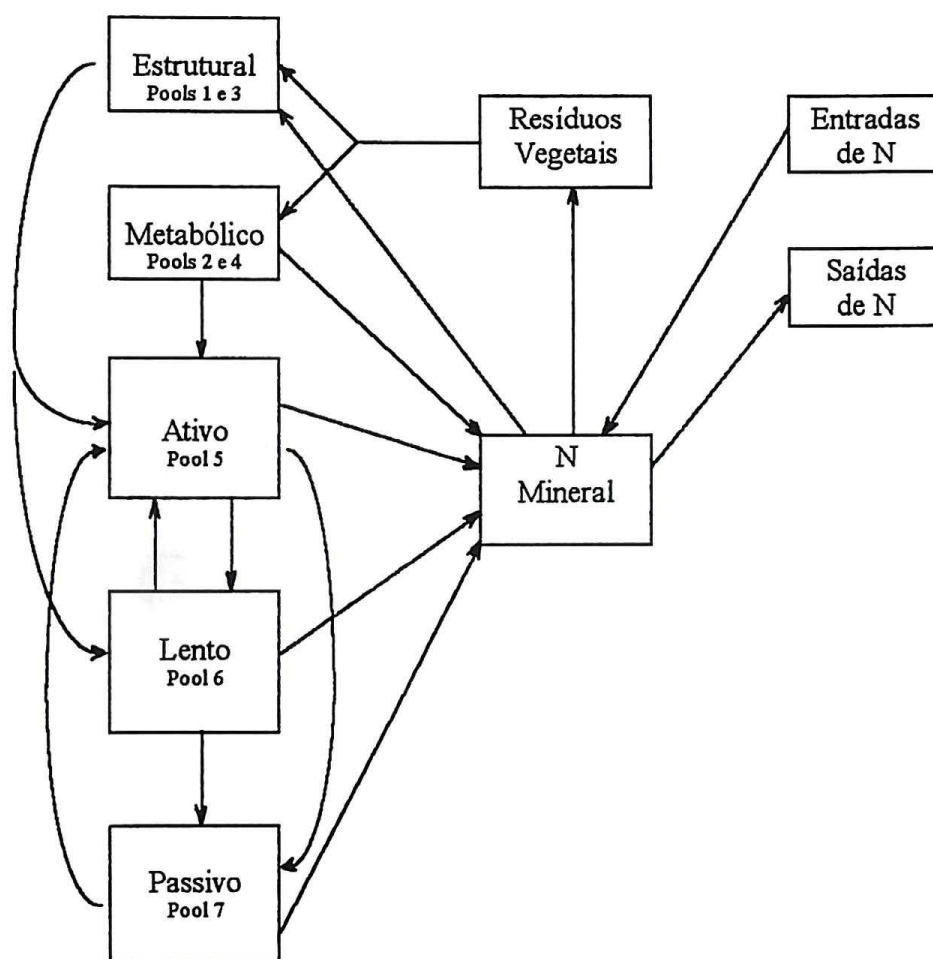


Figura 4: Ciclo do nitrogênio (Parton *et al.*, 1988).



O ciclo do N (Figura 4) segue a mesma estrutura do ciclo do C e os fluxos de N seguem os fluxos de C, sendo que sua quantidade é regulada pelas relações C/N dos "pools" (Metherell *et al.*, 1993):

\* C/N "Pools" 1 e 3: Valores padrões (podem ser alterados) fixos em 150.

\* C/N "Pools" 2 e 4: Variam como funções do conteúdo de N dos resíduos vegetais que se transferem para a superfície e interior do solo.

\* C/N "Pool" 5, 6 e 7: São funções do N mineral existente (Figura 5). Quando o N mineral aumenta de 0 - 2 g de N x m<sup>-2</sup> na camada superficial de 0 - 20 cm, a relação C/N do "pool" 5 decresce de 15 até 3, do "pool" 6 decresce de 20 até 12 e do "pool" 7 decresce de 10 até 7 (valores padrões, que podem ser alterados).

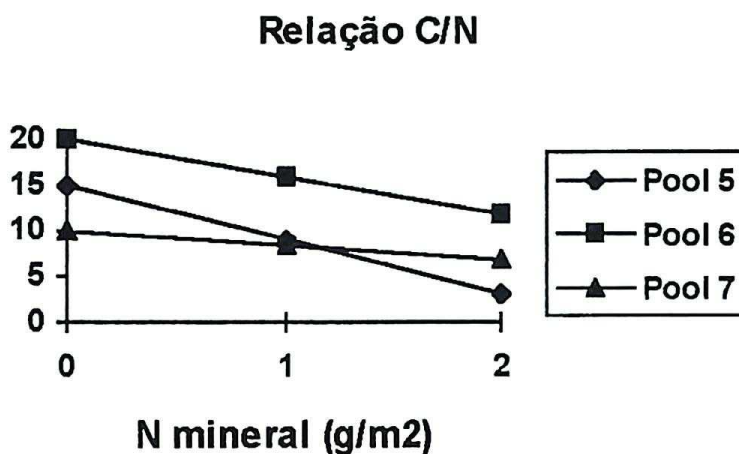


Figura 5: Variação das relações C/N dos materiais incorporados aos "pools" 5, 6 e 7, como função dos níveis de N mineral (Parton *et al.*, 1988).

O N associado com o C perdido na respiração como CO<sub>2</sub> é assumido ser mineralizado.

### 3.2.3- CICLO DO FÓSFORO.

O ciclo do P (Figura 6), como o ciclo do N, está relacionado ao do ciclo do C, com a diferença que existem 4 "pools" de P mineral (Parton *et al.*, 1988):

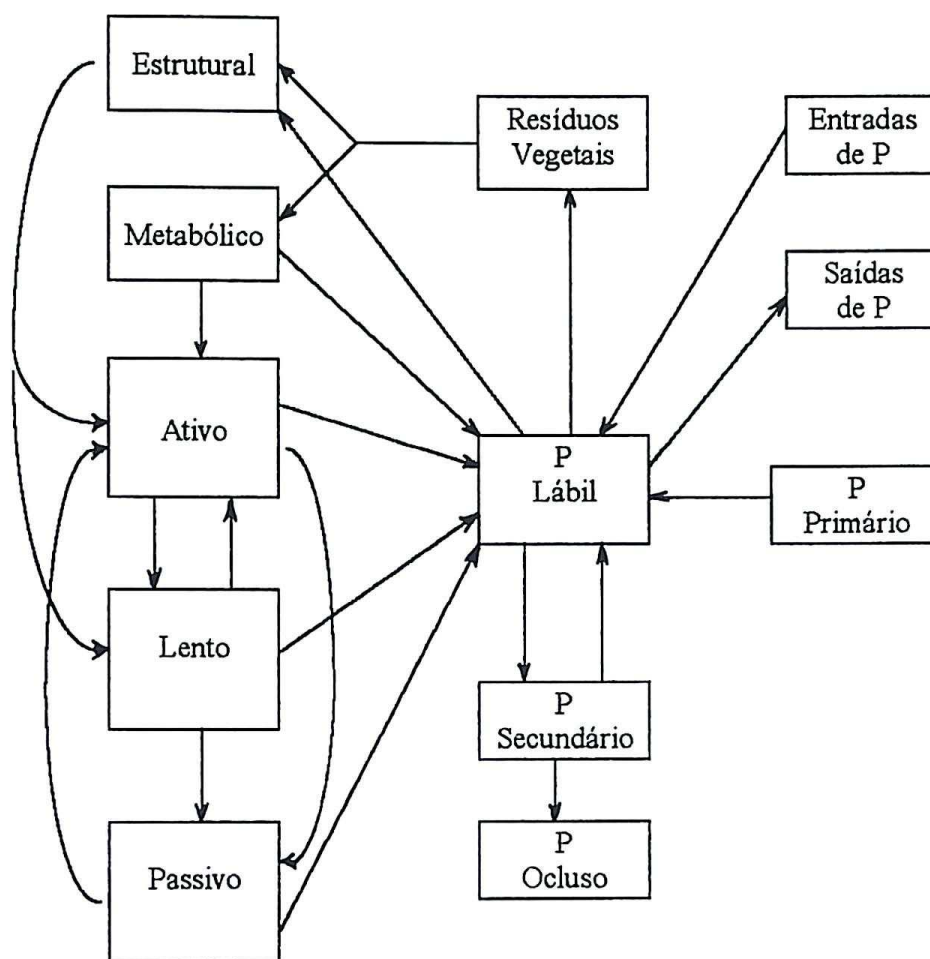


Figura 6: Ciclo do fósforo (Parton *et al.*, 1988).

\* P lábil: É definido como sendo o P extraível com resina de troca aniônica. É a forma de P disponível a planta, aos microorganismos e aos processos de perda do solo.

\* P primário: P presente no material primário ainda existente no solo, geralmente Apatita, e que é liberado lentamente para a fração lábil.

\* P secundário: Forma de P levemente adsorvido por argilas e/ou óxidos de ferro e alumínio, mas ainda em equilíbrio com a forma P lábil, podendo retornar a solução do solo.

\* P ocluso: Forma de P fortemente adsorvida por argilas e/ou óxidos de ferro e alumínio, não retornando a solução do solo.

A quantidade de P transferido (TPi) entre estes pools é função da quantidade inicial de P existente em cada "pool" (Pi), do efeito do clima (EC, que é o efeito da temperatura multiplicado pelo efeito da umidade), e de uma taxa mensal específica (K):

$$TP_i = P_i \times EC \times K$$

Os valores padrões (podem ser alterados) de Ks usados neste modelo são:

- \* K transferência de P primário para o P lábil = 0.0001.
- \* K transferência de P secundário para o P lábil = 0.0022.
- \* K transferência de P lábil para P secundário = 0.05.
- \* K fixação de P secundário no P ocluso = 0.000001.

O ciclo do P está estequiometricamente relacionado com o ciclo do C e sua quantidade em cada "pool" é regulada pelas relações C/P:

- \* "Pools" 1 e 3: Valores padrões (podem ser alterados) fixos em 500.
- \* "Pools" 2 e 4: Variam como funções do conteúdo de P dos resíduos vegetais que se transferem para a superfície e interior do solo.

\* "Pools" 5, 6 e 7: São funções do P lábil existente no solo (Figura 7). Quando este aumenta de 0 para 2 g de P  $\times$  m<sup>-2</sup>  $\times$  0.20 m<sup>-1</sup>, a relação C/P do "pool" 5 decresce de 80 para 30, do "pool" 6 decresce de 200 para 90 e, do "pool" 7 decresce de 200 para 20 (valores padrões, que podem ser alterados).

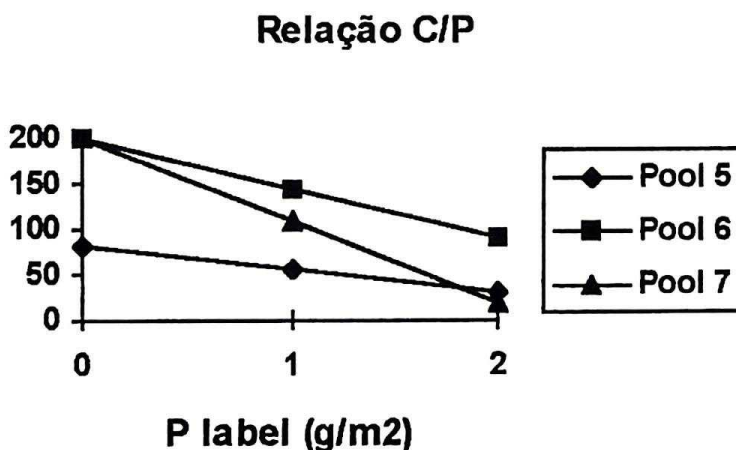


Figura 7: Variação das relações C/P dos materiais incorporados aos "pools" 5, 6 e 7, como função dos níveis de P lábil (Parton *et al.*, 1988).



O P associado com o C perdido na respiração como  $\text{CO}_2$ , é assumido ser mineralizado.

### 3.2.4- CICLO DO ENXOFRE

O ciclo do S (Figura 8) também está relacionado ao ciclo do C, mas com a presença de 3 "Pools" de S na forma mineral (Parton *et al.*, 1988):

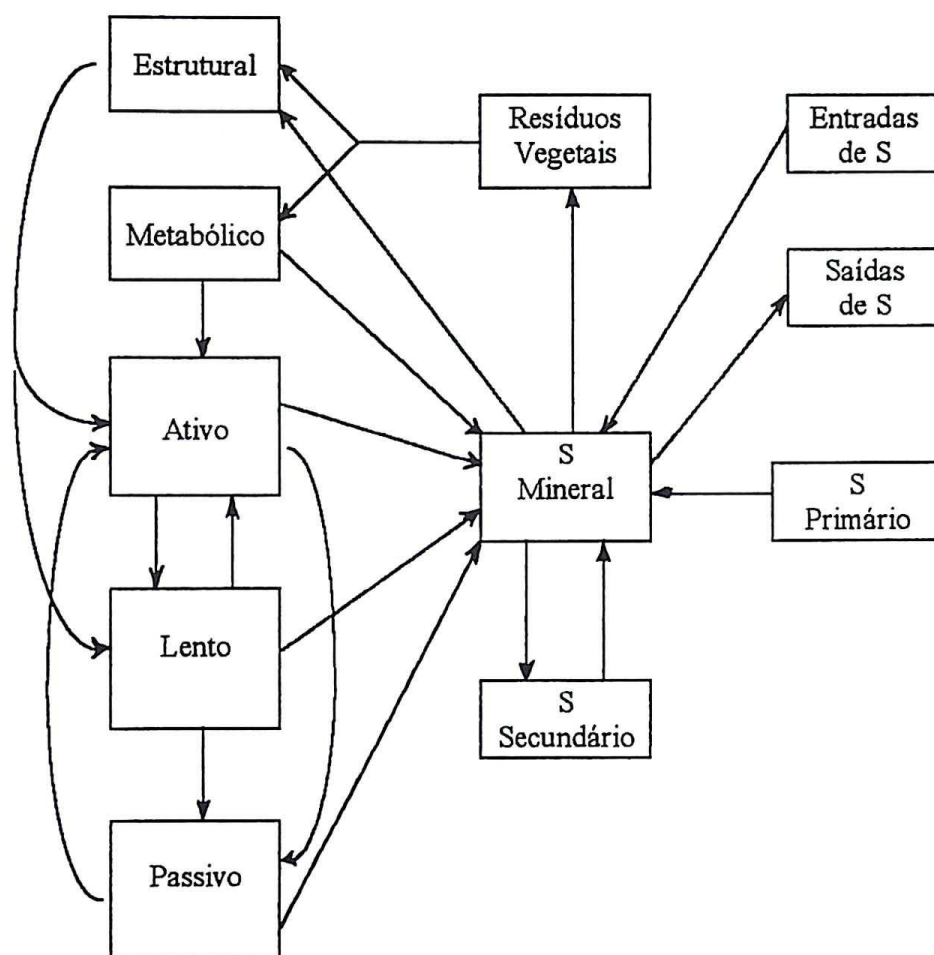


Figura 8: Ciclo do enxofre (Parton *et al.*, 1988).

\* S mineral: É definido como o S extraível com 0.01M  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$ , e representa a forma de S disponível à planta, aos microorganismos e aos processos de perda do solo.

\* S primário: É o S presente no material primário ainda existente no solo e que é liberado lentamente para a fração mineral.

\* S secundário: É o S adsorvido por argila e/ou óxidos de ferro e alumínio. Está em equilíbrio com o S mineral, sendo liberado lentamente para a solução do solo.

Como no caso do P, a quantidade de S transferido entre estes "pools" é função da quantidade inicial de S, do efeito do clima e de uma taxa mensal específica K, cujo valores padrões (podem ser alterados) são:

\* K transferência de S primário para o S mineral = 0.0005.

\* K transferência de S secundário para o S mineral = 0.002.

\* K transferência do S mineral para S secundário = 0.001.

O ciclo do S também está estequiometricamente relacionado com o ciclo do C e sua quantidade em cada "pool" é regulado pelas relações C/S:

\* "Pools" 1 e 3: Valores padrões (podem ser alterados) fixos em 500.

\* "Pools" 2 e 4: Variam como funções do conteúdo de S nos resíduos vegetais que se transferem para a superfície e interior do solo.

\* "Pools" 5, 6 e 7: São funções do S mineral existente no solo (Figura 9). Quando este varia de 0 para  $3 \text{ g de S} \times \text{m}^{-2} \times 0.20 \text{ m}^{-1}$ , a relação C/S do "pool" 5 decresce de 80 para 20, do "pool" 6 decresce de 200 para 90 e, do "pool" 7 decresce de 200 para 20.

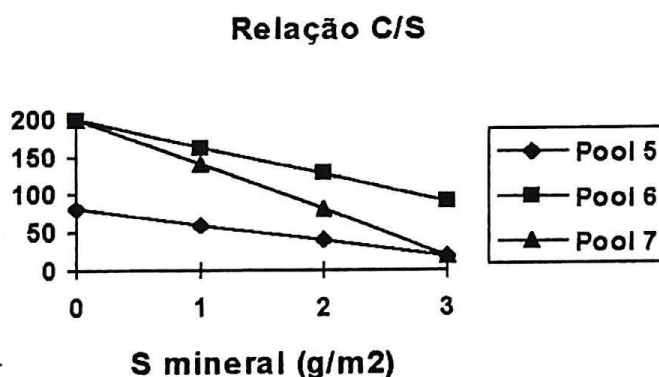


Figura 9: Variação das relações C/S dos materiais incorporados aos "pools" 5, 6 e 7, como função dos níveis de S mineral (Parton *et al.*, 1988).

O S associado com o C perdido na respiração como  $\text{CO}_2$ , é assumido ser mineralizado.

### 3.2.5- CICLO DA PLANTA

A produção vegetal é função do genótipo, das condições ambientais como temperatura, precipitação, incidência de pragas e doenças e, função também da fertilidade do solo.

Neste modelo, como o principal objetivo é simular a dinâmica da M.O. e a fertilidade do solo, a produção vegetal será controlada pela disponibilidade de nutrientes, pela sazonalidade do crescimento vegetal ao longo do ano e por um valor de produção máxima vegetal anual. Este último valor representa a produção máxima que a cultura obteria nas condições de um determinado sistema, com a temperatura, a precipitação, a incidência de pragas e doenças do local, partindo do pressuposto que não há limitação de N e/ou P e/ou S.

O crescimento vegetal em g de  $\text{C}/\text{m}^2$ , em um determinado mês, será função de:

\* Produção máxima vegetal anual (P<sub>MAX</sub>): É o máximo de material vegetal que a parte aérea de um determinado sistema vegetal pode produzir durante o ano, no clima em questão, sem que haja limitação por N e/ou P e/ou S.

\* Índice de crescimento vegetal mensal (IC[mês]): É a fração da produção máxima vegetal anual que ocorre em um determinado mês.

\* Limitação do crescimento vegetal devido à carência de N e/ou P e/ou S: Ocorre através de relações C/N, C/P e C/S máximas e mínimas da planta (Parton *et al*, 1988). Quando há abundância de nutrientes disponíveis à planta, a massa vegetal não sofre nenhuma limitação e é formada com as relações C/N, C/P e C/S mínimas.

À medida que esta disponibilidade diminui, aumentam as relações C/N e/ou C/P e/ou C/S até atingir as relações máximas. Além deste ponto, o crescimento fica limitado a quantidade de massa vegetal que é possível formar com a quantidade de nutriente disponível, mantendo as relações C/N, C/P e C/S máximas. Este efeito segue a lei dos mínimos.

As relações C/N, C/P e C/S da planta partem de um valor padrão (que pode ser modificado) inicial e, ao longo do tempo, podem se alterar com a produção de massa vegetal com diferentes relações C/N, C/P e C/S.



O teor de lignina do material que senesce na parte aérea e na raiz são funções da precipitação anual e são reguladas pelas seguintes equações (extraídas de Parton *et al.*, 1987):

$$LPA = iLPA + sLPA \times PPA$$

$$LR = iLR + sLR \times PPA \quad \text{onde:}$$

LPA = % de lignina na parte aérea.

iLPA = Ponto de intercessão da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é 2.

sLPA = Coeficiente angular da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é

0.12.

PPA = Precipitação anual (cm).

LR = % de lignina nas raízes.

iLR = Ponto de intercessão da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é 2.

sLR = Coeficiente angular da equação, cujo valor padrão (pode ser alterado) é 0.12.

