

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**USO DO MODELO CENTURY NO ESTUDO DA DINÂMICA DO NITROGÊNIO
EM UM ARGISSOLO DO RIO GRANDE DO SUL**

**Elisandra Solange Oliveira
(Dissertação)**

Porto Alegre (RS) Brasil
Março de 2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**USO DO MODELO CENTURY NO ESTUDO DA DINÂMICA DO NITROGÊNIO
EM UM ARGISSOLO DO RIO GRANDE DO SUL**

ELISANDRA SOLANGE OLIVEIRA
Engenheira-Agrônoma (UFPel)

Dissertação apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Março de 2005

AGRADECIMENTOS

Ao Leandro, meu esposo e companheiro de todas as horas, pelo amor, renúncia, compreensão e, especialmente, pela oportunidade de participar diariamente da sua vida acadêmica como sua colega de faculdade e de mestrado.

Aos meus pais Daltro e Lúcia pelo exemplo de honestidade, trabalho e dedicação à família e pelo estímulo na minha formação. Aos meus irmãos Eliana, Daniel e Elisangela pelo apoio e incentivo mesmo a distância.

À família do Leandro, em especial aos pais Ady e Maria e irmãs Juliana e Raquel pela compreensão e incentivo. Aos tios de Laguna pela acolhida e respeito.

Ao Prof. João Mielniczuk, pela orientação, pelo exemplo profissional, paciência, estímulo e apoio nos momentos de incertezas. Por tornar simples aquilo que parecia ser complexo. Pela possibilidade de convívio enquanto muitas pessoas o admiram a distância. Ao Prof. João meu grande apreço.

À UFPel pela minha formação acadêmica.

À UFRGS pela possibilidade de realizar este trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade e estrutura oferecida para realizar o curso.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pelo aprendizado. Em especial ao Prof. Cimélio Bayer pela orientação, sugestões e amizade.

À Fabiane Vezzani pelo tempo dedicado para me ensinar a usar o modelo Century, pela amizade e respeito.

Ao colega de orientação Gustavo pelas discussões, colaboração, sugestões e amizade que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos colegas da área de Manejo de Solos Fabiano, Fabíola, Falberni, Frederico, Jeferson, Josiléia, Juliana, Júlio, Madalena, Nilvânia e Paulo César pelo companheirismo e amizade.

Aos demais colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Em especial ao Márcio W., Márcio L., Jonatas, Cláudio, Alaerto, Rodrigo e Margarete pela amizade e momentos de descontração.

Aos funcionários da Secretaria do Departamento de Solos da UFRGS e ao Jader pelos esclarecimentos.

Ao povo brasileiro por custear os meus estudos.

A todos não citados, que de alguma forma colaboraram para realização deste trabalho, meu agradecimento.

USO DO MODELO CENTURY NO ESTUDO DA DINÂMICA DO NITROGÊNIO EM UM ARGISSOLO DO RIO GRANDE DO SUL^{1/}

Autor: Elisandra Solange Oliveira

Orientador: Prof. João Mielniczuk

RESUMO

Estudos anteriores têm mostrado performance satisfatória do modelo Century de Dinâmica da Matéria Orgânica aplicado às condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, porém os estoques de N do solo foram normalmente superestimados. O objetivo deste trabalho foi parametrizar o submodelo do ciclo do N do Century para que este possa ser considerado uma ferramenta útil no estudo da dinâmica do N em nosso meio. As simulações foram realizadas com dados experimentais de um estudo de longo prazo instalado em um Argissolo Vermelho distrófico da EEA-UFRGS, em Eldorado do Sul (RS). A parametrização inicial consistiu na entrada de dados de solo e clima, ajuste de parâmetros relacionados à adição de N por fixação não-simbiótica, perdas de N por volatilização e relação C/N de resíduos de culturas que entram nos compartimentos lento e passivo da matéria orgânica do solo (MOS). O modelo foi executado por um período de 6000 anos nas condições do bioma de campos nativos do Sul do Brasil para obtenção dos valores estáveis do carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) e dos compartimentos de C e N orgânicos do solo. Em seguida simularam-se dois tratamentos (correspondentes a sistemas de manejo convencional e plantio direto) selecionados do experimento de longo prazo, conforme o histórico do estudo, alterando-se o parâmetro de cultivo CLTEFF(2) (multiplicador para decomposição do compartimento lento), o qual depende do potencial de adição de C pelas culturas e grau de revolvimento do solo. Adicionalmente, foram acrescentados às seqüências de eventos de manejo de solo sob preparo convencional um “efeito adicional de cultivo”, persistindo por dois meses após cada evento de revolvimento do solo. Este prolongamento do efeito do revolvimento do solo permitiu melhor ajuste da dinâmica do C e do N no solo sob sistema de preparo convencional, pois refletiu a maior decomposição da MOS observada nas condições locais. De uma maneira geral, a aplicação do modelo Century com a parametrização proposta demonstrou bom ajuste das estimativas de COT e NT em relação aos valores observados em 1998, evidenciando que o modelo Century tem potencial para ser utilizado no planejamento e definição de estratégias de manejo de solo.

^{1/} Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (114 p.) Março, 2005. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq.

USE OF THE CENTURY MODEL IN SOIL NITROGEN DYNAMICS STUDY IN AN ACRISOL OF RIO GRANDE DO SUL (BRAZIL)^{1/}

Author: Elisandra Solange Oliveira

Adviser: Prof. João Mielniczuk

ABSTRACT

Previous studies have shown satisfactory performance of the Century Soil Organic Matter Model as applied to climatic and edaphic conditions of Rio Grande do Sul. However, soil N stocks were usually overestimated in these simulations. The objective of this study was to parametrize the N cycle submodel of Century so that it can be employed successfully in N dynamics studies in Southern Brazil. Simulations were performed utilizing data from the long-term experiment established in an Acrisol (Argissolo Vermelho distrófico) at EEA-UFRGS (Eldorado Agricultural Experimental Station - UFRGS) in 1985. Initial parametrization included soil and climate attributes, adjusted non-symbiotic N inputs, N losses from volatilization and C/N ratios of plant residues entering the Century slow and passive N pools. Next, Century was run for 6,000 years to steady state for baseline soil organic C and N stocks using site and crop parameters adjusted to the Southern Brazilian grasslands biome. Subsequently, selected treatments of the long-term study (comprising conventional and no-tillage soil managements) were simulated according to historical soil management data, with appropriate changes in the cultivation parameter CLTEFF(2) (slow pool decomposition multiplier), which was affected by crop C inputs and soil cultivation intensity. Additionally an “enhanced cultivation effect” was included for two months after each plowing event in the conventional soil management schedules. This inclusion reflected higher soil organic matter decomposition observed in the long term experiment. In general, model runs with the abovementioned parametrization showed good agreement between model estimates and field data measured in 1998. The Century model adjustments proposed indicate its feasibility as a tool in soil use and management planning and forecasting.

^{1/} M.Sc. Dissertation in Soil Science – Faculty of Agronomy, Federal University of Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brazil. (114 p.) March, 2005.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1. Principais fatores que afetam a dinâmica do nitrogênio.....	05
2.2. Uso de modelos no estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo	09
2.3. Modelo Century.....	10
2.3.1. Submodelo do nitrogênio - compartimentos e fluxos....	11
3. HIPÓTESES	14
4. OBJETIVOS	15
5. MATERIAL E MÉTODOS	16
5.1. Descrição resumida do experimento	16
5.2. Tratamentos utilizados nas simulações com o modelo Century 4.0	17
5.3. Descrição do modelo Century 4.0	17
5.3.1. Parametrização do modelo Century 4.0	19
5.3.1.1. Parâmetros de solo	20
5.3.1.2. Parâmetros de clima	20
5.3.1.3. Execução de equilíbrio.....	21
5.3.1.4. Demais parâmetros	22
5.3.3. Ajustes dos parâmetros do modelo Century 4.0	22
5.4. Parâmetros alterados no modelo Century 4.0	23
5.4.1. Alterações para ajuste da dinâmica do nitrogênio no campo nativo	24
5.4.1.1. SITE.100.....	24
5.4.2. Alterações para ajuste das dinâmicas do nitrogênio e do carbono no período de cultivo de colza e girassol (1970 a 1984)	25
5.4.2.1. FIX.100.....	25
5.4.2.2. CULT.100.....	25
5.4.3. Alterações para ajuste das dinâmicas do carbono e do nitrogênio no período experimental	26
5.4.3.1. CROP.100	26

	Página
5.4.3.2. CULT.100	26
a) “Efeito adicional de cultivo”	26
b) Parâmetro CLTEFF(2)	27
5.5. Procedimento de execução do modelo Century 4.0	27
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6.1. Parâmetros alterados no modelo Century 4.0 para ajustar as estimativas das dinâmicas do carbono e do nitrogênio	31
6.1.1. Alterações no SITE.100 e FIX.100 para ajustar a estimativa da dinâmica do nitrogênio	31
6.1.2. Alterações no CULT.100 para ajustar a estimativa da dinâmica do carbono	34
6.1.2.1. “Efeito adicional de cultivo”	34
6.1.2.2. “Parâmetro CLTEFF(2)	35
6.2. Carbono orgânico total e nitrogênio total do solo	37
6.2.1. Variáveis de saída estudadas	37
6.2.2. Campo nativo	38
6.2.3. Cultivo de colza e girassol (1970 a 1984)	40
6.2.4. Período experimental	42
6.2.4.1. Carbono orgânico total do solo e adição de carbono pelas culturas	42
6.2.4.2. Nitrogênio total do solo e relação C/N do solo.....	49
6.2.4.3. Mineralização, absorção e volatilização de nitrogênio	56
6.2.4.4. Reciclagem, adições e retiradas de nitrogênio pelos sistemas de culturas.....	61
7. CONCLUSÕES	70
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
9. APÊNDICES	78

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
01. Atributos químicos e físicos para a camada arável (0-20 cm) do solo utilizados na parametrização do modelo Century (adaptado de Fernandes, 2002)	20
02. Valor padrão e modificado do parâmetro EPNFS(2) no arquivo local (SITE.100) do modelo Century 4.0	24
03. Valores padrões e modificados para os parâmetros VARAT2(1,1), VARAT3(1,1) e VLOSSG do arquivo fixo (FIX.100) do modelo Century 4.0	25
04. Valor do parâmetro SNFXMX(1) no arquivo CROP.100 do modelo Century 4.0 para as espécies leguminosas ervilhaca e caupi	26
05. Valores padrões e modificados para o parâmetro CLTEFF(2) do arquivo acessório CULT.100 do modelo Century 4.0	27
06. Práticas de manejo de solo adotadas para as simulações com o modelo Century 4.0 a partir de 1985 até 2150	30
07. Variáveis de saída estimadas pelo modelo Century 4.0 na condição de campo nativo (CN) e cultivo de colza e girassol (CG) com os parâmetros correspondentes do SITE.100 e FIX.100 padrões e modificados	33
08. Adição de carbono, carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação C/N observados no campo nativo e estimados pelo modelo Century 4.0 com SITE.100 e FIX.100 padrão e modificado para o ano de 1969	39
09. Adição de carbono, carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação C/N observados na área em estudo e estimados pelo modelo Century 4.0 com SITE.100 e FIX.100 padrão e modificado para o ano de 1984	41
10. Carbono orgânico total (COT) na camada 0-20 cm e adição de C observados e estimados pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo, sistemas de culturas e adubação nitrogenada nos anos de 1998 e 2150	46

- 11.** Nitrogênio total (NT) na camada 0-20 cm e relações C/N do solo observadas e estimadas pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo, sistemas de culturas e adubação nitrogenada nos anos de 1998 e 2150 53
- 12.** Mineralização líquida total (TNETMN(1)) e no solo (SOILNM(1)), absorção (EUPACC(1)) e volatilização (VOLGM) de nitrogênio na camada 0-20 cm estimados pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo, sistemas de culturas e adubação nitrogenada nos anos de 1985 a 1998 e 2150 57
- 13.** Valores médios anuais de nitrogênio total adicionado, reciclado e retirado pelos sistemas de culturas nos sistemas de preparo de solo e adubação nitrogenada estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações, confrontados aos valores observados por Lovato (2001). Médias de 13 anos (1985 a 1998) 62
- 14.** Estimativas de nitrogênio total adicionado, reciclado e retirado pelos sistemas de culturas nos sistemas de preparo de solo e adubação nitrogenada estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações para o ano de 2150 68

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
01. Compartimentos e fluxos de nitrogênio no modelo Century 4.0, conforme Metherell et al. 1994	13
02. Relação entre as adições de C ao solo estimadas pelo modelo Century 4.0 pela variável CINPUT e os parâmetros CLTEFF(2) do arquivo acessório CULT.100 selecionados para as simulações. PD= plantio direto; PC= preparo convencional; AM= aveia/milho; AVMC= aveia+ervilhaca/milho+caupi; ON= 0 kg N ha ⁻¹ e 138N= 138 kg N ha ⁻¹	36
03. Dinâmica do carbono orgânico total (COT) do solo nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo e sistemas de culturas sem adubação nitrogenada contraposto aos dados apresentados por Lovato (2001) para os anos de 1985 e 1998	43
04. Dinâmica do carbono orgânico total (COT) do solo nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo e sistemas de culturas com adição de 138 kg ha ⁻¹ de N contraposto aos dados apresentados por Lovato (2001) para os anos de 1985 e 1998	44
05. Dinâmica do nitrogênio total (NT) do solo nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo e sistemas de culturas sem adubação nitrogenada contraposto aos dados apresentados por Lovato (2001) para os anos de 1985 e 1998	50
06. Dinâmica do nitrogênio total (NT) do solo nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo e sistemas de culturas com adição de 138 kg ha ⁻¹ de N contraposto aos dados apresentados por Lovato (2001) para os anos de 1985 e 1998	51

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
01. Parâmetros do arquivo acessório CULT.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações	79
02. Parâmetros do campo nativo e culturas do arquivo acessório CROP.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações	80
03. Valores do parâmetro PRDX(1), do arquivo CROP.100, adotados para as culturas nos tratamentos utilizados nas simulações padrão e com modificações	84
04. Parâmetros do arquivo acessório FERT.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações	85
05. Parâmetros do arquivo acessório IRR.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações	86
06. Parâmetros do arquivo acessório HARV.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações	86
07. Parâmetros do arquivo acessório GRAZ.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações	86
08. Parâmetros do arquivo FIX.100 padrão do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações	87
09. Parâmetros do arquivo SITE.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações com base em dados reais de clima e solo da área em estudo	89
10. Dados mensais de precipitação (prec), em cm, e temperaturas mínima (tmin) e máxima (tmax) do ar referentes ao período de 1985 a 2003 para formar o arquivo SJERONIMO.WTH utilizado pelo modelo Century nas simulações padrão e com modificações. Departamento de Forrageiras e Agrometeorologia da Faculdade de Agronomia da UFRGS (dados não publicados) referentes à Estação Meteorológica de Eldorado do Sul	92

	Página
11. Organização do arquivo PCAM.SCH formando o cenário de manejo do campo nativo, colza/girassol e tratamento PCAM 0N utilizado pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações	95
12. Organização do arquivo PDAM.SCH formando o cenário de manejo do campo nativo, colza/girassol e tratamento PDAM 0N utilizado pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações	97
13. Organização do arquivo PDAM138.SCH formando o cenário de manejo do campo nativo, colza/girassol e tratamento PDAM 138N utilizado pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações	99
14. Organização do arquivo PCAVMC138.SCH formando o cenário de manejo do campo nativo, colza/girassol e tratamento PCAVMC 138N utilizado pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações	101
15. Organização do arquivo PDAVMC.SCH formando o cenário de manejo do campo nativo, colza/girassol e tratamento PDAVMC 0N utilizado pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações	103
16. Dinâmica dos compartimentos de C no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com preparo convencional (PC) e sucessão aveia/milho (AM) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. somtc=COT; som1c(2)= COA; som2c= COL; som3c= COP; outros= demais compartimentos de C.....	105
17. Dinâmica dos compartimentos de C no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com plantio direto (PD) e sucessão aveia/milho (AM) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. somtc=COT; som1c(2)= COA; som2c= COL; som3c= COP; outros= demais compartimentos de C.....	106

- 18.** Dinâmica dos compartimentos de C no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com preparo convencional (PC) e sucessão aveia+ervilhaca/milho+caupi (AVMC) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. $\text{somtc}=\text{COT}$; $\text{som1c}(2)=\text{COA}$; $\text{som2c}=\text{COL}$; $\text{som3c}=\text{COP}$; outros= demais compartimentos de C..... 107
- 19.** Dinâmica dos compartimentos de C no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com plantio direto (PD) e sucessão aveia+ervilhaca/milho+caupi (AVMC) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. $\text{somtc}=\text{COT}$; $\text{som1c}(2)=\text{COA}$; $\text{som2c}=\text{COL}$; $\text{som3c}=\text{COP}$; outros= demais compartimentos de C..... 108
- 20.** Dinâmica dos compartimentos de N no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com preparo convencional (PC) e sucessão aveia/milho (AM) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. $\text{somte}=\text{NT}$; $\text{som1e}(2,1)=\text{COA}$; $\text{som2e}(1)=\text{COL}$; $\text{som3e}(1)=\text{COP}$; outros= demais compartimentos de N..... 109
- 21.** Dinâmica dos compartimentos de N no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com plantio direto (PD) e sucessão aveia/milho (AM) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. $\text{somte}=\text{NT}$; $\text{som1e}(2,1)=\text{COA}$; $\text{som2e}(1)=\text{COL}$; $\text{som3e}(1)=\text{COP}$; outros= demais compartimentos de N..... 110
- 22.** Dinâmica dos compartimentos de N no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com preparo convencional (PC) e sucessão aveia+ervilhaca/milho+caupi (AVMC) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. $\text{somte}=\text{NT}$; $\text{som1e}(2,1)=\text{COA}$; $\text{som2e}(1)=\text{COL}$; $\text{som3e}(1)=\text{COP}$; outros= demais compartimentos de N..... 111

- 23.** Dinâmica dos compartimentos de N no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com plantio direto (PD) e sucessão aveia+ervilhaca/milho+caupi (AVMC) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. some=NT; som1e(2,1)= COA; som2e(1)= COL; som3e(1)= COP; outros= demais compartimentos de N..... 112
- 24.** Definições de parâmetros e variáveis de saída do modelo Century 4.0 estudadas nas simulações padrão e com modificações..... 113

1. INTRODUÇÃO

Atualmente um dos principais desafios da agricultura brasileira é produzir mais e ao mesmo tempo manter a qualidade dos recursos naturais. Neste sentido, a utilização do sistema plantio direto, da rotação de culturas incluindo espécies leguminosas bem como a racionalização do uso de fertilizantes têm trazido grandes benefícios, pois além de melhorar a capacidade produtiva do solo possibilitam o aumento dos estoques de matéria orgânica do solo (MOS) podendo assim contribuir na melhoria das condições ambientais devido ao potencial da agricultura para a mitigação das emissões de gases do efeito estufa.

Vários estudos (Lal, 1997; Lal et al., 1999; Amado et al., 2001; Lovato, 2001) evidenciam o potencial do solo como importante receptor de carbono (C) e nitrogênio (N) a partir da adoção de práticas adequadas de manejo de solo, aumentando com isso a sua capacidade produtiva. Tais resultados são possíveis com a substituição das tradicionais técnicas de preparo do solo com intenso revolvimento e sistemas de culturas com baixa adição de resíduos vegetais por métodos de preparo com pequeno ou nenhum revolvimento e sistemas de culturas com alta adição de resíduos.

A condução de experimentos de longa duração tem merecido destaque por facilitar o entendimento das interações e do comportamento dos componentes do solo quando submetido a diferentes sistemas de manejo. Além disso, tais experimentos possibilitam o ajuste e validação de modelos que

auxiliam na interpretação e extrapolação dos resultados experimentais para períodos mais longos de tempo sendo úteis no planejamento e definição de sistemas de manejo mais adequados a médio e longo prazo (Bayer et al., 2000c; Fernandes, 2002).

No estado do Rio Grande do Sul pesquisas neste sentido foram desenvolvidas por Fernandes (2002) utilizando dados sobre as dinâmicas do C e do N obtidos em experimento de longa duração para validar o modelo Century. Após ajustes no modelo, a autora obteve bons resultados na predição da dinâmica do C, havendo, no entanto, superestimativa dos estoques de N no solo, tanto em condições naturais como sob cultivos em diferentes sistemas de culturas e de preparo de solo.

Com base nestas considerações, a presente pesquisa teve como finalidade ajustar o modelo Century para que se constitua numa ferramenta útil no estudo da dinâmica do N em solos da Região Sul do Brasil tendo-se como base um experimento de manejo de solo conduzido desde 1985 em um Argissolo Vermelho distrófico localizado na Estação experimental Agronômica da UFRGS em Eldorado do Sul.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A matéria orgânica do solo (MOS) é gerada a partir da decomposição dos resíduos de plantas e animais, sendo formada por diversos compostos de carbono (C) em vários graus de alteração, complexidade e tamanho, apresentando comportamentos diferenciados decorrentes de suas variadas propriedades químicas e físicas (Silva et al., 2000; Fernandes, 2002). Sua importância relaciona-se com a contribuição significativa na CTC, complexação de elementos tóxicos às plantas, poder tampão de pH, sendo o principal reservatório de nitrogênio (N), fósforo orgânico (PO), enxofre (S) e C, influenciando também atributos físicos como estrutura do solo e capacidade de armazenamento de água (Fernandes, 2002), constituindo-se assim, num componente fundamental da capacidade produtiva do solo, especialmente em condições de clima tropical e subtropical.

O conteúdo de MOS encontra-se estável em solo sob vegetação natural. No entanto, com a incorporação destas áreas na agricultura, ocorre redução deste conteúdo, especialmente quando se utilizam métodos de preparo que revolvem intensamente o solo e sistemas de culturas com baixa adição de resíduos vegetais (Lovato, 2001; Vezzani, 2001). Nesta situação, se estabelece um processo de degradação das condições químicas, físicas e biológicas do solo, com perda da produtividade das culturas e da qualidade do solo (Bayer & Mielniczuk, 1999; Vezzani, 2001).

A manutenção ou recuperação dos teores de MOS pode ser alcançada pela utilização de métodos de preparo com pequeno, ou nenhum revolvimento e sistemas de cultura com alta adição de resíduos vegetais, resultando, respectivamente, em menores taxas de perda e maiores taxas de adição de matéria orgânica ao sistema solo (Bayer & Mielniczuk, 1999).

A MOS faz parte de um equilíbrio dos ciclos do C e do N total da Terra (sistema terrestre, oceanos e atmosfera) e é um componente bastante sensível às condições ambientais e às mudanças nas práticas de manejo do solo (Silva et al., 2000).

Durante a decomposição microbiana de materiais orgânicos há uma estreita relação entre a dinâmica do C e a do N, alterando-se apenas os mecanismos de adição e de perda dos elementos no sistema, podendo-se dizer que o C é o motor das transformações do N (Aita, 1997; Bayer et al., 2000a, b). Assim, solos degradados pelo cultivo e com baixos teores de carbono orgânico total (COT) são, normalmente, deficientes em N, o que limita a adição de C, principalmente, em sistemas constituídos por gramíneas (Bayer & Mielniczuk, 1997; Amado et al., 2001; Lovato et al., 2004). Neste contexto, a inclusão de leguminosas nas rotações, aliada à adubação nitrogenada, tem demonstrado grande eficiência no incremento de COT e nitrogênio total (NT) contribuindo também para a melhoria da qualidade do solo e da produtividade das culturas (Testa et al., 1992; Teixeira et al., 1994; Vezzani, 2001; Lovato, 2001).

O N é o nutriente mais afetado no processo de degradação do solo (Aita, 1997). Isso porque a matéria orgânica, sua principal fonte, encontra-se concentrada na superfície do solo e é perdida seletivamente por erosão. Esta diminuição no estoque de N orgânico, somada às inúmeras transformações de natureza bioquímica a que o N está sujeito (mineralização, imobilização, desnitrificação, entre outras) e a grande quantidade exigida pela maioria das culturas, o tornam o nutriente mais limitante ao desenvolvimento das plantas e por isso, o seu manejo é bastante complexo. Sendo assim, o amplo entendimento da dinâmica do N no sistema solo-planta-atmosfera é fundamental para a racionalização no uso dos fertilizantes nitrogenados minerais ou orgânicos, tanto do ponto de vista da produtividade das culturas como da qualidade ambiental.

2.1 Principais fatores que afetam a dinâmica do nitrogênio

Dentre os principais fatores que influenciam na dinâmica do C e N do solo, destaca-se o clima, por atuar sobre importantes processos de adição e perda destes elementos. Para que o impacto das mudanças climáticas ou do uso do solo na MOS possa ser avaliado, devem-se considerar mudanças na umidade e temperatura do solo, na quantidade de entrada de MOS e na sua decomponibilidade, no tempo e local do C que entra, além da fauna do solo (Scholes et al., 1997).

Baseado em revisão apresentada por Mielniczuk et al. (2003), o Brasil é um país predominantemente tropical que recebe intensa radiação solar durante todo o ano, que pode variar, dentre outros fatores, com o comprimento do dia, sendo menor no inverno e maior no verão, especialmente no Sul do país, devido a maior distância do Equador. As temperaturas do ar são relativamente altas ao longo do ano, sendo mais amenas no Sul durante o inverno, quando as médias normais (1960-1990) das mínimas no mês mais frio variam entre 9 e 12°C, e das máximas do mês mais quente, entre 28 e 32°C.

Além disso, a precipitação normal média anual nos estados do Sul e Sudeste situa-se entre 1500 a 1900 mm (Brasil, 1992), e que segundo Hudson (1973), a principal característica das chuvas em regiões tropicais e subtropicais é a sua alta intensidade e alta energia erosiva.

Se por um lado, as características climáticas do Brasil permitem cultivos com elevado potencial de produção de biomassa vegetal, por outro, a ocorrência de temperaturas elevadas e a disponibilidade de água, resultam em taxas de decomposição dos resíduos vegetais e da MOS mais altas que nas regiões temperadas (Lal, 1976; Derpsch et al., 1985; Lopes et al., 1987; Bayer et al., 2000a, b, c). Contudo, quando a precipitação pluviométrica limita o desenvolvimento vegetal e, por conseguinte, o retorno de resíduos vegetais ao solo, as altas temperaturas podem resultar num incremento relativo maior nas taxas de decomposição do que nas taxas de adição, diminuindo os teores de

MOS, comparativamente a solos de regiões temperadas e tropicais úmidas (Bayer & Mielniczuk, 1999).

A ocorrência de chuvas de alta intensidade e de precipitações médias anuais elevadas normalmente está associada a processos intensos de lixiviação de nutrientes, sendo o N na forma de nitrato (NO_3^-) um dos nutrientes mais sensíveis ao arraste pela água, através do perfil do solo (Freitas, 1988).

Após revisão bibliográfica sobre o tema, Freitas (1988) constata que existe certa controvérsia sobre qual manejo da cobertura é mais eficiente em impedir as perdas de N por lixiviação, já que alguns trabalhos mostram que as perdas de nitrato são maiores em sistemas sem preparo, devido a este conservar mais água que em preparo convencional. Assim, o agregado molhado tende a não absorver o nitrato ou água e o fluxo dos mesmos se dá através dos poros maiores, não capilares, onde são mais facilmente arrastados. No entanto, outros trabalhos demonstraram que nos meses de inverno e primavera, a quantidade de nitrato no sistema sem preparo foi menor que no convencional, refletindo em baixa lixiviação, o que é atribuído à maior imobilização de N (Thomas et al., 1973; Dowdell & Cannell, 1975).

A alta umidade do solo, também pode propiciar sítios de anaerobiose, estimulando microrganismos denitrificadores, havendo então perdas de N na forma gasosa (N_2O e N_2). Neste contexto, a irrigação mal planejada, com uso excessivo de água, pode estar contribuindo para perdas de N do sistema. Além disso, a maior densidade observada na camada superficial em sistemas sem preparo, também contribui na intensificação da desnitrificação (Stefanson, 1972; Rice & Smith, 1982; Aulakh & Rennie, 1986).

O N ainda pode ser perdido por remoção de folhas, grãos, frutos e ou raízes, por ocasião da colheita, além de volatilização de amônia e remoção de MOS pela erosão. A volatilização é bastante afetada pelas temperaturas elevadas, enquanto as chuvas de alta intensidade favorecem a erosão, removendo seletivamente resíduos vegetais da superfície, juntamente com o solo, provocando assim, perdas expressivas de N e C, sendo observadas perdas de até $50 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Seiffert, 1982). A remoção via colheita varia com a cultura, tipo de exploração, tecnologia de colheita, sistemas de preparo e de cultura. Lovato (2001) observou que sistemas de cultivo, como a sucessão aveia/milho em preparo convencional e sem adição de N mineral,

com baixa adição de resíduos, retirou 21 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ via grãos, resultando em adição líquida negativa de N (-21 kg N ha⁻¹ ano⁻¹), enquanto a sucessão aveia+ervilhaca/milho+caupi em plantio direto, retirou 71 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, porém com adição líquida de 160 kg N ha⁻¹ ano⁻¹.

Em contrapartida, as principais entradas de N num sistema agrícola são provenientes da fixação biológica, da adição de fertilizantes e da deposição atmosférica (ou precipitação pluviométrica). Segundo Moreira & Siqueira (2002) as quantidades adicionadas por estas vias variam de 50 a 500 kg N ha⁻¹ pela fixação biológica, de 50 a 400 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ pela fertilização e de 5 a 20 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ pela deposição atmosférica.

Leal (1996) em revisão bibliográfica constatou que a entrada de N depositado pela precipitação anual é bastante variada, com valores que vão desde 5 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ até 30 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, podendo haver maior deposição em áreas próximas de fontes emissoras, como grandes plantações intensivas, áreas industriais ou grandes criações de animais.

As leguminosas são conhecidas por seu potencial de incorporação de N ao solo, através da fixação simbiótica de N₂ atmosférico (Aita, 1997; Amado et al., 2001; Lovato, 2001). Em adição a isso, quando são usados fertilizantes nitrogenados nas gramíneas cultivadas em sucessão, maiores acúmulos de C têm sido relatados em função do maior aporte de biomassa (Aita et al., 2001). Segundo Dakora & Keya (1997), entre os fatores que afetam a fixação simbiótica de N estão temperatura e umidade do solo, conteúdo de N mineral no solo, genótipo da planta, desordens nutricionais na planta e quantidade e eficiência dos rizóbios.

Resultados bastante variados são relatados, em função da espécie leguminosa utilizada e da sua eficiência em associar-se às bactérias fixadoras de N. Conforme Muzilli & Castro Filho (1999), leguminosas como a ervilhaca, o trevo e o caupi fixam em média, 160, 140 e 202 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ respectivamente. Lovato (2001) observou que na rotação ervilhaca/milho, a fixação média de três sistemas de preparo, sem adição de N mineral, foi de 86 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, e quando foram incluídas duas leguminosas na rotação (aveia+ervilhaca/milho+caupi) houve fixação de 131 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ em média nos três sistemas. Dakora & Keya (1997) relatam em estudos com fixação simbiótica em diferentes locais na África que as quantidades de N fixadas

variam entre 15 e 125 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na soja, entre 24 e 39 kg ha⁻¹ ano⁻¹ no caupi e entre 17 e 57 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ no feijão.

Ceretta et al. (1994) estudando a capacidade de leguminosas de primavera em fornecer N para o milho cultivado em sucessão, estimaram que o feijão-de-porco contribuiu com 23,2 kg N ha⁻¹ para o milho enquanto a crotalária e o guandu-anão contribuíram com 13,8 e 10,7 kg N ha⁻¹, respectivamente. Esses valores são semelhantes aos encontrados por Medeiros (1985) e Teixeira (1988) que avaliaram a contribuição de diversos sistemas de culturas, incluindo espécies de inverno e de verão, no suprimento de N ao milho, e inferiores aos apresentados por Testa (1989), nos quais a contribuição estimada variou de 13 kg ha⁻¹ no sistema aveia+trevo/milho a 58 kg ha⁻¹ no sistema trevo+gorga/milho.

Assim, fica evidente que a dinâmica do N é bastante afetada por fatores ambientais como alterações no clima, na vegetação etc, devido às variações nas taxas de adição e decomposição da MOS, afetando os resultados obtidos nas diferentes técnicas de manejo de solo empregadas mais em longo prazo. Por conta disso, torna-se difícil avaliar as quantidades de N adicionadas pelos sistemas de culturas, já que o N presente na biomassa das plantas pode vir do solo, da fixação biológica, da deposição atmosférica e do adubo nitrogenado (Amado, 1997). Isso dificulta a separação entre o N reciclado e aquele efetivamente adicionado ao sistema. Esta separação normalmente é feita com o uso de técnicas isotópicas com N marcado (N¹⁵) (Khan et al., 2002; Jenkinson et al., 2004), ou com base em experimentos de campo (Teixeira et al., 1994; Lovato, 2001). Segundo Lovato et al. (2004), esta última técnica considera que o N absorvido pelas gramíneas provém exclusivamente do solo ou do adubo aplicado e o N contido nas leguminosas, do solo e da fixação simbiótica. Assim, a contribuição da fixação simbiótica é obtida ao descontar do N da biomassa da leguminosa, o N absorvido pela gramínea. Os autores destacam ainda, que essa forma de cálculo, provavelmente superestima a contribuição da fixação simbiótica, principalmente quando avaliada em misturas de gramíneas e leguminosas.

2.2 Uso de modelos no estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo

As lentas alterações nos estoques de MOS e a complexidade de processos químicos e físicos e biológicos que envolvem as dinâmicas do C e do N, o que, associados aos curtos períodos experimentais, dificultam a visualização do seu comportamento a médio e longo prazo. Neste sentido, o ajuste de modelos auxilia na interpretação e extrapolação dos resultados experimentais, podendo se constituir numa ferramenta importante para o planejamento e definição de sistemas de manejo mais adequados em longo prazo e, portanto, sustentáveis (Bayer et al., 2000c, Fernandes, 2002).

Inicialmente, foram criados modelos com um único compartimento, para representar o declínio do C e do N em solos cultivados, como é o caso do modelo proposto por Henin & Dupuis (1945) e aplicado por Woodruff (1949) para o estudo do N e que posteriormente foi adaptado e usado no estudo do C por Dalal & Mayer (1986) e Bayer (1996). Mais recentemente, este modelo foi usado por Lovato (2001) para estudar a dinâmica do C e do N.

Atualmente, existem modelos com múltiplos compartimentos e que apresentam maior complexidade (van Veen & Paul, 1981; Janssen, 1984; Parton et al., 1987), como é o caso do modelo Century, e permitem o melhor entendimento da dinâmica da matéria orgânica por considerar frações orgânicas com diferente composição e estabilidade no solo (Bayer et al., 2000c). Tais modelos foram desenvolvidos para condições de solos pouco intemperizados e de clima temperado, sendo os compartimentos da MOS e sua estabilidade no solo diferentes daqueles encontrados em solos mais intemperizados e sob clima quente e úmido (Parfitt et al., 1997), havendo necessidade de mais estudos a fim de determinar a magnitude e os coeficientes de conversão entre os compartimentos da MOS, para melhorar as estimativas em solos tropicais e subtropicais (Parfitt et al., 1997).

Segundo Parton et al. (1987), os modelos não incluem os vários mecanismos de estabilização da matéria orgânica nos solos, e com isso usam o artifício de dividir a MOS em diferentes compartimentos, com tempos variáveis de permanência no solo, definindo a dinâmica em função dos fluxos

entre eles. Esse tempo pode ser de 1 mês, em alguns compartimentos, ou superior a 1000 anos em outros.

2.3 Modelo Century

O modelo Century vem sendo utilizado com sucesso no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos nas mais diversas regiões e biomas do mundo (Parton et al., 1987; Paustian et al., 1992; Metherell et al., 1994). Ele foi desenvolvido em solos sob pastagens naturais, e, posteriormente, adaptado para solos de florestas e sob explorações agrícolas, passando a incluir o efeito do preparo de solo sobre algumas taxas de decomposição. Versões mais recentes do modelo incluem perdas de C e N por lixiviação, retiradas por colheitas e efeito de cultivo (Metherell et al., 1994; Kelly et al., 1997). O Century permite a modelagem da dinâmica do C, N, P, S, água, crescimento e produção de plantas em diversos biomas, tipo de solo e clima.

No Brasil, o modelo Century já foi testado e, para as condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, apresentou bom desempenho na simulação da dinâmica do carbono orgânico (Vezzani, 2001; Fernandes, 2002) após ajustes na taxa de decomposição do compartimento lento em função do tipo de preparo de solo, sistema de cultura e dose de N mineral adicionada. No entanto, mesmo com tais ajustes, Fernandes (2002) observou que o modelo não simulou adequadamente a dinâmica do N em solo, quando comparado com resultados apresentados anteriormente por Lovato, (2001) e obtidos na mesma área experimental, superestimando o estoque de N no solo sob vegetação nativa e cultivado com culturas anuais em diferentes sistemas de cultivo. Isso indica que o problema não está relacionado com a fixação simbiótica do N, ou preparo de solo, mas segundo a autora, pode estar associado a algum passo no submodelo do N ou parâmetro de cultura. As estimativas pelo Century foram até 65% superiores aos dados observados no campo em tratamentos sem N, e até 63% quando foi aplicado N. Outro fator considerado pela autora, é que as perdas de N por volatilização, lixiviação e

exportação pela colheita, também podem estar contribuindo, por estarem sendo subestimadas.

Leite et al. (2004b), estudando a dinâmica da MOS em um Argissolo Vermelho Amarelo do Estado de Minas Gerais submetido à adubação mineral e orgânica, observaram diferenças entre os estoques de NT medidos e simulados pelo modelo Century. Neste estudo, com a adição de 60 kg ha⁻¹ de N mineral ao solo (20 kg N ha⁻¹ pela fórmula 4-14-8 e 40 kg N ha⁻¹ em cobertura) o NT estimado pelo modelo superou em 6% o NT medido pelos autores. Por outro lado, nos tratamentos com adubação orgânica, os estoques simulados pelo modelo Century foram subestimados em relação aos estoques medidos, com diferenças em torno de 10%.

Probert et al. (1995) em experimentos de longa duração também observaram que o Century apresentou limitação nas simulações com N. Neste caso, o modelo subestimou os estoques de N, o que os autores atribuem ao fato de que o Century assume que toda a chuva recebida passa sem interrupção pelo perfil, e isto causaria uma lixiviação de nitrato irreal, ou seja, o Century estaria superestimando as perdas de N, sob a forma de nitrato, por lixiviação.

2.3.1. Submodelo do nitrogênio - compartimentos e fluxos

No modelo Century, o submodelo do N é constituído pelo sistema solo-planta, que está dividido em oito compartimentos principais, conforme Figura 1. A cobertura vegetal é separada em resíduo de superfície, que corresponde ao N da parte aérea das plantas, e de solo, correspondente ao N das raízes. Estas frações são subdivididas em dois tipos de compartimentos, conforme a relação lignina/nitrogênio (L/N), o metabólico e o estrutural, que correspondem às variáveis de saída STRUCE(1,1) e METABE(1,1) para os de superfície, e STRUCE(2,1) e METABE(2,1) para os de solo. O N do compartimento metabólico tem pronta degradação, especialmente aquele oriundo das raízes, que, por estar em maior contato com o solo, é facilmente atacado pelos microrganismos, enquanto o N metabólico da parte aérea será incorporado na biomassa microbiana superficial, SOM1E(1,1). Os

compartimentos estruturais têm decomposição mais lenta (Metherell et al., 1994).

Na MOS, por sua vez, o N é separado em 3 compartimentos: N orgânico ativo, (SOM1E(2,1)), N orgânico lento (SOM2E(1)) e N orgânico passivo (SOM3E(1)). O ativo é composto basicamente pela biomassa microbiana, de plantas e seus subprodutos ou exudatos tendo fácil degradação. Compostos de decomposição mais difícil que os anteriores, que estão fisicamente protegidos devido à interação das suas moléculas com minerais do solo, pertencem ao compartimento lento. E por último, o compartimento passivo que é formado por compostos quimicamente recalcitrantes e que podem estar física ou coloidalmente protegidos, sendo então de elevada permanência no solo (Parton et al., 1987; Metherell et al., 1994; Leal, 1996).

Na Figura 1 também podem ser observadas as entradas e saídas de N no sistema solo-planta consideradas pelo modelo Century, com a fixação simbiótica (SNFXAC) e não-simbiótica (WDFXS), deposição atmosférica (WDFXA) e a adubação mineral (FERTOT(1)) representando as principais formas de adição de N, e a volatilização (VOLGMA, VOLEXA e VOLPA), a lixiviação (STREAM(2) e STREAM(6)) e o N removido pela colheita (ERMVST(1) e EGRAIN(1)) as principais saídas de N do sistema.

Como já comentado anteriormente, o modelo Century tem apresentado limitações na predição da dinâmica do N em condições de clima do Sul do Brasil, e possivelmente haja problema em uma ou mais variáveis que regulam o fluxo de adição e perda de N do solo. Sendo assim, seria conveniente a realização de ajustes necessários nos coeficientes, de adição e ou de perda, do submodelo do N.

Neste sentido, para que o modelo Century se constitua em ferramenta útil para o estudo do N em nosso meio, deve ser parametrizado localmente e ajustado com base em experimentos de longa duração. Com este intuito propôs-se o presente trabalho, visto que apesar de amplamente testado, como já foi comentado, o Century tem sofrido alterações visando melhorar seu desempenho nos diversos tipos de solo, clima e biomas, especialmente em situações diversas daquelas para as quais foi desenvolvido, como é o caso do Brasil e mais especificamente do Rio Grande do sul.

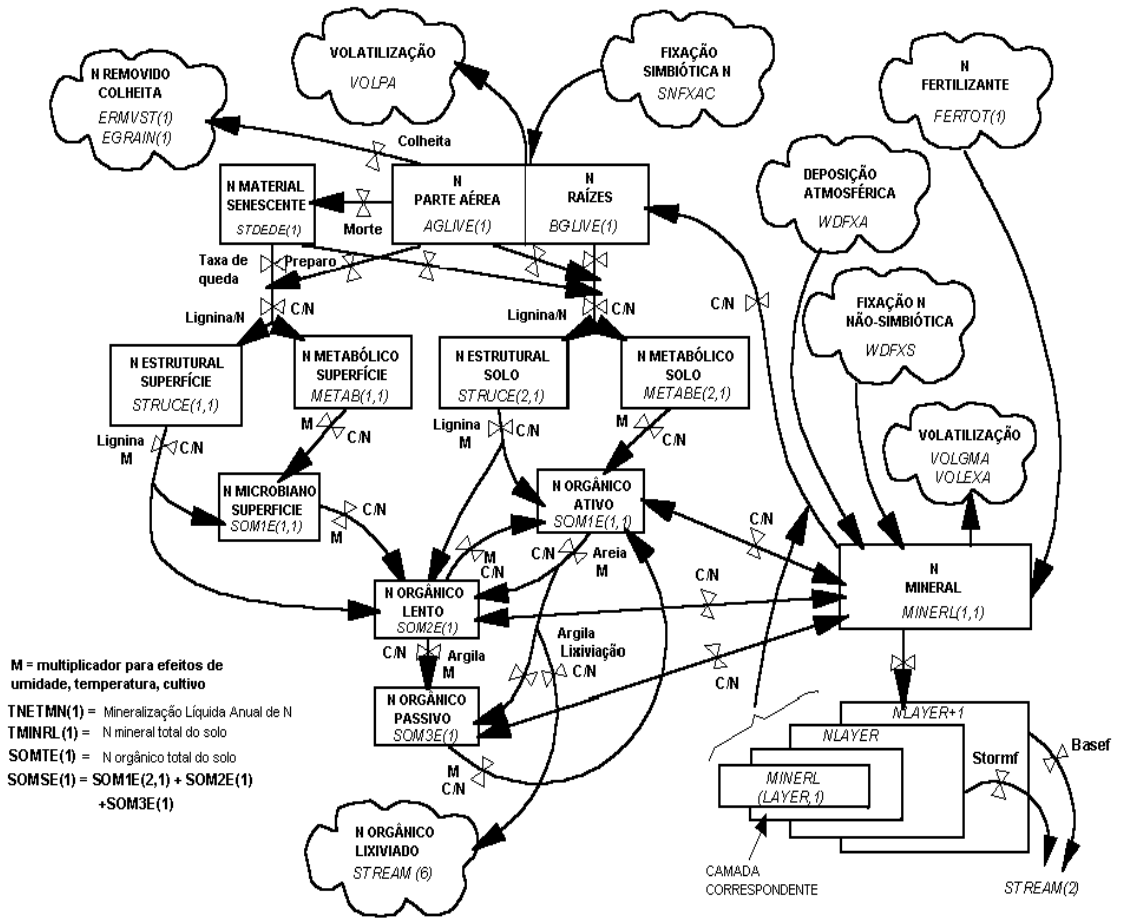


FIGURA 1. Compartimentos e fluxos de nitrogênio no modelo Century 4.0, conforme Metherell et al. 1994.

3. HIPÓTESES

Com base no exposto anteriormente, estabeleceram-se as seguintes hipóteses:

1. É possível melhorar as estimativas de acúmulo de nitrogênio no solo pelo modelo Century alterando parâmetros relacionados com a adição e perda de nitrogênio, bem como, a relação C/N dos compostos que entram nos compartimentos lento e passivo.
2. Nas condições reais, o revolvimento do solo devido ao preparo convencional causa maior decomposição dos compartimentos ativo (COA), lento (COL) e passivo (COP), do que aquela considerada pelo modelo Century, sendo necessário o uso de efeito adicional de cultivo.

4. OBJETIVOS

Para testar as hipóteses acima, foram estipulados os seguintes objetivos:

1. Valendo-se de dados experimentais de manejo de solo de longa duração em um Argissolo Vermelho distrófico (PVd) do Sul do Brasil, ajustar alguns parâmetros do modelo Century, para que este, após localmente parametrizado, simule adequadamente as dinâmicas do C e do N no solo;
2. Estimar com o modelo Century as dinâmicas do C e do N no solo para tempos futuros nos diferentes sistemas de manejo de solo que compõem o experimento de manejo de solo de longa duração.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Descrição resumida do experimento

O experimento utilizado na presente pesquisa se localiza na Estação Experimental da UFRGS, no município de Eldorado do Sul, em um Argissolo Vermelho distrófico (PVd), pertencente à Unidade de Mapeamento São Jerônimo, representativo da região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Este solo apresenta textura franco-argilo-arenosa. A área, inicialmente vegetada por campo nativo, foi ocupada por lavoura sob preparo convencional com cultivo de colza e girassol entre os anos de 1970 e 1984, o que resultou em solo degradado fisicamente. O ensaio foi iniciado em 1985, e segue um delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Envolve um arranjo fatorial de três sistemas de preparo de solo, preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e plantio direto (PD), com três sequências culturais, aveia/milho (AM), vica/milho (VM) e aveia+vica/milho+caupi (AVMC), e dois níveis de nitrogênio aplicados na cultura do milho (0 e 180 kg ha⁻¹ ano⁻¹), em parcelas subdivididas. As espécies usadas apresentam a seguinte nomenclatura científica: aveia preta (*Avena strigosa*), milho (*Zea mays*), vica comum (*Vicia sativa*), e feijão caupi (*Vigna unguiculata*).