A senescência do material vegetal é função de:

\* Um índice mensal de senescência (IS[mês]). Este índice é a fração da massa vegetal existente na parte aérea que morre em um determinado mês.

\* Um fator de senescência (FS). Este fator multiplica o índice de senescência. Foi criado para facilitar o manejo dos sistemas nas simulações.

Neste modelo, assumimos que a colheita substitui a senescência. Por exemplo: se era para senescer 10 e neste mês foi colhido 7, só senescem os 3 restantes.

O material que senesce é diretamente incluído nos "pools" 1, 2, 3 e 4.

A colheita da parte aérea é feita através de:

\* Um fator de colheita (RMS). Este valor é a fração da massa de parte aérea que é colhida todo mês.

\* Um índice de colheita (ICPA[mês]). Este índice multiplica o fator de colheita. Foi criado para facilitar o manejo do sistema, permitindo a diminuição, o aumento ou até a inexistência de colheita para cada mês do ano.

O modelo assume que o material vegetal colhido, com os nutrientes nele incluídos, sai do sistema.

A partição do material vegetal produzido, entre raiz e parte aérea é função do fator “% de carbono alocado na parte aérea” (CAPA) e da quantidade de material vegetal produzido para a parte aérea (MVPA):

$$MV \text{ parte aérea} = MVPA.$$

$$MV \text{ raiz} = (MVPA / CAPA) \times 100 - MVPA.$$

O modelo assume que toda redução da parte aérea gera também uma redução proporcional na raiz. Por exemplo, se a parte aérea se reduz em 30%, seja por senescência ou por colheita, neste mês a raiz também se reduz em 30%, sendo este material tido como senescência (não há colheita de raiz).

### 3.2.6- EFEITO DE PERDA DE NUTRIENTES

A intensidade de perda de um nutriente deve ser função da quantidade disponível deste nutriente e função da intensidade do agente causador da perda.

O modelo inclui os efeitos mensais das seguintes perdas de nutrientes no sistema:

\* Erosão + lixiviação de N e S, e erosão de P. É função de:

\_ Um fator de perda (FP), que representa a porcentagem do nutriente disponível que é perdido durante um ano.

\_ Relação precipitação mensal / precipitação anual (PPM / PPA), que determina a intensidade do fator de perda que é ocorre no corrente mês.

\_ Quantidade de nutriente na forma disponível (Xmin).

$$X_{\text{perdido}} = FP \times (PPM / PPA) \times X_{\text{min}}$$

\* Erosão da matéria orgânica do solo, com todos os nutrientes nela presentes: Também é função da relação (PPM / PPA) e de um índice que representa a quantidade (em g de C/m<sup>2</sup>) perdida anualmente (MOE). A proporção de perda entre os “pools” 5, 6 e 7 segue a mesma proporção que cada um ocupa na M.O. do solo, e a quantidade de nutrientes perdido é função das relações C/N, C/P e C/S.

\* Volatilização de N: É função de um fator de perda que representa a fração do N mineralizado que é perdido (NVO), e da quantidade de N mineralizado (NM).

$$N_{\text{volatilização}} = NVO \times NM.$$

### 3.2.7- EFEITO DE GANHO DE NUTRIENTES

O modelo inclui os efeitos dos seguintes ganhos mensais de nutrientes:

\* Adubação com N, P, e S: A quantidade do nutriente que entra cada mês no sistema por adubação é função de:

\_ Fator de adubação (FA): é a quantidade do nutriente (forma elementar) que entra anualmente no sistema.

\_ Índice de adubação (IA[mês]): é a fração do fator de adubação que é distribuído no corrente mês.

$$\text{Adubação mensal} = \text{FA} \times \text{IA[mês]}$$

\* Entrada de N por deposição atmosférica + fixação biológica (simbiótica e não simbiótica): É função de um fator (NAF) que determina a quantidade adicionada anualmente e, da relação PPM / PPA, que determina qual a fração do NAF que é depositado no corrente mês.

$$\text{Natm} + \text{fix} = \text{NAF} \times (\text{PPM} / \text{PPA}).$$

O mesmo ocorre para a entrada de S atmosférico.

\* Adição de M.O.: A quantidade de M.O. adicionada mensalmente ao sistema é função de:

\_ Um fator de adição (AMO): é a quantidade anual de M.O. adicionada.

\_ Índice de adição (IAMO[mês]): é a fração do fator de adição que é distribuída no corrente mês.

Além da quantidade e da distribuição, o modelo também leva em conta as relações C/N, C/P e C/S e a porcentagem de lignina da M.O. adicionada. O modelo também assume que a M.O. adicionada entra no sistema da mesma forma que a M.O. oriunda da senescência de p. aérea.



### 3.2.8- EFEITO DO PREPARO DO SOLO

Existem várias formas de preparo do solo, mas as principais são a aração e a gradagem. Quando executadas em conjunto ou isoladamente, os seus principais efeitos são:

1- A incorporação ao solo da parte aérea e massa radicular da planta e da liteira existente neste solo.

2- O aumento da taxa de decomposição da M.O. do solo, principalmente das frações que estão fisicamente protegidas entre as partículas de argila.

Para que o primeiro efeito ocorra, é necessário apenas uma aração e/ou uma gradagem. Deste modo o modelo assume que, independente do número de vezes, quando ocorre um preparo do solo, grande parte dos "pools" 1 e 2 são incorporados aos "pools" 3 e 4 e, grande parte da parte aérea e da raiz são incorporados a senescência de raiz ("pools" 3 e 4), o restante é incorporado a senescência de parte aérea ("pools" 1 e 2).

O parâmetro "Fração da liteira transferida para o solo" (FLTS) é que regula o quanto é transferido para o solo e o quanto permanece na superfície. O valor padrão usado neste modelo é 0.90.

Já o efeito sobre a velocidade de decomposição da M.O. é dependente do grau de preparo do solo. Se houver apenas uma aração ou gradagem, este efeito será bem menor se, por exemplo, houver uma aração e várias gradagens. O modelo assume que no mês do preparo do solo, a porcentagem de aumento da taxa de decomposição dos "pools" 5, 6 e 7 são regulados pelas variáveis EPSK5, EPSK6 e EPSK7 (Efeito do preparo do solo sobre os Ks dos "pools" 5, 6 e 7), cujos valores padrões (podem ser alterados) são 25%, 50% e 50% respectivamente (extraídos de Parton *et al.*, 1988).

Estes efeitos podem ser aumentados ou diminuídos através de um índice mensal de preparo do solo (IPS[mês]), que quando igual a zero, não ocorre efeito nenhum, nem o efeito da incorporação. Quando igual a um, o efeito é igual ao efeito padrão, e quando por exemplo, é igual a dois, o efeito é o dobro do efeito padrão. Assim é possível variar a intensidade com que o preparo do solo afeta a decomposição da M.O.

$$K_{\text{final}} = K_{\text{inicial}} \times (1 + (\text{EPSK}_x \times \text{IPS}[\text{mês}])).$$

### 3.2.9- EFEITO DA PROFUNDIDADE

A profundidade do solo em que o modelo vai atuar, é variável e vai ser função da profundidade com que foram calculados os dados de entrada locais, que deve ser homogênea para todos os dados. Recomenda-se a profundidade de 20 cm por ser esta a profundidade padrão de preparo do solo.

#### 3.2.10- EFEITO DO FRACIONAMENTO DO NUTRIENTE DISPONÍVEL, ENTRE ABSORÇÃO PELA PLANTA, IMOBILIZAÇÃO NA M.O. E, PERDAS.

No sistema que este modelo simula, existem 3 drenos de nutrientes:

- 1- O nutriente absorvido pela planta para a produção de nova massa vegetal.
- 2- O nutriente imobilizado quando ocorre o fluxo de matéria orgânica de um "pool" com alta relação carbono / nutriente para um "pool" com baixa relação.
- 3- Perdas de nutriente por erosão, lixiviação ou volatilização.

O nutriente na forma disponível é disputado por estes 3 drenos. Este modelo assume que:

\* O dreno perda capta uma fração fixa do nutriente disponível, como já foi explicado anteriormente.

\* O restante do nutriente disponível, quando insuficiente para atender todas as demandas, é fracionado entre os drenos absorção pela planta e imobilização na M.O. O modelo assume que este fracionamento é feito como função do tamanho de cada dreno. Ou seja, a fração do nutriente disponível que vai para um determinado dreno, é a mesma fração deste dreno em relação ao dreno total.

Assim:  $Dt = Dp + Dmo.$

$$Np = Nd \times Dp / Dt.$$

$$Nmo = Nd \times Dmo / Dt.$$

$Dt$  = Dreno total do nutriente.

$Dp$  = Dreno relativo à absorção pela planta.

$D_{mo}$  = Dreno relativo à imobilização na matéria orgânica.

$N_p$  = Quantidade de nutriente que estará disponível à planta.

$N_d$  = Quantidade de nutriente disponível total.

$N_{mo}$  = Quantidade de nutriente que estará disponível à M.O.

Deste modo, não havendo nutriente suficiente para todas as demandas, quanto maior a necessidade de captar um nutriente por um determinado dreno, maior será a fração do nutriente captado por este dreno.

O modelo segue a lei dos mínimos. Assim haverá apenas um nutriente que será o mais limitante, tanto para o crescimento vegetal, quanto para a decomposição da M.O. com alta relação carbono / nutriente.

### 3.3- AS SIMULAÇÕES

O objetivo destas simulações foi o de observar se o modelo apresenta um comportamento coerente, ou seja, se os seus resultados são plenamente viáveis de ocorrerem no mundo real, não apresentando nenhum pico ou variação que não possa ser explicado pelos conhecimentos básicos de ciência do solo.

#### 3.3.1- VALORES INICIAIS INALTERADOS

Realizou-se primeiro simulações com os valores iniciais inalterados, visando acompanhar por 120 meses (10 anos) as tendências do sistema estudado, previstas através do modelo.

Nestas simulações, usou-se como valores de entrada, os dados de uma pastagem com capim colômbio, em solo Podzólico Vermelho Amarelo distrófico, série Itaguaí, localizado em Seropédica-RJ (Usou-se como modelo o solo descrito por Ramos *et al.*, 1973). Os dados relativos a clima, solo e manejo estão listados abaixo.

\* Temperatura máxima do ar °C (TAX[mês]).

\* Temperatura mínima do ar °C (TAN[mês]).



\* Precipitação pluviométrica em mm (PPT[mês]).

\* Comprimento médio do dia em horas (D[mês]).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
TAX	31.9	32.4	31.3	29.0	27.3	26.6	26.2	27.0	27.0	28.0	28.8	30.0
TAN	22.3	22.5	21.7	19.8	17.6	16.0	15.1	16.0	17.5	18.8	19.8	21.1
PPT	193.3	163.9	184.5	119.9	79.5	44.2	34.0	42.5	60.7	90.1	114.7	154.2
D	13.4	12.8	12.2	11.6	11.1	10.8	10.9	11.3	12.0	12.6	13.2	13.5

Estes valores foram obtidos no Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro 1990/1991.

\* Número de nutrientes envolvidos (NN): 3 (N + P + S).

\* Carbono total em g de C/m<sup>2</sup> (CT): 2250. Valores extraídos de Ramos *et al.* (1973).

\* Fração argila do solo em % (FA): 20%. Valores extraídos de Ramos *et al.* (1973).

\* Fração silte do solo em % (FSi): 20%. Valores extraídos de Ramos *et al.* (1973).

\* "Pool" estrutural superficial em g de C/m<sup>2</sup> (POOL 1): 100.0. Valor empírico.

\* "Pool" metabólico superficial em g de C/m<sup>2</sup> (POOL 2): 60.0. Baseado ser 60 % do "Pool" anterior (valor de equilíbrio).

\* "Pool" estrutural do solo em g de C/m<sup>2</sup> (POOL 3): 60.0. Valor empírico.

\* "Pool" metabólico do solo em g de C/m<sup>2</sup> (POOL 4): 55.0. Baseado ser 90 % do "Pool" anterior (valor de equilíbrio).

\* Fração ativa da M.O. do solo (CDF5) em %: 5 %. Baseado nos valores médios de biomassa microbiana encontrados por Anderson e Domsch (1989).

\* Fração lenta da M.O. do solo (CDF6) em %: 45 %.

\* Fração passiva da M.O. do solo em %: 50 % Baseado em Parton *et al.* (1987), segundo o qual, as frações mais antigas representam cerca de 50 % da M.O. do solo.

\* M.O. do solo perdida por erosão em g de C/m<sup>2</sup> (MOE): 0.1. Valor obtido em Souza *et al.* - dados não publicados, segundo o qual, em um solo de pastagem com a mesma classificação e localizado próximo ao solo estudado, ocorre uma erosão de 97 kg de solo ha<sup>-1</sup> x ano<sup>-1</sup>.



\* Nitrogênio mineral em g de  $N/m^2$  (NMIN): 10.0. Baseado em Ramos *et al.* (1973), para o valor de N total ( $2000 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1} \times 0.20 \text{ m}^{-1}$ ) e baseado na comunicação pessoal de Guerra, J.G.M. (1995), segundo o qual, aproximadamente 5 % deste valor seria de N na forma mineral.

\* Adubação anual com N em g de  $N/m^2$  (NAD): 3.0. Valor empírico, que representa uma adubação de  $30 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ .

\* Índice de distribuição de N (IDN[mês]):

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
IDN	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0

Valor empírico, que leva em conta que se houvesse uma adubação, esta deveria ser feita na época de maior crescimento da pastagem (maior demanda de N).

\* N fixação (simbiótica + não simbiótica) + N deposição atmosférica em g de  $N/m^2$  (NFA): 1.0. Valor obtido em Osmond *et al.* (1992), que em uma parametrização, assumiu como entrada de N fixação + N atmosférico em solos tropicais, inclusive solos brasileiros (Manaus e Brasília), como sendo da ordem de  $10 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ .

\* Erosão + lixiviação anual de N, em % do N mineral (NEL): 5 %. Valor empírico.

\* Volatilização de N em % do N mineralizado (NVO): 3%. Valor obtido em Metherell *et al.* (1993).

\* P lábil em g de P elementar /  $m^2$  (PLAB): 1.0. Valor baseado em Guerra (1993).

\* Adubação anual com P em g de  $P/m^2$  (PAD): 1.0 Valor empírico, que representa uma adubação de  $10 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ .

\* Índice de distribuição de P (IDP[mês]):

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
IDP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Valor empírico, que leva em conta que se houvesse uma adubação, esta deveria ser feita na época de maior crescimento da pastagem (maior demanda de P).

\* Perda anual de P por erosão em % do P lábil (PER): 0.0 %. Valor baseado em Souza *et al.* - dados não publicados.

\* P primário (Apatita) em g de  $P/m^2$  (PPRI): 0.0. Valor baseado em Guerra (1993).

\* P secundário em g de  $P/m^2$  (PSEC): 20.0. Valor baseado em Guerra (1993).

\* S mineral em g de  $S/m^2$  (SMIN): 1.0. Valor baseado em Dias (1992).

\* Adubação anual com S em g de  $S/m^2$  (SAD): 1.0 Valor empírico, que representa uma adubação de  $20 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ .

\* Índice de distribuição de S (IDS[mês]):

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
IDS	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0

Valor empírico, que leva em conta que se houvesse uma adubação, esta deveria ser feita na época de maior crescimento da pastagem (maior demanda de S).

\* Entrada anual de S atmosférico em g de  $S/m^2$  (SAT): 0.5. Valor empírico.

\* Erosão + lixiviação anual de S em % do S mineral (SEL): 5 %. Valor empírico.

\* S primário em g de  $S/m^2$  (SPRI): 0.0. Valor baseado no fato deste solo ser bastante intemperizado, não havendo mais a presença de minerais primários de S.

\* S secundário em g de  $S/m^2$  (SSEC): 20.0. Valor empírico.

\* Produção máxima anual da p. aérea em g de  $C/m^2$  (PMAX): 600. O que equivale a 15 ton de M.S. / ha. Valor baseado em Gomide *et al.* (1984) e em Pupo (1979).

\* % do C assimilado que é alocado na p. aérea (CAPA): 60%. Valor empírico.

\* Massa de parte aérea em g de  $C/m^2$  (MPA): 250.0. Valor baseado em Gomide *et al.* (1984) e em Pupo (1979).

\* Massa de raízes em g de  $C/m^2$  (MR): 150.0. Valor baseado na massa de p. aérea e na relação p. aérea / raiz.

\* Fator de senescência (FS): 1.0. Valor empírico, que não altera o índice de senescência.

\* Índice de senescência (IS[mês]):

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
IS	0.01	0.01	0.03	0.10	0.15	0.20	0.20	0.15	0.07	0.04	0.03	0.01

Valor empírico.

\* Índice de crescimento vegetal (IC[mês]):

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
IC	0.18	0.16	0.11	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.08	0.15	0.17

Valores baseados em Pupo (1979).

\* Fator de colheita (RMS): 1.0. Valor empírico.

\* Índice de colheita da p. aérea (ICPA[mês]):

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
ICPA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Valores empíricos.

\* Índice de preparo do solo (IPS[mês]):

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
IPS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Valores empíricos.

\* M.O. adicionada em g de C  $\times$  m<sup>-2</sup>  $\times$  ano<sup>-1</sup> (AMO): 0.0. Valor empírico.

\* Índice de adição de M.O. (IAMO[mês]):

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
IAMO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Valores empíricos.

\* Relação C/N da M.O. adicionada (CNAMO): 30. Baseado em Metherell *et al.* (1993).

\* Relação C/P da M.O. adicionada (CPAMO): 300. Baseado em Metherell *et al.* (1993).

\* Relação C/S da M.O. adicionada (CSAMO): 300. Baseado em Metherell *et al.* (1993).

\* % de lignina da M.O. adicionada (LAMO): 25 % . Baseado em Metherell *et al.* (1993).



\* Fração da liteira superficial incorporada pelo preparo do solo (FLTS): 0.90. Baseado em Metherell *et al.* (1993).

### 3.3.2- ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Foi feita com base nos valores do item anterior, modificando-se o valor de apenas uma variável de entrada (variável local) em estudo e fixando-se os valores de todas as outras. Assim, foi possível quantificar a influência desta variável no resultado final do modelo, e se este resultado foi coerente com o esperado.

Para cada variável de entrada (variável local) em estudo, foi observado a sua influência em um diferente grupo de variáveis de saída, de acordo com a afinidade de cada variável. Os conjuntos de variável de entrada (com os valores utilizados para este teste) + variáveis de saída estudadas, foram os seguintes:

\* TAX e TAN (+5 °C e -10 °C): CT, POOL 5 e ET.

\* PPT (-50% e +50%): CT, POOL 5 e EP.

\* CT (1125 e 4500): CT, POOL 5, POOL 6, POOL 7, NMIN, PLAB, SMIN, RM e MPA.

\* FA (10% e 40%): POOL 5, POOL 6, POOL 7, NMIN, PLAB e SMIN.

\* FSi (10% e 40%): POOL 5, POOL 6, POOL 7, NMIN, PLAB e SMIN.

\* POOL 1 (50 e 200): POOL 1, POOL 5, POOL 6, POOL 7, NMIN, PLAB, SMIN e RM.

\* POOL 2 (30 e 120): POOL 2, POOL 5, POOL 6, POOL 7, NMIN, PLAB, SMIN e RM.

\* POOL 3 (30 e 120): POOL 3, POOL 5, POOL 6, POOL 7, NMIN, PLAB, SMIN e RM.

\* POOL 4 (25.5 e 110): POOL 1, POOL 5, POOL 6, POOL 7, NMIN, PLAB, SMIN e RM.

\* CDF5 (2.5% e 10%): POOL 5, POOL 6, POOL 7, CT, NMIN, PLAB, SMIN, RM e MPA.



- \* CDF6 (30% e 60%) e CDF7 (60% e 30%): POOL 5, POOL 6, POOL 7, CT, NMIN, PLAB, SMIN, RM e MPA.
- \* MOE (0.0 e 1.0): POOL 5, POOL 6 e CT.
- \* NMIN (5 e 20): NMIN, POOL 5, POOL 6, POOL 7, MPA, RM e CNP.
- \* NAD (0.0 e 6.0): NMIN, CT e MPA.
- \* IDN[mês] (Distribuído ao longo do ano): NMIN, POOL 5 e MPA.
- \* NFA (0.0 e 2.0): NMIN, CT e MPA.
- \* NEL (0.0% e 10.0%): CT, MPA e NMIN.
- \* NVO (0.0% e 6.0%): CT, MPA e NMIN.
- \* PLAB (0.5 e 2.0): PLAB, POOL 5, POOL 6, POOL 7, MPA, RM e CPP.
- \* PAD (0.0 e 4.0): PLAB, CT e MPA.
- \* IDP[mês] (Distribuído ao longo do ano): PLAB, POOL 5 e MPA.
- \* PER (0.0% e 5.0%): CT, MPA e PLAB.
- \* PPRI(0.0 e 20): PPRI, PLAB, CT e MPA.
- \* PSEC (10 e 40): PSEC, PLAB, CT e MPA.
- \* SMIN (0.5 e 2.0): SMIN, POOL 5, POOL 6, POOL 7, MPA, RM e CSP.
- \* SAD (0.0 e 2.0): SMIN, CT e MPA.
- \* IDS[mês] (Distribuído ao longo do ano): SMIN, POOL 5 e MPA.
- \* SAT (0.0 e 1.0): SMIN, CT e MPA.
- \* SEL (0.0% e 10.0%): CT, MPA e SMIN.
- \* SPRI (0.0 e 20): SPRI, SMIN, CT e MPA.
- \* SSEC (10 e 40): SSEC, SMIN, CT e MPA.
- \* PMAX (300 e 1200): MPA, MR, NMIN, PLAB, SMIN, POOL 5, POOL 6, POOL 7.
- \* CAPA (30% e 90%): CT, POOL 1, POOL 2, POOL 3 e POOL 4.
- \* MPA (125 e 500): MPA, MR, CT, NMIN, PLAB e SMIN.
- \* MR (75 e 300): MPA, MR, CT, NMIN, PLAB e SMIN.
- \* FS (0.0 e 2.0): POOL 1, POOL 2, POOL 3, POOL 4, CT, MPA e MR.
- \* IS[mês] (Concentrado nos meses de nov, dez e jan, e meses de mai, jun e jul): MPA, MR, POOL 1, POOL 2, POOL 3 e POOL 4.

\* RMS (0.0 e 0.20): POOL 1, POOL 2, POOL 3, POOL 4, POOL 5, POOL 6, POOL 7, NMIN, PLAB, SMIN, MPA e MR.

\* ICPA[mês] (Concentrado nos meses de nov, dez e jan, e meses de mai, jun e jul): MPA, MR e CT.

\* IPS[mês] (Mês de out): POOL 1, POOL 2, POOL 3, POOL 4, POOL 5, POOL 6, POOL 7 e MPA.

\* AMO (0.0 e 200): POOL 1, POOL 2 e CT.

### 3.3.3- SIMULAÇÕES DIDÁTICAS

Existem manejos ou modificações em um sistema de solo-clima-planta que produzem respostas que são universalmente aceitas como usuais. Ou seja, existem alterações em determinadas características de um sistema que levam sempre a uma mesma resposta, e que podem ser utilizados como exemplos didáticos. Com o objetivo de avaliar se o modelo reproduz corretamente estas respostas “clássicas”, realizou-se simulações baseadas no sistema descrito no item 3.3.1, avaliando-se os efeitos na quantidade de carbono total (CT) deste sistema. As alterações realizadas foram as seguintes:

\* Diminuição das temperaturas máximas e mínimas em 10 °C. O efeito esperado é a diminuição da velocidade de decomposição da M.O. do solo, estabilizando os seus níveis.

\* Aumento do teor de argila de 20% para 60%. O efeito esperado é uma maior estabilização da M.O., aumentando os seus níveis.

\* Adição de M.O. com baixas relações C/N, C/P e C/S. Foi adicionado 50 g de C  $\times$  m<sup>-2</sup>  $\times$  ano<sup>-1</sup>, com relações C/N = 13, C/P = 50 e C/S = 50, o que corresponde a aproximadamente 4 t  $\times$  ha<sup>-1</sup>  $\times$  ano<sup>-1</sup> de esterco bovino. O efeito esperado é uma maior decomposição da M.O., devido a adição de N (M.O. com baixa relação C/N), que é o nutriente limitante no sistema.

## 4- Resultados e Discussão

### 4.1- DIMENSIONAMENTO INICIAL DAS VARIÁVEIS LOCAIS

Neste módulo é discutido a forma de obtenção, a precisão e as fontes alternativas para os valores de entrada das variáveis locais de difícil parametrização.

#### 4.1.1- "POOLS" 1, 2, 3 E 4

O valor utilizado para o "pool" 1 (liteira estrutural superficial) de 100 g de C/m<sup>2</sup> e o valor utilizado pelo "pool" 3 (liteira estrutural do solo) de 60 g de C/m<sup>2</sup> são empíricos, mas baseados nos seguintes trabalhos:

Paustian *et al.* (1990) estudando o balanço de C e N em uma pastagem adubada na Suécia, observou deposição de 64 e 191 g de C x m<sup>-2</sup> x ano<sup>-1</sup> para liteira de parte aérea e raiz, respectivamente. Neste sistema existiu uma grande perda de parte aérea devido a colheita.

Segundo Sanchez *et al.* (1989), as raízes senescem e liberam os nutrientes muito mais rápido do que a liteira de parte aérea.

Como não existe abundância de dados na literatura sobre quantidade de liteira de raiz e parte aérea, a obtenção destes valores foi feita de uma forma empírica. Assim, usou-se 100 g de C/m<sup>2</sup> como uma ordem de grandeza razoável para o "pool" 1 e 60 g de C/m<sup>2</sup> para o "pool" 3 por este possuir maior velocidade de decomposição e, teoricamente, acumular menos.

Os valores utilizados para o "pool" 2 (liteira metabólico superior), de 60 g de C/m<sup>2</sup> e para o "pool" 4 (liteira metabólico do solo), de 55 g de C/m<sup>2</sup> são baseados em simulações prévias, que mostram que em um sistema em equilíbrio (após 120 meses) semelhante ao



sistema por nós estudado, o valor de equilíbrio do "pool" 2 é 60% do "pool" 1 e o valor de equilíbrio do "pool" 4 é 90% do "pool" 3.

#### 4.1.2- FRACIONAMENTO DA M.O. DO SOLO ENTRE OS "POOLS" ATIVO, LENTO E PASSIVO

O fracionamento da M.O. do solo nos "pools" ativo, lento e passivo é pouco explicado nas descrições do modelo Century, sendo informado apenas que é baseado no trabalho de Martel & Paul (1974), citado por Parton *et al.* (1987), para achar a taxa de decomposição do "pool" ativo e para afirmar que as frações mais antigas (pool passivo) da M.O. representam cerca de 50% desta. Parton *et al.* (1988), afirmam que os valores observados para as relações C/N, C/P e C/S das diferentes frações da M.O. são baseadas no pressuposto que as frações de partícula do solo silte fino + argila grossa (sistema americano) contêm a M.O. mais velha, que a fração lenta foi achada principalmente em areia e silte grosso, e que a fração de partícula argila fina contém a fração ativa da M.O. do solo.

Esta afirmação está baseada em vários trabalhos que estudaram a quantidade relativa e a natureza do humus associado a cada fração de partícula do solo (no sistema americano).

Foi observado que a fração argila fina é mais rica em N-mais hidrolizável, tem uma maior proporção de ácidos fúlvicos e de ácidos húmicos-B, sendo estes compostos mais alifáticos (comprovado por um menor  $E_{280}$ ). Evidências mostram se tratar de produtos citoplasmáticos de microorganismos (Anderson & Paul, 1983; Anderson *et al.*, 1981; Tiessen & Stewart, 1983). Assim, a fração argila fina possui um humus mais recente e de rápido "turnover".

Nas frações argila grossa e silte fino ocorre um predomínio de humus mais aromático (alto  $E_{280}$  e alto ácidos húmicos-A), ou seja, um humus mais resistente a degradação (comprovado por datação com  $^{14}\text{C}$ ), sendo de longo "turnover". Evidências mostram se tratar principalmente de esqueletos de microorganismos em uma forma estabilizada (Anderson & Paul, 1983; Anderson *et al.*, 1981; Tiessen & Stewart, 1983).



As frações silte grosso e areia apresentam menor quantidade de M.O. e esta um grau intermediário de humificação, sendo de médio "turnover", comprovado por datação com  $^{14}\text{C}$  (Anderson & Paul, 1983; Anderson *et al.*, 1981).

Foi comprovado uma grande associação do material húmico com os componentes inorgânicos do solo, principalmente a fração argila, estando a maior parte da M.O. do solo contida nas frações argila grossa e silte fino (Anderson, 1979; Anderson *et al.*, 1981; Sorensen, 1981; Tiessen & Stewart, 1983; Tiessen *et al.*, 1984).

Para solos que não há dados de fracionamento da M.O. em função de partículas do solo, o que acontece na maioria dos casos, o fracionamento da M.O. nos "pools" ativo, lento e passivo é feito empiricamente com base em valores de equilíbrio obtidos em simulações prévias e com base nas características físicas e químicas do solo e características de vegetação e clima da área estudada.

Isto não invalida a simulação, como mostra Parton *et al.* (1989), aplicando o modelo Century a uma floresta tropical no Hawaí, em um solo de formação recente. Neste caso ele assumiu a fração passiva como mínima, estando a maior parte da M.O. na fração lenta. Mesmo com este fracionamento feito de forma empírica, o modelo mostrou uma boa precisão quando comparado com dados reais.

Segundo Bonde *et al.* (1992), vários experimentos, desde aqueles com elementos marcados até várias formas de incubação para o fracionamento físico da M.O. do solo, têm sugerido que o fracionamento adotado pelo modelo Century pode perfeitamente representar as unidades funcionais da M.O. do solo que ocorrem na natureza.

Motavalli *et al.* (1994) observou que o uso de equilíbrio no modelo Century para obter a estimativa dos "pools" de C do solo, incluindo as estimativas dos "pools" estruturais e metabólicos, resulta em valores simulados comparáveis com os valores obtidos pelo método da incubação. Entretanto o uso do método do equilíbrio pelo modelo Century pode ser limitado pela dificuldade de se obter informações adequadas de solo, clima e planta necessárias para rodar o modelo.

Os valores por nós adotados foram os seguintes:

Para o "pool" ativo, que representa a biomassa microbiana, o valor utilizado, de 5%, está baseado na quantificação da biomassa microbiana existente na literatura.

Anderson & Domsch (1980), estudando a relação entre a biomassa microbiana e o C total em 29 solos, obteve valores entre 0.27% e 4.8% (média de 2.5%).

Anderson & Domsch (1989), estudando dezenas de solos em regiões temperadas, obteve 2.3% e 2.9% de biomassa microbiana em relação ao C total para monocultura e rotação de culturas, respectivamente. Estes mesmos autores ressaltaram que valores de 0.27% até acima de 7% são encontrados na literatura.

Goya *et al.* (1992) observou que a adição equilibrada de fertilizantes e resíduos orgânicos provoca um aumento da biomassa microbiana em solos tropicais, principalmente ao promover um melhor crescimento vegetal, proporcionando uma maior quantidade de exudados radiculares.

Segundo Van Veen *et al.* (1989), a estrutura e a textura do solo tem um efeito no "turnover" do C através da biomassa microbiana, sendo que solos argilosos tendem a ser mais "preservativos" que os arenosos.

Para o "pool" passivo (que representa a M.O. estabilizada) o valor utilizado, de 50% é empírico, mas baseado nos valores normalmente utilizados na parametrização do modelo Century e nas condições locais de solo, clima, vegetação e manejo.

O valor utilizado para o "pool" lento (que representa a M.O. de "turnover" intermediário), de 45%, foi obtido pela diferença entre o C total e os "pools" ativo e passivo.

#### 4.1.3- EROSÃO DE M.O

O valor utilizado de  $0.1 \text{ g de C} \times \text{m}^{-2} \times \text{ano}^{-1}$  foi calculado através do teor de M.O. do solo (aproximadamente 1%) obtido em Ramos *et al.* (1973), e da quantidade anual de solo perdido por erosão (97 kg/ha) obtido em Souza *et al.* (dados não publicados).

Este valor inclui também a M.O. perdida por lixiviação, que neste caso foi considerada inexpressiva.

Entretanto, em alguns solos, a lixiviação da M.O. pode proporcionar efeitos significativos. Schoenau & Betany (1987), estudando esta lixiviação em 3 diferentes solos, observaram que a proporção de N, P e S extraíveis da fração ácidos fúlvicos aumentava com a profundidade, sugerindo que os compostos orgânicos mais ricos nestes elementos são de



mais fácil lixiviação do que compostos mais pobres. Isto pode explicar a diminuição das relações C/N, C/P e C/S com o aumento da profundidade observado nestes solos. Estes autores salientaram que a lixiviação de formas orgânicas pode ser um importante mecanismo de perda de nutrientes.

#### 4.1.4- N E S MINERAIS E P LÁBIL

O valor utilizado para N mineral, de 10.0 g/m<sup>2</sup> ou 100 kg/ha foi baseado no valor de N total aproximado de 2000 kg/ha obtido por Ramos *et al.* (1973) e, no fato de que aproximadamente 5% deste N estar na forma mineral, segundo comunicação pessoal de Guerra, J.G.M. (1995).

Este valor apesar de estar um pouco acima dos valores citados na literatura, justifica-se pela entrada anual de 30 kg/ha devido à adubação.

Segundo Bremer (1965) citado por Seiffert (1982), o conteúdo total de N nos solos varia de 0.06% a 0.5%, sendo que mais de 95% deste N está combinado com a M.O., e portanto, não disponível as plantas. Durante a estação de crescimento, 1% a 3% deste N é mineralizado a amônia e nitrato, que se formam constituindo a parte disponível a planta.

Henzell (1977) citado por Seiffert (1982) enfatizou que o ritmo de liberação de N assimilável sob pastagem de gramíneas é muito lento, usualmente menor que 1% para todo o ano. Por esta razão a quantidade de N disponível para o crescimento da planta é menor que 100 kg/ha e mais comumente situa-se entre 10 e 20 kg/ha.

O valor utilizado para P lábil, de 1.0 g/m<sup>2</sup> ou 10 kg/ha foi baseado nos levantamentos de diversas frações do P em vários tipos de solo realizado por Guerra (1993). Na literatura não foram encontradas outras estimativas que pudessem servir de comparação. Apenas Tate (1984) destacou a relação existente entre o P lábil e a biomassa microbiana. Segundo este autor, os microorganismos do solo possuem um papel essencial como reservatórios lábeis de P, o que foi confirmado experimentalmente e em estudos com modelos.

O valor utilizado para S mineral, de 1.0 g/m<sup>2</sup> ou 10.0 kg/ha foi baseado em Dias (1992), que estudando 3 diferentes latossolos, obteve valores médios de 0.8 g x m<sup>-2</sup> x 0.20m<sup>-1</sup>

para S solúvel e de  $16 \text{ g} \times \text{m}^{-2} \times 0.20\text{m}^{-1}$  de S de reserva (S orgânico + S mineral). Não foram encontradas na literatura outras estimativas que pudessem servir de comparação.

#### 4.1.5- ENTRADA DE N ATMOSFÉRICO + FIXAÇÃO BIOLÓGICA E S ATMOSFÉRICO

O valor utilizado para N atmosférico + fixação, de  $1.0 \text{ g} \times \text{m}^{-2} \times \text{ano}^{-1}$  ou  $10.0 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$  foi baseado em Osmond *et al.* (1992), que em uma parametrização, assumiu como entrada de N atmosférico + fixação em solos tropicais, inclusive Brasileiros (Manaus e Brasília), como sendo da ordem de  $10 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ . Os valores destas entradas encontrados na literatura são os mais diversos, sendo difícil obter um valor confiável.

Malo & Purvis (1964) citou que a maioria dos trabalhos colocam que entre 3.3 e 6.7 kg/ha de  $\text{NH}_3$  são depositados pela precipitação anual.

Boddey & Victoria (1986) quantificando a fixação biológica de N em mesma condição de solo e clima do sistema por nós estudado, obteve valores de 30 e 45 kg de N  $\times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$  para *B. humidicola* e *B. decumbens*, respectivamente.

Em uma estimativa, Wolf *et al.* (1989) encontrou entradas de 15 kg de N  $\times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$  via precipitação e entradas de 30 kg de N  $\times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$  via fixação.

Moiser *et al.* (1981), obteve em pastagens, valores de deposição atmosférica de 23 kg de N  $\times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$  e valores de fixação de 0.5 kg de N  $\times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ .

Segundo um levantamento realizado por Mengel (1985), a fixação de N em pastagens não consorciadas com leguminosas varia de 7 a 114 kg de N  $\times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ .

Cadisch *et al.* (1990), realizando um balanço de N em pastagens no planalto central Brasileiro, encontrou valores de entrada de N atmosférico de 6 - 12 kg  $\times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ .

Legg & Meisinger (1982) relataram que as maiores deposições de N atmosférico ocorrem em áreas próximas a grandes fontes emissoras, como grandes plantações intensivas, áreas industriais ou grandes criações animais. A deposição varia de 5 kg de N  $\times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$  em regiões desertas, até 30 kg de N  $\times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$  em regiões de grandes criações animais.

O valor utilizado para entrada de S atmosférico, de  $0.5 \text{ g} \times \text{m}^{-2} \times \text{ano}^{-1}$  ou  $5 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$  é empírico, não sendo extraído de nenhum trabalho, mas sua estimativa foi baseada na



revisão realizada por Pasricha & Fox (1993). Segundo estes autores, a atmosfera é a maior fonte de S para as terras altas. Estimativas indicam que na liberação de S para a atmosfera, a contribuição do fitoplankton marinho é maior que a contribuição antropogênica, sendo que a concentração do S na água da chuva cai exponencialmente com o aumento da distância em relação a costa. Foram encontrados valores de 13 kg de S  $\times$  ha<sup>-1</sup>  $\times$  ano<sup>-1</sup> na Nova Zelândia, 1.14 kg de S  $\times$  ha<sup>-1</sup>  $\times$  ano<sup>-1</sup> na Nigéria e 15 kg de S  $\times$  ha<sup>-1</sup>  $\times$  ano<sup>-1</sup> no sudoeste dos E.U.A.

#### 4.1.6- PERDA DE N E S POR EROSÃO + LIXIVIAÇÃO, P POR EROSÃO E N POR VOLATILIZAÇÃO

O valor utilizado para N perdido anualmente por erosão + lixiviação, de 5% do N mineral, é empírico. Este valor, bastante baixo, foi baseado em dados da literatura e, no fato do sistema estudado ter uma erosão mínima e ter uma grande demanda de N, diminuindo as perdas.

Segundo Legg & Meisinger (1982), a perda de N por lixiviação em pastagens é muito pequena por não haver acumulação de NO<sub>3</sub> nestes sistemas. A perda por erosão pode ser significativa, em torno de 4 kg de N  $\times$  ha<sup>-1</sup>  $\times$  ano<sup>-1</sup>, sendo que a maior parte do N perdido está na forma orgânica.

Barracclough *et al.* (1992) estudando a lixiviação de N em 3 pastagens sob uma adubação de 100 kg  $\times$  ha<sup>-1</sup>  $\times$  ano<sup>-1</sup>, obteve valores de 0.8, 4.4 e 1.4 kg de N  $\times$  ha<sup>-1</sup>  $\times$  ano<sup>-1</sup>. Em outro estudo, Barracclough (1989) obteve para lixiviação anual o valor médio de 15 kg de N/ha, que variava muito em função das características de porosidade e permeabilidade do solo.

Segundo Seiffert (1982), em solos de pastagens tropicais, a proteção inadequada pode levar a severas perdas por erosão laminar. Sob condições de ausência de aração, foram observadas perdas de 30 - 50 kg de N  $\times$  ha<sup>-1</sup>  $\times$  ano<sup>-1</sup>.

Cadisch *et al.* (1990), obteve valores de 6 - 12 kg de N  $\times$  ha<sup>-1</sup>  $\times$  ano<sup>-1</sup> para lixiviação + denitrificação em pastagens de gramíneas no Brasil central.

O valor utilizado para N perdido anualmente por volatilização, de 3% do N mineralizado, foi extraído de Metherell *et al.* (1993), que utilizou este valor na parametrização do modelo Century em todos os sistemas por ele apresentados.

Segundo Bosatta *et al.* (1981), alguns modelos permitem que a denitrificação ocorra somente em condições de anaerobiose, ou seja, água do solo 80% ou mais que o valor de saturação.