O experimento sofreu algumas alterações ao longo do tempo. Até 1989, no caso das culturas, em lugar da vica foi usado o trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum*). Já os níveis de N anteriores eram de 120 kg ha⁻¹

ano⁻¹, representando 138 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na média do período de 1985 a 1998. Maiores detalhes sobre a condução do experimento podem ser obtidos em Bayer (1992), Bayer (1996) e Lovato (2001).

5.2. Tratamentos utilizados nas simulações com o modelo Century 4.0

A partir do experimento anteriormente descrito, foram utilizados dois sistemas de preparo de solo, preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), com duas sequências culturais, aveia/milho (AM) e aveia+vica/milho+caupi (AVMC), e dois níveis de nitrogênio aplicados na cultura do milho (0 e 138 kg ha⁻¹ ano⁻¹). Também foram acrescentados o campo nativo (CN), para representar a condição natural do solo (até 1969), e os cultivos de colza e girassol (CG) realizados durante quatorze anos (1970 a 1984) sob preparo convencional.

5.3. Descrição do modelo Century 4.0

O Century é um modelo de simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) que foi desenvolvido para ser utilizado em diversos biomas, tipos de solo e clima (Parton et al., 1987; Metherell et al., 1994).

A versão Century 4.0 para UNIX e portada para DOS, utilizada na presente pesquisa, envolve um conjunto de arquivos e programas interligados. Dentre os arquivos destacam-se os chamados arquivo local (SITE.100) e o arquivo dos cenários de manejo (*.SCH). No arquivo local são indicadas todas as informações iniciais de localização geográfica, clima e solo da área a ser estudada. No arquivo do cenário de manejo são informadas todas as atividades de manejo realizadas nesta área, sendo estas organizadas de modo qualitativo, quantitativo e temporal o que possibilita dividir o cenário de manejo em blocos e reconstituir o histórico de manejo da área num único arquivo.

No arquivo *.SCH podem ser listadas atividades que envolvem diferentes sistemas de cultivo, florestas, remoção de floresta, culturas, fertilização com N, P e S, irrigação, adubação orgânica, uso de fogo, colheita e pastejo, sendo que as informações dos parâmetros destas atividades são consultadas nos arquivos acessórios CULT.100, TREE.100, TREM.100, CROP.100, FERT.100, IRRI.100, OMAD.100, FIRE.100, HARV.100 e GRAZ.100, respectivamente. Na presente pesquisa, foram utilizados os arquivos acessórios CULT.100 (Apêndice 1), CROP.100 (Apêndice 2), FERT.100 (Apêndice 4), IRRI.100 (Apêndice 5), HARV.100 (Apêndice 6) e GRAZ.100 (Apêndice 7).

A definição de quais os dados climáticos do arquivo local que serão utilizados na simulação também é feita no *.SCH. Neste caso, a letra maiúscula "M" indicada no *.SCH possibilita somente a utilização dos valores médios mensais de precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas do ar ambos representados no arquivo local como PRECIP(12), TMX2M(12) e TMN2M(12), respectivamente. Outra opção, indicada no *.SCH pela letra maiúscula "S", é a associação destes valores médios mensais com os valores mensais de desvio padrão da precipitação e a caracterização do grau de assimetria da distribuição dos valores da precipitação em relação a sua média que é dado pela distorção da normal, parâmetros estes indicados no arquivo local como PRCSTD(12) e PRCSKW(12), respectivamente, sendo que as definições destes parâmetros, bem como dos demais parâmetros e variáveis de saída estudados nesta pesquisa encontram-se resumidos no Apêndice 24. E por último pode-se criar um arquivo acessório (*.WTH) que contém dados mensais da série histórica de precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas do ar referentes ao período que será simulado, o que é indicado no *.SCH pela letra maiúscula "F" seguida do nome arquivo *.WTH.

Existe ainda outro arquivo acessório, o FIX.100, que deve ser escolhido em função do bioma referente à região em que a área a ser simulada se localiza e contém alguns parâmetros do modelo que dificilmente são alterados, como por exemplo, taxas de decomposição de compartimentos, coeficientes de equações diversas, frações de nutrientes (N, P e S) disponíveis para as plantas, relações C/N máximas e mínimas que controlam o fluxo de C e N nos diferentes compartimentos da MOS, frações de N perdidas por

volatilização e lixiviação, entre outros. Para as simulações da presente pesquisa utilizou-se o FIX.100 correspondente ao bioma *mesic/subhumid grassland*, relativo ao campo nativo em regime de temperatura mésico e precipitação subúmida (Apêndice 8).

5.3.1. Parametrização do modelo Century 4.0

O processo de obtenção dos dados necessários para a execução do modelo é chamado de parametrização. Nesta etapa faz-se um ajuste dos parâmetros a serem usados na simulação propriamente dita e isso deve se repetir para cada simulação a ser realizada (Leal, 1996; Fernandes, 2002).

A parametrização do modelo Century compreende a obtenção de informações relativas aos parâmetros do arquivo local (SITE.100), sendo que algumas destas informações são imprescindíveis para a execução do modelo. Dentre elas, a precipitação média mensal, temperaturas médias máximas e mínimas mensais, latitude e longitude da área em estudo, densidade e teores de areia, silte e argila do solo, profundidade e distribuição do sistema radicular, adições de N por deposição atmosférica e fixação não-simbiótica, relação C/N da vegetação acima e abaixo do solo, teor de lignina na vegetação, teor inicial de C, N, P e S nos compartimentos do solo e distribuição da massa de C em galhos finos, madeira, raízes finas e grossas, no caso de árvores. Nos casos em que não se dispõem de informações acerca de alguns destes parâmetros para a área em estudo, é comum a utilização dos valores padrões do modelo (indicados no modelo original).

Na presente pesquisa, a parametrização do modelo Century 4.0 implicou na utilização de dados reais de clima e solo referentes à área experimental localizada na Estação Experimental da UFRGS, no município de Eldorado do Sul, conforme descrito anteriormente. Tais dados são indicados no arquivo local (SITE.100) (Apêndice 9) onde também encontram-se outras informações necessárias para as simulações e que foram calculadas pelo modelo ou obtidas em estudos preliminares.

5.3.1.1. Parâmetros de solo

Foram utilizados dados de atributos químicos e físicos do solo (Tabela 1), apresentados por Fernandes (2002), referentes ao Argissolo Vermelho distrófico (PVd), pertencente à Unidade de Mapeamento São Jerônimo, representativo da região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. As amostras foram coletadas em solo sob campo nativo, visto que esta corresponde à vegetação clímax, com os maiores conteúdos esperados de COT e, além disso, sob mínima influência da atividade humana.

TABELA 1. Atributos químicos e físicos para a camada arável (0-20 cm) do solo utilizado na parametrização do modelo Century (adaptado de Fernandes, 2002).

Solo	Granulometria			Densidade do Solo	pH
	Areia	Silte	Argila		
	----- mg kg ⁻¹ -----			kg dm ⁻³	
PVd	501	262	229	1,55	5,1

Maiores informações sobre a amostragem do solo e metodologia adotada nas determinações dos resultados apresentados na Tabela 1 podem ser obtidas em Fernandes (2002).

5.3.1.2. Parâmetros de clima

Dados climáticos de precipitação pluviométrica e temperatura do ar são indispensáveis para a execução do modelo Century, e foram utilizados de três maneiras diferentes, porém complementares de acordo com a disponibilidade de informações para a área em estudo referentes ao período de interesse nas simulações.

Para simular o campo nativo, condição mantida até 1969, os valores mensais de precipitação e temperaturas máximas e mínimas do ar (médias de 30 anos para a região de Porto Alegre, RS) foram os mesmos utilizados por Fernandes (2002) em simulações com o modelo Century 4.0 na mesma área experimental, sendo estes obtidos em Moreno (1961). No entanto, no período que antecedeu a instalação do experimento (1970 a 1984), associou-se a precipitação estocástica aos parâmetros climáticos já adotados no campo nativo. Para isso, fez-se o cálculo do desvio padrão e da distorção da normal

para a precipitação mensal permitindo-se assim, maior aproximação entre as simulações e as condições reais de precipitação já que esta pode apresentar grande variação considerando-se o mesmo mês em anos diferentes.

Neste sentido, a maior ou menor disponibilidade de água no sistema influencia o desenvolvimento das plantas, afetando, portanto, a dinâmica das adições e perdas da MOS, o que evidencia ainda, a importância de se reconstituir as séries históricas climáticas para as simulações. Na presente pesquisa, foi possível reconstituir a série histórica de precipitação e temperaturas máximas e mínimas do ar para o período de 1985 a 2003. Para tanto, foram utilizados dados obtidos no Departamento de Forrageiras e Agrometeorologia da Faculdade de Agronomia da UFRGS (dados não publicados) referentes à Estação Meteorológica de Eldorado do Sul, município onde se localiza a área experimental. Isso possibilitou a organização do arquivo acessório SJERÔNIMO. WTH (Apêndice 10). A partir de 2004, para estimativas futuras da dinâmica da MOS (até o ano de 2150), novamente utilizou-se a precipitação estocástica associada aos valores médios de precipitação e temperatura do ar.

5.3.1.3. Execução de equilíbrio

As informações referentes à distribuição dos compartimentos da MOS podem ser obtidas pelo próprio modelo. Neste caso, faz-se uma simulação por um longo período de tempo com manejo constante e geralmente na condição inicial da área (vegetação nativa) para que todas as variáveis de saída do modelo se estabilizem. Tal procedimento foi tratado como execução de equilíbrio.

Assim, na presente pesquisa, após a sua parametrização com os dados de clima e solo, o modelo Century foi executado por um período de 6000 anos nas condições de campo nativo, buscando-se a estabilização de todas as variáveis de saída do modelo. Além disso, verificou-se ao final desse período se os teores de C e N estimados pelo modelo correspondiam aos estoques reais presentes na camada de 0 a 20 cm do Argissolo em estudo. Quando houve discordância entre os valores estimados pelo modelo e os valores reais do solo, foram procedidas verificações em parâmetros fixos do modelo (FIX.100) e feitos os ajustes necessários nos parâmetros de entrada externa

de N (SITE.100), ambos relacionados com a dinâmica do N, procedendo-se ainda, ajustes na adição de C pela alteração do parâmetro PRDX(1) do arquivo CROP.100, parâmetro este que indica o potencial máximo de adição mensal de C, quando não ocorrerem limitações ao crescimento vegetal. Estas alterações serão apresentadas detalhadamente a seguir.

5.3.1.4. Demais parâmetros

Os parâmetros da matéria orgânica inicial como a relação C/N da vegetação acima e abaixo do solo, teor de lignina na vegetação, teor inicial de C, N, P e S nos compartimentos do solo foram mantidos iguais aos obtidos em Fernandes (2002), já que nem todos os parâmetros exigidos estavam disponíveis. Além disso, parâmetros relacionados à entrada externa de nitrogênio (fixação não-simbiótica e deposição atmosférica) e matéria orgânica inicial, ambos encontrados no arquivo local (SITE.100), merecem destaque visto que foi proposta alteração em um parâmetro relacionado à entrada de N pela fixação não-simbiótica, conforme será detalhado mais adiante.

5.3.3. Ajustes dos parâmetros do modelo Century 4.0

A etapa de ajustes foi realizada para determinar os valores dos parâmetros do modelo objetivando a obtenção de resultados coerentes com a realidade. Para tanto, foram utilizados como referência os dados apresentados por Lovato (2001), onde são conhecidas as adições de C e N pelos sistemas de culturas e adubações nitrogenadas, além dos estoques destes elementos no solo ao longo de 13 anos, considerando-se a profundidade de 0 - 20 cm e tendo-se como base a amostragem realizada em setembro de 1998. Maiores detalhes sobre a obtenção destes resultados constam em Lovato (2001).

A existência de diferenças entre os valores estimados pelo modelo Century e os valores reais de COT, NT e relação C/N do solo, identificadas durante a etapa de ajuste do modelo, embasaram os estudos preliminares com o objetivo de identificar quais parâmetros do modelo deveriam ser alterados para que estes problemas de estimativa fossem corrigidos. Com base nisto, fez-se dois grupos de simulações sendo um chamado de “simulação com modificações”, onde foram feitas alterações de parâmetros do modelo, e o

outro chamado de “simulação padrão” que foi idêntica a anterior, porém com todos os parâmetros mantidos na condição original.

5.4. Parâmetros alterados no modelo Century 4.0

A superestimativa dos estoques de N do solo pelo modelo Century, em relação aos valores observados na área experimental evidenciados por Fernandes (2002), levou a necessidade de estudar mais detalhadamente o submodelo do N para identificar possíveis discrepâncias do modelo nos processos de adição e perda de N do sistema, bem como nos fluxos de N para os diferentes compartimentos da MOS.

Os resultados obtidos por Fernandes (2002) para a dinâmica do N deixam claro que esta superestimativa não está relacionada com a fixação simbiótica de N ou com o preparo do solo adotado nos diferentes tratamentos estudados, visto que o problema ocorreu já na execução de equilíbrio na condição de campo nativo indicando que a falha está relacionada com algum parâmetro de entrada externa de N (fixação não-simbiótica e/ou deposição atmosférica) do arquivo local (SITE.100) ou ainda algum parâmetro fixo (FIX.100) que determinam, por exemplo, as quantidades de N perdidas por lixiviação e volatilização. Estudos preliminares foram feitos com o intuito de identificar quais parâmetros do SITE.100 e do FIX.100, bem como demais parâmetros dos arquivos acessórios deveriam ser modificados para que as estimativas do modelo Century refletissem de forma adequada a dinâmica do N nas condições em estudo.

Dada a relevância da fixação simbiótica no estudo da dinâmica do N, é importante destacar que, mesmo funcionando adequadamente no modelo, foi necessário o ajuste do parâmetro do arquivo acessório CROP.100 relacionado ao processo de fixação simbiótica de N. Isso porque, na presente pesquisa, foram estudados sistemas de culturas que envolveram diferentes espécies leguminosas (vica e caupi) e, portanto, com capacidades diferenciadas de fixar o N por simbiose. Sendo assim, este ajuste será mais bem detalhado a seguir.

Além disso, a estimativa da dinâmica do C pelo modelo também apresentou distorções em relação aos valores reais após o início da agricultura na área em estudo e para solucionar tais distorções foram estudados parâmetros do arquivo acessório CULT.100.

5.4.1. Alterações para ajuste da dinâmica do nitrogênio no campo nativo

5.4.1.1. SITE.100

Em áreas sob campo nativo da Depressão Central do Rio Grande do Sul geralmente há predomínio de espécies gramíneas que servem como alimento para o gado na maior parte do ano (Bergamaschi & Guadagnin, 1990). Sendo assim, de acordo com o histórico da área em estudo, considerou-se que a entrada de N neste sistema ocorreu basicamente por deposição atmosférica e fixação não-simbiótica além de uma pequena fração depositada pelas fezes e urina dos animais durante o pastejo, a qual pode ser considerada como reciclagem de N. Neste contexto, parâmetros do arquivo local (SITE.100) relacionados com a deposição atmosférica e fixação não-simbiótica determinaram a adição de N ao sistema durante a simulação do campo nativo (execução de equilíbrio).

Estudos preliminares foram feitos com base em parâmetros de equações que determinam o efeito da precipitação anual na entrada de N pela deposição atmosférica (EPNFA(2)) e pela fixação não-simbiótica (EPNFS(2)), observando-se que a alteração do parâmetro EPNFS(2) causava grande variação na quantidade de N adicionada ao solo optando-se então pela sua alteração (Tabela 2). Os valores dos demais parâmetros de entrada externa de N foram mantidos na condição original (padrão).

TABELA 2. Valor padrão e modificado do parâmetro EPNFS(2) no arquivo local (SITE.100) do modelo Century 4.0.

Parâmetro	Padrão	Modificado
	----- g m ⁻² ano ⁻¹ -----	
EPNFS(2) ¹	0,028	0,019

¹ Inclinação da curva que determina o efeito da precipitação anual na entrada de N pela fixação não-simbiótica.

5.4.2. Alterações para ajuste das dinâmicas do nitrogênio e do carbono no período de cultivo de colza e girassol (1970 a 1984)

5.4.2.1. FIX.100

Para que o estoque de N e as relações C/N estimadas pelo modelo Century se aproximassem dos valores apresentados por Lovato (2001) para o período de cultivo de CG foram necessárias alterações de três parâmetros fixos do arquivo FIX.100, conforme Tabela 3.

Os parâmetros VARAT2(1,1) e VARAT3(1,1) correspondem às relações C/N máximas do material que entra nos compartimentos lento e passivo respectivamente. O aumento destas relações permite que materiais em menor grau de decomposição façam parte destes compartimentos aumentando, portanto, a relação C/N total do solo. Estas modificações foram sugeridas pela equipe que desenvolveu o modelo Century na Universidade de Colorado (EU). Além disso, aumentou-se a perda de N por volatilização, a qual é expressa pelo parâmetro VLOSSG que indica uma fração mensal do total de N mineralizado que é volatilizada.

TABELA 3. Valores padrões e modificados para os parâmetros VARAT2(1,1), VARAT3(1,1) e VLOSSG do arquivo fixo (FIX.100) do modelo Century 4.0.

Parâmetros	Padrão	Modificado
VARAT2(1,1) ¹	20	25
VARAT3(1,1) ²	8	14
VLOSSG ³	0,01	0,013

¹ Relação C/N máxima do material que entra no compartimento lento;

² Relação C/N máxima do material que entra no compartimento passivo;

³ Fração mensal do total de N mineralizado que é volatilizada.

5.4.2.2. CULT.100

Foi utilizado neste estudo uma alternativa que vem sendo adotada em versões mais recentes do modelo Century que é o chamado “efeito adicional de cultivo” (Apêndice 1) buscando-se corrigir uma falha do modelo Century 4.0 em que os fatores de cultivo para decomposição dos compartimentos ativo (CLTEFF(1)), lento (CLTEFF(2)) e passivo (CLTEFF(3)),

afetam a decomposição somente no mês do preparo do solo (simulação padrão), não sendo suficientes para representar a perturbação provocada pelo revolvimento do solo. Este efeito foi utilizado, na simulação com modificações, para todos os casos que envolveram preparo convencional (período de 1970 a 1984 e período experimental) por dois meses seguidos após o mês do revolvimento do solo.

5.4.3. Alterações para ajuste das dinâmicas do carbono e do nitrogênio no período experimental

5.4.3.1. CROP.100

Devido às variações nas quantidades de N fixadas em função da espécie leguminosa cultivada, procedeu-se o ajuste do parâmetro SNFXMX(1) do arquivo acessório CROP.100 (Apêndice 2) que indica a quantidade máxima de N que é fixada simbioticamente por cada cultura, conforme pode ser observado na Tabela 4. Isso possibilitou que o caupi e a vica, espécies estudadas nesta pesquisa, tivessem capacidades diferenciadas de fixação de N.

Cabe destacar que os valores adotados para o parâmetro SNFXMX(1) (Tabela 4) somente variaram em função da espécie leguminosa, caupi ou vica, independentemente do tipo de preparo do solo e dose de N aplicada ao solo. Além disso, esses valores foram mantidos iguais tanto na simulação padrão como na simulação com modificações.

TABELA 4. Valor do parâmetro SNFXMX(1) no arquivo CROP.100 do modelo Century 4.0 para as espécies leguminosas vica e caupi.

Parâmetro	Vica	Caupi
	----- g N fixado g ⁻¹ C na brotação -----	
SNFXMX(1) ¹	0,03	0,01

¹ Fixação simbiótica de N máxima em cada espécie.

5.4.3.2. CULT.100

a) “Efeito adicional de cultivo”

Assim como no período de cultivo de CG, o “efeito adicional de cultivo” (Apêndice 1) foi utilizado para o período experimental nos tratamentos que envolveram preparo convencional (PCAM e PCAVMC com 0 e 138 kg N

ha⁻¹) por dois meses seguidos após o mês do revolvimento do solo na simulação com modificações, não sendo utilizado na simulação padrão.

b) Parâmetro CLTEFF(2)

Para solucionar falhas de estimativa do COT, para o experimento, verificadas por Fernandes (2002) e solucionadas pela alteração da taxa de decomposição do compartimento lento (DEC5), propõe-se a alteração do parâmetro CLTEFF(2) do arquivo acessório CULT.100 (Apêndice 1). Este parâmetro é um fator de cultivo para decomposição do compartimento lento, funcionando como um multiplicador para aumentar a decomposição do referido compartimento no mês de cultivo. Originalmente o parâmetro CLTEFF(2) variava somente em função do sistema de preparo de solo. A proposta foi de que, além do sistema de preparo, varie também em função do sistema de cultura adotado e da dose de N aplicado ao solo (Tabela 5).

TABELA 5. Valores padrões e modificados para o parâmetro CLTEFF(2) do arquivo acessório CULT.100 do modelo Century 4.0.

Tratamentos	Dose de Nitrogênio (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)			
	0		138	
	Padrão	Modificado	Padrão	Modificado
PCAM	1,60	2,40	1,60	3,04
PCAVMC	1,60	2,96	1,60	3,20
PDAM	1,00	0,70	1,00	1,40
PDAVMC	1,00	1,10	1,00	1,45

5.5. Procedimento de execução do modelo Century 4.0

Para a simulação com modificações, inicialmente criou-se o arquivo local (SITE.100) inserindo-se os dados de clima e solo e procedendo-se, ainda, a alteração do parâmetro EPNFS(2) anteriormente descrito. Também foram organizados de forma qualitativa, quantitativa e temporal todos os eventos ocorridos nos diferentes cenários de manejo (*.SCH) em estudo. Nesta etapa, foram acrescentados os demais dados referentes ao tipo de preparo de solo, cultura, pastejo, fertilização, entre outras informações necessárias nos

respectivos arquivos acessórios, podendo-se tomar como exemplo os Apêndices 11, 12, 13, 14 e 15.

Os cenários de manejo foram organizados em quatro blocos num mesmo arquivo. O primeiro bloco compreendeu o campo nativo simulado por 6000 anos anteriores ao ano de 1969, a partir do qual se iniciou o segundo bloco correspondendo ao período anterior ao experimento (1970 a 1984) onde as culturas aveia e milho foram utilizadas em substituição ao cultivo de colza e girassol (CG) devido à falta de parâmetros destas culturas no modelo. O terceiro bloco compreendeu o período experimental, iniciando-se em 1985 nos diferentes tratamentos em estudo e encerrando-se em 2003, período em que foi possível reconstituir a série histórica climática da área. E, por último, o quarto bloco, que constituiu o período de 2004 a 2150 onde foram feitas estimativas da dinâmica do C e do N para os diferentes tratamentos estudados mantendo-se o manejo idêntico ao realizado até o momento. Cada tratamento estudado deu nome ao arquivo *.SCH respectivo. Assim no arquivo PCAM.SCH constaram os dois primeiros blocos (iguais em todos os cenários) e os eventos de manejo relativos ao tratamento envolvendo preparo convencional (PC) e sucessão de culturas aveia/milho (AM) sem adição de N mineral, passando a se chamar PCAM138.SCH quando foi adicionado 138 kg ha⁻¹ de N na cultura do milho, e assim por diante, conforme pode ser observado nos Apêndices 11, 12, 13, 14 e 15.