Aulakh *et al.* (1992), destacou que as perdas por desnitrificação em pastagens são geralmente baixas, aproximadamente  $24 \text{ kg de N} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ .

Moisier *et al.* (1981) observou que a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  em uma pastagem nativa foi de  $2.3 \text{ g de N} \times \text{ha}^{-1} \times \text{ano}^{-1}$ , durante o verão.

Para Addiscott *et al.* (1981), a volatilização de  $\text{NH}_3$  ocorre a pouca profundidade no solo (0 - 5 cm), enquanto muito pouco volatiliza em grandes profundidades. Este autor também destaca que as perdas de  $\text{NH}_3$  pelo sistema pode não ocorrer se o  $\text{NH}_3$  for absorvido pela massa vegetal.

O valor utilizado para S erosão + lixiviação anual, de 5% do S mineral é empírico. Foi baseado no valor utilizado para o N, pois os mecanismos de perda são comuns para os dois elementos. Na literatura não foram encontradas outras estimativas que pudessem servir de comparação.

O valor utilizado para P perdido anualmente por erosão, de 0.0% do P lábil, foi baseado na estimativa de erosão do solo em estudo, que é mínima segundo Souza *et al.* (dados não publicados)

Segundo Mays *et al.* (1980), a perda de P que ocorre com o movimento de água tanto no escoamento superficial quanto por percolação, é pequena mas proporcional a perda de água pelo sistema.

#### 4.1.7- FRAÇÕES P E S PRIMÁRIOS E, P E S SECUNDÁRIOS

O valor utilizado para P primário, de  $0.0 \text{ g de P/m}^2$  foi baseado em Guerra (1993), que realizando um levantamento das frações de P em diversas classes de solo, encontrou valores nulos de P primário para a classe de solo por nós estudado.

O valor utilizado para P secundário, de 20 g de P/m<sup>2</sup> também foi baseado em Guerra (1993).

Estes valores estão de acordo com os obtidos por Tiessen *et al.* (1984), que estudando as diversas frações de P em 8 ordens de solo (classificação americana) observou que:

- \_ O P secundário constituiu aproximadamente 6% e 21% do P total nos Mollisols e Ultisols, respectivamente.

- \_ O P primário é muito reduzido nos Ultisols.

- \_ Nos Ultisols, a solubilização do P secundário é muito reduzida, sendo que a disponibilidade de P é, principalmente, controlada pela mineralização do P orgânico.

O valor utilizado para S primário, de 0.0 g de S/m<sup>2</sup> foi baseado no fato deste solo ser bastante intemperizado, não havendo mais a presença de minerais primários de S.

O valor utilizado para S secundário, de 20 g de S/m<sup>2</sup> é empírico. Como não foi encontrado na literatura nenhum valor que pudesse servir de base para esta avaliação, o S secundário foi assumido ser igual ao P secundário.

#### 4.1.8- PARTIÇÃO DO C ASSIMILADO ENTRE PARTE AÉREA E RAIZ

O valor utilizado, de 60% do C assimilado ser alocado na parte aérea é empírico, mas foi baseado em Klepper (1992). Segundo este autor, a característica geral de partição de matéria seca entre raízes e parte aérea em monocotiledôneas é um pesado investimento no sistema radicular durante o estabelecimento da semente e os primeiros estágios de crescimento, mudando para um pesado investimento na parte aérea, principalmente estruturas reprodutivas, nas fases finais de desenvolvimento da planta. Outro fator que afeta esta relação, segundo o mesmo autor, é a ocorrência de stress, que favorecem um aumento do sistema radicular em relação a parte aérea. Esta relação entretanto, se matêm entre 0.7 e 0.1.

Como no sistema por nós estudado, assumiu-se que a pastagem já estava estabelecida, foi usado o valor de 60% do C alocado na parte aérea.



Além de Klepper (1992), outros autores discutiram a relação parte aérea / raiz. Para Thornley (1972), a relação entre a parte aérea e a raiz pode exprimir-se através da seguinte relação:

$$\text{Massa Radicular} \times \text{Taxa de Absorção} = \text{Massa Foliar} \times \text{Taxa Fotossintética}$$

Segundo Lambers & Poorter (1992), uma diminuição da disponibilidade de nutrientes geralmente diminui a relação parte aérea / raiz, principalmente em espécies de crescimento rápido.

Li *et al.* (1994) observou que temperaturas muito altas ou muito baixas e o baixo potencial de água no solo são importantes stress que afetam a alocação de C em plantas.

## 4.2- RESULTADO DAS SIMULAÇÕES

### 4.2.1- VALORES INICIAIS INALTERADOS

\* CT (Carbono Total): Existe uma queda constante, mas não muito acentuada (Figura 10), mostrando que apesar do sistema não conseguir manter o nível da M.O do solo, este não difere muito do valor de equilíbrio.

\* "Pool" 5 ("Pool" Ativo): Ocorre uma queda muito acentuada nos primeiros 12 meses, seguido de um certo equilíbrio (Figura 10). Isto mostra a incapacidade do sistema em manter um nível elevado de biomassa microbiana no solo.

\* "Pool" 6 ("Pool" Lento): Ocorre um aumento nos 70 primeiros meses, que é devido a grande entrada de C oriundo dos "pools" 1, 3 e 5. Logo em seguida ocorre uma tendência de queda, devido a diminuição da entrada de C, causado pelo maior equilíbrio nos "pools" 1, 3 e 5 (Figura 10).

\* "Pool" 7 ("Pool" Passivo): Ocorre uma pequena queda (Figura 10), devido à grande estabilidade deste "pool", que é pouco afetado pela incapacidade do sistema em manter os atuais níveis de M.O. do solo.

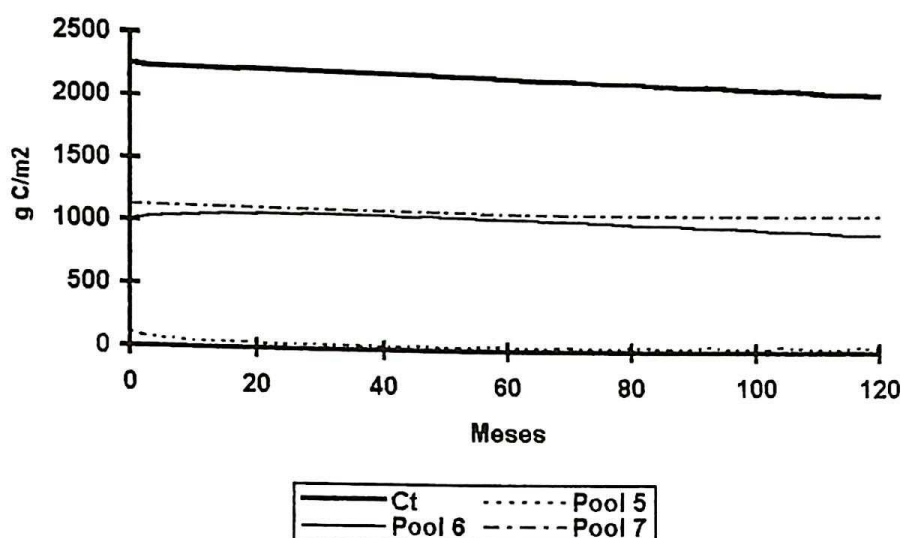


Figura 10: Resposta das variáveis Carbono total (CT), "Pool" 5, "Pool" 6 e "Pool" 7 nas simulações com os valores iniciais inalterados.

\* "Pool" 1 (Estrutural Superficial): Ocorre uma queda muito acentuada (Figura 11), indicando a incapacidade do sistema em manter o nível inicial deste "pool", principalmente devido à colheita da parte aérea.

\* "Pool" 2 (Metabólico Superficial) : Semelhante ao "pool" 1, ocorre uma acentuada tendência de queda. Ocorre também alguns picos, que coincidem com a época de maior entrada de C devido a senescência da parte aérea.

\* "Pool" 3 (Estrutural do Solo): Ocorre um aumento inicial, devido a grande senescência inicial da raiz, seguido de uma queda constante com tendência de estabilização em níveis de aproximadamente 50% do valor inicial (Figura 11).

\* "Pool" 4 (Metabólico do Solo): Semelhante ao "pool" 3, ocorre um aumento seguido de uma pequena queda, e semelhante ao "pool" 2 ocorrem picos (Figura 11). Os níveis de equilíbrio dos "pools" 3 e 4 são maiores que os dos "pools" 1 e 2 porque na raiz não ocorre perda de material devido à colheita.

\* MPA (Massa de P. Aérea): No início ocorre uma queda, logo atingindo um nível de estabilidade em aproximadamente 40% do valor inicial (Figura 12). Isto é devido à pouca produção vegetal causado pela pouca disponibilidade de N.

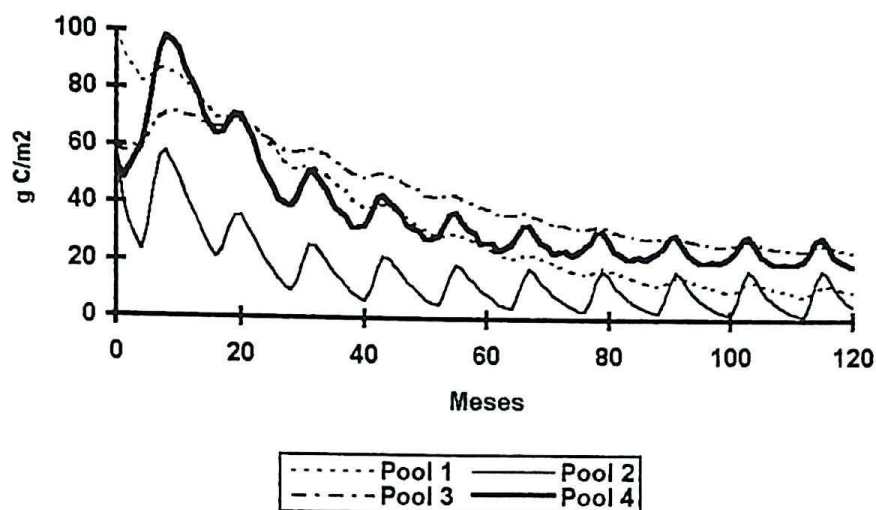


Figura 11: Resposta das variáveis "Pool" 1, "Pool" 2, "Pool" 3 e "Pool" 4 nas simulações com os valores iniciais inalterados.

\* MR (Massa de Raízes): Seu comportamento acompanha pontualmente o comportamento de MPA (Figura 12), sendo que seu nível é regulado pela variável C alocado na parte aérea (CAPA).

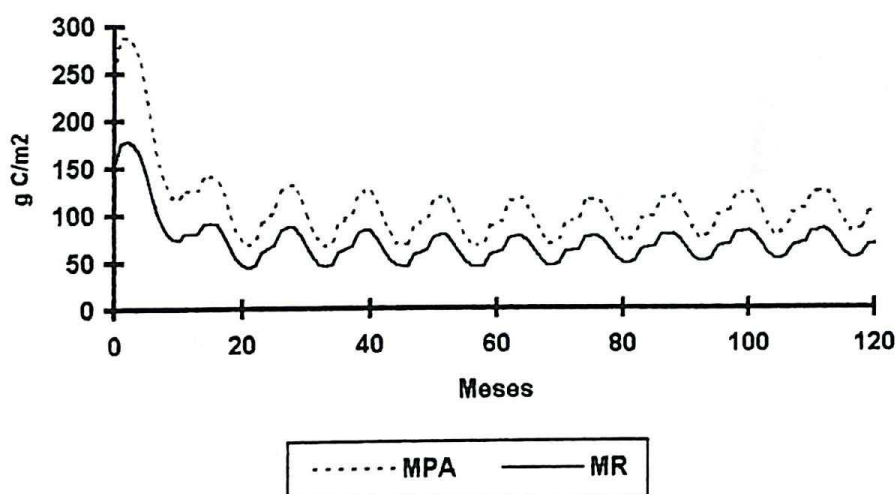


Figura 12: Resposta das variáveis Massa de parte aérea (MPA) e Massa de raízes (MR) nas simulações com os valores iniciais inalterados.



\* **Nmin (N mineral)**: Ocorre uma grande queda inicial, seguido de uma queda pequena e constante, ficando equilibrado próximo a 30% do valor inicial (Figura 13). Isto mostra que devido às grandes saídas de N do sistema, este é incapaz de manter seus níveis muito elevados. Ocorrem picos nos meses de adubação.

\* **Plab (P lábil)**: Inicialmente ocorre um grande aumento, seguido de um aumento pequeno e constante (Figura 13), mostrando que há um acúmulo de P no sistema, provavelmente devido à pouca demanda de P. Os picos que ocorrem nos meses de adubação são acentuados, mostrando a importância da adubação na manutenção dos níveis de Plab.

\* **Smin (S mineral)**: Ocorre um aumento constante (Figura 13), mostrando que há um acúmulo de S mineral no sistema, provavelmente devido à pouca demanda de S. Os picos que ocorrem nos meses de adubação são pouco pronunciados, mostrando a pouca influência desta adubação na manutenção dos níveis de Smin.

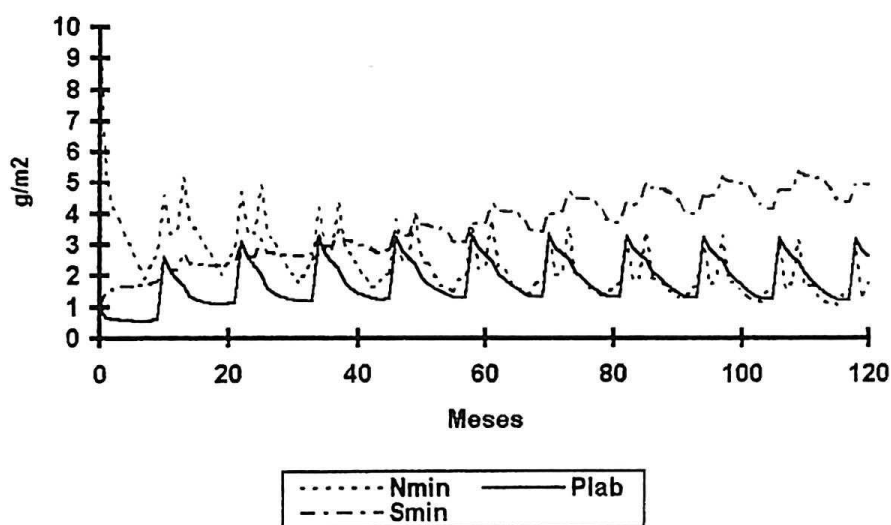


Figura 13: Resposta das variáveis Nmin, Plab e Smin nas simulações com os valores iniciais inalterados.

\* **ET (Efeito da Temperatura)**: A temperatura do sistema pouco limita a decomposição da M.O. do solo. Somente nos meses mais frios ocorre uma limitação razoável, em torno de 40% (Figura 14).

\* EP (Efeito da Precipitação): Os valores indicam que a precipitação pluviométrica do sistema praticamente não limita a decomposição da M.O. do solo. Apenas nos meses mais secos ocorre uma pequena limitação (Figura 14).

\* EC (Efeito do Clima): Praticamente é influenciado apenas pela temperatura do sistema (Figura 14).

\* RM (Razão de Mineralização): No início, a mineralização é reduzida a aproximadamente 30% de seu potencial, devido a grande quantidade de M.O. do solo acima de seu valor de equilíbrio. A tendência de aumento é devido a tendência de estabilização da M.O. do solo. Os picos acompanham os picos da RPV (Figura 15).

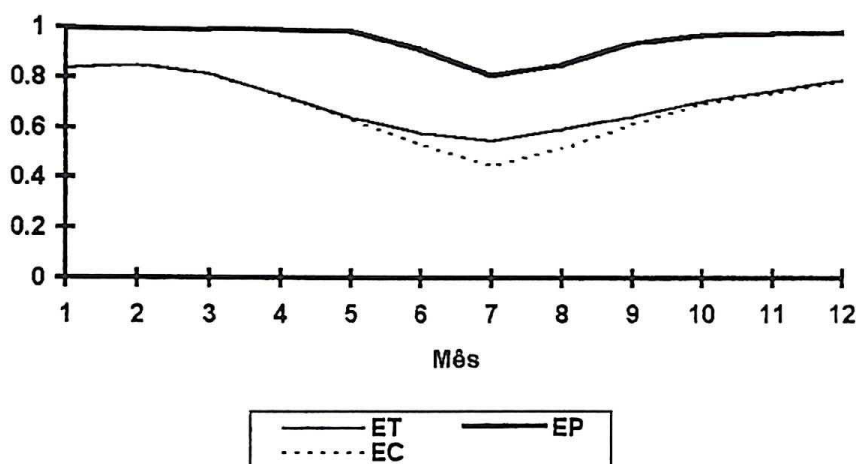


Figura 14: Resposta das variáveis Efeito da temperatura (ET), Efeito da precipitação (EP) e Efeito do clima (EC) nas simulações com os valores iniciais inalterados.

\* RPV (Razão de Produção Vegetal): No início também é bastante reduzido devido a grande competição por N com a mineralização da M.O. do solo. Com a diminuição desta competição, ocorre uma tendência de aumento. Os picos são devido ao pequeno potencial de crescimento vegetal nos meses mais frios (Figura 15). A queda que ocorre entre os meses de adubação com N, mostram a incapacidade desta adubação em manter os níveis de N ideais para a produção vegetal.

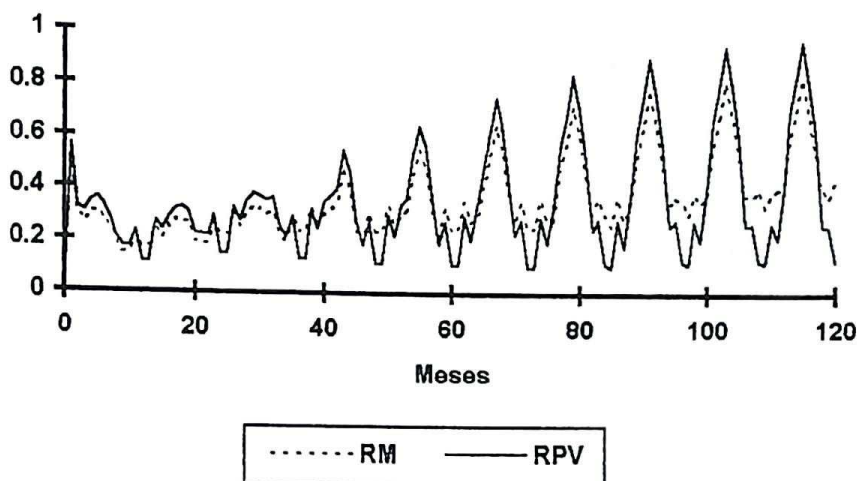


Figura 15: Resposta das variáveis Razão de mineralização (RM) e Razão de produção vegetal (RPV) nas simulações com os valores iniciais inalterados.

As demais 91 variáveis de saída estudadas apresentaram comportamento compatível com as respostas do sistema apresentados nas 18 variáveis estudadas até aqui. Entretanto, certas observações devem ser feitas sobre algumas destas variáveis:

- \_ A fração P secundário aumenta, constituindo mais um dreno de P, enquanto que a fração de S secundário diminui, constituindo mais uma fonte de S.
- \_ A relação C/N inicial do "pool" 6 é menor que a relação mínima, devendo portanto, ser aumentada.
- \_ A relação C/N inicial do "pool" 7 é maior que a relação máxima, devendo portanto, ser diminuída.
- \_ A relação C/N da planta aumenta, enquanto que as relações C/P e C/S diminuem, mostrando claramente que há uma limitação de N para o crescimento vegetal.



#### 4.2.2- ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Entre as diversas variáveis estudadas, as que mais influenciaram no sistema foram:

\* Fração do C assimilado alocado na parte aérea (CAPA): Influencia marcadamente os níveis de M.O. do solo (Figura 16) e dos "pools" de liteira do solo.

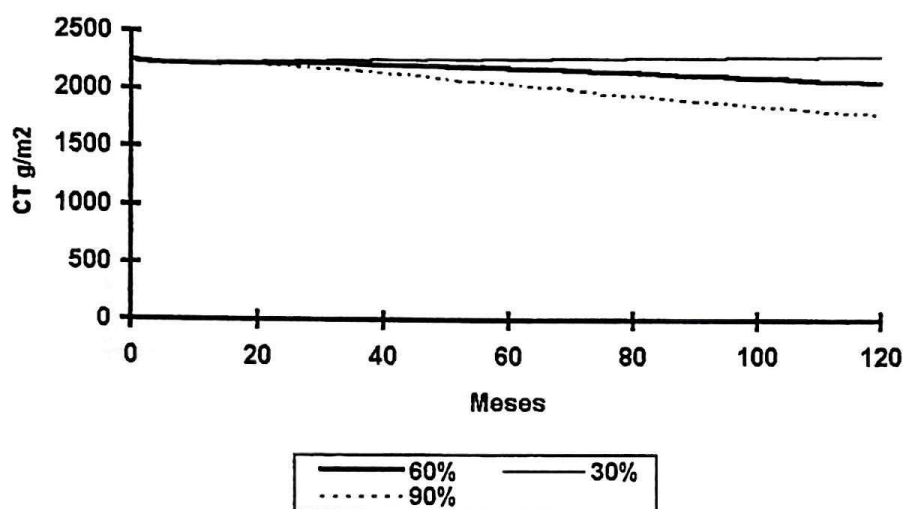


Figura 16: Resposta da variável Carbono total (CT) nas simulações variando-se os valores de Carbono alocado na parte aérea.

\* Fator de Senescência (FS): Influencia muito nos níveis dos "pools" de liteira e de M.O. do solo. Altera também os níveis e as amplitudes de variação da massa vegetal (Figura 17).

\* Fator de Colheita (RMS): Grande influência nos "pools" de liteira e da M.O. do solo. Influencia muito também nos níveis de nutrientes e na massa vegetal.

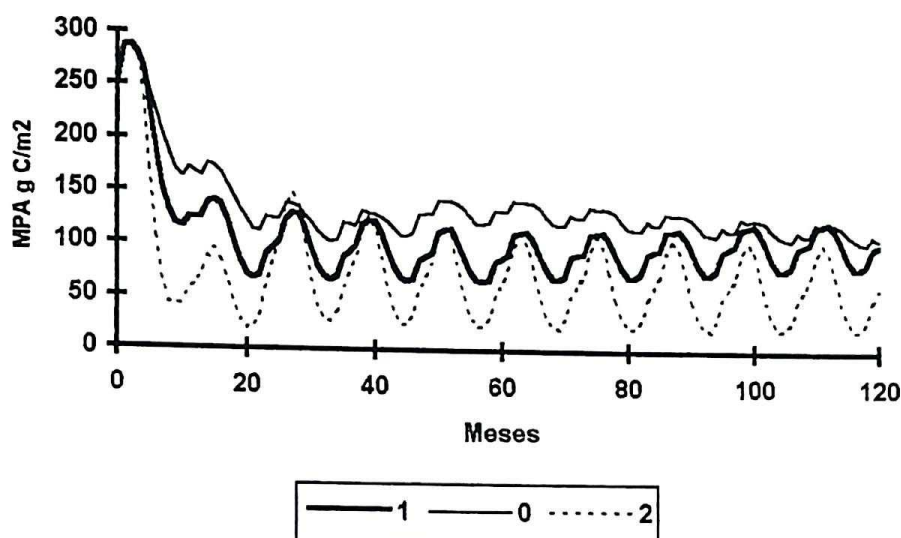


Figura 17: Resposta da variável Massa de parte aérea (MPA) nas simulações variando-se os valores de Fator de senescência.

As demais variáveis, além de pouco influenciarem no sistema, apresentaram o comportamento esperado, indicando não haver nenhuma incoerência no modelo, pelo menos para o sistema estudado.

Devido o N ser o nutriente limitante neste sistema, as variáveis ligadas a este nutriente influenciaram muito mais que as variáveis ligadas ao P e ao S.

#### 4.2.3- SIMULAÇÕES DIDÁTICAS

\* Diminuição das temperaturas máximas e mínimas em 10°C: Como era esperado, a diminuição da temperatura (clima mais frio) provocou uma drástica redução da decomposição da M.O., mantendo os níveis de carbono total (CT), ao longo dos 120 meses, próximo ao nível inicial.

\* Aumento do teor de argila de 20% para 60%: Isto provocou um aumento inicial, seguido de uma pequena queda, nos níveis de carbono total (CT) deste sistema (Figura 18). O efeito protetor da argila sobre a M.O. do solo foi bem reproduzido pelo modelo.

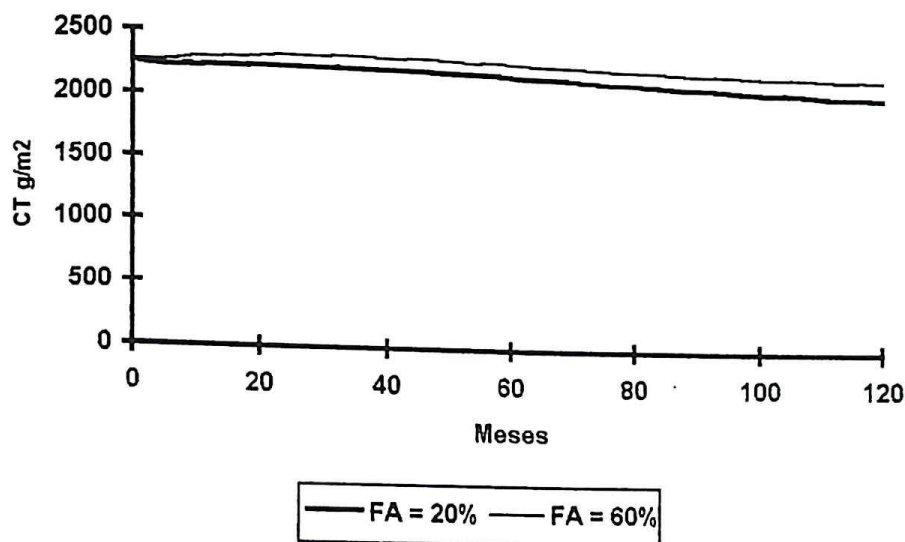


Figura 18: Resposta da variável Carbono total (CT) ao aumento da Fração argila (FA) do solo.

\* Adição de M.O. com baixas relações C/N, C/P e C/S: O nível de carbono total (CT) se manteve praticamente estável ao longo de 120 meses (Figura 19), ocorrendo o inverso do esperado efeito de maior redução dos níveis de M.O. causado pela adição de N (adição de M.O. com baixa relação C/N) em um sistema limitado por este nutriente.

Isto ocorreu devido:

- \_ A adição da própria M.O.
- \_ Além do N adicionado aumentar a decomposição da M.O. do solo, proporcionou também um aumento da produção vegetal, elevando a entrada de C no sistema.
- \_ O efeito de aumento da decomposição da M.O. é mais marcante a curto prazo (alguns meses), sendo superado a longo prazo pelos efeitos citados acima.



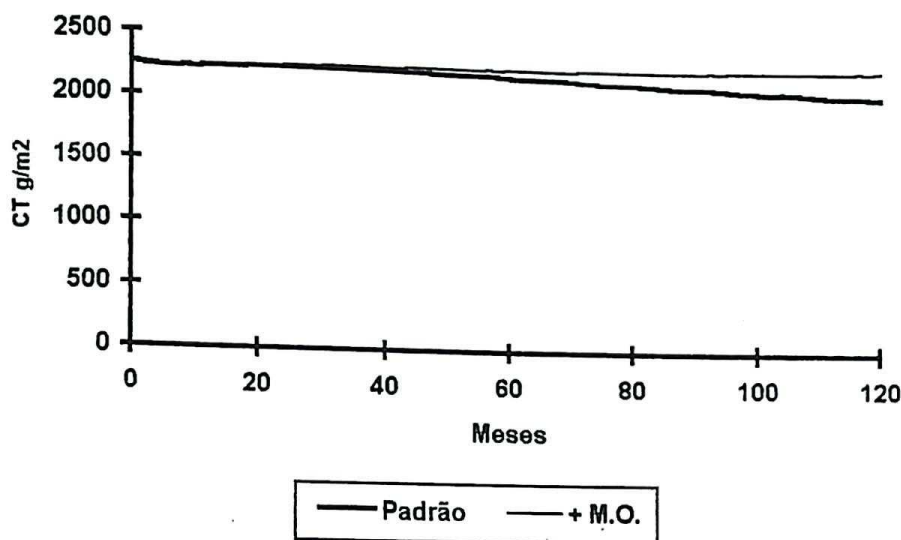


Figura 19: Resposta da variável Carbono total (CT) a adição de M.O.

#### 4.3- EFEITOS EXISTENTES NO MODELO

Neste módulo é discutido o porque de se usar um determinado algoritmo para cada efeito, e os algoritmos alternativos.

##### 4.3.1- PRODUÇÃO VEGETAL, SENESCÊNCIA VEGETAL E COLHEITA

O algoritmo de produção vegetal por nós utilizado, é simples quando comparado com os algoritmos de outros modelos. No nosso caso, o único fator que limita o desenvolvimento vegetal é a disponibilidade de nutrientes. Poderíamos incluir os efeitos de temperatura e umidade do solo, taxa de radiação solar, produção de sementes e etc. Mas como o objetivo do modelo é apenas didático, preferimos colocar todos estes efeitos em um valor absoluto de produção máxima vegetal para tais condições. Isto, apesar de diminuir a precisão do modelo, facilitou em muito a sua montagem e facilita em muito a sua compreensão e principalmente a sua parametrização (obtenção de dados de entrada).

O mesmo ocorre com os algoritmos de senescência vegetal e colheita. Apesar de simples, estes algoritmos possuem uma boa capacidade de se adaptarem a qualquer sistema de pastagens.

#### 4.3.2- RELAÇÃO PARTE AÉREA / RAIZ E O EFEITO DA RETIRADA DE PARTE AÉREA NAS RAÍZES

A partição do C entre parte aérea e raiz é variável em função de diversos fatores, como foi discutido no item 4.1.8. O algoritmo por nós criado, utiliza apenas um valor absoluto, sem levar em conta estes fatores. Entretanto, este algoritmo foi escolhido por que além de simples, é coerente, pois o desenvolvimento radicular é uma área da ciência em que ainda existem muitas dúvidas.

Segundo Klepper & Rickman (1990), existem duas limitações para o desenvolvimento de modelos precisos sobre o desenvolvimento radicular: 1- Metodologia cara e demorada para a medição de raízes em condições de campo. 2- Insuficiência de conhecimentos atuais sobre as propriedades das raízes e sobre as relações raízes-solo.

O algoritmo utilizado para a determinação do efeito da retirada da parte aérea sobre as raízes poderia incluir uma variável que determinasse a proporção de senescência de raiz em relação a perda de parte aérea, para dar mais versatilidade ao modelo. Apesar disto, e de ser um pouco empírico, este é um algoritmo coerente, pois este também é um assunto muito pouco conhecido pela ciência e cujos trabalhos realizados obtiveram resultados um pouco divergentes. Por exemplo: Ball-Coelho *et al.* (1992), estudando plantas soca de cana de açúcar, observaram que a senescência de raiz devido ao corte da parte aérea foi de apenas 17% do total da massa radicular. Segundo os autores, este valor é substancialmente mais baixo que os valores obtidos em outros trabalhos.

#### 4.3.3- PERDA DE NUTRIENTES

A intensidade de perda de um nutriente deve ser função da intensidade do agente causador da perda e da quantidade disponível deste nutriente. Sendo que a quantidade de

nutriente perdido deve ser sempre uma proporção da quantidade disponível e não um valor absoluto.

Usando este raciocínio, os algoritmos de perda de erosão + lixiviação de N e S, erosão de P e volatilização de N, foram montados com base em proporção de perda e não valores absolutos de perda. Estes algoritmos têm a vantagem de os valores de perda se ajustarem automaticamente quando ocorrem variações nos valores de nutrientes disponíveis. Entretanto, têm a desvantagem de dificultar a obtenção dos dados iniciais, pois os valores existentes na literatura e os métodos analíticos quase sempre nos dão valores absolutos de perda.

O algoritmo de perda de M.O. foi montado com base em valores absolutos. Além de facilitar a obtenção dos dados, este algoritmo justifica-se pela M.O. do solo ser um parâmetro cujo valor varia menos que os valores de nutrientes disponíveis, provocando erros muito menores.

#### 4.3.4- GANHO DE NUTRIENTES

Os algoritmos de entrada de nutrientes e M.O. via adubação representam bem a realidade, não tendo o que discutir.

Por outro lado, o algoritmo de entrada de N por deposição atmosférica + fixação biológica poderia ser ampliado para melhor representar a realidade. Isto porque a deposição atmosférica pode ser bem representada por um valor absoluto, mas a fixação biológica varia muito com os níveis de nutriente no solo, principalmente o N. Ao usar um valor absoluto, em certas situações podemos subestimar ou superestimar o valor real desta entrada.

#### 4.3.5- PREPARO DO SOLO

O algoritmo utilizado, além de representar bem a realidade, possui vários recursos de ajuste, permitindo que seja facilmente adaptado para qualquer condição de manejo.

O que poderia ser incluído, é o efeito do preparo do solo sobre a velocidade de decomposição dos "pool" de "litter" do solo. Entretanto, não encontramos dados sobre este efeito na literatura.



O efeito que é mais citado, é o do preparo do solo sobre a biomassa microbiana. Follett & Schimell (1989) observaram que o preparo do solo por 16 anos diminuiu em 64% a biomassa microbiana e em 50% o N total em um solo originalmente de pastagem nativa. Os dados sugerem que o preparo do solo diminuiu a disponibilidade de C para o crescimento microbiano.

Angers *et al.* (1993), estudando o efeito do preparo do solo em um *Aeric Aplaqueat* cultivado com milho por 11 anos, observou o decréscimo da biomassa microbiana de 3.5% a 5.1% da M.O. do solo para 1.2% a 1.4% da M.O. do solo. Não foi observado efeito na M.O. do solo.

Outro efeito citado é o do preparo do solo sobre a temperatura do solo. Cruse *et al.* (1980), apresentou um modelo para a previsão deste efeito, levando em conta características físicas e químicas do solo e características da vegetação.

#### 4.3.6- FRACIONAMENTO DOS NUTRIENTES DISPONÍVEIS

Esta também é uma área da ciência do solo onde ainda existem muitas dúvidas. Os resultados dos diversos trabalhos existentes não são muito concordantes.

Vallis *et al.* (1973) citado por Legg & Meisinger (1982), aplicando sulfato de amônio marcado em um Mollisol, observou que 36% acumulava na parte aérea de capim-rhodes, 28% na liteira + raízes (até 28 cm de profundidade) e 19% no solo (até 74 cm de profundidade). Foi recuperado um total de  $83 \pm 3\%$  após 8 semanas. Os outros 17% foi estimado como perda por volatilização.

Wolf *et al.* (1989), estudando o N oriundo da adição de M.O., fixou a imobilização em 70% e colocou as perdas entre 20% e 10%, dependendo das características do solo. Este mesmo autor particiona o N oriundo da adubação em  $20 \pm 5\%$  para imobilização, e a partição entre absorção e perdas sendo muito variável. A absorção pode ser 0.2 a 10 vezes o valor da perda, dependendo das condições locais e do método de aplicação de N. Esta mesma dinâmica é válida para a entrada de N via precipitação. A entrada de N via fixação biológica segue a dinâmica da M.O. do solo.

Kjellerup & Damkofoe (1983) citados por Mengel (1985), em experimentos com lisímetros por vários anos, observaram que do total de fertilizante nitrogenado aplicado, 60% era absorvido pelas plantas, 20% era incorporado ao solo e 5% era lixiviado. Os outros 15% provavelmente foram perdidos por volatilização.

O algoritmo por nós criado, como está descrito no item 3.2.10, foi baseado no fato de que a natureza sempre cria mecanismos para suprir suas demandas. Desta forma, terá maior capacidade de competição o dreno que exigir maior demanda. Por exemplo, segundo Van Veen *et al.* (1989), as raízes das plantas influenciam nas transformações do C do solo. Este efeito é atribuído a mudanças induzidas pela planta no "status" dos nutrientes.

Entretanto, uma falha nos detalhes deste algoritmo provoca um exesso de redução da mineralização da M.O. do solo e de redução da produção vegetal. Isto porque os nutrientes liberados pela mineralização da M.O. só entram no cálculo dos nutrientes disponíveis após o momento de sua partição entre os drenos. Assim, a quantidade de nutriente disponível para a mineralização da M.O. do solo e para a produção vegetal é sempre menor que o real. Isto afeta um pouco a precisão do modelo.

#### 4.4- EFEITOS QUE PODERIAM SER INCLUÍDOS

Neste módulo é discutido alguns dos efeitos que poderiam ou deveriam ser incluídos para melhorar o desempenho do modelo.

##### 4.4.1- MACROFAUNA DO SOLO

A macrofauna do solo é um importante agente que influencia significativamente nos processos de um sistema agrícola, como tem sido relatado na literatura.

Segundo Fragoso *et al.* (1993), estudos têm demonstrado que as minhocas dominam a biomassa da macrofauna do solo nos trópicos úmidos, e que seus coprólitos possuem mais nutrientes e M.O. que o solo não ingerido.

Persson (1989), estudando a mineralização de C e N, observou que a adição de animais do solo a microcosmos livres de animais, geralmente aumenta a respiração

heterotrófica. Segundo este autor, muitos estudos indicam que a adição de animais do solo aumenta a taxa de mineralização de N, sendo que este aumento é dependente da temperatura mas não dependente da umidade do solo. Assim, conclui-se que os animais do solo são importantes para manter a taxa de mineralização de N em condições de baixa umidade, quando a microflora é menos efetiva.

Segundo Brussard *et al.* (1993), recentes resultados obtidos no Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) indicam que os animais do solo, particularmente as minhocas, são importantes na circulação dos nutrientes do solo e na decomposição e mineralização de resíduos vegetais. A macrofauna do solo também pode diminuir a erosão e a lixiviação de nutrientes, quando a água penetra através dos macroporos formados por sua atividade, em vez de penetrar lentamente através dos microporos, carreando os nutrientes. Para estes mesmos autores, os atuais modelos de simulação dos ciclos de C e nutrientes devem ser adaptados para incluir o efeito da macrofauna do solo no transporte de água e nutrientes, e na decomposição e mineralização da M.O., para poderem ser utilizados nas condições dos trópicos úmidos.

#### 4.4.2- PRODUÇÃO DE FRUTOS E GRÃOS

A maioria dos produtos vegetais de maior importância econômica são frutos ou grãos. Assim, fica evidente a importância da inclusão deste efeito para que o nosso modelo possa ser mais largamente empregado.

A princípio, este efeito poderia ser regulado através de:

- \_ Um fator de produção máxima anual potencial de frutos (PMF), sem limitação por carência de nutrientes.
- \_ Um índice mensal de produção de frutos (IPF[mês]) que representa a fração da PMF que é obtida em um determinado mês.
- \_ Um índice mensal de colheita de fruto (ICF[mês]) que representa a fração dos frutos existentes no sistema que é colhida (sai do sistema) em um determinado mês.
- \_ Fatores que representem as relações C/N, C/P e C/S dos frutos.



— Um índice mensal dos nutrientes alocados para o fruto ( $INAF[mês]$ ). Este índice irá regular, para um determinado mês, qual a fração dos nutrientes disponíveis a planta, que será alocada para a produção de frutos ou grãos.

Deste modo, seria possível simular a produção de frutos, desde a fase de crescimento vegetativo, onde a fração dos nutrientes alocados para o fruto é nula, até a fase de enchimento de grãos, onde esta fração é quase o todo. A produção de frutos seria função da PMF e, da disponibilidade de nutrientes suficientes para produzir os frutos com as relações carbono/nutriente fixadas.

## 5- Conclusões

1- Os conhecimentos atuais sobre a dinâmica da M.O. do solo permitem a construção de modelos para simular esta dinâmica com razoável precisão.

2- O modelo por nós criado apresenta respostas coerentes, sendo apto para o objetivo para o qual ele foi desenvolvido.

3- Existem algumas alterações e ampliações que poderiam ser feitas no modelo para melhorar o seu desempenho.