Em seguida, fez-se a execução de equilíbrio na condição de campo nativo por 6000 anos, já referida anteriormente, visto que nem todos os parâmetros exigidos para executar o modelo estavam disponíveis. Nesta simulação há estabilização dos compartimentos da MOS, bem como, das variáveis de saída do modelo. Tal procedimento foi repetido tantas vezes quanto necessário durante o ajuste do parâmetro EPNFS(2) do SITE.100 e dos parâmetros alterados no FIX.100 (VARAT2(1,1), VARAT3(1,1) e VLOSSG), buscando-se, com isso, ajustar a dinâmica do N tanto no campo nativo como no período anterior ao experimento, os quais permaneceram idênticos nos diferentes cenários de manejo simulados. Além disso, no segundo bloco (CG) também foi utilizado o “efeito adicional de cultivo” do arquivo acessório CULT.100.

Após considerar-se como adequado o ajuste da dinâmica do N em relação à dinâmica do C nos cenários referentes aos dois primeiros blocos, procedeu-se o ajuste do parâmetro CLTEFF(2) e do “efeito adicional de cultivo” do arquivo acessório CULT.100 para os diferentes tratamentos em estudo durante o período experimental.

Na primeira etapa, devido às adições de C pelo campo nativo serem desconhecidas, estas tiveram seus valores ajustados para que o COT estimado fosse o mais próximo possível do valor observado no solo sob campo nativo, partindo-se do pressuposto que na prática o COT tenha se mantido estável neste manejo. Isso foi possível pela alteração do parâmetro PRDX(1) do arquivo acessório CROP.100, representando o potencial mensal de produção de C pela parte aérea da cultura em questão. Este procedimento foi repetido para ajustar os dados de COT do período de lavoura entre 1970 e 1984, sobre os quais também não se dispõe de informações suficientes, mas buscando o COT do início do período experimental. No entanto, para o período experimental o ajuste das adições foi em relação aos valores apresentados por Lovato (2001), considerando-se também a quantidade de COT e NT obtida. Além disso, no período experimental, para o sistema de culturas que envolveu leguminosas (AVMC) a fixação simbiótica de N máxima foi ajustada no CROP.100 através do parâmetro SNFXMX(1), variando em função da espécie leguminosa cultivada. Os valores adotados para o parâmetro PRDX(1) em cada cultura constam no Apêndice 3.

Na simulação padrão, manteve-se o mesmo procedimento descrito até aqui, porém os parâmetros do SITE.100, FIX.100 e CULT.100, anteriormente alterados, foram mantidos na condição original (padrão) durante esta etapa.

Na Tabela 6 encontram-se as principais características de manejo usadas para simular cada tratamento em estudo no período experimental de 1985 a 2003 (experimental), sendo estas práticas mantidas durante as estimativas futuras para o período de 2004 a 2150.

TABELA 6. Práticas de manejo de solo adotadas para as simulações com o modelo Century 4.0 a partir de 1985 até 2150.

Mês	Tratamentos							
	0 kg N ha ⁻¹				138 kg N ha ⁻¹			
	PC		PD		PC		PD	
	AM	AVMC	AM	AVMC	AM	AVMC	AM	AVMC
Jan	-----Irrigação-----							
Fev	-----Irrigação Senescência das culturas de verão Colheita do milho-----							
Mar	-----Herbicida- Rolo-faca-----							
Abr	-----Semeadura das culturas de inverno-----							
Mai								
Jun								
Jul								
Ago	-----Senescência das culturas de inverno-----							
Set	Revolvimento do solo		Herbicida Rolo-faca		Revolvimento do solo		Herbicida Rolo-faca	
Out	Semeadura das culturas de verão				Semeadura das culturas de verão 46 kg N ha ⁻¹			
Nov	-----Irrigação-----				-----Irrigação----- 92 kg N ha ⁻¹			
Dez	Irrigação Perda de solo 0,5 g m ⁻²		Irrigação Perda de solo 0,01 g m ⁻²		Irrigação Perda de solo 0,5 g m ⁻²		Irrigação Perda de solo 0,01 g m ⁻²	

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Parâmetros alterados no modelo Century 4.0 para ajustar as estimativas das dinâmicas do carbono e do nitrogênio

6.1.1. Alterações no SITE.100 e FIX.100 para ajustar a estimativa da dinâmica do nitrogênio

A superestimativa dos estoques de N do solo pelo modelo Century em relação aos valores observados tanto na condição de campo nativo como na área sob cultivo, evidenciados por Fernandes (2002), levou à necessidade de promover ajustes no parâmetro EPNFS(2) do arquivo local (SITE.100). Este parâmetro refere-se ao efeito da precipitação anual na entrada de N pela fixação não-simbiótica, representado pela variável de saída WDFXS, que expressa a quantidade anual de N que entra no sistema pela fixação não-simbiótica. Além disso, os parâmetros VARAT2(1,1), VARAT3(1,1) e VLOSSG do arquivo FIX.100 também foram alterados. Os parâmetros VARAT2(1,1) e VARAT3(1,1) correspondem às relações C/N máximas do material que entra nos compartimentos lento e passivo respectivamente (Figura 1), enquanto o parâmetro VLOSSG indica uma fração mensal do total de N mineralizado que é perdida por volatilização e é representado pela variável de saída VOLGM. Os valores sugeridos no presente trabalho (Tabelas 2 e 3) para os referidos parâmetros foram obtidos em estudos preliminares e os efeitos destas

alterações sobre as respectivas variáveis de saída podem ser observados na Tabela 7.

A fixação não-simbiótica juntamente com a deposição atmosférica determinaram a adição de N ao sistema durante a simulação do campo nativo (execução de equilíbrio). Deste modo, a redução do efeito da precipitação anual sobre a fixação não-simbiótica de N (EPNFS(2)) significou diminuir a adição de N por esta via em $9,0 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ alterando, assim, a dinâmica do N neste sistema. Cabe salientar que a quantidade de N adicionada anualmente por esta via ($18,80$ e $9,80 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ no modelo padrão e modificado, respectivamente) foi a mesma ao longo de todo o período simulado que incluiu a execução de equilíbrio, o período de cultivo que antecedeu a instalação do experimento (1970 a 1984), período experimental e estimativas futuras para os diferentes tratamentos, variando apenas entre a simulação com EPNFS(2) padrão e o modificado. Por outro lado, a alteração dos parâmetros fixos VLOSSG, VARAT2(1,1) e VARAT3(1,1) causou efeitos diferenciados sobre as variáveis de saída de acordo com o sistema de manejo simulado. Isso ocorreu devido à dependência do processo de mineralização da MOS, como é o caso da variável VOLGM, e das quantidades de C e N que compõem os diferentes compartimentos da MOS, como ocorre com as relações C/N dos compartimentos lento e passivo mostradas na Tabela 7. Estas variações, bem como os efeitos das alterações dos parâmetros propostos sobre as dinâmicas do C e do N serão mais bem entendidas nos próximos itens do presente trabalho.

No que se refere à volatilização de N no campo nativo e no período de cultivo de colza e girassol, mesmo com o aumento da fração de N perdida de 1 para 1,3 % do total mineralizado (VLOSSG padrão e modificado, respectivamente), a quantidade efetivamente volatilizada (VOLGM) na simulação padrão foi superior à estimada pelo modelo Century após a alteração do parâmetro VLOSSG (Tabela 7). Neste caso, possivelmente a quantidade de N mineralizada na simulação padrão foi maior que a quantidade mineralizada na simulação com modificações. Isso porque, na simulação padrão a maior adição de N pela fixação não-simbiótica (WDFXS) e as menores relações C/N dos compartimentos lento e passivo contribuíram para

TABELA 7. Variáveis de saída estimadas pelo modelo Century 4.0 na condição de campo nativo (CN) e cultivo de colza e girassol (CG) com os parâmetros correspondentes do SITE.100 e FIX.100 padrões e modificados.

Valor	Trat.	Parâmetros estudados				Variáveis de saída			
		SITE.100		FIX.100		WDFXS ¹	VOLGM ²	Relação	Relação
		EPNFS(2)	VLOSSG	VARAT2(1,1)	VARAT3(1,1)			C/N comp. Lento ³	C/N comp. Passivo ⁴
		g m ⁻² ano ⁻¹				----- kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----			
Padrão	CN	0,028	0,010	20	8	18,80	9,18	17,31	6,00
	CG					18,80	8,84	14,61	6,04
Modificado	CN	0,019	0,013	25	14	9,80	6,00	23,05	9,11
	CG					9,80	7,98	18,31	8,99

¹ – Quantidade anual de N que entra no sistema pela fixação não-simbiótica. Média de 6000 anos no CN e de 13 anos no CG.

² – Quantidade de N perdida por volatilização durante a execução de equilíbrio a partir do N mineralizado.

³ – Valor obtido a partir da razão entre as variáveis de saída SOM2C e SOM2E(1) que representam respectivamente as quantidades de C e N no compartimento passivo estimadas pelo modelo Century para o ano de 1969 no CN e 1984 no CG.

⁴ – Valor obtido a partir da razão entre as variáveis de saída SOM3C e SOM3E(1) que representam respectivamente as quantidades de C e N no compartimento passivo estimadas pelo modelo Century para o ano de 1969 no CN e 1984 no CG.

uma maior decomposição da MOS intensificando, com isso, o processo de mineralização.

Além disso, na simulação padrão a quantidade de N volatilizada no campo nativo superou a quantidade perdida após o início da agricultura, dando indícios de que o modelo Century pode estar subestimando a perda de N no solo cultivado, especialmente quando N mineral é adicionado ao sistema, como foi o caso do cultivo de CG. No entanto, na simulação com modificações, a quantidade de N volatilizada no campo nativo ($6,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foi menor que a perda na área cultivada ($7,98 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Tabela 7). Silva et al., (1995), estudando perdas de N em câmaras de volatilização, observaram que a aplicação do equivalente a 60 kg ha^{-1} de N na forma de uréia em um argissolo representativo da Zona da Mata de Pernambuco levou à volatilização de $6,0 \text{ mg N câmara}^{-1}$, correspondendo a aproximadamente $8,0 \text{ kg N ha}^{-1}$ na camada de 0 a 20 cm de profundidade, enquanto na testemunha (0 kg ha^{-1} de N) não ocorreu volatilização.

Neste contexto, é importante salientar que apesar de afetar a dinâmica do N já no campo nativo, a alteração dos parâmetros fixos VLOSSG, VARAT2(1,1) e VARAT3(1,1) foi realizada com o objetivo de ajustar a dinâmica do N no período de cultivo de CG (1970 a 1984), onde a superestimativa da adição associada à subestimativa da perda de N fizeram com que a relação C/N total do solo na simulação padrão permanecesse abaixo do valor real observado em 1984, conforme será detalhado mais adiante.

6.1.2. Alterações no CULT.100 para ajustar a estimativa da dinâmica do carbono

6.1.2.1. “Efeito adicional de cultivo”

Com a utilização do “efeito adicional de cultivo” (Apêndice 1) buscou-se corrigir uma falha do modelo Century 4.0, visto que este tende a superestimar o COT no solo sob preparo convencional e subestimá-lo no solo sob plantio direto (Fernandes, 2002), indicando que os fatores de cultivo para decomposição dos compartimentos ativo (CLTEFF(1)), lento (CLTEFF(2)) e passivo (CLTEFF(3)), que afetam a decomposição somente no mês do preparo do solo, não são suficientes para representar a perturbação provocada pelo

revolvimento do solo e que, por outro lado, a proteção da matéria orgânica gerada pelos sistemas conservacionistas pode estar sendo desconsideradas pelo modelo.

Nos tratamentos que envolveram preparo convencional (CG, PCAM e PCAVMC com 0 e 138 kg N ha⁻¹ano⁻¹) o efeito do revolvimento sobre a dinâmica da MOS foi prolongado por dois meses, promovendo-se maior decomposição de seus compartimentos durante esse período. Esse procedimento também foi adotado por Leite et al., (2004a) nos meses seguintes ao preparo do solo.

6.1.2.2. “Parâmetro CLTEFF(2)

As falhas de estimativa de COT, para o experimento, verificadas por Fernandes (2002) em testes preliminares realizados para os tratamentos sem adubação nitrogenada, levaram o autor a promover ajustes na taxa máxima de decomposição do compartimento lento, representado pelo parâmetro DEC5, determinando o fluxo de saída de compostos deste compartimento. Nesse estudo, os valores de DEC5 foram dependentes da adição de C pelas culturas e do grau de revolvimento do solo. Após a alteração do DEC5 o autor obteve bons resultados no ajuste da dinâmica do C estimada pelo modelo Century. No entanto, a alteração deste parâmetro para cada tratamento em estudo, conforme proposto pelo autor, tornou o processo de simulação propriamente dita mais trabalhoso e demorado já que o DEC5 é um componente do arquivo FIX.100, o qual é utilizado tanto para a simulação do campo nativo como para todos os diferentes cenários de manejo em estudo. Sendo assim, tornou-se impossível dividir o manejo em blocos, de forma a constituir seu histórico num único arquivo *.SCH para uma mesma simulação.

Neste contexto, a alternativa proposta na presente pesquisa foi de manter o parâmetro DEC5 padrão (0,20) para todas as simulações e alterar o parâmetro CLTEFF(2) do arquivo acessório CULT.100 (Apêndice 1). Este parâmetro é um fator de cultivo para decomposição do compartimento lento funcionando como um multiplicador para aumentar a decomposição do referido compartimento no mês de cultivo. Originalmente o parâmetro CLTEFF(2) variava somente em função do sistema de preparo de solo. A Figura 2 confirma que, além do sistema de preparo, o parâmetro CLTEFF(2) (Tabela 5) foi

influenciado também pelo sistema de cultura e dose de N, afetando a adição de C representada no modelo Century pela variável de saída CINPUT.

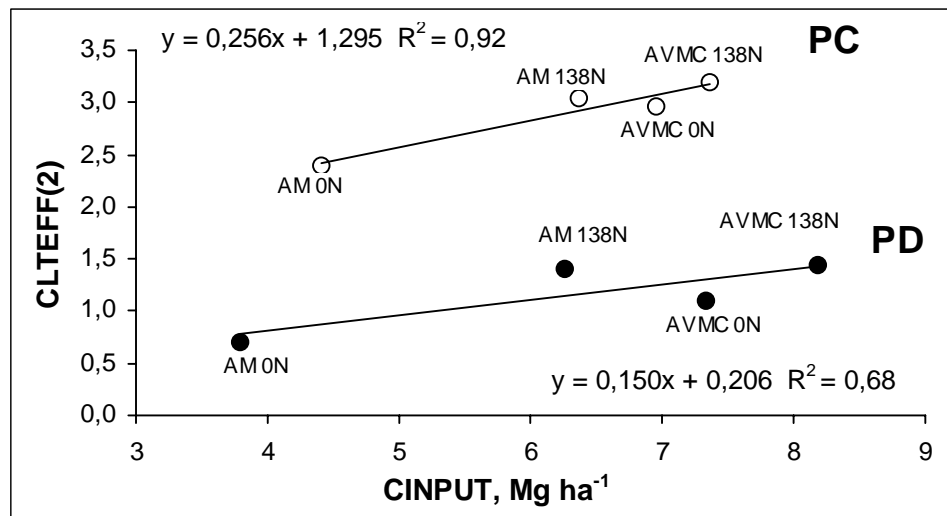


FIGURA 2. Relação entre as adições de C ao solo estimadas pelo modelo Century 4.0 pela variável CINPUT e os parâmetros CLTEFF(2) do arquivo acessório CULT.100 selecionados para as simulações. PD= plantio direto; PC= preparo convencional; AM= aveia/milho; AVMC= aveia+vica/milho+caupi; 0N= 0 kg N ha⁻¹ e 138N= 138 kg N ha⁻¹.

Ao comparar os dois sistemas de preparo de solo, para uma mesma adição de C, nota-se que no PD o fator de cultivo para a decomposição do compartimento lento foi menor que no PC. Isso pode ser explicado pelo revolvimento do solo no PC que, ao fragmentar o resíduo adicionado e incorporá-lo ao solo, estimula a atividade microbiana, causando maior decomposição da MOS em comparação ao PD, onde o resíduo adicionado permanece na superfície do solo. Além disso, os sistemas de culturas AM0N, em que não houve adição de N mineral, apresentaram os menores CLTEFF(2), tanto no PD como no PC. Por outro lado, os maiores CLTEFF(2) foram dos sistemas AVMC138N devido a maior disponibilidade de N que, além de elevar a produção de biomassa pelas culturas, reduz a relação C/N do solo, estimulando assim, a decomposição da MOS. Resultados semelhantes foram obtidos por Fernandes (2002) com a alteração do parâmetro DEC5.

Leite et al. (2004a) alteraram o parâmetro CLTEFF(2) para os diferentes sistemas de manejo estudados, sendo que os valores adotados

pelos autores variaram de 1,0 no plantio direto até 5,0 em sistemas que envolveram o preparo do solo com grade niveladora seguida de arado de disco.

6.2. Carbono orgânico total e nitrogênio total do solo

6.2.1. Variáveis de saída estudadas

As variáveis de saída CINPUT, SOMTC, SOMTE(1) e TCERAT(1) correspondem respectivamente à adição anual de C ao solo, carbono orgânico total do solo (COT), nitrogênio total do solo (NT) e relação C/N total do solo. Estas variáveis foram obtidas tanto na simulação padrão como na simulação com modificações dos parâmetros dos arquivos SITE.100, FIX.100 e CULT.100, com o objetivo de compará-las para verificar se houve redução dos problemas de estimativas do modelo Century 4.0 relacionados às dinâmicas do C e do N. Os dados de COT e NT do campo nativo, apresentados por Lovato (2001), foram usados como referência para avaliar o desempenho do modelo Century 4.0 ao final da execução de equilíbrio (6000 anos), que corresponde ao ano de 1969.

Além disso, para o período experimental, foram estudados os efeitos dos sistemas de preparo do solo na dinâmica do N a partir das variáveis de saída que representam a mineralização líquida total (TNETMN(1)) e nos compartimentos do solo (SOILNM(1)), bem como a absorção de N pelas culturas (EUPACC(1)) e quantidade de N perdida por volatilização a partir da mineralização bruta (VOLGM). Estas variáveis foram estimadas pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações. Já a adição de N pela fixação simbiótica das espécies leguminosas (SNFXAC(1)) e quantidade de N alocado nos grãos de milho (EGRain(1)) foram estimadas somente na simulação com modificações, servindo como base para análises de reciclagem, adições e retiradas de N pelos sistemas de culturas.

6.2.2. Campo nativo

Ao observar o COT na simulação padrão em relação aos valores reais observados para o campo nativo, apresentados na Tabela 8, percebe-se que para esta etapa (execução de equilíbrio) o modelo Century estimou adequadamente a dinâmica do C. No entanto, quando se considera também o NT, fica evidente a falha do modelo em prever adequadamente a dinâmica do N, conforme comentado anteriormente, havendo superestimativa do NT em mais de 1 Mg ha^{-1} .

Por outro lado, a diminuição da adição de N pela fixação não-simbiótica associada principalmente ao aumento da perda de N por volatilização representadas pela alteração dos parâmetros EPNFS(2) e VLOSSG respectivamente, tornaram a estimativa do estoque de N no solo sob campo nativo mais próxima da realidade, o que também foi evidenciado pela elevação da relação C/N do solo.

No que se refere à adição de C no campo nativo, não foi possível comparar com a adição real, visto que esta informação não estava disponível. No entanto, utilizou-se a adição de C correspondente à condição em que o COT estimado fosse o mais próximo possível do valor observado. Isso foi feito a partir da alteração do parâmetro PRDX(1) do arquivo acessório CROP.100, representando o potencial mensal de produção de C pela parte aérea da cultura em questão.

Os parâmetros VARAT2(1,1) e VARAT3(1,1), por fazerem parte do FIX.100, que assim como o SITE.100 foi mantido idêntico ao longo de todo o processo de simulação (campo nativo, CG e experimento), elevaram a relação C/N total do solo, pois com a alteração de seus valores padrões (20 e 8) para 25 no VARAT2(1,1) e 14 no VARAT3(1,1) permitiu-se que materiais com menor grau de decomposição fizessem parte dos compartimentos lento e passivo.

TABELA 8. Adição de carbono, carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação C/N observados no campo nativo e estimados pelo modelo Century 4.0 com SITE.100 e FIX.100 padrão e modificado para o ano de 1969.

Valor	Parâmetros estudados				Variáveis de saída			
	SITE.100	FIX.100			Adição de C	COT	NT	Relação C/N
	EPNFS(2)	VLOSSG	VARAT2(1,1)	VARAT3(1,1)				
	g m ⁻² ano ⁻¹				Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	----- Mg ha ⁻¹ -----		
Padrão	0,028	0,010	20	8	6,89	49,18	5,37	9,16
Modificado	0,019	0,013	25	14	6,89	49,18	3,60	13,66
Observado ¹	-	-	-	-	-	49,25	3,96	12,44

¹ Valores apresentados por Lovato (2001).

6.2.3. Cultivo de colza e girassol (1970 a 1984)

A partir de 1970 até 1984, período que antecedeu a instalação do experimento, a disponibilidade limitada de informações acerca das práticas de manejo adotadas prejudicou a reconstituição do histórico da área. Apesar disso, dada à importância deste período de cultivo no estabelecimento das condições iniciais do experimento procurou-se obter, a partir das simulações com o modelo Century, valores de COT e NT o mais próximos dos reais apresentados por Lovato (2001) para o início do experimento. Para tanto, foi necessário, além dos ajustes nos parâmetros fixos VLOSSG, VARAT2(1,1), VARAT3(1,1) discutidos anteriormente (Tabela 3), o uso do “efeito adicional de cultivo” (Apêndice 1), cujos resultados podem ser observados na Tabela 9.

Na simulação padrão, apesar de o COT aproximar-se do valor observado no ano de 1984, o NT foi superestimado conforme também ocorreu no campo nativo. No entanto, após as modificações feitas, as estimativas do modelo Century tornaram-se mais coerentes com a realidade.

Ao comparar os valores reais para o campo nativo e cultivo de CG, apresentados nas Tabelas 8 e 9, percebe-se que, com o uso agrícola desta área, se estabeleceu uma condição de degradação das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo representada pela perda de 12,89 Mg ha⁻¹ de COT e 0,92 Mg ha⁻¹ de NT ao longo de 14 anos de cultivo convencional (1970 a 1984). Após as alterações feitas, o modelo Century 4.0 simulou adequadamente as dinâmicas do C e do N acompanhando o processo de perda de MOS e reproduzindo razoavelmente bem a condição em que o estoque de MOS se encontrava na ocasião da instalação do experimento em 1985. O mesmo não ocorreu na simulação padrão onde o NT estimado ficou 1,5 Mg ha⁻¹ acima do valor real.

TABELA 9. Adição de carbono, carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação C/N observados na área em estudo e estimados pelo modelo Century 4.0 com SITE.100 e FIX.100 padrão e modificado para o ano de 1984.

Valor	Parâmetros estudados				Variáveis de saída			
	SITE.100	FIX.100			Adição de C	COT	NT	Relação C/N
	EPNFS(2)	VLOSSG	VARAT2(1,1)	VARAT3(1,1)				
	g m ⁻² ano ⁻¹				Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	----- Mg ha ⁻¹ -----		
Padrão	0,028	0,010	20	8	3,38	36,29	4,54	7,99
Modificado	0,019	0,013	25	14	3,08	36,24	3,19	11,36
Observado ¹	-	-	-	-	-	36,36	3,04	11,96

¹ Valores apresentados por Lovato (2001).

6.2.4. Período experimental

6.2.4.1. Carbono orgânico total do solo e adição de carbono pelas culturas

Nas Figuras 3 e 4 são mostradas, respectivamente, a variação do COT no tempo nos tratamentos sem adubação nitrogenada e com adição de 138 kg ha⁻¹ de N, nas simulações padrão e com modificações.