## 6- Bibliografia Consultada

- ADDISCOTT, T.M. Simulation modelling and soil behaviour. *Geoderma*, Amsterdam, v.60, p.15-40. 1993.
- ADDISCOTT, T.M.; DAVIDSON, J.M.; HARMSSEN, K.; LEFFELAAR, P.A.; PARTON, W.J.; RAO, P.S.C.; RAYNER, J.H.; SMITH, K.A.; WAGENET, R.J. Migration processes in soil. In: FRISSEL, M.J.; VAN VEEN, J.A. Ed. **Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems**. Wageningen: Centre for agricultural publishing and documentation, 1981. p.33-37.
- ANDERSON, D.W. Processes of humus formation and transformation in soils of the canadian great plains. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.30, p.77-84, 1979.
- ANDERSON, D.W.; PAUL, E.A. Organo-mineral complexes and their study by radiocarbon dating. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.48, p.298-301, 1983.
- ANDERSON, D.W.; SAGGAR, S.; BETTANY, J.R.; STEWART, J.W.B. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter. I: The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen and sulfur. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.45, n.4, p.767-772, 1981.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Science*, Baltimore, v.130, n.4, p.211-216, 1980.



- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.21, p.471-479, 1989.
- ANGERS, D.A.; N'DAYEGAMIYE, A.; COTE, D. Tillage-induced differences in organic matter of particle-size fractions and microbial biomass. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.57, n.2, p.512-516, 1993.
- ANUÁRIO Estatístico do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: FIDERJ, 1991, 459p.
- AULAKH, M.S.; DORAN, J.W.; MOSIER, A.R. Soil denitification - significance, measurement and effects of management. *Advances in Soil Science*, New York, v.18, p.2-42, 1992.
- BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E.V.S.B.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Root dynamics in plant and ratoon crops of sugar cane. *Plant and Soil*, Hague, v.142, n.2, p.297-305, 1992.
- BARRACLOUGH, D. A usable mechanistic model of nitrate leaching. I: The model. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.40, p. 543-554. 1989.
- BARRACLOUGH, D.; JARVIS, S.C.; DAVIES, G.P.; WILLIAMS, J. The relation between fertilizer nitrogen applications and nitrate leaching from grazed grassland. *Soil Use and Management*, v.8, n.2. p.51-56, 1992.
- BARRACLOUGH, D.; SMITH, M.J. The estimation of mineralization, immobilization and nitrification in  $N^{15}$  field experiments using computer simulation. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.38, p.519-530. 1987.

- BENSON, V.W.; HARRIS, B.L.; RICHARDSON, C.W.; JONES, C.A.; WILLIAMS, J.R. Using expert system and process models to enhance U.S. agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, v.43, n.3, p.234-235, 1992.
- BERENDSE, F.; BERG, B.; BOSATTA, E. The effect of lignin and nitrogen on the decomposition of litter in nutrient-poor ecosystems: A theoretical approach. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, v.65, n.6, p.1116-1120, 1987.
- BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. Viçosa: U.F.V.- Imprensa Universitária, 1987. 488p.
- BODDEY, R.M.; VICTORIA, R.L. Estimation of biological nitrogen fixation associated with *Brachiaria* and *Paspalum* grasses using  $^{15}\text{N}$  labelled organic matter and fertilizer. *Plant and Soil*, Hague, v.90, p.265-292, 1986.
- BONDE, T.A.; CHRISTENSEN, B.T.; CERRI, C.C. Dynamic of soil organic matter as reflected by natural  $^{13}\text{C}$  abundance in particle size fractions of florested and cultivated oxisols. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.24, p.275-277, 1992.
- BORG, C.H.G.; JANSSON, P.E.; LINDEN, B. Simulated and measured nitrogen conditions in a manured and fertilized soil. *Plant and Soil*, Hague, v.121, n.2, p.251-267, 1990.
- BOSATTA, E.; AGREN, G.T. Dynamics of carbon and nitrogen in the organic matter of the soil: a generic theory. *American Naturalist*, Chicago, v.138, p.227-245, 1991a.
- BOSATTA, E.; AGREN, G.T. Theoretical analysis of carbon and nutrient interactions in soil under energy-limited conditions. *Soil Science Society of America Journal*. Madison. v.55, n.3, p.728-733, 1991b.

- BOSATTA, E.; ISKANDAR, I.K.; JUMA, N.G.; KRUH, G.; REUSS, J.O.; TANJIL, K.K.; VAN VEEN, J.A. Soil microbiology. In: FRISSEL, M.J.; VAN VEEN, J.A. Ed. **Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems**. Wageningen: Centre for agricultural publishing and documentation, 1981, p.38-44.
- BROADBENT, F.E. Empirical modeling of soil nitrogen mineralization. *Soil Science*, Baltimore, v.141, n.3, p.208-213, 1986.
- BRUSSAARD, L.; HAUSER, S.; TIAN, G. Soil faunal activity in relation to the sustainability of agricultural systems in the humid tropics. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Leuven: A Wiley - Sayce co-publications, 1993.
- BURKE, I.C.; YONKER, C.M.; PARTON, W.J.; COLE, C.V.; FLACH, K.; SCHIMEL, D.S. Texture, climate and cultivation effects on soil organic matter content in U.S. grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.53, n.3, p.800-805, 1989.
- CABRERA, M.L. Modeling the flush of nitrogen mineralization caused by drying and rewetting soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.57, n.1, p.63-66, 1993.
- CADISH, G.; SCHUNKE, R.M.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; GILLER, K. Microbial processes in N cycling in the cerrados of Brazil. Paper presented at the workshop: **Managing legume based pastures in the tropics towards a mechanistic understanding**. Cali: CIAT, 1990.
- CAMARA, A.S.; MANO, A.P.; GRAÇA MARTINHO, M.; PAULA MARQUES, M.; NUNES, J.F.; LOPES, T.C.; CABELEIRA, A. An economic-ecological model for regional land-use planning. *Ecological Modelling*, Amsterdam, v.31, p.293-302, 1986.



- CARDON, G.E.; LETEY, J. Soil-based irrigation and salinity management model: I Plant water uptake calculations. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.56, n.6, p.1881-1887, 1992.
- CARTER, M.R.; PARTON, W.J.; ROWLAND, I.C.; SCHULTZ, J.E.; STEED, G.R. Simulation of soil organic carbon and nitrogen changes in cereal and pasture systems of southern Australia. *Australian Journal of Soil Research*, Victoria, v.31, n.4, p.481-491, 1993
- CASTELLANO, S.D.; DICK, R.P. Modelling sulfur transformations in soils. *Soil Science*, Baltimore, v.152, n.6, p.448-454, 1991.
- CLAY, D.E.; CLAPP, C.E.; MOLINA, J.A.E.; LINDEN, D.R. Nitrogen-tillage-residue management. I Simulating soil and plant behavior by the model NCSWAP. *Plant and Soil*, Hague, v.84, n.1, p.67-77, 1985.
- CRUSE, R.M.; LINDEN, D.R.; RADKE, J.K.; LARSON, W.E.; LARNTZ, K. A model to predict tillage effects on soil temperature. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, n.2, p.378-383, 1980.
- DEANS, J.R.; MOLINA, J.A.E.; CLAPP, C.E. Models for predicting potentially mineralizable nitrogen and decomposition rate constants. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.50, n.2, p.323-326, 1986.
- DIAS, L.E. Dinâmica de formas de enxofre e de cátions trocáveis em colunas de solo tratados com diferentes doses de fósforo e de gesso. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 147p. 1992. (tese de doutorado).

- DOUGLAS, C.L.; RICKMAN, R.W. Estimating crop residue decomposition from air temperature, initial nitrogen content and residue placement. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.56, n.1, p.272-278, 1992.
- ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Comparison of kinetic models for describing net sulfur and nitrogen mineralization. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.52, n.6, p.1692-1702, 1988.
- ELLIOTT, J.A.; JONG, E. Quantifying denitrification on a field scale in hummocky terrain. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.72, n.1, p.21-29, 1992.
- ELLIOTT, J.A.; JONG, E. Prediction of field denitrification rates: a boundary-line approach. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.57, n.1, p.82-87, 1993.
- FOHSE, D.; CLAASSEN, N; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plant: Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant and Soil*, Hague, v.132, n.2, p.261-272, 1991.
- FOLLETT, R.F.; SCHIMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.53, n.4, p.1091-1096, 1989.
- FRAGOSO, C.; BAROIS, I.; GONZALEZ, C.; ARTEAGA, C.; PATRON, J.C.  
Relationships between earthworms and soil organic matter levels in natural and managed ecosystems in the Mexican tropics. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*. Leuven: A Wiley - Sayce co-publications, 1993.
- FRISSEL, M.L.; VAN VEEN, J.A. A review of models for investigating the behaviour of nitrogen in soil. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, v.B296, p.341-349. 1982.

- GOMIDE, J.A.; COSTA, G.G.; SILVA, M.A.M.M.; ZAGO, C.P. Adubação nitrogenada e consorciação do capim colonião e capim jaraguá com leguminosas 1. Produtividade e teor de nitrogênio das gramíneas e das misturas. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.13, n.1, p.10-22, 1984.
- GOYAL, S.; MISHRA, M.M.; HOODA, I.S.; SING, R. Organic matter-microbial biomass relationships in field experiments under tropical conditions effects of inorganic fertilization and organic amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.24, n.11, p.1081-1084, 1992.
- GRANT, R.F.; JUMA, N.G.; MCGILL, W.B. Simulation of carbon and nitrogen transformation in soil: mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.25, n.10, p. 1317-1329, 1993.
- GREENLAND, D.J.; WILD, A.; ADAMS, D. Organic matter dynamics in soil of the tropics from myth to complex reality. In: *Myths and science of soils of the tropics*. Madison: SSSA Special publication nº 29, 1992.
- GREENWOOD, D.J. Modelling of crop response to nitrogen fertilizer. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, v.B296, p.351-362, 1982.
- GREENWOOD, D.J.; NEETESON, J.J.; DRAYCOTT, A. Quantitative relationships for the dependence of growth rate of arable crops on their nitrogen content, dry weight and aerial environment. *Plant and Soil*, Hague, v.91, p.281-301, 1986.
- GUERRA, J.G.M. Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* STAPF, conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural. Itaguaí: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 243p. 1993. (Tese de doutorado).



- HADAS, A.; MOLINA, J.A.E.; FEIGENBAUM, S.; CLAPP C.E. Factors affecting nitrogen immobilization in soil as estimated by simulation models. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.56, n.5, p.1481-1486, 1992.
- HAGEMANN, O. Current status and trends of computer-aided soils and crop management in plant production in the German Democratic Republic. *Acta Horticulturae*, Hague, v.260, 1989.
- HAITH, D.A.; TUBBS, L.J.; PICKERING, N.B. Simulation of pollution by soil erosion and soil nutrient loss. Netherlands: Pudoc Wageningen, 1984. 77p.
- HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*, New York, v.49, p.119-199, 1993.
- HENDRIX, P.F.; COLEMAN, D.C.; CROSSLEY Jr., D.A. Using knowledge of soil nutrient cycling processes to design sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, New York, v.2, n.4, p.63-82, 1992.
- HOFFLAND, E.; BLOEMHOF, H.S.; LEFFELAAR, P.A.; FINDENEGG, G.R.; NELEMANS, J.A. Simulation of nutrient uptake by a growing root system considering increasing root density and inter-root competition. *Plant and Soil*, Hague, v.124, n.2, p.149-155, 1990.
- HOOGENBOOM, G.; WHITE, J.W.; JONES, J.W.; BOOTE, K.J. BEANGRO: a process-oriented dry bean model with a versatile user interface. *Agronomy Journal*, Madison, v.86, n.1, p.182-190, 1994.
- HOUOT, S.; MOLINA, J.A.E.; CHAUSSOD, R.; CLAPP, C.E. Simulation by NCSOIL of net mineralization in soils from the Deherain and 36 parcelles fields at Grignon. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.53, n.2, p.451-455, 1989.

- INGHAM, E.R.; TROFYMOW, J.A.; AMES, R.N.; HUNT, H.W.; MORLEY, C.R.; MOORE, J.C.; COLEMAN, D.C. Trophic interactions and nitrogen cycling in a semi-arid grassland soil. *Journal of Applied Ecology*, Oxford, v.23, p.597-614, 1986.
- IZAURREALDE, R.C.; KISSEL, D.E.; CABRERA, M.L. Simulation model of banded ammonia in soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.54, n.3, p.917-922, 1990.
- JANSSEN, B.H. A simple method for calculating decomposition and accumulation of "young" soil organic matter. *Plant and Soil*, Hague, v.76, p.297-304, 1984.
- JENKINSON, D.S.; PARRY, L.C. The nitrogen cycle in the Broadbalk wheat experiment: a model for the turnover of nitrogen through the soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.21, n.4, p.535-541, 1989.
- JOHNSON, I.R.; THORNELEY, J.H.M. A model of shoot : root partition with optimal growth. *Annals of Botany*, London, v.60, p.133-142, 1987.
- JONES, C.A.; COLE, C.V.; SHARPLEY, N.A.; WILLIAMS, J.R. A simplified soil plant phosphorus model: I Documentation. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.48, n.4, p.800-805. 1984.
- JONES, K.G.C. Nitrogen fixation as a control in the nitrogen cycle. *J. Theor. Biol.*, v.112, p.315-332, 1985.
- KLEPPER, B. Development and growth of crop root systems. *Advances in Soil Science*, New York, v.19, p.1-27, 1992.

- KLEPPER, B.; RICKMAN, R.W. Modeling root growth and function. *Advances in Agronomy*, New York, v.44, p.113-131, 1990.
- KOVAR, J.L.; BARBER, S.A. Reasons for differences among soils in placement of phosphorus for maximum predicted uptake. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.53, n.6, p.1733-1736, 1989.
- LAFOLIE, F.; BRUCKLER, L.; TARDIEU, F. Modeling root water potential and soil-root water transport: I model presentation. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.55, n.5, p. 1203-1212, 1991.
- LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *Advances in Ecological Research*, v.23, p.188-261, 1992.
- LEFFELAAR, P.A.; WESSEL, W.W. Denitrification in a homogeneous, closed system: experiment and simulation. *Soil Science*, Baltimore, v.146, n.5, p.335-349, 1988.
- LEGG, J.O.; MEISINGER, J.J. Soil nitrogen budgets. In: STEVENSON, F.J. *Nitrogen in agricultural soils*. Madison: A.S.A., C.S.S.A, S.S.S.A.1982.
- LI, X.; FENG, Y.; BOERSMA, L. Partition of photosynthates between shoot and root in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) as a function of soil water potential and root temperature. *Plant and Soil*, Hague, v.164, p.43-50, 1994.
- LINS, I.D.G.; COX, F.R.; SOUZA, D.M.G. Teste de um modelo matemático para otimizar a adubação fosfatada na cultura da soja em solos sob cerrado com diferentes teores e tipos de argila. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.13, n.1, p.65-73, 1989.



- MALLO, B.A.; PURVIS, E.R. Soil absorption of atmospheric ammonia. *Soil Science*, Baltimore, v.97, n.4, p.242-247, 1964.
- MAYS, D.A.; WILKINSON, S.R.; COLE, C.V. Phosphorus nutrition of forages. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. *The role of the phosphorus in agriculture*. Madison: A.S.A., C.S.S.A., S.S.S.A., 1980.
- MELILLO, J.M.; ABER, J.D.; LINKINS, A.E.; RICCA, A.; FRY, B.; NADELHOFFER, K.J. Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum: plant litter to soil organic matter. *Plant and Soil*, Hague, v.115, n.2, p. 189-198, 1989.
- MENGEL, K. Dynamic and availability of major nutrients in soils. *Advances in Soil Science*, New York, v.2, p.65-115, 1985.
- METHERELL, A.R.; HARDING, L.A.; COLE, C.V.; PARTON, W.P. *Soil organic matter model environment*, technical documentation, agroecosystem version 4.0. Colorado: USDA-ARS, 1993. n.p. (GPSR technical report, 4).
- MOLINA, J.A.E.; CLAPP, C.E.; SHAFFER, M.J.; CHICHESTER, F.W.; LARSON, W.E. NCSOIL, a model of nitrogen and carbon transformations in soil: description, calibration and behavior. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.47, n.1, p.85-91, 1983.
- MOORHEAD, D.L.; REYNOLDS, J.E. A general model of litter decomposition in the northern Chichuahuan desert. *Ecological Modelling*, Amsterdam, v.56, p.197-219, 1991.
- MOSIER, A.R.; STILLWELL, M.; PARTON, W.J.; WOODMANSEE, R.G. Nitrous oxide emissions from a native shortgrass prairie. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.45, n.3, p.617-619, 1981.

- MOTAVALLI, P.P.; PALM, C.A.; PARTON, W.J.; ELLIOTT, E.T.; FREY, S.D.  
Comparison of laboratory and modeling simulation methods for estimating soil carbon pools in tropical forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.26, n.8, p.935-944, 1994.
- MURWIRA, H.K.; KIRCHMANN, H.; SWIFT, M. The effect of moisture on the decomposition rate of cattle manure. *Plant and Soil*, Hague, v.122, n.2, p.197-199, 1990.
- NADELHOFFER, J. Fine roots, net primary production and soil nitrogen availability: a new hipotesis. *Ecology*, Durham, v.66, n.4, p.1377-1390, 1985.
- NICOLARDOT, B.; MOLINA, J.A.E.; ALLARD, M.R. C and N fluxes between pools of soil organic matter: model calibration with long term incubation data. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.26, n.2, p.235-243, 1994.
- NIELSEN, K.L.; LYNCH, J.P.; JABLOKOW, A.G.; CURTIS, P.S. Carbon cost of root systems: an architectural approach. *Plant and Soil*, Hague, v.165, p.161-169, 1994.
- ODUM, E.P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988. 433p.
- O'NEILL, R.V.; De ANGELIS, D.L.; PASTOR, J.J.; JACKSON, B.J.; POST, W.M.  
Multiple nutrient limitations in ecological models. *Ecological Modelling*, Amsterdam, v.46, p.147-163, 1989.
- OSMOND, D.L.; LATHWELL, D.J.; RIHA, S.J. Prediction of long-term fertilizer nitrogen requirements of maize in the tropics using a nitrogen balance model. *Plant and Soil*, Hague, v.143, p.61-70, 1992.

- OVERMAN, A.R.; DAGAN, A.; MARTIN F.G.; WILKINSON, S.R. A nitrogen - phosphorus - potassium model for forage yield of Bermudagrass. *Agronomy Journal*, Madison, v.83, n.1, p.254-258, 1991.
- OVERMAN, A.R.; NEFF, C.R.; WILKINSON, S.R.; MARTIN, F.G. Water, harvest interval, and applied nitrogen effects on forage yield of Bermudagrass and Bahiagrass. *Agronomy Journal*, Madison, v.82, n.5, p.1011-1016, 1990.
- PARTON, W.J. Predicting soil temperatures in a shortgrass steppe. *Soil Science*, Baltimore, v.138, p.93-101, 1984.
- PARTON, W.J.; ANDERSON, D.W.; COLE, C.V.; STEWART, W.B. Simulation of organic matter formations and mineralization in semiarid agroecosystems. In: LOWRANCE, R.; TODD, R.L.; ASMUSSEN, L.E.; LEONARD, R.A. (eds) *Nutrient cycling in agricultural ecosystems*. Athens: The University of Georgia, College of Agriculture Experiment Stations, Special Publications n° 23, 1983.
- PARTON, W.J.; SCHIMMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.51, p.1173-1179, 1987.
- PARTON, W.J.; STANFORD, R.L.; SANCHEZ, P.A.; STEWART, W.B. Modeling soil organic matter dynamics in tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Hawaii: NIFTAL, 1989. p.153-171.
- PARTON, W.J.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: a model. *Biogeochemistry*, v.5, p.109-131, 1988.



- PASRICHA, N.S.; FOX, R.L. Plant nutrient sulfur in the tropics and subtropics. *Advances in Agronomy*, New York, v.50, n.209-269, 1993.
- PAUSTIAN, K.; ANDREN, O.; CLARHOLM, M.; HANSSON, A.C.; JOHANSSON, G.; LAGERLOF, J.; LINDBERG, T.; PETTERSSON, R.; SOHLENIUS, B. Carbon and nitrogen budgets of four agro-ecosystems with annual and perenial crops, with and without N fertilization. *Journal of Applied Ecology*, Oxford, v.27, p.60-84, 1990.
- PAUSTIAN, K.; PARTON, W.J.; PERSON, J. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long term plots. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.56, n.2, p.476-488, 1992.
- PERSSON, T. Role of soil animals in C and N meneralisation. *Plant and Soil*, Hague, v.115, n.2, p.241-245, 1989.
- PHILIP, J.R. Soil, natural science and models. *Soil Science*, Baltimore, v.151, n.1, p.91-98, 1991.
- PLICHTA, W.; GURTOWISK, M. A general analytical model of the process of humus mineralization and accumulation in soil. *Ecological Modelling*, Amsterdam, v.44, p.209-217, 1989.
- PUPO, N.I.H. *Manual de pastagens e forrageiras*. São Paulo: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1979. 343p.
- RAMOS, D.P.; CASTRO, A.F.; CAMARGO, N.M. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia*, Brasília, v.8, p.1-27, 1973.