No caso dos tratamentos sem adição de N mineral, na simulação padrão pode-se perceber que o modelo Century 4.0 apresentou problemas na estimativa do COT em relação aos valores observados por Lovato (2001) para o ano de 1998, praticamente não havendo diferenças entre os sistemas de preparo de solo, PC e PD, considerando-se o mesmo sistema de cultura. Evidentemente as diferenças mostradas nesta simulação, se devem ao efeito da fixação simbiótica de N sobre o aumento do COT nos tratamentos PCAVMC e PDAVMC, visto que houve perda de COT ao longo do tempo nos tratamentos que envolveram o cultivo somente de espécies gramíneas (PCAM e PDAM). Já nos tratamentos em que se adicionou 138 kg ha⁻¹ de N, houve superestimativa do COT em todos os tratamentos.

Com as alterações propostas, especialmente aquelas relacionadas ao parâmetro CLTEFF(2) mostradas na Tabela 5, os valores estimados pelo modelo Century 4.0 aproximaram-se bastante dos observados no ano de 1998 tanto nos tratamentos sem N mineral como com adição de 138 kg ha⁻¹ de N. Neste caso, os sistemas de preparo de solo associados aos sistemas de culturas e adubação nitrogenada exerceram efeitos diferenciados sobre a variação do COT ao longo do tempo, corrigindo-se, portanto, as falhas de estimativas evidenciadas na simulação padrão.

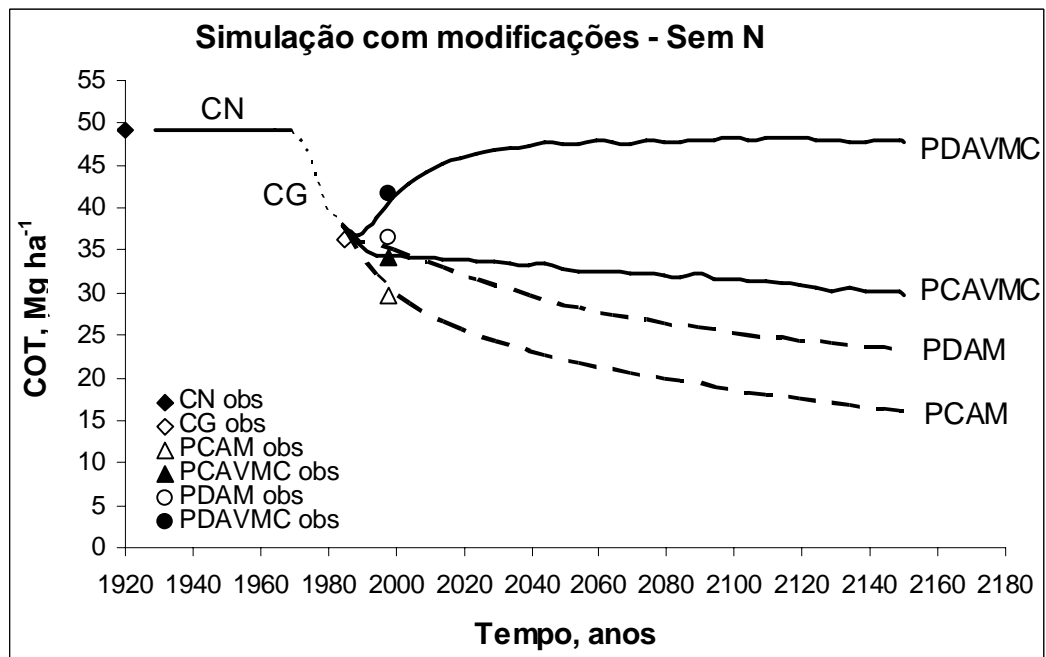
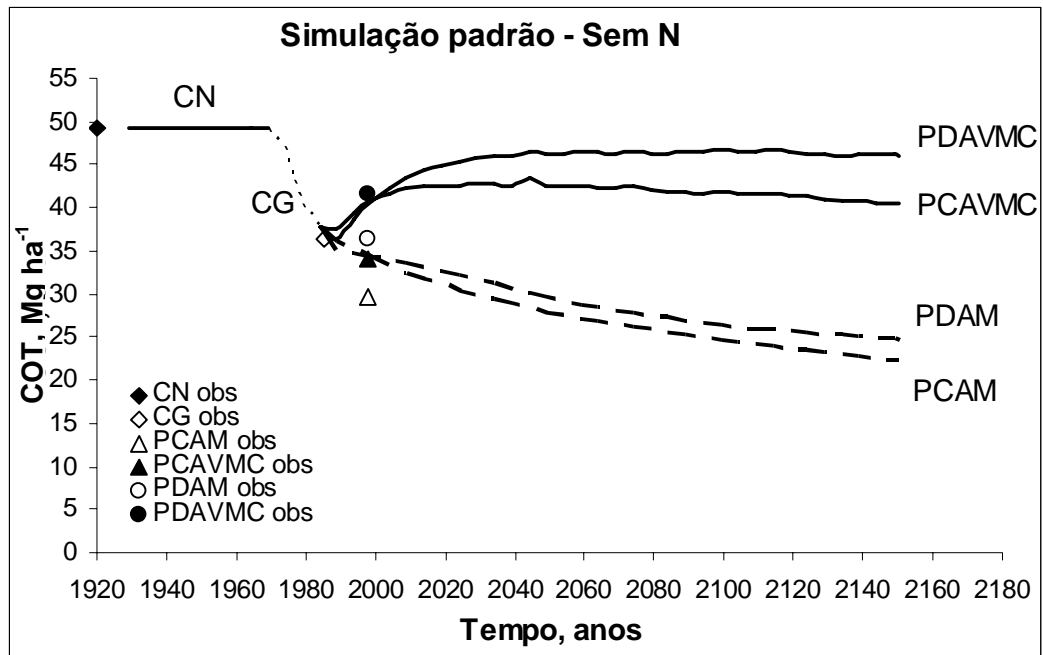


FIGURA 3. Dinâmica do carbono orgânico total (COT) do solo nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo e sistemas de culturas sem adubação nitrogenada contraposto aos dados apresentados por Lovato (2001) para os anos de 1985 e 1998.

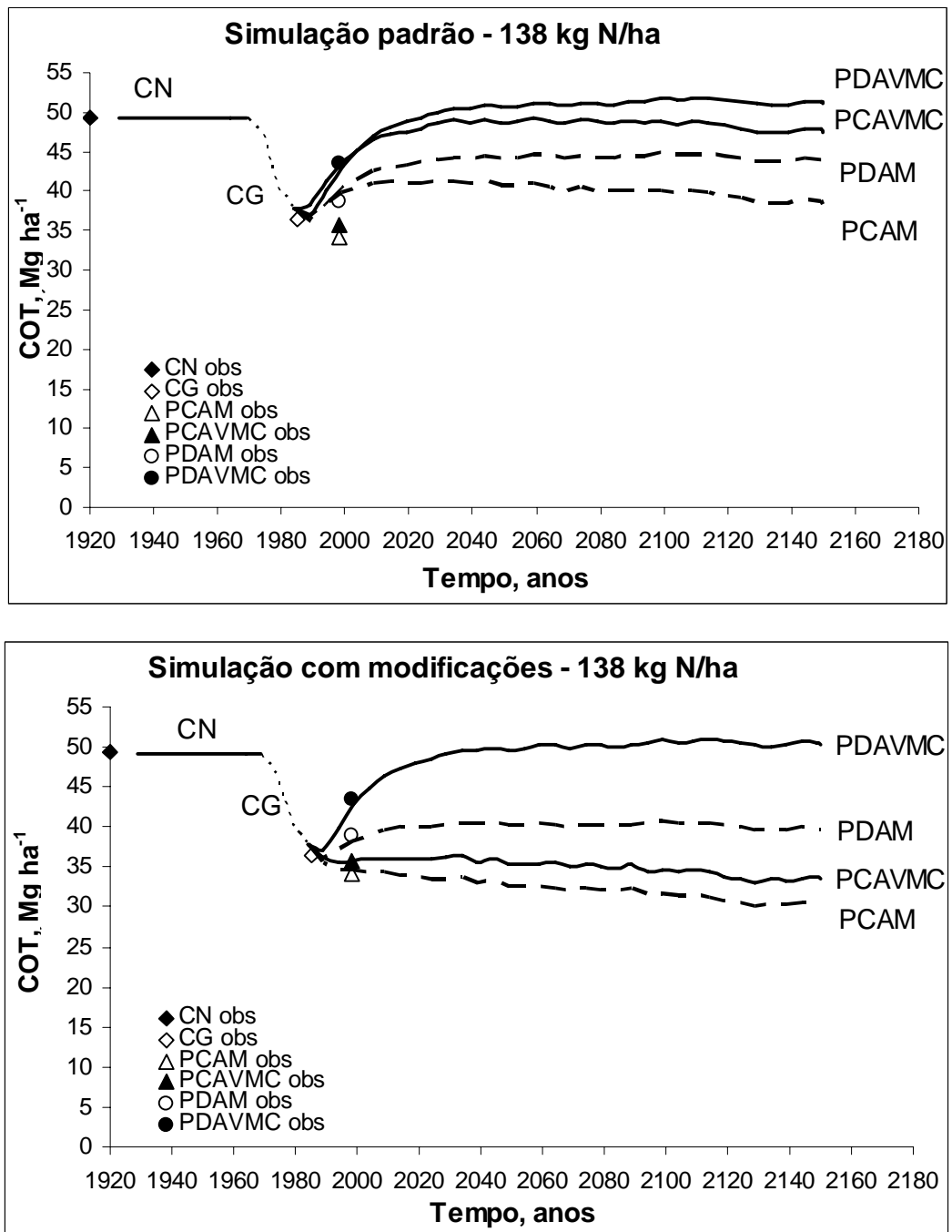


FIGURA 4. Dinâmica do carbono orgânico total (COT) do solo nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo e sistemas de culturas com adição de 138 kg ha⁻¹ de N contraposto aos dados apresentados por Lovato (2001) para os anos de 1985 e 1998.

Na Tabela 10 são apresentados valores pontuais de COT e de quantidades de C adicionadas pelas culturas nos diferentes cenários de manejo, confrontando-se os valores observados por Lovato (2001) com os estimados pelo modelo Century nas simulações padrão e com modificações. Foram escolhidos os anos 1998 e 2150 para expressar os cortes no tempo. O ano de 1998 foi escolhido por representar o ano em que se dispõe de informações mais recentes sobre a dinâmica da MOS após o início do experimento, permitindo comparações entre estes dados, avaliados por Lovato (2001), com estimativas feitas pelo modelo Century 4.0 para o mesmo período. Já o ano de 2150 representa o final de um período de 165 anos de cultivo, utilizando-se o modelo Century 4.0 para prever, a longo prazo, a dinâmica da MOS nos diferentes cenários de manejo em estudo.

É importante destacar que as adições de C observadas correspondem às quantidades de C determinadas na biomassa da parte aérea das respectivas culturas, acrescidas de 30% representando o C contido no sistema radicular e seus exudatos (Lovato, 2001). Objetivando-se reproduzir estes valores observados a partir das simulações, utilizou-se como referência a variável CINPUT que representa o total de C adicionado ao solo anualmente. Fernandes (2002), em estudo semelhante, calculou as adições anuais somando a quantidade de C alocado nas raízes e na parte aérea das culturas e, subtraindo deste valor o C exportado nos grãos por ocasião da colheita, sendo estas quantidades de C estimadas pelo modelo Century através das variáveis de saída BGCACC, AGCACC e CGRAIN respectivamente. Este valor calculado é inferior ao obtido pela variável CINPUT.

TABELA 10. Carbono orgânico total (COT) na camada 0-20 cm e adição de C observados e estimados pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo, sistemas de culturas e adubação nitrogenada nos anos de 1998 e 2150.

Dose de N kg ha ⁻¹	Trat.	CLTEFF(2)	Adição de C			COT			
			Observado 1985-1998 ¹	Estimado 1985-1998 ²	Estimado 2150	Observado ³ 1998	Estimado ⁴ 1998 2150		
			----- Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----			----- Mg ha ⁻¹ -----			
SIMULAÇÃO PADRÃO									
ON	PCAM	1,60	4,23	4,19	2,52	29,69	33,98	22,22	
	PCAVMC	1,60	7,52	6,42	6,41	34,13	41,42	40,52	
	PDAM	1,00	3,28	3,89	2,53	36,45	34,27	24,71	
	PDAVMC	1,00	6,90	6,13	6,38	41,58	41,19	46,12	
	SIMULAÇÃO COM MODIFICAÇÕES								
	PCAM	2,40	4,23	4,13	1,85	29,69	29,95	16,06	
	PCAVMC	2,96	7,52	5,88	5,99	34,13	34,18	29,79	
	PDAM	0,70	3,28	3,81	2,15	36,45	35,02	23,30	
PDAVMC	1,10	6,90	6,25	6,80	41,58	41,67	47,84		
SIMULAÇÃO PADRÃO									
138N	PCAM	1,60	6,67	5,81	5,75	34,23	40,04	38,29	
	PCAVMC	1,60	8,39	7,34	7,78	35,74	44,22	47,47	
	PDAM	1,00	6,63	5,97	5,96	38,84	40,71	43,89	
	PDAVMC	1,00	7,83	6,93	7,15	43,53	43,74	51,08	
	SIMULAÇÃO COM MODIFICAÇÕES								
	PCAM	3,04	6,67	5,51	5,57	34,23	34,53	30,02	
	PCAVMC	3,20	8,39	6,42	6,76	35,74	35,77	33,40	
	PDAM	1,40	6,63	5,44	5,49	38,84	38,63	39,70	
PDAVMC	1,45	7,83	7,00	7,42	43,53	43,40	50,35		

¹ Média das adições de 1985 – 1998 (Lovato, 2001);

² Adições de C estimadas pelo modelo Century 4.0 pela variável CINPOT.

Média de 1985 – 1998;

³ COT observado no experimento para 1998;

⁴ COT estimado pelo modelo Century 4.0 pela variável SOMTC para 1998 e 2150.

Com exceção do PDAM0N, que apresentou adição estimada superior à observada em 0,61 e 0,53 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ nas simulações padrão e com modificações respectivamente, de modo geral, as médias das adições anuais de C estimadas pelo modelo Century 4.0 em ambas as simulações, foram inferiores as médias observadas nos primeiros 13 anos do experimento (1985 a 1998). Na simulação padrão, o desvio entre os valores estimado e observado variou de 0,04 a 1,10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (PCAM0N e PCAVMC0N, respectivamente) enquanto na simulação com modificações variou de 0,10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no PCAM0N chegando a 1,97 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no PCAVMC138N. Tal tendência deveu-se ao fato de que as médias das adições de C observadas, calculadas para o período de 1985 a 1998 por Lovato (2001), foram tomadas como referência durante o processo de simulação, objetivando-se atingir estes valores no ano de 1998, desconsiderando-se, neste caso, as médias das adições de C estimadas. Sendo assim, ao calcular as médias estimadas para o período de 1985 a 1998, obtiveram-se, em geral, valores inferiores aos esperados. No entanto, mesmo com as adições de C mais baixas que as reais, os valores estimados para COT aproximaram-se bastante dos observados, principalmente na simulação com modificações, e superando tais valores na simulação padrão, com exceção apenas do PDAM0N em que a baixa disponibilidade de N limitou mais o acúmulo de COT.

Comparando-se as adições médias estimadas de 1985 até 1998 com aquelas estimadas após 165 anos de cultivo (correspondendo ao ano de 2150), apresentados na Tabela 10, percebe-se que, em ambas as simulações, houve reduções significativas nas adições de C nos tratamentos PCAM0N e PDAM0N. Na simulação com modificações, a redução chegou a 55% no PCAM0N e 44% no PDAM0N sendo menos drástica na simulação padrão onde a redução foi de 40% e 35% no PCAM0N e PDAM0N respectivamente. Isto se deve, provavelmente, aos problemas de superestimativa do estoque de N na simulação padrão, permitindo que as culturas tenham maior potencial de adição C ao longo do tempo em relação à simulação com modificações em que tais problemas relacionados ao N foram minimizados.

Entretanto, independentemente de tratar-se da simulação padrão ou com modificações, a baixa disponibilidade de N causada pela ausência de adubação nitrogenada e de fixação simbiótica de N nos tratamentos PCAM0N

e PDAM0N, limitou o crescimento e produção das culturas AM que, por sua vez, adicionaram menores quantidades de resíduo ao solo, trazendo como consequência a redução do COT ao longo do tempo. Tais tendências já foram relatadas por outros autores em estudos realizados em áreas experimentais (Bayer e Mielniczuk, 1997; Amado et al., 2001; Lovato et al., 2004). Por outro lado, o emprego de leguminosas na sucessão permitiu que as adições de C se mantivessem mais estáveis ao longo do tempo. Por esta razão, houve elevação do COT no PDAVMC0N, mas não no PCAVMC0N, pois o revolvimento do solo deve ter dificultado seu acúmulo no solo, especialmente na simulação com modificações em que, além do parâmetro CLTEFF(2) ter valor maior que na simulação padrão, o uso do “efeito adicional de cultivo” prolongou o processo de decomposição dos compartimentos da MOS neste sistema de preparo de solo.

Nos tratamentos que receberam 138 kg ha^{-1} de N, na simulação com modificações, a tendência foi de aumento nas adições de C pelas culturas em 2150. Isso também ocorreu nos tratamentos PCAVMC138N e PDAVMC138N da simulação padrão enquanto no PCAM138N e PDAM138N a tendência foi de redução das adições.

Com relação ao COT estimado e observado em 1998, percebe-se na simulação padrão que os valores estimados foram, de modo geral, superiores aos observados, chegando a superá-los em até $8,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ como foi o caso do PCAVMC138N. No entanto, as alterações feitas no modelo, especialmente aquelas relativas ao parâmetro CLTEFF(2), garantiram estimativas muito próximas dos valores reais, com diferenças de no máximo $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Analisando-se o comportamento do COT no tempo (165 anos) nos diferentes cenários de manejo após as alterações feitas no modelo, nota-se que a adubação nitrogenada permitiu maior acúmulo de COT em relação aos tratamentos que não receberam fertilizante. Além disso, como já era esperado, o menor valor de COT ocorreu no PCAM0N onde o baixo potencial de adição de C deste sistema somado ao efeito do revolvimento do solo resultou numa expectativa de redução do COT em mais de 20 Mg ha^{-1} correspondendo a um percentual de perda de 56% em relação ao estimado no final de 1984 ($36,24 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Tabela 9). E se for considerada a condição natural do solo (campo nativo), onde o COT estimado foi $49,18 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabela 8), a queda representa

cerca de 70% do COT original. Por outro lado, a adoção de sistemas de manejo de solo mais conservacionistas que, além de revolver minimamente o solo, contemplem sistemas de culturas com elevado potencial de adição de C e, além disso, incluam espécies leguminosas nas rotações, possibilita a recuperação dos estoques de COT do solo degradado, conforme previsto pelo modelo Century 4.0 no PDAVMC0N, que recuperou 97% do C original, e no PDAVMC138N em que o COT estimado em 2150 superou a condição original do solo (Tabela 10). Resultados semelhantes foram obtidos por Fernandes (2002). Cabe salientar que a distribuição dos compartimentos de C estimados pelo modelo Century 4.0 para os diferentes cenários de manejo estudados na simulação com modificações, podem ser observados nos Apêndices 16, 17, 18 e 19.

6.2.4.2. Nitrogênio total do solo e relação C/N do solo

A variação do NT no tempo desde a condição natural do solo, correspondente ao campo nativo, até as estimativas para os diferentes cenários de manejo de solo feitas pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações pode ser observada nas Figuras 5 e 6. Na simulação padrão, evidencia-se o problema anteriormente mencionado em que o modelo superestimou os estoques de N do solo para todos os tratamentos, o que ocorreu já na execução de equilíbrio. Este foi o principal indício de que a falha de estimativa da dinâmica do N estava relacionada aos processos de adição e perda deste elemento já no campo nativo que, sem adição de N via fixação simbiótica ou fertilizante, estocou $1,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ de NT acima do observado.

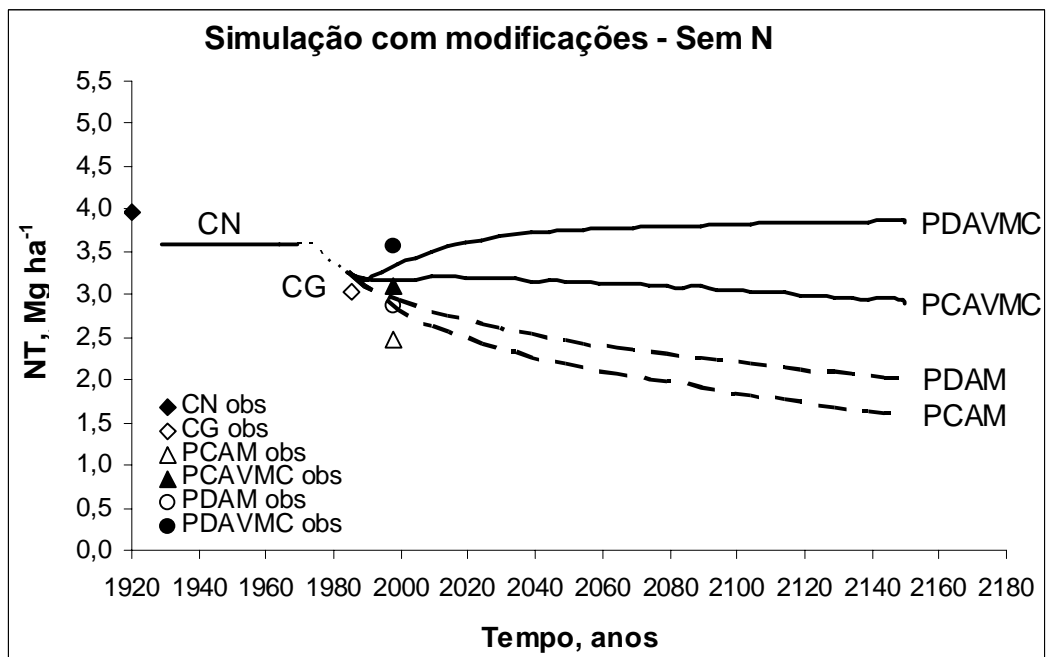
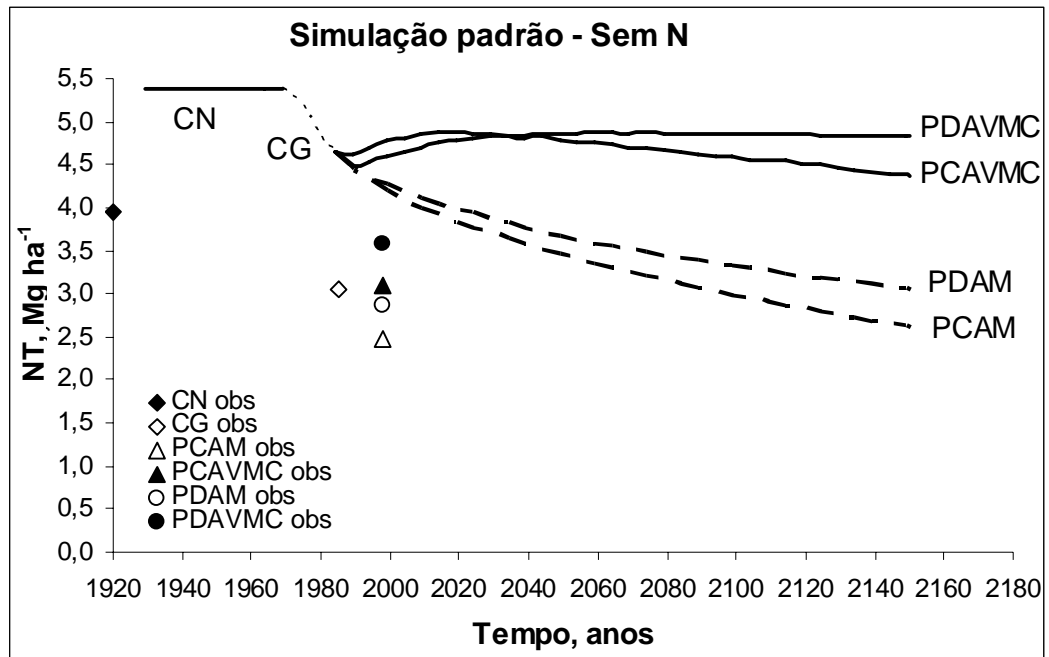


FIGURA 5. Dinâmica do nitrogênio total (NT) do solo nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo e sistemas de culturas sem adubação nitrogenada contraposto aos dados apresentados por Lovato (2001) para os anos de 1985 e 1998.

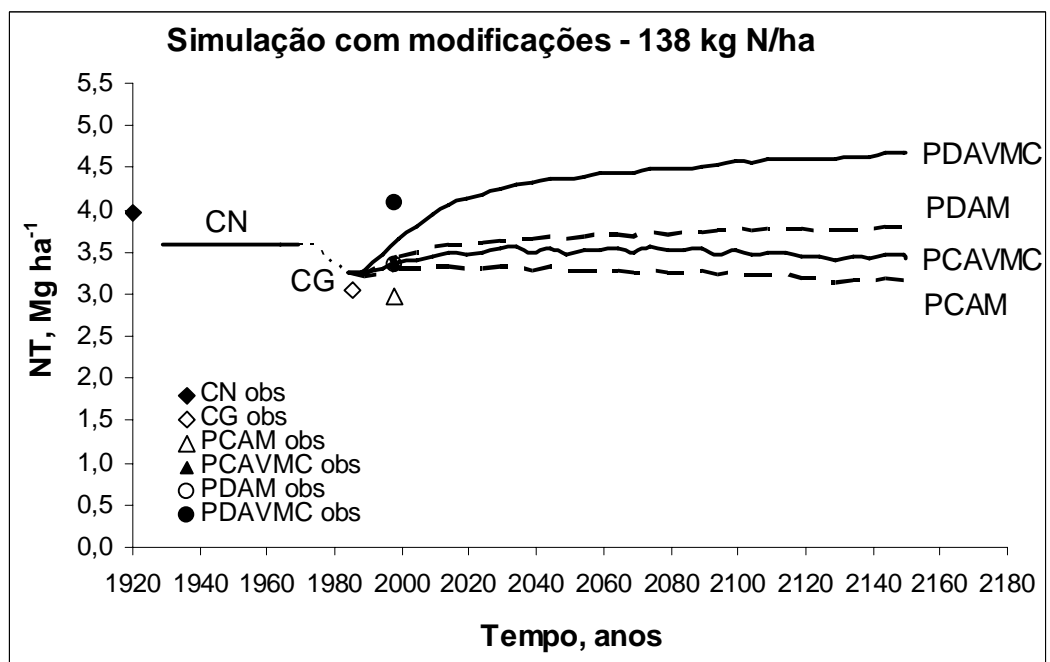
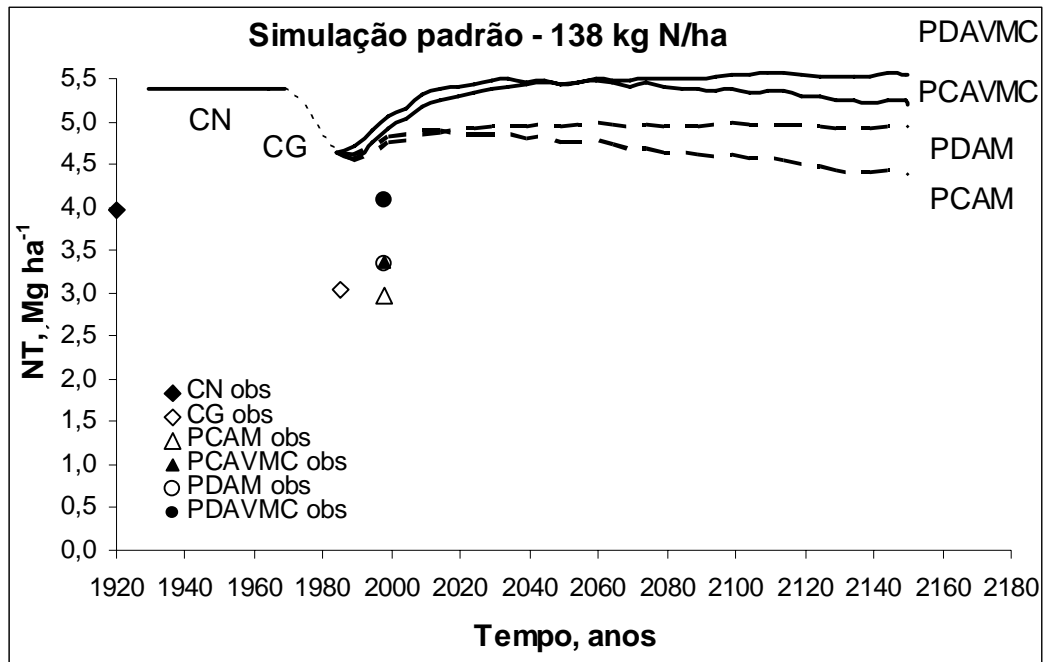


FIGURA 6. Dinâmica do nitrogênio total (NT) do solo nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo e sistemas de culturas com adição de 138 kg ha^{-1} de N contraposto aos dados apresentados por Lovato (2001) para os anos de 1985 e 1998.

Além disso, desconsiderando-se os valores absolutos e levando-se em conta apenas as tendências nos diferentes tratamentos da simulação padrão, fica claro que o processo de fixação simbiótica de N e o efeito da adubação nitrogenada foram estimados de forma coerente com as tendências reais. Isso porque a presença das leguminosas nos tratamentos PCAVMC0N e PDAVMC0N e a adição de 138 kg ha^{-1} de N mineral nos tratamentos PCAM138N e PDAM138N causaram tendência de acúmulo de N no solo conforme era esperado. Entretanto, assim como para o COT, ficaram evidentes as falhas do modelo em relação ao efeito do tipo de sistema de preparo de solo adotado, com tendências incoerentes entre o NT estimado pelo modelo e o observado por Lovato (2001).

Neste contexto, o ajuste dos parâmetros EPNFS(2), VLOSSG, VARAT2(1) e VARAT3(1), relacionados à dinâmica do N (conforme detalhado anteriormente), permitiu que os valores estimados se aproximassem dos observados já no campo nativo e isso refletiu-se ao longo de toda a simulação com modificações, enquanto a alteração do parâmetro CLTEFF(2), conforme também ocorreu com o COT, permitiu melhor ajuste da dinâmica do N nos diferentes cenários de manejo de solo estudados. Apesar disso, ao contrário do COT, levando-se em consideração os primeiros 13 anos do experimento o ajuste do NT foi um tanto impreciso. Contudo, as tendências estimadas mais a longo prazo (em 2150) parecem ser coerentes. Tomando-se como base o NT na condição de equilíbrio (Ne) estimado por Lovato (2001) com o modelo Woodruff que é unicompartmental sendo, portanto, menos complexo que o Century, e tendo-se como exemplo dois tratamentos extremos, PCAM0N e PDAVMC138N, tem-se para o primeiro um Ne de $1,60 \text{ Mg ha}^{-1}$ e para o segundo um Ne de $5,23 \text{ Mg ha}^{-1}$. Tais valores se aproximam bastante dos estimados pelo modelo Century na simulação com modificações para o ano de 2150 (Tabela 11).

Na Tabela 11 são apresentados valores de NT e relação C/N para todos os tratamentos, confrontando os resultados observados por Lovato (2001) para o ano de 1998, com os estimados pelo Century nas simulações padrão e com modificações para os anos de 1998 e 2150. Comparando-se os valores observados com os estimados em 1998 pela simulação padrão, nota-se que a superestimativa do NT foi de $1,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ no PCAM0N e $1,9 \text{ Mg ha}^{-1}$

TABELA 11. Nitrogênio total (NT) na camada 0-20 cm e relações C/N do solo observadas e estimadas pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo, sistemas de culturas e adubação nitrogenada nos anos de 1998 e 2150.

Dose de N kg ha ⁻¹	Trat.	CLTEFF(2)	NT			Relação C/N			
			Observado ¹ 1998	Estimado ²		Observado ¹ 1998	Estimado ³		
				1998	2150		1998	2150	
----- Mg ha ⁻¹ -----									
SIMULAÇÃO PADRÃO									
ON	PCAM	1,60	2,48	4,18	2,60	11,97	8,13	8,55	
	PCAVMC	1,60	3,10	4,79	4,38	11,01	8,65	9,25	
	PDAM	1,00	2,86	4,25	3,06	12,74	8,06	8,08	
	PDAVMC	1,00	3,57	4,59	4,82	11,65	8,97	9,57	
	SIMULAÇÃO COM MODIFICAÇÕES								
	PCAM	2,40	2,48	2,80	1,58	11,97	10,70	10,16	
	PCAVMC	2,96	3,10	3,16	2,90	11,01	10,82	10,27	
	PDAVMC	1,10	3,57	3,37	3,86	11,65	12,36	12,39	
SIMULAÇÃO PADRÃO									
138N	PCAM	1,60	2,97	4,83	4,36	11,53	8,29	8,78	
	PCAVMC	1,60	3,37	5,10	5,20	10,61	8,67	9,13	
	PDAM	1,00	3,35	4,76	4,92	11,59	8,55	8,92	
	PDAVMC	1,00	4,08	4,94	5,54	10,67	8,85	9,22	
	SIMULAÇÃO COM MODIFICAÇÕES								
	PCAM	3,04	2,97	2,30	3,13	11,53	10,46	9,59	
	PCAVMC	3,20	3,37	3,38	3,42	10,61	10,58	9,77	
	PDAVMC	1,45	4,08	3,70	4,67	10,67	11,73	10,78	

¹ Valores observados em 1998 por Lovato (2001);

² NT estimado pelo modelo Century 4.0 pela variável SOMTE(1) para 1998 e 2150;

³ Relação C/N do solo estimada pelo modelo Century 4.0 pela variável TCERAT(1) para 1998 e 2150.

quando foi adicionado N mineral, correspondendo a um percentual de 68% e 63% respectivamente. Este excesso de N circulando no sistema, em relação à condição real, causou distorções nas estimativas do modelo, visto que os submodelos do C e N trabalham interligados. Assim, uma maior disponibilidade de N faz com que a decomposição do C seja acelerada, pois para que o submodelo do N mineralize o N dos seus compartimentos, deve existir perda de CO₂ no compartimento correspondente no submodelo do C (Metherell et al., 1994). Além disso, uma maior disponibilidade de N permite maior absorção deste nutriente pela planta e, portanto, maior produção de biomassa potencializando a adição de C ao solo.

Na simulação com modificações, as diferenças entre as estimativas do modelo e os valores reais foram de no máximo 0,32 Mg ha⁻¹ na ausência de N mineral e 0,67 Mg ha⁻¹ quando foi adicionado N, ambas ocorridas no sistema PCAM e correspondendo a 13% no PCAM0N e 23% no PCAM138N. Entretanto, apesar destas diferenças, as estimativas do modelo Century expressaram as tendências esperadas, em que o NT variou em função do sistema de manejo de solo, onde o plantio direto associado com a sucessão AVMC, independentemente da dose de N mineral aplicada, permitiram maior acúmulo de N no solo em relação ao estimado no início do período experimental (3,19 Mg ha⁻¹).

Após 165 anos de cultivo (1985 a 2150), na simulação com modificações, nota-se que, na ausência de adubação nitrogenada, houve acúmulo de N no solo somente no PDAVMC0N, superando em 21% o NT estimado no final de 1984 (Tabela 9) e em 8% o estimado no campo nativo (Tabela 8). Tal resultado deve-se ao não revolvimento do solo e à eficiência da fixação simbiótica de N, salientando-se o potencial deste sistema de manejo na recuperação da capacidade produtiva do solo. Nos demais tratamentos, houve perdas de N do solo na ordem de 9% no PCAVMC0N, 37% no PDAM0N e 50% no PCAM0N em relação ao estimado no final de 1984 (3,19 Mg ha⁻¹), sendo estas ainda maiores quando se considera o NT estimado para a condição original do solo (19%, 44% e 56% respectivamente). Por outro lado, a adição de 138 kg ha⁻¹ de N anualmente na cultura do milho, reverteu este processo de perda do estoque de N do solo. O PCAM138N recuperou 98% do NT estimado no final de 1984 enquanto os demais tratamentos superaram esse valor em até

46%, como foi o caso do PDAVMC138N que, juntamente com os PDAM138N, superou inclusive o NT estimado no campo nativo ($3,60 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Além disso, na simulação com modificações, o uso da adubação nitrogenada aumentou o NT devido a maior quantidade de N circulando no sistema e reduziu levemente a relação C/N em todos os tratamentos no ano de 1998, conforme também observado por Lovato (2001), mantendo esta tendência em 2150. Entretanto, na simulação padrão, o excesso de NT estimado pelo modelo Century 4.0, refletiu-se de forma mais drástica sobre as relações C/N do solo já que estas foram bem menores que as observadas em todos os tratamentos estudados e permanecendo com o problema ao longo do tempo (Tabela 11), apesar de apresentarem uma leve tendência de elevação em 1998 e 2150 em relação ao final de 1984 (7,99).

As alterações feitas no modelo minimizaram as falhas de estimativa reduzindo o NT e elevando as relações C/N do solo. Segundo Metherell et al. (1994), isso tem grande importância, pois, no modelo Century, a relação C/N controla o fluxo de entrada e saída de N entre os compartimentos da MOS bem como, o fluxo entre os compartimentos orgânicos de N e o pool de N mineral, conforme pode ser observado na Figura 1, estando, deste modo, diretamente ligada aos processos de mineralização e imobilização de N no solo. Uma vez que os submodelos de C e N atuam interligados, indiretamente, a relação C/N controla também o submodelo do C. Assim, uma baixa relação C/N faz com que a mineralização seja facilitada e, por consequência, maior quantidade de N torna-se disponível no solo favorecendo a adição de C pelas culturas bem como a elevação das taxas de decomposição dos compartimentos da MOS.

Cabe salientar que as falhas de estimativas do NT foram corrigidas já na execução de equilíbrio e se propagaram ao longo de toda a simulação com modificações refletindo-se sobre a dinâmica do N no campo nativo, CG e em todos os tratamentos estudados. Além disso, a distribuição dos compartimentos de N estimados pelo modelo Century 4.0 para os diferentes cenários de manejo estudados na simulação com modificações podem ser observados nos Apêndices 20, 21, 22 e 23.

6.2.4.3. Mineralização, absorção e volatilização de nitrogênio

Na Tabela 12 são mostrados os efeitos dos sistemas de manejo de solo sobre as variáveis de saída relacionadas à mineralização líquida total (TNETMN(1)) e nos compartimentos do solo (SOILNM(1)), bem como, sobre a absorção de N pelas culturas (EUPACC(1)) e quantidade de N perdida por volatilização a partir da mineralização bruta (VOLGM), ambas estimadas pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações.

A variável de saída SOILNM(1) refere-se a quantidade líquida de N mineralizado dos compartimentos da MOS (ativo, lento e passivo), da liteira que está abaixo da superfície do solo (compartimentos estrutural e metabólico do solo) e das raízes mortas. Já a variável TNETMN(1), refere-se a mineralização líquida a partir de todos os compartimentos passíveis de decomposição incluindo também, além dos compartimentos de solo, a liteira da superfície (compartimentos estrutural e metabólico de superfície) e o compartimento microbiano superficial, o qual está associado com a decomposição da liteira superficial. Conforme pode ser observado na Figura 1, os materiais decompostos circulam dentro do compartimento microbiano de superfície ou em um dos três compartimentos da MOS, sendo estes caracterizados por apresentarem diferentes taxas máximas de decomposição.

O modelo Century reflete o conceito de que o submodelo do N é estabilizado em associação direta com o submodelo do C, conforme comentado anteriormente, razão pela qual é dada tanta importância à relação C/N neste processo. Portanto, cabe salientar que, no modelo Century, a relação C/N do compartimento estrutural é fixada em valores geralmente elevados, enquanto que no compartimento metabólico, a relação C/N varia com a quantidade de N contida na biomassa das plantas. Já as relações C/N do material entrando nos compartimentos da MOS, são funções lineares da quantidade de N no compartimento inorgânico ou pool mineral das camadas superficiais do solo. De acordo com Metherell et al. (1994), os processos de mineralização ou de imobilização de N ocorrem necessariamente para manter as relações C/N acima discutidas. Assim, ocorre mineralização quando, devido à respiração microbiana, o C é perdido na forma de CO₂ e quando existe fluxo de C dos compartimentos com baixa para os compartimentos com alta relação C/N como, por exemplo, do compartimento ativo para o lento.

TABELA 12. Mineralização líquida no solo (SOILNM(1)) e total (TNETMN(1)), absorção (EUPACC(1)) e volatilização (VOLGM) de nitrogênio na camada 0-20 cm estimados pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações para os sistemas de preparo de solo, sistemas de culturas e adubação nitrogenada nos anos de 1985 a 1998 e 2150.

Dose N	Trat.	CLTEFF(2)	1985-1998				2150			
			SOILNM(1)	TNETMN(1)	EUPACC(1)	VOLGM	SOILNM(1)	TNETMN(1)	EUPACC(1)	VOLGM
kg ha ⁻¹			----- kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----							
			SIMULAÇÃO PADRÃO							
	PCAM	1,60	111,10	103,47	121,08	3,87	61,12	57,05	74,65	1,57
	PCAVMC	1,60	200,52	220,37	332,58	7,57	231,64	253,52	350,18	8,38
	PDAM	1,00	80,19	124,07	136,01	4,48	42,48	61,70	79,90	1,46
	PDAVMC	1,00	108,82	221,84	333,88	5,20	127,14	255,49	349,35	6,19
ON			SIMULAÇÃO COM MODIFICAÇÕES							
	PCAM	2,40	102,69	96,06	99,77	4,92	38,59	35,49	46,24	1,28
	PCAVMC	2,96	208,85	229,24	315,01	9,51	262,67	286,06	354,05	10,26
	PDAM	0,70	65,33	76,56	84,29	3,12	30,37	37,20	47,65	1,41
	PDAVMC	1,10	100,43	215,47	330,26	6,44	128,85	253,59	366,27	8,08
			SIMULAÇÃO PADRÃO							
	PCAM	1,60	130,32	120,48	191,59	8,08	154,92	147,37	196,05	8,27
	PCAVMC	1,60	208,15	228,35	382,02	9,79	282,42	305,17	410,94	11,95
	PDAM	1,00	93,95	148,95	198,51	7,47	113,23	175,84	203,61	7,96
	PDAVMC	1,00	114,49	228,57	373,15	8,27	155,92	285,83	390,05	10,05
138N			SIMULAÇÃO COM MODIFICAÇÕES							
	PCAM	3,04	151,94	143,10	181,72	10,97	152,24	145,41	191,58	10,13
	PCAVMC	3,20	224,14	244,91	345,09	13,00	236,48	259,38	345,05	12,91
	PDAM	1,40	82,91	135,06	180,70	9,00	103,30	160,55	189,45	9,52
	PDAVMC	1,45	108,47	226,78	372,24	10,15	159,13	294,44	400,33	13,53

Ao contrário, a imobilização de N ocorre quando há fluxo de C de um compartimento com alta relação C/N, semelhante a do compartimento estrutural, para um compartimento com baixa relação C/N, como o compartimento ativo, por exemplo. Neste caso, a taxa de decomposição é reduzida se a quantidade de N for insuficiente para suprir a demanda de imobilização.

Neste contexto, o uso de adubação nitrogenada beneficia o processo de mineralização por elevar a quantidade de N mineral disponível no solo em relação à ausência de fertilização, conforme pode ser observado na Tabela 12. Nota-se que, em ambas as simulações, a adição de $138 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N mineral aumentou a quantidade líquida mineralizada (média do período de 1985 a 1998) em todos os tratamentos, tanto quando se considera o SOILNM(1) como o TNETMN(1), em relação aos tratamentos sem N mineral, elevando-se esse efeito ao longo do tempo. No PCAM0N e no PCAM138N, a mineralização líquida nos compartimentos do solo foi superior a mineralização líquida total. Isso ocorreu, possivelmente, em função da elevada relação C/N do resíduo das culturas aveia e milho, utilizadas nestes sistemas de manejo, e quando se consideram todos os compartimentos que contribuem na mineralização, como na variável TNETMN(1), os compartimentos superficiais favorecem a imobilização do N. Neste caso, o saldo líquido de N mineralizado pode ser menor que quando forem analisados somente os compartimentos de solo, já que durante o preparo convencional do solo, o resíduo é fragmentado e incorporado na camada arável tendo sua decomposição facilitada, atuando assim, sobre a variável SOILNM(1). Entretanto, quando essas culturas foram cultivadas no sistema plantio direto (PDAM0N e PDAM138N) o resíduo cultural permaneceu na superfície, pela ausência de revolvimento, favorecendo o processo de imobilização do N do solo e, portanto, o saldo líquido de N mineralizado nos compartimentos do solo (SOILNM(1)) foi menor que quando considerou-se a mineralização líquida em todos os compartimentos (TNETMN(1)). Tais tendências foram observadas na simulação padrão mesmo após as alterações feitas no modelo Century.

Como já era de se esperar, em ambas as simulações, o PDAM0N apresentou as menores quantidades líquidas de N mineralizado no solo e total e o PDAM138N evidenciou a mesma tendência dentre os tratamentos que

receberam adubação nitrogenada. Considerando-se a mineralização líquida média do período de 1985 a 1998 na simulação com modificações, o PCAM0N disponibilizou, pela mineralização dos compartimentos do solo, $37 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N a mais que o PDAM0N e $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N se for considerada a mineralização em todos os compartimentos. Já o PCAM138N superou o PDAM138N em $69 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N disponibilizado no solo (SOILNM(1)) diminuindo essa diferença para $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N quando for considerado a variável TNETMN(1). Esses resultados concordam com os observados por Fernandes (2002) onde a velocidade de liberação de N dos resíduos culturais foi menor no sistema plantio direto. E segundo Amado (1997), no PDAM0N a quantidade de NT foi ligeiramente maior que no PCAM0N, no entanto, a ausência de preparo de solo limitou a incorporação de resíduos vegetais em profundidade, potencializando a imobilização de N neste sistema. Tais observações reforçam a idéia de que quando diferentes sistemas de preparo de solo são associados a diferentes sistemas de culturas e adubação nitrogenada o efeito dessa associação atua de forma diferenciada sobre a decomposição da MOS, mostrando que o fator de cultivo CLTEFF(2) deve ser tanto menor quanto menor o grau de revolvimento e menor for o aporte de resíduo ao solo, bem como, quando a adição de N ao solo for limitada como é o caso do PDAM0N.