- RASMUSSEN, P.E.; COLLINS, H.P. Long-term impacts of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Advances in Agronomy*, New York, v.45, p.93-134, 1991.
- ROBINSON, D.; GRIFFITHS, B.; RITZ, K.; WHEATLEY, R. Root-induced nitrogen mineralization: a theoretical analysis. *Plant and Soil*, Hague, v.117, n.2, p.185-193, 1989.
- ROSS, D.; NASH, T.; HARBOR, J. Teaching land management with a microcomputer based model. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, v.47, n.3, p.226-230, 1992.
- SAGGAR, S.; MACKAY, A.D.; HEDLEY, M.J.; LAMBERT, M.G.; CLARK, D.A. A nutrient-transfer model to explain the fate of phosphorus and sulphur in a grazed hill-country. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.30, p.295-315, 1990.
- SALLIH, Z.; PANSU, M. Modelling of soil carbon forms after organic amendment under controlled conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.25, n.12, p.1755-1762, 1993.
- SANCHEZ, P.A.; PALM, C.A.; SZOTT, L.T.; CUEVAS, E.; LAL, R. Organic input management in tropical agroecosystems. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Hawaii: NIFTAL, 1989.
- SCHLESINGER, W.H. Carbon balance in terrestrial detritus. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, v.8, p.51-81, 1977.

- SCHOENAU, J.J.; BETANY, J.R. Organic matter leaching as a component of carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur cycles in a forest, grassland and gleyed soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.51, n.3, p.646-651, 1987.
- SEIFFERT, N.F. *Leguminosas para pastagens no Brasil central*. Brasília: EMBRAPA-DID, 1982. 131p.
- SELIGMAN, N.G.; VAN KEULEN, H. Herbage production of a mediterranean grassland in relation to soil depth, rainfall and nitrogen nutrition: a simulation study. *Ecological Modelling*, Amsterdam, v.47, p.303-311. 1989.
- SHARPLEY, A.N.; MEISINGER, J.J.; POWER, J.F.; SUAREZ, D.L. Root extraction of nutrients associated with long-term soil management. *Advances in Soil Science*, New York, v.19, p.151-217, 1992.
- SHNEK, M.; SHAVIV, A.; RAVINA, I. The effect of soil sorption kinetics on parameters used for modeling P uptake. *Soil Science*, Baltimore, v.151, n.5, p.333-341, 1991.
- SINCLAIR, T.R. Water and nitrogen limitations in soybean grain production. I: Model development. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.15, p.125-141, 1986.
- SORENSEN, L.H. Carbon-nitrogen relationships during the humification of cellulose in soils containing different amounts of clay. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.13, p.313-321, 1981.
- STANFORD, G.; SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potential of soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.36, n.3, p.465-472, 1972.
- STRASKRABA, M. Ecotechnology as a new means for environmental management. *Ecological Engineering*, Amsterdam, v.2, p.311-331, 1993.



- TANJL, K.K.; GUPTA, S.K. Computer simulation modeling for nitrogen in irrigated croplands In: NIELSEN, D.R.; MacDONALD, J.G. (eds) *Nitrogen in the environment*. Davis: Academic Press, 1979, v.1, p.79-162.
- TATE, K.R. The biological transformation of P in soil. *Plant and Soil*, Hague, v.76, p.245-256, 1984.
- TERCAFS, R. A computer system to assist optimalization of land management. *Ecological Modelling*, Amsterdam, v.31, p.355-363, 1986.
- THORNLEY, J.H.M. A balanced quantitative model for root : shoot ratios in vegetative plants. *Annals of Botany*, London, v.36, p.431-441, 1972.
- THORNLEY, J.H.M. A transport-resistance model of forest growth and partitioning. *Annals of Botany*, London, v.68, p.211-226, 1991.
- THORNLEY, J.H.M.; VERBERNE, E.L.J. A model of nitrogen flows in grassland. *Plant. Cell. and Environment*, v.12, p.863-886, 1989.
- TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter. II: Cultivation effects on organic matter composition in size fractions. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.47, n.3, p.509-514, 1983.
- TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; HUNT, H.W. Concepts of soil organic matter transformations in relatio to organo-mineral particle size fractions. *Plant and Soil*, Hague, v.76, p.287-295, 1984.

TUBELIS, A. *Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo: Nobel, 1980. 374p.

ULANOWICZ, R.E. Contributory values of ecosystem resources. In: COSTANZA, R. (ed) *Ecological Economics: The science and management of sustainability*. New York: Columbia University Press, 1991, p.253-262.

VAN VEEN, J.A.; LADD, J.N.; AMATO, M. Turnover of carbon and nitrogen through the microbial biomass in a sandy loam and a clay soil incubated with [ $^{14}\text{C}$ (U)] glucose and [ $^{15}\text{N}$ ]( $\text{NH}_4$ ) $_2\text{SO}_4$  under different moisture regimes. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.17, n.6, p.747-756, 1985.

VAN VEEN, J.A.; LADD, J.N.; FRISSEL, M.J. Modelling C and N turnover through the microbial biomass in soil. *Plant and Soil*, Hague, v.76, p.257-274, 1984.

VAN VEEN, J.A.; MERCKX, R.; VAN DE GELIJN. Plant and soil related controls of the flow of carbon from roots through the soil microbial biomass. *Plant and Soil*, Hague, v.115, n.2, p.179-188, 1989.

VAN VEEN, J.A.; PAUL, E.A. Organic carbon dynamics in grassland soils. I: Background information and computer simulation. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.61, p.185-201, 1981.

VELOSO, R.F.; MacGREGOR, M.J.; DENT, J.B.; THORNTON, P.K. Técnicas de modelagem de sistemas aplicadas em planejamento agrícola dos cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.29, n.12, p.1877-1887, dez. 1994.

VIRGIL, M.E.; KISSEL, D.E. Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.55, n.3, p.757-761, 1991.

- VORONEY, R.P.; VAR VEEN, J.A.; PAUL, E.A. Organic C dynamics in grassland soils. 2 - Model validation and simulation of the long-term effects of cultivation and rainfall erosion. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.61, p.211-224, 1981.
- WHISLER, F.D.; ACOCK, B.; BAKER, D.N.; FYE, R.E.; HODGES, H.F.; LAMBERT, J.R.; LEMMON, H.E.; MCKINION, J.M.; REDDY, U.R. Crop simulation models in agronomic systems. *Advances in Agronomy*, New York, v.40, p.141-208, 1986.
- WHITMORE, A.P. Nutrient supply, microbial processes and modelling. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*. Leuven: A Wiley - Sayce co-publications, 1993.
- WILLENGEN, P. Nitrogen turnover in the soil-crop system; comparison of fourteen simulations models. *Fertilizer Research*, Hauge, v.27, p.141-149, 1991.
- WOLF, J.; WIT, C.T.; JANSSEN, B.H.; LATHWEEL, D.J. Modeling long-term crop response to fertilizer phosphorus. I: The model. *Agronomy Journal*, Madison, v.79, n.3, p.445-451, 1987.
- WOLF, J.; WIT, C.T.; VAN KEULEN, H. Modeling long-term crop response to fertilizer and soil nitrogen. I: Model description and application. *Plant and Soil*. Hague. v.120, p.11-22, 1989.
- WOOMER, P.L. Modelling soil organic matter dynamics in tropical ecosystems: Model adoption, uses and limitations. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*. Leuven: A Wiley - Sayce co-publications, 1993.



WULLSCHLEGER, S.D.; LYNCH, J.P.; BERNTSON, G.M. Modelling the belowground response of plants and soil biota to edaphic and climatic change - What can we expect to gain? *Plant and Soil*, Hague, v.165, p149-160, 1994.

## 7- Apêndices

### 7.1- Anexo 1: Lista de variáveis locais

AMO: M.O. adicionada ao solo, em g de  $C/m^2 \times$  ano.

CAPA: % do C assimilado que é alocado na parte aérea.

CDF5: Fração ativa da M.O. do solo em %.

CDF6: Fração lenta da M.O. do solo em %.

CDF7: Fração passiva da M.O. do solo em %.

CNAMO: Relação C/N da M.O. adicionada.

CPAMO: Relação C/P da M.O. adicionada.

CSAMO: Relação C/S da M.O. adicionada.

CT: Carbono total do solo em g de  $C/m^2$ .

D[mês]: Comprimento médio do dia em horas (mensal).

FA: Fração argila do solo em %.

FLTS: Fração da liteira transferida pelo preparo do solo.

FS: Fator de senescência.

FSi: Fração silte do solo em %.

IAMO[mês]: Índice de adição de M.O.

IC[mês]: Índice de crescimento vegetal.

ICPA[mês]: Índice de colheita da parte aérea.

IDN[mês]: Índice de distribuição de N.

IDP[mês]: Índice de distribuição de P.

IDS[mês]: Índice de distribuição de S.

IPS[mês]: Índice de preparo do solo.

IS[mês]: Índice de senescência.

LAMO: % de lignina da M.O. adicionada.

MOE: M.O. do solo perdida por erosão em g de  $C/m^2$ .

MPA: Massa de parte aérea em g de  $C/m^2$ .

MR: Massa de raízes em g de  $C/m^2$ .

NAD: Adubação anual com N em g de  $N/m^2$ .

NEL: Erosão + lixiviação anual de N, em % do N mineral.

NFA: N fixação (simbiótica + não simbiótica) + N deposição atmosférica.

NMIN: Nitrogênio mineral em g de  $N/m^2$ .

NN: Número de nutrientes envolvidos no sistema: 1 = M.O. + N; 2 = M.O. + N + P; 3 = M.O. + N + P + S.

NVO: Volatilização de N, em % do N mineralizado.

PAD: Adubação anual com P em g de  $P/m^2$ .

PER: Perda anual de P por erosão em % do P lábil.

PLAB: P lábil, em g de P elementar /  $m^2$ .

PMAX: Produção máxima anual da parte aérea em g de  $C/m^2$ .

POOL1: "Pool" estrutural superficial em g de  $C/m^2$ .

POOL2: "Pool" metabólico superficial em g de  $C/m^2$ .

POOL3: "Pool" estrutural do solo em g de  $C/m^2$ .

POOL4: "Pool" metabólico do solo em g de  $C/m^2$ .

PPRI: P primário (Apatita) em g de  $P/m^2$ .

PPT[mês]: Precipitação pluviométrica mensal em mm.

PSEC: P secundário em g de  $P/m^2$ .

RMS: Fator de colheita.

SAD: Adubação anual com S em g de  $S/m^2$ .

SAT: Entrada anual de S atmosférico em g de  $S/m^2$ .

SEL: Erosão + lixiviação anual de S em % do S mineral.

SMIN: S mineral em g de  $S/m^2$ .

SPRI: S primário em g de  $S/m^2$ .

SSEC: S secundário em g de  $S/m^2$ .

TAN[mês]: Temperatura mínima mensal do ar em  $^{\circ}C$ .

TAX[mês]: Temperatura máxima mensal do ar em  $^{\circ}C$ .



## 7.2- Anexo 2: Lista de variáveis de saída

BNP: Balanço de N nos "pools" no corrente mês, em g de N/m<sup>2</sup>.

BPP: Balanço de P nos "pools" no corrente mês, em g de P/m<sup>2</sup>.

BSP: Balanço de S nos "pools" no corrente mês, em g de S/m<sup>2</sup>.

CN2: Relação C/N do "pool" metabólico superficial.

CN4: Relação C/N do "pool" metabólico do solo.

CN5: Relação C/N do "pool" ativo da M.O. do solo.

CN5i: Relação C/N do material que é incorporado ao "pool" 5.

CN6: Relação C/N do "pool" lento da M.O. do solo.

CN6i: Relação C/N do material que é incorporado ao "pool" 6.

CN7: Relação C/N do "pool" passivo da M.O. do solo.

CN7i: Relação C/N do material que é incorporado ao "pool" 7.

CNP: Relação C/N da planta.

CP2: Relação C/P do "pool" metabólico superficial.

CP4: Relação C/P do "pool" metabólico do solo.

CP5: Relação C/P do "pool" ativo da M.O. do solo.

CP5i: Relação C/P do material que é incorporado ao "pool" 5.

CP6: Relação C/P do "pool" lento da M.O. do solo.

CP6i: Relação C/P do material que é incorporado ao "pool" 6.

CP7: Relação C/P do "pool" passivo da M.O. do solo.

CP7i: Relação C/P do material que é incorporado ao "pool" 7.

CPP: Relação C/P da planta.

CS2: Relação C/S do "pool" metabólico superficial.

CS4: Relação C/S do "pool" metabólico do solo.

CS5: Relação C/S do "pool" ativo da M.O. do solo.

CS5i: Relação C/S do material que é incorporado ao "pool" 5.

- CS6: Relação C/S do "pool" lento da M.O. do solo.
- CS6i: Relação C/S do material que é incorporado ao "pool" 6.
- CS7: Relação C/S do "pool" passivo da M.O. do solo.
- CS7i: Relação C/S do material que é incorporado ao "pool" 7.
- CSP: Relação C/S da planta.
- CT: Carbono total do solo em g de  $C/m^2$ .
- EC: Efeito do clima nas reações do solo =  $ET \times EP$ .
- EP: Efeito da precipitação nas reações do solo (0 - 1).
- ET: Efeito da temperatura nas reações do solo (0 - 1).
- F15: Fluxo de C do "pool 1 para o pool 5, em g de  $C/m^2$ .
- F16: Fluxo de C do "pool" 1 para o "pool" 6, em g de  $C/m^2$ .
- F25: Fluxo de C do "pool" 2 para o pool 5, em g de  $C/m^2$ .
- F35: Fluxo de C do "pool" 3 para o "pool" 5, em g de  $C/m^2$ .
- F36: Fluxo de C do "pool" 3 para o "pool" 6, em g de  $C/m^2$ .
- F45: Fluxo de C do "pool" 4 para o "pool" 5, em g de  $C/m^2$ .
- F56: Fluxo de C do "pool" 5 para o "pool" 6, em g de  $C/m^2$ .
- F57: Fluxo de C do "pool" 5 para o "pool" 7, em g de  $C/m^2$ .
- F65: Fluxo de C do "pool" 6 para o "pool" 5, em g de  $C/m^2$ .
- F67: Fluxo de C do "pool" 6 para o "pool" 7, em g de  $C/m^2$ .
- F75: Fluxo de C do "pool" 7 para o "pool" 5, em g de  $C/m^2$ .
- GC1: Ganho de C no "pool" 1, em g de  $C/m^2$ .
- GC2: Ganho de C no "pool" 2, em g de  $C/m^2$ .
- GC3: Ganho de C no "pool" 3, em g de  $C/m^2$ .
- GC4: Ganho de C no "pool" 4, em g de  $C/m^2$ .
- GC5: Ganho de C no "pool" 5, em g de  $C/m^2$ .
- GC6: Ganho de C no "pool" 6, em g de  $C/m^2$ .
- GC7: Ganho de C no "pool" 7, em g de  $C/m^2$ .
- MPA: Massa da parte aérea em g de  $C/m^2$ .
- MR: Massa de raízes em g de  $C/m^2$ .
- NABP: N absorvido pela planta no corrente mês, em g de  $N/m^2$ .

- NCOL: N perdido como colheita no corrente mês, em g de  $N/m^2$ .
- NELM: Erosão + lixiviação de N no corrente mês, em g de  $N/m^2$ .
- NM: N mineralizado na M.O. do solo no corrente mês, em g de  $N/m^2$ .
- NMIN: N mineral em g de  $N/m^2$ .
- NVOM: Volatilização de N no corrente mês, em g de  $N/m^2$ .
- PABP: P absorvido pela planta no corrente mês, em g de  $P/m^2$ .
- PACOL: Parte aérea colhida no corrente mês, em g de  $C/m^2$ .
- PCA1: Perda de C como  $CO_2$  no "pool" 1 em g de  $C/m^2$ .
- PCA2: Perda de C como  $CO_2$  no "pool" 2 em g de  $C/m^2$ .
- PCA3: Perda de C como  $CO_2$  no "pool" 3 em g de  $C/m^2$ .
- PCA4: Perda de C como  $CO_2$  no "pool" 4 em g de  $C/m^2$ .
- PCA5: Perda de C como  $CO_2$  no "pool" 5 em g de  $C/m^2$ .
- PCA6: Perda de C como  $CO_2$  no "pool" 6 em g de  $C/m^2$ .
- PCA7: Perda de C como  $CO_2$  no "pool" 7 em g de  $C/m^2$ .
- PCOL: P perdido como colheita no corrente mês, em g de  $P/m^2$ .
- PCT1: Perda total de C no "pool" 1 no corrente mês, em g de  $C/m^2$ .
- PCT2: Perda total de C no "pool" 2 no corrente mês, em g de  $C/m^2$ .
- PCT3: Perda total de C no "pool" 3 no corrente mês, em g de  $C/m^2$ .
- PCT4: Perda total de C no "pool" 4 no corrente mês, em g de  $C/m^2$ .
- PCT5: Perda total de C no "pool" 5 no corrente mês, em g de  $C/m^2$ .
- PCT6: Perda total de C no "pool" 6 no corrente mês, em g de  $C/m^2$ .
- PCT7: Perda total de C no "pool" 7 no corrente mês, em g de  $C/m^2$ .
- PEM: Perda de P por erosão no corrente mês, em g de  $P/m^2$ .
- PIS: P lábil imobilizado no P secundário no corrente mês, em g de  $P/m^2$ .
- PIO: P secundário fixado no P ocluso no corrente mês, em g de  $P/m^2$ .
- PLAB: P lábil, em g de P elementar  $/m^2$ .
- PLP: P liberado pelo P primário no corrente mês, em g de  $P/m^2$ .
- PLS: P liberado pelo P secundário no corrente mês, em g de  $P/m^2$ .
- PM: P mineralizado na M.O. do solo no corrente mês, em g de  $P/m^2$ .
- PMPA: Produção de parte aérea no corrente mês, em g de  $C/m^2$ .



PMR: Produção de raiz no corrente mês, em g de C/m<sup>2</sup>.

POOL1: "Pool" estrutural superficial, em g de C/m<sup>2</sup>.

POOL2: "Pool" metabólico superficial, em g de C/m<sup>2</sup>.

POOL3: "Pool" estrutural do solo, em g de C/m<sup>2</sup>.

POOL4: "Pool" metabólico do solo, em g de C/m<sup>2</sup>.

POOL5: "Pool" ativo da M.O. do solo, em g de C/m<sup>2</sup>.

POOL6: "Pool" lento da M.O. do solo, em g de C/m<sup>2</sup>.

POOL7: "Pool" passivo da M.O. do solo, em g de C/m<sup>2</sup>.

PPRI: P primário (Apatita), em g de P/m<sup>2</sup>.

PSEC: P secundário, em g de P/m<sup>2</sup>.

RM: Fração (0 - 1) da mineralização potencial da M.O. do solo no corrente mês, que ocorreu devido a carência de algum nutriente.

RPV: Fração (0 - 1) da produção vegetal potencial no corrente mês, que ocorreu devido a carência de algum nutriente.

SABP: S absorvido pela planta no corrente mês, em g de S/m<sup>2</sup>.

SCOL: S perdido como colheita no corrente mês, em g de S/m<sup>2</sup>.

SELM: Erosão + lixiviação de S no corrente mês, em g de S/m<sup>2</sup>.

SIS: S mineral imobilizado no S secundário no corrente mês, em g de S/m<sup>2</sup>.

SLP: S liberado pelo S primário no corrente mês, em g de S/m<sup>2</sup>.

SLS: S liberado pelo S secundário no corrente mês, em g de S/m<sup>2</sup>.

SM: S mineralizado na M.O. do solo no corrente mês, em g de S/m<sup>2</sup>.

SMIN: S mineral em g de S/m<sup>2</sup>.

SPA: Material que senesce na parte aérea no corrente mês, em g de C/m<sup>2</sup>.

SPRI: S primário, em g de S/m<sup>2</sup>.