Nos tratamentos que envolveram a presença de leguminosas, especialmente na ausência de N mineral, percebe-se o elevado potencial da fixação simbiótica de N em aumentar a disponibilidade de N no solo pelo processo de mineralização. Mas apesar disso, a quantidade líquida de N mineralizado anualmente em todos os compartimentos (TNETMN(1)) não foi suficiente para suprir a demanda de absorção deste elemento pelas culturas, conforme é possível observar analisando a variável EUPACC(1), o que ocorreu nos dois períodos estudados (1985-1998 e 2150) em todos os sistemas de manejo de solo. Evidencia-se, neste caso, a importância da adubação nitrogenada para a cultura de interesse econômico, para que esta possa expressar todo o seu potencial produtivo, especialmente em sistemas de manejo de solo em que a imobilização de N é facilitada. Segundo Gonçalves & Ceretta (1999), a alta relação C/N do resíduo da aveia, no momento do seu

manejo, levou a alta imobilização de N no solo e redução da sua disponibilidade para o milho cultivado em sucessão.

Considerando-se os tratamentos que receberam 138 kg ha^{-1} de N mineral na simulação com modificações, percebe-se que a mineralização líquida total de N (TNETMN(1)) aumentou ao longo do tempo em todos os tratamentos, estimando-se que em 2150 a diferença seria de pouco mais de $2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no PCAM138N em relação à média do período de 1985 a 1998, chegando a $68 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no PDAVMC138N. Além disso, a TNETMN(1) foi consideravelmente maior nos tratamentos que envolveram o sistema de culturas AVMC. Na média dos primeiros 13 anos do experimento (1985 a 1998), o PCAVMC138N mineralizou $102 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N a mais que o PCAM138N aumentando essa diferença para $114 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 2150, enquanto o PDAVMC138N superou o PDAM138N em $92 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N no período 1985-1998, passando para $134 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 2150. A maior disponibilidade de N nestes sistemas, possibilita maior absorção deste elemento pelas culturas, evidenciado pelo aumento de EUPACC(1) em 2150, porém, levando-se em conta o fato de que essas quantidades de N absorvidas retornam ao solo anualmente, exceto o que é extraído pela colheita dos grãos, as elevadas taxas de mineralização destes sistemas (PCAVMC138N e PDAVMC138N) podem ser motivo de preocupação, visto que alterações no sistema de manejo, como aumento da intensidade de revolvimento do solo e redução no aporte de resíduo, podem, segundo Lovato (2001), propiciar perdas de N prejudiciais ao ambiente.

Esses efeitos podem ser observados na simulação com modificações analisando-se a variável VOLGM, que estima a perda de N por volatilização, no período de 1985 a 1998 onde os sistemas de manejo de solo que envolveram o PC perderam maiores quantidades de N por esta via em relação ao mesmo sistema de cultura cultivado em PD. No modelo Century, a volatilização de N está diretamente ligada ao processo de mineralização. Deste modo, se por um lado houve mineralização das maiores quantidades líquidas de N no PDAVMC138N, por outro, houve também maiores quantidades de N volatilizadas neste tratamento em 2150, evidenciando o potencial de perda de N em sistemas que adicionam elevadas quantidades deste elemento através da fixação simbiótica associada à adubação nitrogenada. Cabe salientar, que

as perdas de N por lixiviação, erosão e desnitrificação também são estimadas pelo modelo Century, porém, não serão detalhadas neste estudo, mas que, no entanto, podem ter afetado os resultados aqui apresentados por estarem sendo influenciadas pelos diferentes sistemas de manejo de solo em questão.

6.2.4.4. Reciclagem, adições e retiradas de nitrogênio pelos sistemas de culturas

Na Tabela 13 são apresentados os resultados de reciclagem de N pelas culturas, adições pela fixação simbiótica e adubação nitrogenada, bem como, quantidade deste nutriente extraída nos grãos estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações e confrontados com os resultados obtidos por Lovato (2001) em todos os sistemas de manejo de solo em estudo, considerando-se valores médios do período de 1985 a 1998.

Segundo Lovato (2001), para o cálculo da reciclagem de N pelas culturas de cobertura (aveia, vica e caupi), foi adotado o valor de N absorvido pela aveia ou milho nos dois métodos de preparo e nos dois níveis de adubação nitrogenada. Este valor foi descontado do N contido na biomassa do consórcio aveia+vica e milho+caupi, considerando-se o excedente como N adicionado pela fixação simbiótica das leguminosas, vica e caupi (Tabela 13, coluna II). No caso do milho, levou-se em conta que, como a aveia, esta cultura apenas recicla N do solo, retirando-se uma parte nos grãos (Tabela 13, coluna IV) no momento da colheita e devolvendo o restante ao solo via resíduo. Assim, a reciclagem no sistema de cultura (Tabela 13, coluna VIII), representa a soma do N contido na biomassa de aveia e do milho, descontando-se o N contido nos grãos. Em ambos os casos, considerou-se que o sistema radicular contribuiu com 20%, o qual foi acrescido ao N da parte aérea.

No modelo Century, a fixação simbiótica (Tabela 13, coluna III) foi estimada através da variável de saída SNFXAC(1) representando a quantidade anual de N que é adicionada por esta via. A reciclagem de N pelos sistemas de culturas, foi obtida descontando-se da quantidade de N acumulada anualmente na biomassa das culturas, dada pela variável EUPACC(1) (Tabela 12), o N da fixação simbiótica (Tabela 13, coluna III) e o N extraído nos grãos de milho (Tabela 13, coluna V), que foi estimado pela variável EGRAIN(1).

TABELA 13. Valores médios anuais de nitrogênio total adicionado, reciclado e retirado pelos sistemas de culturas nos sistemas de preparo de solo e adubação nitrogenada estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações, confrontados aos valores observados por Lovato (2001). Médias de 13 anos (1985 a 1998).

Trat.	N adubo (I)	N fixado		N no grão		Adição líquida de N		N reciclado		N total depositado sobre o solo	
		Obs. (II)	Est. ¹ (III)	Obs. (IV)	Est. ² (V)	Obs. ³ (VI)	Est. ⁴ (VII)	Obs. ⁵ (VIII)	Est. ⁶ (IX)	Obs. ⁷ (X)	Est. ⁸ (XI)
----- kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----											
PCAM	0	0	0	21	29	-21	-29	63	71	63	71
PCAVMC	0	140	99	38	76	102	23	80	140	220	239
PDAM	0	0	0	16	27	-16	-27	55	57	55	57
PDAVMC	0	119	122	36	81	83	41	75	127	194	249
PCAM	138	0	0	70	46	69	92	115	136	254	274
PCAVMC	138	108	19	69	86	178	71	114	240	361	397
PDAM	138	0	0	67	47	72	91	112	134	251	272
PDAVMC	138	92	43	71	96	160	85	116	233	347	414

¹ Fixação simbiótica estimada pelo modelo Century 4.0 pela variável SNFXAC(1);

² N alocado nos grãos de milho estimado pelo modelo Century 4.0 pela variável EGRAIN(1);

³ Adição líquida de N observada = colunas (I + II) – IV;

⁴ Adição líquida de N estimada = colunas (I + III) – V;

⁵ N reciclado observado = (N na biomassa da aveia + N na biomassa do milho) – coluna IV, (Lovato, 2001);

⁶ N reciclado estimado = EUPACC(1) – (colunas III + V);

⁷ N total depositado sobre o solo observado = colunas (I + II + VIII);

⁸ N total depositado sobre o solo estimado = colunas (I + III + IX).

Na ausência de adubação nitrogenada, a fixação simbiótica estimada aproximou-se da observada, embora o modelo tenha subestimado a adição de N por esta via em $41 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (29%) no PCAVMC0N. Entretanto, quando se adicionou anualmente 138 kg ha^{-1} de N mineral ao solo, houve inibição do processo de fixação simbiótica, sendo o valor estimado no PCAVMC138N cerca de $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (82%) menor que o observado, enquanto no PDAVMC138N a diferença foi de $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (53%). Isso ocorreu devido a maior disponibilidade de N nestes sistemas, evidenciados pela elevada mineralização líquida, no solo (SOILNM(1)) e total (TNETMN(1)), que inibiu a fixação simbiótica já que, no modelo Century, este processo somente é ativado quando a baixa disponibilidade de N passa a limitar o crescimento das plantas (Metherell et al., 1994). Enquanto o modelo estimou redução do N fixado em 81% PCAVMC138N e 65% no PDAVMC138N pela adição de N mineral, Lovato (2001) observou redução em torno de 23% nestes tratamentos que, segundo o autor, deve-se ao efeito inibidor do N mineral na nodulação do caupi e, em parte, ao maior desenvolvimento inicial do milho, na presença de N mineral, prejudicando o desenvolvimento da leguminosa, gerando menor fixação de N. Por outro lado, segundo Dakora & Keya (1997), a atividade simbiótica de espécies leguminosas cultivadas em consorciação com gramíneas pode ser estimulada se houver intensa competição pelo N do solo. Neste caso, a leguminosa é forçada a depender mais da simbiose para nutrir-se em N.

É importante destacar que ao calcular o N fixado pela vica e pelo caupi subtraindo o N absorvido pela aveia e milho do N acumulado nos consórcios aveia+vica e milho+caupi, respectivamente, Lovato (2001) pressupõe que as espécies leguminosas somente acumularam N a partir da fixação simbiótica, desconsiderando, neste caso, que estas culturas possam ter absorvido N do solo. Assim, as quantidades observadas de N fixado, apresentadas na Tabela 13, coluna II, podem estar sendo superestimadas e, deste modo, as diferenças entre tais valores e as estimativas do modelo Century (Tabela 13, coluna III) seriam menores. Além disso, é possível que, além do efeito inibidor do N mineral sobre a fixação simbiótica pelo caupi, o modelo esteja errando ao transferir o efeito da adubação nitrogenada, realizada na cultura de verão (milho+caupi), com tanta intensidade para a leguminosa de

inverno (vica) que, deste modo, estaria fixando quantidades de N abaixo do esperado.

Na ausência de N mineral, o modelo Century estimou que no sistema de cultura AVMC, independentemente do sistema de preparo de solo, o N alocado nos grãos foi superior ao sistema AM, conforme também ocorreu com os resultados obtidos por Lovato (2001). Isso pode ser atribuído a maior mineralização de N estimada nos tratamentos PCAVMC0N e PDAVMC0N, levando a uma maior absorção deste elemento pelo sistema de cultura AVMC (Tabela 12) em relação ao AM. Mas, embora a tendência tenha sido coerente com o esperado, os valores estimados superaram os observados em $38 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (100%) no PCAVMC0N e $45 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (125%) no PDAVMC0N. Tendência semelhante foi verificada nos tratamentos que receberam N mineral, sendo maiores, as estimativas de N no grão, nos sistemas envolvendo leguminosas, com o PCAVMC138N extraindo $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N a mais que o PCAM138N e o PDAVMC138N superando o PDAM138N em $49 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Tal variação não foi verificada nas condições reais, sendo que a extração de N no grão de milho permaneceu em torno de $70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, independentemente do sistema de manejo. Houve superestimativa, pelo modelo Century, nos tratamentos que incluíram leguminosas (PCAVMC138N e PDAVMC138N) ocorrendo o oposto com os demais tratamentos (PCAM138N e PDAM138N), porém, em ambos os casos a variação foi em torno de $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Conforme comentado anteriormente, as adições de N pela deposição atmosférica e fixação não-simbiótica se mantêm constantes em toda a simulação. Sendo assim, a estimativa da adição líquida de N ao solo refere-se somente as quantidades adicionadas via fertilizante e fixação simbiótica, descontando-se o N extraído pelos grãos por ocasião da colheita. As variações entre valores estimados e observados de fixação simbiótica e N no grão, se refletem sobre a adição líquida de N, de modo que as maiores discrepâncias ocorreram nos tratamentos que incluíram leguminosas, onde, na ausência de N mineral, a adição líquida estimada (Tabela 13, coluna VII), no PDAVMC0N, foi 2 vezes menor que a observada (Tabela 13, coluna VI), chegando a ser reduzida em 4 vezes no PCAVMC0N devido as maiores quantidades de N extraídas nos grãos. Por outro lado, nos tratamentos PCAVMC138N e

PDAVMC138N, a adição líquida de N foi aproximadamente 2 vezes menor que a observada. Neste caso, tal resultado foi determinado pela maior quantidade de N no grão e, principalmente, pela inibição da fixação simbiótica verificada nestes sistemas, ambos causados pela maior mineralização da MOS.

No sistema de cultura AM, a adição líquida de N aproximou-se dos valores observados, estimando-se remoção média anual de aproximadamente $30 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, na ausência de adubação nitrogenada independentemente de ser cultivado em PC ou PD. Esse saldo negativo ocorreu devido à exportação de N pelos grãos de milho. A remoção média anual observada ficou em torno de $20 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ nestes tratamentos. Já a adição de N mineral, permitiu maior mineralização da MOS, disponibilizando maior quantidade de N para as plantas facilitando, com isso, a absorção e acúmulo de N nos grãos. No entanto, mesmo com o aumento da extração de N na colheita, a adição de $138 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de N mineral possibilitou que o saldo líquido de N adicionado fosse positivo. Neste contexto, no sistema AM0N, em que o aporte externo de N é mínimo, ocorre somente retirada de N do solo pelas plantas retornando apenas uma pequena parte via resíduos, correspondendo à reciclagem, já que outra parte é exportada pela colheita de grãos de milho. Esse processo leva a redução gradativa do conteúdo de NT do solo, uma vez que o N utilizado pelo milho provém quase que exclusivamente do solo pelo processo de mineralização da MOS, havendo inclusive queda na produção. Por outro lado, nos sistemas com leguminosas e nos tratamentos com adubação nitrogenada, ocorre adição real de N ao sistema, mas para que haja aumento do NT do solo é necessário que as adições de N superem a extração pela colheita, bem como, as perdas deste elemento por lixiviação, volatilização e erosão (Lovato, 2001).

As colunas VIII e IX da Tabela 13, apesar de obtidas de formas diferenciadas, expressam, respectivamente, as quantidades observadas e estimadas de N absorvidas do solo (reciclagem) e devolvidas pelos resíduos das culturas. Nota-se que, na ausência de N mineral, conforme também observado por Lovato (2001), os sistemas de culturas cultivados em PD reciclaram quantidades menores de N que quando cultivados em PC. Além disso, segundo as estimativas do modelo Century, sem adubação nitrogenada, a presença de leguminosas no sistema dobrou a quantidade de N reciclado pelo PCAVMC0N ($140 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) em relação ao PCAM0N ($71 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$).

Essa diferença de $70 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ se manteve quando se consideram os tratamentos PDAVMC0N e PDAM0N. Tal tendência permaneceu após a adição de N mineral nestes tratamentos, porém, em magnitudes diferentes com o PCAVMC138N reciclando anualmente, em média, 240 kg ha^{-1} contra 136 kg ha^{-1} do PCAM138N e o PDAVMC138N superando o PDAM138N em quase $100 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$. O mesmo não foi verificado nos dados observados onde, embora a adubação nitrogenada tenha proporcionado aumento na quantidade de N nos resíduos em até $57 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, não foi observado efeito das leguminosas sobre a reciclagem de N nestas condições.

A adição de N pelo sistema AM limitou a reciclagem de N e, segundo Amado et al., (1999), reflete a baixa capacidade do solo em suprir N durante a estação de crescimento dessas culturas. Por outro lado, nos sistemas com inclusão de leguminosas, além do efeito da reciclagem, ocorreu aporte de N oriundo da fixação simbiótica do N_2 atmosférico, sendo esta a principal fonte de adição de N ao solo nos sistemas de manejo sem adubação nitrogenada.

Analisando-se o total de N depositado sobre o solo, pode-se dizer que há coerência entre as estimativas feitas a partir do modelo Century e as observações de Lovato (2001) (Tabela 13, colunas XI e X, respectivamente), onde, apesar de o modelo estimar deposições superiores às observadas, essa diferença foi de no máximo 20%. Sendo assim, pela estimativa do modelo Century, a inclusão de leguminosa, especialmente na ausência de N mineral, possibilitou deposição de aproximadamente $170 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (237%) a mais no PCAVMC0N em relação ao PCAM0N, chegando a $190 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (337%) a mais no PDAVMC0N que no PDAM0N. Esses resultados evidenciam o elevado potencial das leguminosas em adicionar N ao solo, tendência que permaneceu com a adição de N mineral, porém, considerando-se que mesmo os tratamentos só com gramíneas (AM) depositaram quantidades de N no solo superiores aos tratamentos contendo AVMC na ausência de N. A associação do cultivo de AVMC com a adubação nitrogenada possibilitou deposição anual de mais de 400 kg ha^{-1} , como foi o caso do PDAVMC138N. Na média dos preparos, esse sistema de culturas (AVMC) superou em até 4 vezes a deposição de N pelo sistema de cultura AM na ausência de N mineral, superando-o em 1,5 vezes quando o N mineral foi adicionado ao solo.

O comportamento destes processos pode ser observado na Tabela 14, que mostra o efeito de 165 anos de cultivo dos diferentes sistemas e manejo estudados sobre a reciclagem, adições e retiradas de N a partir das estimativas feitas pelo modelo Century 4.0 para o ano de 2150 na simulação com modificações. Na ausência de N mineral, percebe-se que o sistema de cultura AM manteve a tendência de remoção do N do solo, continuando com saldo líquido negativo (Tabela 14, coluna IV), bem como, redução na reciclagem e deposição de N sobre o solo (Tabela 14, colunas V e VI, respectivamente) ao longo de 165 anos de cultivo. Isso se deve às limitações que este sistema oferece ao crescimento vegetal dada à baixa disponibilidade de N, o que acaba por refletir-se sobre os estoques de C e N orgânicos do solo, visto que a mineralização da MOS é a principal fonte de N para as plantas. Por outro lado, no sistema de culturas AVMC, estima-se que a adição de N pela fixação simbiótica (Tabela 14, coluna II) será mantida em aproximadamente $100 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$. Além disso, a extração de N pela colheita dos grãos (Tabela 14, coluna III) apresentou pequena variação em relação aos primeiros 13 anos de cultivo, diminuindo em $6 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ no PCAVMC0N e aumentando em $7 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ no PDAVMC0N e, deste modo, o saldo líquido de adição de N nestes tratamentos manteve-se positivo em 30 e 23 $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ respectivamente. A reciclagem e o total de N depositado sobre o solo aumentaram com o tempo, elevando-se em 19% no PCAVMC0N e 12% quando o cultivo foi em PD.

Com a adição de N mineral, no sistema de cultura AM a quantidade de N extraída nos grãos quase não variou com o tempo, no entanto, as quantidades recicladas e depositadas sobre o solo aumentaram um pouco em 2150 (aproximadamente $10 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) em relação ao período de 1985 a 1998. No sistema de culturas AVMC, a fixação simbiótica foi inibida quase totalmente em função da elevada mineralização de N (Tabela 12) e, por esse motivo, a adição líquida foi reduzida em mais de $20 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ no PC e em mais de $40 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ no PD. Apesar disso, em 2150 no PCAVMC138N houve aumento em, respectivamente, 44 e $25 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ na reciclagem e deposição de N sobre o solo, enquanto no PDAVMC138N esse aumento foi de $71 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ na reciclagem e $28 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ na deposição de N sobre o solo, em relação à média do período de 1985 a 1998.

TABELA 14. Estimativas de nitrogênio total adicionado, reciclado e retirado pelos sistemas de culturas nos sistemas de preparo de solo e adubação nitrogenada estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações para o ano de 2150.

Trat.	N adubo	N fixado ¹	N no grão ²	Adição líquida de N ³	N reciclado ⁴	N total depositado sobre o solo ⁵
	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	(VI)
	----- kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----					
PCAM	0	0	14	-14	33	33
PCAVMC	0	100	70	30	185	284
PDAM	0	0	14	-14	33	33
PDAVMC	0	110	88	23	169	279
PCAM	138	0	44	94	147	285
PCAVMC	138	1	90	49	284	422
PDAM	138	0	45	93	145	283
PDAVMC	138	0	96	42	304	442

¹ Fixação simbiótica estimada pelo modelo Century 4.0 pela variável SNFXAC(1);

² N alocado nos grãos de milho estimado pelo modelo Century 4.0 pela variável EGRAIN(1);

³ Adição líquida de N = colunas (I + II) – III;

⁴ N reciclado estimado = EUPACC(1) – (colunas III + V);

⁵ N total depositado sobre o solo = colunas (I + II+ V).

Assim, a melhoria das práticas de manejo, aumento da qualidade do solo e, principalmente, o aumento do suprimento de N mineral associado com sistemas de culturas contendo leguminosas, promovem acúmulo deste nutriente no solo e, segundo Amado et al. (2001), promovem um aumento de rendimento da cultura comercial ao longo dos anos. No entanto, essas condições aumentam a preocupação com o manejo do N, não só no sentido deste ser instrumento para produtividades mais elevadas dos sistemas de culturas, mas, especialmente, com relação às perdas deste elemento para o ambiente, devido ao seu potencial poluidor, destacando-se a importância, neste caso, da manutenção de plantas sobre o solo reciclando e mantendo o N no sistema solo-planta ao longo do ano.

7. CONCLUSÕES

As simulações com o modelo Century 4.0 com base em dados do experimento de manejo de solo de longa duração localizado na Estação Experimental da UFRGS sob um Argissolo Vermelho distrófico (PVd) permitiram concluir que:

1. O ajuste dos parâmetros relacionados à adição de N por fixação não-simbiótica (EPNFS(2)) e perda deste nutriente por volatilização (VLOSSG), bem como, a relação C/N dos compostos que entram nos compartimentos lento (VARAT2(1,1)) e passivo (VARAT3(1,1)) possibilitaram que o modelo Century 4.0 estimasse acúmulos de nitrogênio no solo coerentes com o que realmente ocorre na natureza.

2. O fator de cultivo para decomposição do compartimento lento (CLTEFF(2)) foi dependente do potencial de adição de C pelas culturas e grau de revolvimento do solo de modo que, a redução do preparo refletiu-se na diminuição da taxa de decomposição do compartimento lento e no aumento do estoque de COT e NT do mesmo.

3. A prolongação do efeito do revolvimento do solo, a partir do uso do “efeito adicional de cultivo”, permitiu melhor ajuste da dinâmica do C e do N no solo sob sistema de preparo convencional.

4. As estimativas dos estoques de COT e NT em longo prazo, para os sistemas de manejo de solo estudados, foram coerentes com o esperado, evidenciando que o modelo Century tem potencial para ser utilizado no

planejamento e definição de estratégias de manejo de solo na Depressão Central do Rio Grande do Sul.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: Efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: ATUALIZAÇÃO em recomendação de adubação e calagem com ênfase ao plantio direto. Santa Maria: Departamento de Solos da UFSM, 1997. p.76-111.
- AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, p.157-165, 2001.
- AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. 201f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.679-686, 1999.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de plantas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, p.189-197, 2001.
- AULAKH, M.S.; RENNIE, D.A. Nitrogen transformation with special reference to gaseous N losses from zero-tilled soil of Saskatchewan, Canada. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.7, p.157-171, 1986.

- BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas.** 1992. 183f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos.** 1996. 241f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Conteúdo de nitrogênio total num solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.235-239, 1997.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 1999. 508p.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C.A. Effect of No-Till Cropping systems on soil organic matter in a Sandy Clay Loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.53, p.95-104, 2000a.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, F.F. Organic matter storage in a Sandy Clay Loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.54, p.101-109, 2000b.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.599-607, 2000c.
- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R. **Agroclima da Estação Experimental Agrônômica.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 96p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais Climáticas.** Rio de Janeiro, 1992. 84p.
- CERETTA, C.A.; AITA, C.; BRAIDA, J.A.; PAVINATO, A.; SALET, R.L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.215-220, 1994.
- DAKORA, F.D.; KEYA, S.O. Contribution of legume nitrogen fixation to sustainable agriculture in Sub-Saharan Africa. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v.29, n. 5/6, p. 809-817, 1997.