SR: Material que senesce na raiz no corrente mês, em g de C/m<sup>2</sup>.

SSEC: S secundário, em g de S/m<sup>2</sup>.

### 7.3- Anexo 3: Lista de variáveis padrões

CBC: Razão de conversão de matéria seca para carbono = 0.40.

CF15: Fração (0 - 1) do C do "pool" 1 transferido para o "pool" 5 = 0.55.

CF16: Fração (0 - 1) do C do "pool" 1 transferido para o "pool" 6 = 0.7.

CF25: Fração (0 - 1) do C do "pool" 2 transferido para o "pool" 5 = 0.45.

CF35: Fração (0 - 1) do C do "pool" 3 transferido para o "pool" 5 = 0.45.

CF36: Fração (0 - 1) do C do "pool" 3 transferido para o "pool" 6 = 0.7.

CF45: Fração (0 - 1) do C do "pool" 4 transferido para o "pool" 5 = 0.45.

CF5x(i): Intercept da equação de fração (0 - 1) de C do "pool" 5 perdido como  $\text{CO}_2$

$$(f(\text{argila} + \text{silte})) = 0.85.$$

CF5x(s): Slope da equação de fração (0 - 1) de C do "pool" 5 perdido como  $\text{CO}_2$

$$(f(\text{argila} + \text{silte})) = -0.68.$$

CF57(i): Intercept da equação de fração (0 - 1) de C do "pool" 5 transferido para o "pool" 7

$$(f(\text{argila})) = 0.003.$$

CF57(s): Slope da equação de fração (0 - 1) de C do "pool" 5 transferido para o "pool" 7

$$(f(\text{argila})) = 0.032.$$

CF67(i): Intercept da equação de fração (0 - 1) de C do "pool" 6 transferido para o "pool" 7

$$(f(\text{argila})) = 0.003.$$

CF67(s): Slope da equação de fração (0 - 1) de C do "pool" 6 transferido para o "pool" 7

$$(f(\text{argila})) = 0.009.$$

CF6x: Fração (0 - 1) do C do "pool" 6 perdido como  $\text{CO}_2$  = 0.55.

CF75: Fração (0 - 1) do "pool" 7 transferido para o "pool" 5 = 0.45.

CN1: relação C/N fixa do "pool" estrutural superficial = 150.

CN2: relação C/N inicial do "pool" metabólico superficial = 17.

CN3: relação C/N fixa do "pool" estrutural do solo = 150.

CN4: relação C/N inicial do "pool" metabólico do solo = 17.

- CN5: relação C/N inicial do "pool" ativo da M.O. do solo = 8.
- CN6: relação C/N inicial do "pool" lento da M.O. do solo = 11.
- CN7: relação C/N inicial do "pool" passivo da M.O. do solo = 11.
- CNMn: Relação C/N mínima da planta = 30.
- CNMx: Relação C/N máxima da planta = 35.
- CNP: Relação C/N inicial da planta = 33.
- CP1: relação C/P fixa do "pool" estrutural superficial = 500.
- CP2: relação C/P inicial do "pool" metabólico superficial = 115.
- CP3: relação C/P fixa do "pool" estrutural do solo = 500.
- CP4: relação C/P inicial do "pool" metabólico do solo = 115.
- CP5: relação C/P inicial do "pool" ativo da M.O. do solo = 55.
- CP6: relação C/P inicial do "pool" lento da M.O. do solo = 145.
- CP7: relação C/P inicial do "pool" passivo da M.O. do solo = 110.
- CPMn: Relação C/P mínima da planta = 150.
- CPMx: Relação C/P máxima da planta = 230.
- CPP: Relação C/P inicial da planta = 200.
- CS1: relação C/S fixa do "pool" estrutural superficial = 500.
- CS2: relação C/S inicial do "pool" metabólico superficial = 115.
- CS3: relação C/S fixa do "pool" estrutural do solo = 500.
- CS4: relação C/S inicial do "pool" metabólico do solo = 115.
- CS5: relação C/S inicial do "pool" ativo da M.O. do solo = 50.
- CS6: relação C/S inicial do "pool" lento da M.O. do solo = 145.
- CS7: relação C/S inicial do "pool" passivo da M.O. do solo = 110.
- CSMn: Relação C/S mínima da planta = 190.
- CSMx: Relação C/S máxima da planta = 230.
- CSP: Relação C/S inicial da planta = 200.
- ECN5i(1): Relação C/N máxima do "pool" 5 ( $N_{\text{mineral}} = 0.0 \text{ g de N/m}^2 \times 0.2\text{m}$ ) = 15.
- ECN5i(2): Relação C/N mínima do "pool" 5 ( $N_{\text{mineral}} = 2.0 \text{ g de N/m}^2 \times 0.2\text{m}$ ) = 3.
- ECN5i(3): Slope da equação de C/N do "pool" 5 como função do  $N_{\text{mineral}} = -6.0$ .
- ECN6i(1): Relação C/N máxima do "pool" 6 ( $N_{\text{mineral}} = 0.0 \text{ g de N/m}^2 \times 0.2\text{m}$ ) = 20.



- ECN6i(2): Relação C/N mínima do "pool" 6 ( $N_{\text{mineral}} = 2.0 \text{ g de } N/m^2 \times 0.2m$ ) = 12.
- ECN6i(3): Slope da equação de C/N do "pool" 6 como função do  $N_{\text{mineral}} = -4.0$ .
- ECN7i(1): Relação C/N máxima do "pool" 7 ( $N_{\text{mineral}} = 0.0 \text{ g de } N/m^2 \times 0.2m$ ) = 10.
- ECN7i(2): Relação C/N mínima do "pool" 7 ( $N_{\text{mineral}} = 2.0 \text{ g de } N/m^2 \times 0.2m$ ) = 7.
- ECN7i(3): Slope da equação de C/N do "pool" 7 como função do  $N_{\text{mineral}} = -1.5$ .
- ECP5i(1): Relação C/P máxima do "pool" 5 ( $P_{\text{lável}} = 0.0 \text{ g de } P/m^2 \times 0.2m$ ) = 80.
- ECP5i(2): Relação C/P mínima do "pool" 5 ( $P_{\text{lável}} = 2.0 \text{ g de } P/m^2 \times 0.2m$ ) = 30.
- ECP5i(3): Slope da equação de C/P do "pool" 5 como função do  $P_{\text{lável}} = -25$ .
- ECP6i(1): Relação C/P máxima do "pool" 6 ( $P_{\text{lável}} = 0.0 \text{ g de } P/m^2 \times 0.2m$ ) = 200.
- ECP6i(2): Relação C/P mínima do "pool" 6 ( $P_{\text{lável}} = 2.0 \text{ g de } P/m^2 \times 0.2m$ ) = 90.
- ECP6i(3): Slope da equação de C/P do "pool" 6 como função do  $P_{\text{lável}} = -55$ .
- ECP7i(1): Relação C/P máxima do "pool" 7 ( $P_{\text{lável}} = 0.0 \text{ g de } P/m^2 \times 0.2m$ ) = 200.
- ECP7i(2): Relação C/P mínima do "pool" 7 ( $P_{\text{lável}} = 2.0 \text{ g de } P/m^2 \times 0.2m$ ) = 20.
- ECP7i(3): Slope da equação de C/P do "pool" 7 como função do  $P_{\text{lável}} = -90$ .
- ECS5i(1): Relação C/S máxima do "pool" 5 ( $S_{\text{mineral}} = 0.0 \text{ g de } S/m^2 \times 0.2m$ ) = 80.
- ECS5i(2): Relação C/S mínima do "pool" 5 ( $S_{\text{mineral}} = 3.0 \text{ g de } S/m^2 \times 0.2m$ ) = 20.
- ECS5i(3): Slope da equação de C/S do "pool" 5 como função do  $S_{\text{mineral}} = -20$ .
- ECS6i(1): Relação C/S máxima do "pool" 6 ( $S_{\text{mineral}} = 0.0 \text{ g de } S/m^2 \times 0.2m$ ) = 200.
- ECS6i(2): Relação C/S mínima do "pool" 6 ( $S_{\text{mineral}} = 3.0 \text{ g de } S/m^2 \times 0.2m$ ) = 90.
- ECS6i(3): Slope da equação de C/S do "pool" 6 como função do  $S_{\text{mineral}} = -36.66$ .
- ECS7i(1): Relação C/S máxima do "pool" 7 ( $S_{\text{mineral}} = 0.0 \text{ g de } S/m^2 \times 0.2m$ ) = 200.
- ECS7i(2): Relação C/S mínima do "pool" 7 ( $S_{\text{mineral}} = 3.0 \text{ g de } S/m^2 \times 0.2m$ ) = 20.
- ECS7i(3): Slope da equação de C/S do "pool" 7 como função do  $S_{\text{mineral}} = -60$ .
- EPSK5: Efeito do preparo do solo na constante  $K5 = 0.25$ .
- EPSK6: Efeito do preparo do solo na constante  $K6 = 0.50$ .
- EPSK7: Efeito do preparo do solo na constante  $K7 = 0.50$ .
- K1: Taxa de decomposição máxima mensal do "pool" 1 = 0.286659.
- K2: Taxa de decomposição máxima mensal do "pool" 2 = 0.765579.
- K3: Taxa de decomposição máxima mensal do "pool" 3 = 0.348718.
- K4: Taxa de decomposição máxima mensal do "pool" 4 = 0.851032.

- K5: Taxa de decomposição máxima mensal do "pool" 5 = 0.480746.
- K6: Taxa de decomposição máxima mensal do "pool" 6 = 0.016560.
- K7: Taxa de decomposição máxima mensal do "pool" 7 = 0.000550.
- KP1: Taxa mensal de transferência do P lábil para o P secundário = 0.05.
- KP2: Taxa mensal de transferência do P secundário para o P lábil = 0.0022.
- KP3: Taxa mensal de transferência do P secundário para o P ocluso = 0.000001.
- KP4: Taxa mensal de transferência do P primário para o P lábil = 0.0001.
- KS1: Taxa mensal de transferência do S mineral para o S secundário = 0.001.
- KS2: Taxa mensal de transferência do S secundário para o S mineral = 0.002.
- KS3: Taxa mensal de transferência do S primário para o S mineral = 0.0005.
- L1(i): Intercept da equação de fracionamento dos resíduos da parte aérea, como função da relação lignina/N = 0.85.
- L1(s): Slope da equação de fracionamento dos resíduos da parte aérea, como função da relação lignina/N = -0.018.
- L3(i): Intercept da equação de fracionamento dos resíduos da raiz, como função da relação lignina/N = 0.85.
- L3(s): Slope da equação de fracionamento dos resíduos da raiz, como função da relação lignina/N = -0.018.
- LAMO(i): Intercept da equação de fracionamento da M.O. adicionada, como função da relação lignina/N = 0.85.
- LAMO(s): Slope da equação de fracionamento da M.O. adicionada, como função da relação lignina/N = -0.018.
- LPA(i): Intercept da equação de cálculo de lignina na parte aérea como função da precipitação anual = 2.
- LPA(s): Slope da equação de cálculo de lignina na parte aérea como função da precipitação anual = 0.012.
- LR(i): Intercept da equação de cálculo de lignina na raiz como função da precipitação anual = 2.
- LR(s): Slope da equação de cálculo de lignina na raiz como função da precipitação anual = 0.012.

TK1: Termo exponencial da equação de velocidade de decomposição do "pool" 1  
 $(f(\text{lignina})) = -3.0.$

TK3: Termo exponencial da equação de velocidade de decomposição do "pool" 3  
 $(f(\text{lignina})) = -3.0.$

TK5(i): Intercept da equação de velocidade de decomposição do "pool" 5  
 $(f(\text{silte} + \text{argila})) = 1.$

TK5(s): Slope da equação de velocidade de decomposição do "pool" 5  
 $(f(\text{silte} + \text{argila})) = -0.75.$



## 7.4- Anexo 4: Guia de uso do programa

### INICIAR O PROGRAMA

Entrar no diretório raiz do disco flexível (A:\ ou B:\ ), digitar “tese” (nome do programa) e teclar Enter.

Logo em seguida aparecerá o menu principal.

### ESCOLHER OPÇÕES NO MENU PRINCIPAL

Para escolher uma das opções do menu principal, use as teclas  $\uparrow$  ou  $\downarrow$  para movimentar o cursor para cima ou para baixo.

Tecle Enter para entrar na opção escolhida.

A tecla Esc posiciona o cursor na opção SAIR DO PROGRAMA.

### SAIR DO PROGRAMA

Coloque o cursor na opção SAIR DO PROGRAMA e tecle Enter.

### ENTRADA DE DADOS

O programa permite duas opções de entrada de dados:

Entrada inicial de dados: Recomendada ao se entrar pela primeira vez com os dados de um local.

Posicione o cursor na opção ENTRADA INICIAL DE DADOS e tecle Enter.

Para efetivar a operação de entrada de dados, é necessário digitar os dados solicitados até o final.

Caso deseje interromper a entrada de dados, tecla simultaneamente **Ctrl** e **Break**. Assim você sairá do programa. Para retomar a operação, é necessário começar desde o início (entrar novamente no programa).

As variáveis locais necessárias estão listadas no anexo 1 (pag 95).

Leitura de arquivo já existente: Através desta opção, o programa permite a recuperação de dados utilizados anteriormente e gravados em arquivo de dados.

Posicione o cursor na opção **LEITURA DE ARQUIVO JÁ EXISTENTE** e tecla **Enter**.

Entre com o nome do arquivo no qual os dados de seu interesse estão armazenados, e em seguida tecla **Enter**.

Para interromper a operação tecla simultaneamente **Ctrl** e **Break**.

Obs: Você pode utilizar como exemplo, o arquivo "varloc", que é onde estão armazenados os dados utilizados nas discussões da tese.

## MODIFICAÇÃO DE VARIÁVEIS LOCAIS

Serve para consultar ou modificar alguma variável local.

Posicione o cursor na opção **MODIFICAÇÃO DE VARIÁVEIS LOCAIS** e tecla **Enter**.

Aparecerá um menu com as seguintes opções: **CLIMA**, **SOLO NITROGENIO**, **FOSFORO**, **ENXOFRE**, **PLANTA** e **MANEJO**.

Para retornar ao menu principal tecla **Esc**.

Para escolher a opção de variável local que você deseja consultar ou modificar, use as teclas **↑** ou **↓** para movimentar o cursor para cima ou para baixo e tecla **Enter** na opção desejada.

Em cada uma opção, existe um menu contendo as variáveis locais.

Para retornar ao menu anterior tecle **Esc**.

Para escolher a variável que se deseja modificar, use as teclas **↑** ou **↓** para movimentar o cursor para cima ou para baixo e tecle **Enter** na variável escolhida. Digite o novo valor e tecle **Enter** para confirmar.

No caso de se escolher algum índice, aparecerá um novo menu contendo os valores mensais deste índice. Para modificar algum valor, use as teclas **↑** ou **↓** para movimentar o cursor e tecle **Enter** no valor escolhido. Digite o novo valor e tecle **Enter** para confirmar.

## MODIFICAÇÃO DE VARIÁVEIS PADRÕES

Serve para consultar ou modificar alguma variável padrão.

Posicione o cursor na opção **MODIFICACAO DE VARIAVEIS PADROES** e tecle **Enter**.

Aparecerá um menu contendo as 103 variáveis padrões. Use as teclas **↑** ou **↓** para movimentar o cursor para cima ou para baixo, e as teclas **PgDn** ou **PgUp** para passar para a página posterior ou anterior, respectivamente.

As variáveis padrões utilizadas estão listadas no anexo 3 (pag 101).

Para modificar alguma variável padrão, posicione o cursor na variável desejada e tecle **Enter**. Entre com o novo valor e tecle **Enter** para confirmar.

Para voltar ao menu principal tecle **Esc**. Aparecerá um menu perguntando se você deseja gravar as alterações no arquivo de variáveis padrões. Se desejar digite **"S"** ou **"s"** e tecle **Enter**. Se não desejar tecle **Esc** ou digite **"N"** ou **"n"** e tecle **Enter**. Após isto o programa voltará ao menu principal.

## SAÍDA POR TABELA

Permite a saída dos resultados do modelo através de tabela.



Posicione o cursor na opção SAIDA POR TABELA e tecle Enter. Uma vez que se entrou nesta opção, deve-se seguir até o final ou sair do programa teclando simultaneamente Ctrl e Break.

Aparecerá um menu perguntando os valores de:

- \* Intervalo de saída dos resultados (meses).
- \* Duração da simulação (meses).

Tecle Enter, digite o novo valor e tecle Enter para confirmar.

Use a tecla ↓ para passar para o próximo valor ou para o próximo menu (após o último valor).

Para voltar ao início do menu tecle Esc.

O próximo menu é o de opções de variáveis de saída (109 variáveis). As variáveis de saída estão listadas no anexo 2 (pag 97).

Use as teclas ↑ ou ↓ para movimentar o cursor para cima ou para baixo, e as teclas PgDn ou PgUp para passar para a página posterior ou anterior, respectivamente. Tecle Enter na variável escolhida, que em seguida aparecerá no lado direito do menu.

Você pode escolher de 1 a 5 variáveis para sair na tabela. Se ultrapassar o valor de 5 variáveis, o programa passa automaticamente para a apresentação da tabela.

Para a apresentação da tabela tecle Esc.

Em seguida aparecerá a tabela com os valores de: período de simulação (Per), o mês corrente (1-jan, 2-fev,...12-dez), e as variáveis escolhidas. No final da tabela haverá um apito.

Obs: Para gravar em arquivo de dados os resultados apresentados na tabela, utilize a opção GRAVACAO DOS RESULTADOS (TABELA) antes de entrar na opção SAIDA POR TABELA.

Para voltar ao menu principal, tecle qualquer tecla.

## SAÍDA POR GRÁFICO

Permite a saída dos resultados do modelo através de gráfico.

Posicione o cursor na opção SAIDA POR GRAFICO e tecele Enter. Uma vez que se entrou nesta opção, deve-se seguir até o final ou sair do programa teclando simultaneamente Ctrl e Break.

Aparecerá um menu perguntando os valores de:

\* Duração da simulação (meses).

\* Valor máximo de Y: é o valor máximo que as variáveis de saída escolhidas poderão atingir durante a simulação.

Obs: Se este valor for desconhecido, utilize a opção SAIDA POR TABELA para obter este valor para as variáveis escolhidas.

\* Título do gráfico (optativo): máximo 17 caracteres.

Tecle Enter, digite o novo valor e tecele Enter para confirmar.

Use a tecla ↓ para passar para o próximo valor ou para o próximo menu (após o último valor).

Para voltar ao início do menu tecele Esc.

O próximo menu é o de opções de variáveis de saída (109 variáveis). As variáveis de saída estão listadas no anexo 2 (pag 97).

Use as teclas ↑ ou ↓ para movimentar o cursor para cima ou para baixo, e as teclas PgDn ou PgUp para passar para a página posterior ou anterior, respectivamente. Tecle Enter na variável escolhida, que em seguida aparecerá no lado direito do menu.

Você pode escolher de 1 a 3 variáveis para sair na tabela. Se ultrapassar o valor de 3 variáveis, o programa passa automaticamente para a apresentação do gráfico.

Para a apresentação do gráfico tecele Esc.

Em seguida aparecerá o gráfico com as curvas das variáveis escolhidas. Quando o gráfico estiver pronto haverá um apito.

Para voltar ao menu principal, tecele qualquer tecla.

## GRAVAÇÃO DAS VARIÁVEIS LOCAIS

Posicione o cursor na opção GRAVACAO DE VARIÁVEIS LOCAIS e tecele Enter.

Entre com o nome do arquivo de dados (máximo 8 letras) no qual será armazenado os valores das variáveis locais, e em seguida tecla **Enter**.

O programa voltará automaticamente ao menu principal.

## GRAVAÇÃO DOS RESULTADOS (TABELA)

Esta opção grava em arquivo de dados, no formato ASC, os resultados apresentados na opção SAIDA POR TABELA, permitindo a sua importação por softwares de criação de gráficos, edição de textos e outros.

Posicione o cursor na opção GRAVAÇÃO DOS RESULTADOS (TABELA) e tecla **Enter**.

Entre com o nome do arquivo de dados (máximo 8 letras) no qual serão armazenados os resultados apresentados na tabela, e em seguida tecla **Enter**.

O programa voltará automaticamente ao menu principal.

Quando forem apresentados os resultados através de tabela, o programa criará automaticamente o arquivo de dados com estes resultados.