- DALAL, R.C.; MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. II Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.24, p.281-292, 1986.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes no inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, p.761-773, 1985.
- DOWDELL, R.J.; CANNELL, R.Q. Effect of ploughing and direct drilling on soil nitrate content. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.26, p.53-61, 1975.
- FERNANDES, F.F. **Uso do modelo century no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos do Rio Grande do Sul**. 2002. 156f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- FREITAS, V.H. **Eficiência de sistemas de preparo do solo e de culturas no fornecimento de nitrogênio para o milho**. 1988. 148f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.307-313, 1999.
- HENIN, S.; DUPUIS, M. Essai de bilan de la matière organique du sol. **Annales Agronomiques**, Paris, v.15, p.17-29, 1945.
- HUDSON, N. **Soil conservation**. Ithaca, New York : Cornell University Press, 1973. p.74-76.
- JANSSEN, B.H. A simple method for calculating decomposition and accumulation of “young” soil organic matter. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.72, p.297-304, 1984.
- JENKINSON, D.S.; POULTON, P.R.; JOHNSTON, A.E.; POWLSON, D.S. Turnover of nitrogen-15-labeled fertilizer in old grassland. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, p.865-875, 2004.
- KELLY, R.H.; PARTON, W.J.; CROCKER, G.J.; GRACE, P.R.; KLÍR, J.; KÖRSCHENS, M.; POULTON, P.R.; RICHTER, D.D. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the Century model. **Geoderma**, Amsterdam, v.81, p.75-90, 1997.
- KHAN, W.D.F; PEOPLES, M.B.; HERRIDGE, D.F. Quantifying below-ground nitrogen of legumes. I – Optimising procedures for ¹⁵N shoot-labelling. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.245, p.327-334, 2002

- LAL, R. **Role of mulching techniques in tropical soil and water management**. Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture, 1976. 38p.
- LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ – enrichment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.43, p.81-108, 1997.
- LAL, R.; FOLLETT, R.F.; KIMBLE, J; COLE, C.V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.54, n.1, p.374-381, 1999.
- LEAL, M.A.A. **Proposta de modelo de simulação no estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo**. 1996. 111f. Dissertação (Mestrado – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1996.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O.A.; FERNANDES FILHO, E.I.; NEVES, J.C.L. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plow systems using the Century model. **Geoderma**, Amsterdam, v.120, p.283-295, 2004a.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O. A. Simulação pelo modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, p.347-358, 2004b.
- LOPES P.R.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p.71-75, 1987.
- LOVATO, T. **Dinâmica do carbono e nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado**. 2001. 133f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M. Carbono e nitrogênio adicionados e sua relação com o rendimento do milho e estoques destes elementos no solo em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, p.175-187, 2004.
- MEDEIROS, J.C. **Sistemas de culturas adaptados à produtividade, recuperação e conservação do solo**. 1985. 89f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.
- METHEREL, A.K.; HARVING, L.A.; COLE, C.V.; PARTON, W.J. **Century: soil organic matter model environment. technical documentation**

- agrossystem version 4.0. Fort Collins : USDA-ARS, 1994. 123p. (Great Plains System Research Unit. Technical Report, 4).
- MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.3, p.209-241, 2003.
- MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. (Ed.). **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora da Ufla, 2002. 626p.
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura. Seção de Geografia, 1961. 38p.
- MUZILLI, O.; CASTRO FILHO, C. **Uso e manejo dos solos de baixa aptidão agrícola**. Londrina : Instituto Agrônômico do Paraná, 1999. 270p. (IAPAR, Circular Técnica)
- PARFITT, R.L.; THENG, B.K.G.; WHITTON, J.S.; SHEPHERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, Amsterdam, v.75, p.1-12, 1997.
- PARTON, W.J.; SCHIMEL, 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.
- PAUSTIAN, K.; PARTON, W.J.; PERSSON, J. Modelling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.476-488, 1992.
- PROBERT, M.E.; KEATING, B.A.; THOMPSON, J.P.; PARTON, W.J. Modelling water; nitrogen, and crop yield for a long-term fallow management experiment. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v.35, p.941-950., 1995.
- RICE, C.W.; SMITH, M.S. Denitrification in no-till and plowed soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p.1168-1173, 1982.
- SCHOLES, M.C.; POWLSON, D.; TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.25-47, 1997.
- SEIFFERT, N.F. **Leguminosas para pastagens no Brasil Central**. Brasília: EMBRAPA – DID, 1982. 131p.
- SILVA, A.J.; LIMA JUNIOR, M.A.; FERREIRA, N.C.M.; FRAGA, V.S. Perdas de amônia por volatilização proveniente da uréia aplicada a solos dos trópicos úmidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.141-144, 1995.

- SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A. de O.; CERETTA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E.J. **Fundamentos de Química do Solo**. Porto Alegre: Gênese, 2000. 174p.
- STEFANSON, R.C. Soil denitrification in sealed soil –plant systems. I. Effect of plants, soil water content and soil organic matter content. **Plant and soil**, Dordrecht, v.33, p.113-127, 1972.
- TEIXEIRA, L.A.J. **Fornecimento de nitrogênio ao milho por sistemas de culturas**. 1988. 96f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- TEIXEIRA, L.A.J.; TESTA, V.M.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, p.207-214, 1994.
- TESTA, V.M. **Características químicas de um podzólico vermelho escuro, nutrição e rendimento do milho afetados por sistemas de culturas**. 1989. 134f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- TESTA, V.M.; TEIXEIRA, L.A.J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-escuro afetadas por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.107-114, 1992.
- THOMAS, G.W.; BLEVINS, R.L.; PHILLIPS, R.E.; McMAHON, M.A. Effect of killed sod mulch on nitrate movement and corn yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, p.736-739, 1973.
- VAN VEEN, J.A.; PAUL, E.A. Organic carbon dynamics in grassland soil.1. Background information and computer simulation. **Canadian Journal of Soil Science**, Ontario, v.61, p.185-201, 1981.
- VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- WOODRUFF, C.M. Estimating the nitrogen delivery of soil from the organic matter determination as reflected by sanborn field. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.14, p.208-212, 1949.

9. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Parâmetros do arquivo acessório CULT.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações.

CULT A - Efeito adicional de cultivo		1.00000	'CLTEFF(3)'
0.00000	'CULTRA(1)'	1.00000	'CLTEFF(4)'
0.00000	'CULTRA(2)'		
0.00000	'CULTRA(3)'	CULT RF - rolo-faca	
0.00000	'CULTRA(4)'	0.00000	'CULTRA(1)'
0.00000	'CULTRA(5)'	1.00000	'CULTRA(2)'
0.00000	'CULTRA(6)'	0.00000	'CULTRA(3)'
0.00000	'CULTRA(7)'	1.00000	'CULTRA(4)'
4.00000	'CLTEFF(1)'	0.00000	'CULTRA(5)'
4.00000	'CLTEFF(2)'	0.00000	'CULTRA(6)'
4.00000	'CLTEFF(3)'	1.00000	'CLTEFF(1)'
4.00000	'CLTEFF(4)'	1.00000	'CLTEFF(2)'
CULT P - Preparo convencional		1.00000	'CLTEFF(3)'
0.00000	'CULTRA(1)'	1.00000	'CLTEFF(4)'
0.10000	'CULTRA(2)'		
0.90000	'CULTRA(3)'	CULT D - DRILL	
0.10000	'CULTRA(4)'	0.05000	'CULTRA(1)'
0.90000	'CULTRA(5)'	0.05000	'CULTRA(2)'
0.90000	'CULTRA(6)'	0.10000	'CULTRA(3)'
1.00000	'CULTRA(7)'	0.05000	'CULTRA(4)'
1.60000	'CLTEFF(1)'	0.15000	'CULTRA(5)'
1.60000	'CLTEFF(2)'	0.20000	'CULTRA(6)'
1.60000	'CLTEFF(3)'	0.20000	'CULTRA(7)'
1.60000	'CLTEFF(4)'	1.10000	'CLTEFF(1)'
CULT N – Sem preparo		1.10000	'CLTEFF(2)'
0.05000	'CULTRA(1)'	1.10000	'CLTEFF(3)'
0.05000	'CULTRA(2)'	1.10000	'CLTEFF(4)'
0.00000	'CULTRA(3)'		
0.05000	'CULTRA(4)'	CULT C - Cultivador	
0.05000	'CULTRA(5)'	0.00000	'CULTRA(1)'
0.05000	'CULTRA(6)'	0.50000	'CULTRA(2)'
0.10000	'CULTRA(7)'	0.50000	'CULTRA(3)'
1.00000	'CLTEFF(1)'	0.50000	'CULTRA(4)'
1.00000	'CLTEFF(2)'	0.50000	'CULTRA(5)'
1.00000	'CLTEFF(3)'	0.50000	'CULTRA(6)'
1.00000	'CLTEFF(4)'	1.00000	'CULTRA(7)'
CULT H - Herbicida		1.60000	'CLTEFF(1)'
1.00000	'CULTRA(1)'	1.60000	'CLTEFF(2)'
0.00000	'CULTRA(2)'	1.60000	'CLTEFF(3)'
0.00000	'CULTRA(3)'	1.60000	'CLTEFF(4)'
0.00000	'CULTRA(4)'		
0.00000	'CULTRA(5)'		
0.00000	'CULTRA(6)'		
1.00000	'CULTRA(7)'		
1.00000	'CLTEFF(1)'		
1.00000	'CLTEFF(2)'		

Nota: Parâmetros em negrito têm seu valor variando em função do sistema de manejo de solo adotado.

APÊNDICE 2. Parâmetros do campo nativo e culturas do arquivo acessório CROP.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações.

CN1 campo nativo	0.0	'EFRGRN(2)'	200.0	'PRAMX(2,1)'	
180	'PRDX(1)'	0.0	'EFRGRN(3)'	230.0	'PRAMX(3,1)'
27.0	'PPDF(1)'	0.15	'VLOSSP'	100.0	'PRAMX(1,2)'
45.0	'PPDF(2)'	0.2	'FSDETH(1)'	260.0	'PRAMX(2,2)'
1.0	'PPDF(3)'	0.95	'FSDETH(2)'	270.0	'PRAMX(3,2)'
3.0	'PPDF(4)'	0.2	'FSDETH(3)'	45.0	'PRBMN(1,1)'
0.0	'BIOFLG'	150.0	'FSDETH(4)'	390.0	'PRBMN(2,1)'
60.0	'BIOK5'	0.15	'FALLRT'	340.0	'PRBMN(3,1)'
1.0	'PLTMRF'	0.15	'RDR'	0.0	'PRBMN(1,2)'
100.0	'FULCAN'	2.0	'RTDTMP'	0.0	'PRBMN(2,2)'
0.0	'FRTC(1)'	0.30	'CRPRTF(1)'	0.0	'PRBMN(3,2)'
0.0	'FRTC(2)'	0.0	'CRPRTF(2)'	60.0	'PRBMX(1,1)'
0.0	'FRTC(3)'	0.0	'CRPRTF(3)'	420.0	'PRBMX(2,1)'
400.0	'BIOMAX'	0.000	'SNFXMX(1)'	420.0	'PRBMX(3,1)'
37.0	'PRAMN(1,1)'	-18.0	'DEL13C'	0.0	'PRBMX(1,2)'
390.0	'PRAMN(2,1)'	1.075	'CO2IPR(1)'	0.0	'PRBMX(2,2)'
340.0	'PRAMN(3,1)'	0.77	'CO2ITR(1)'	0.0	'PRBMX(3,2)'
110.0	'PRAMN(1,2)'	1.0	'CO2ICE(1,1,1)'	0.15	'FLIGNI(1,1)'
390.0	'PRAMN(2,2)'	1.0	'CO2ICE(1,1,2)'	0.0	'FLIGNI(2,1)'
340.0	'PRAMN(3,2)'	1.0	'CO2ICE(1,1,3)'	0.06	'FLIGNI(1,2)'
35.0	'PRAMX(1,1)'	1.075	'CO2ICE(1,2,1)'	0.0	'FLIGNI(2,2)'
440.0	'PRAMX(2,1)'	1.0	'CO2ICE(1,2,2)'	0.33	'HIMAX'
440.0	'PRAMX(3,1)'	1.0	'CO2ICE(1,2,3)'	0.0	'HIWSF'
95.0	'PRAMX(1,2)'	1.0	'CO2IRS(1)'	1.0	'HIMON(1)'
440.0	'PRAMX(2,2)'			1.0	'HIMON(2)'
440.0	'PRAMX(3,2)'	<u>APCAMCOE</u>	Colza-	0.85	'EFRGRN(1)'
50.0	'PRBMN(1,1)'	girassol		0.6	'EFRGRN(2)'
390.0	'PRBMN(2,1)'	190.0	'PRDX(1)'	0.6	'EFRGRN(3)'
340.0	'PRBMN(3,1)'	18.0	'PPDF(1)'	0.20	'VLOSSP'
0.0	'PRBMN(1,2)'	35.0	'PPDF(2)'	0.0	'FSDETH(1)'
0.0	'PRBMN(2,2)'	0.7	'PPDF(3)'	0.0	'FSDETH(2)'
0.0	'PRBMN(3,2)'	5.0	'PPDF(4)'	0.0	'FSDETH(3)'
55.0	'PRBMX(1,1)'	0.0	'BIOFLG'	200.0	'FSDETH(4)'
420.0	'PRBMX(2,1)'	1800.0	'BIOK5'	0.12	'FALLRT'
420.0	'PRBMX(3,1)'	0.4	'PLTMRF'	0.05	'RDR'
0.0	'PRBMX(1,2)'	150.0	'FULCAN'	2.0	'RTDTMP'
0.0	'PRBMX(2,2)'	0.4	'FRTC(1)'	0.0	'CRPRTF(1)'
0.0	'PRBMX(3,2)'	0.4	'FRTC(2)'	0.0	'CRPRTF(2)'
0.02	'FLIGNI(1,1)'	3.0	'FRTC(3)'	0.0	'CRPRTF(3)'
0.0012	'FLIGNI(2,1)'	500.0	'BIOMAX'	0.0	'SNFXMX(1)'
0.26	'FLIGNI(1,2)'	12.0	'PRAMN(1,1)'	-27.0	'DEL13C'
-0.0015	'FLIGNI(2,2)'	100.0	'PRAMN(2,1)'	1.3	'CO2IPR(1)'
0.0	'HIMAX'	100.0	'PRAMN(3,1)'		
0.0	'HIWSF'	40.0	'PRAMN(1,2)'		
2.0	'HIMON(1)'	160.0	'PRAMN(2,2)'		
1.0	'HIMON(2)'	200.0	'PRAMN(3,2)'		
0.0	'EFRGRN(1)'	45.0	'PRAMX(1,1)'		

continua...

0.0	'SNFXMX(1)'	0.12	'FLIGNI(1,1)'	40.0	'PRAMN(1,2)'
-27.0	'DEL13C'	0.0	'FLIGNI(2,1)'	160.0	'PRAMN(2,2)'
1.3	'CO2IPR(1)'	0.06	'FLIGNI(1,2)'	200.0	'PRAMN(3,2)'
0.77	'CO2ITR(1)'	0.0	'FLIGNI(2,2)'	25.0	'PRAMX(1,1)'
1.0	'CO2ICE(1,1,1)'	0.33	'HIMAX'	200.0	'PRAMX(2,1)'
1.0	'CO2ICE(1,1,2)'	0.0	'HIWSF'	230.0	'PRAMX(3,1)'
1.0	'CO2ICE(1,1,3)'	2.0	'HIMON(1)'	100.0	'PRAMX(1,2)'
1.3	'CO2ICE(1,2,1)'	1.0	'HIMON(2)'	260.0	'PRAMX(2,2)'
1.0	'CO2ICE(1,2,2)'	0.85	'EFRGRN(1)'	270.0	'PRAMX(3,2)'
1.0	'CO2ICE(1,2,3)'	0.6	'EFRGRN(2)'	45.0	'PRBMN(1,1)'
1.0	'CO2IRS(1)'	0.6	'EFRGRN(3)'	390.0	'PRBMN(2,1)'
		0.20	'VLOSSP'	340.0	'PRBMN(3,1)'
	<u>MPCAMCOE</u> Colza-	0.0	'FSDETH(1)'	0.0	'PRBMN(1,2)'
	girassol	0.0	'FSDETH(2)'	0.0	'PRBMN(2,2)'
290.0	'PRDX(1)'	0.0	'FSDETH(3)'	0.0	'PRBMN(3,2)'
30.0	'PPDF(1)'	500.0	'FSDETH(4)'	60.0	'PRBMX(1,1)'
45.0	'PPDF(2)'	0.1	'FALLRT'	420.0	'PRBMX(2,1)'
1.0	'PPDF(3)'	0.05	'RDR'	420.0	'PRBMX(3,1)'
2.5	'PPDF(4)'	2.0	'RTDTMP'	0.0	'PRBMX(1,2)'
0.0	'BIOFLG'	0.0	'CRPRTF(1)'	0.0	'PRBMX(2,2)'
1800.0	'BIOK5'	0.0	'CRPRTF(2)'	0.0	'PRBMX(3,2)'
0.5	'PLTMRF'	0.0	'CRPRTF(3)'	0.15	'FLIGNI(1,1)'
150.0	'FULCAN'	0.0	'SNFXMX(1)'	0.0	'FLIGNI(2,1)'
0.4	'FRTC(1)'	-15.0	'DEL13C'	0.06	'FLIGNI(1,2)'
0.4	'FRTC(2)'	1.0	'CO2IPR(1)'	0.0	'FLIGNI(2,2)'
3.0	'FRTC(3)'	0.77	'CO2ITR(1)'	0.30	'HIMAX'
600.0	'BIOMAX'	1.0	'CO2ICE(1,1,1)'	0.0	'HIWSF'
30.0	'PRAMN(1,1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,2)'	1.0	'HIMON(1)'
150.0	'PRAMN(2,1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,3)'	1.0	'HIMON(2)'
190.0	'PRAMN(3,1)'	1.0	'CO2ICE(1,2,1)'	0.85	'EFRGRN(1)'
62.5	'PRAMN(1,2)'	1.0	'CO2ICE(1,2,2)'	0.6	'EFRGRN(2)'
150.0	'PRAMN(2,2)'	1.0	'CO2ICE(1,2,3)'	0.6	'EFRGRN(3)'
150.0	'PRAMN(3,2)'	1.0	'CO2IRS(1)'	0.04	'VLOSSP'
55.0	'PRAMX(1,1)'			0.0	'FSDETH(1)'
230.0	'PRAMX(2,1)'		<u>APCPDAM</u> Aveia	0.0	'FSDETH(2)'
230.0	'PRAMX(3,1)'	100.0	'PRDX(1)'	0.0	'FSDETH(3)'
125.0	'PRAMX(1,2)'	18.0	'PPDF(1)'	200.0	'FSDETH(4)'
230.0	'PRAMX(2,2)'	35.0	'PPDF(2)'	0.12	'FALLRT'
230.0	'PRAMX(3,2)'	0.7	'PPDF(3)'	0.05	'RDR'
45.0	'PRBMN(1,1)'	5.0	'PPDF(4)'	2.0	'RTDTMP'
390.0	'PRBMN(2,1)'	0.0	'BIOFLG'	0.0	'CRPRTF(1)'
340.0	'PRBMN(3,1)'	1800.0	'BIOK5'	0.0	'CRPRTF(2)'
0.0	'PRBMN(1,2)'	0.4	'PLTMRF'	0.0	'CRPRTF(3)'
0.0	'PRBMN(2,2)'	90.0	'FULCAN'	0.0	'SNFXMX(1)'
0.0	'PRBMN(3,2)'	0.4	'FRTC(1)'	-27.0	'DEL13C'
60.0	'PRBMX(1,1)'	0.4	'FRTC(2)'	1.3	'CO2IPR(1)'
420.0	'PRBMX(2,1)'	3.0	'FRTC(3)'	0.77	'CO2ITR(1)'
420.0	'PRBMX(3,1)'	500.0	'BIOMAX'	1.0	'CO2ICE(1,1,1)'
0.0	'PRBMX(1,2)'	12.0	'PRAMN(1,1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,2)'
0.0	'PRBMX(2,2)'	100.0	'PRAMN(2,1)'		
0.0	'PRBMX(3,2)'	100.0	'PRAMN(3,1)'		

continua...

1.0	'CO2ICE(1,1,3)'	2.0	'HIMON(1)'	17.5	'PRAMX(1,1)'
1.3	'CO2ICE(1,2,1)'	1.0	'HIMON(2)'	200.0	'PRAMX(2,1)'
1.0	'CO2ICE(1,2,2)'	0.70	'EFRGRN(1)'	230.0	'PRAMX(3,1)'
1.0	'CO2ICE(1,2,3)'	0.6	'EFRGRN(2)'	70.0	'PRAMX(1,2)'
1.0	'CO2IRS(1)'	0.6	'EFRGRN(3)'	260.0	'PRAMX(2,2)'
		0.04	'VLOSSP'	270.0	'PRAMX(3,2)'
<u>MPCPDAM</u>	Milho	0.0	'FSDETH(1)'	34.5	'PRBMN(1,1)'
corn C4		0.0	'FSDETH(2)'	390.0	'PRBMN(2,1)'
218.0	'PRDX(1)'	0.0	'FSDETH(3)'	340.0	'PRBMN(3,1)'
30.0	'PPDF(1)'	500.0	'FSDETH(4)'	0.0	'PRBMN(1,2)'
45.0	'PPDF(2)'	0.1	'FALLRT'	0.0	'PRBMN(2,2)'
1.0	'PPDF(3)'	0.05	'RDR'	0.0	'PRBMN(3,2)'
2.5	'PPDF(4)'	2.0	'RTDTMP'	44.0	'PRBMX(1,1)'
0.0	'BIOFLG'	0.0	'CRPRTF(1)'	420.0	'PRBMX(2,1)'
1800.0	'BIOK5'	0.0	'CRPRTF(2)'	420.0	'PRBMX(3,1)'
0.5	'PLTMRF'	0.0	'CRPRTF(3)'	0.0	'PRBMX(1,2)'
90.0	'FULCAN'	0.0	'SNFXMX(1)'	0.0	'PRBMX(2,2)'
0.4	'FRTC(1)'	-15.0	'DEL13C'	0.0	'PRBMX(3,2)'
0.4	'FRTC(2)'	1.0	'CO2IPR(1)'	0.15	'FLIGNI(1,1)'
3.0	'FRTC(3)'	0.77	'CO2ITR(1)'	0.0	'FLIGNI(2,1)'
600.0	'BIOMAX'	1.0	'CO2ICE(1,1,1)'	0.06	'FLIGNI(1,2)'
30.0	'PRAMN(1,1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,2)'	0.0	'FLIGNI(2,2)'
150.0	'PRAMN(2,1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,3)'	0.35	'HIMAX'
190.0	'PRAMN(3,1)'	1.0	'CO2ICE(1,2,1)'	0.0	'HIWSF'
62.5	'PRAMN(1,2)'	1.0	'CO2ICE(1,2,2)'	1.0	'HIMON(1)'
150.0	'PRAMN(2,2)'	1.0	'CO2ICE(1,2,3)'	1.0	'HIMON(2)'
150.0	'PRAMN(3,2)'	1.0	'CO2IRS(1)'	0.6	'EFRGRN(1)'
55.0	'PRAMX(1,1)'			0.6	'EFRGRN(2)'
230.0	'PRAMX(2,1)'	<u>AVPCAVMC</u>		0.6	'EFRGRN(3)'
230.0	'PRAMX(3,1)'	Aveia+vica		0.04	'VLOSSP'
125.0	'PRAMX(1,2)'	(modificado para fix.		0.0	'FSDETH(1)'
230.0	'PRAMX(2,2)'	simb. de N)		0.0	'FSDETH(2)'
230.0	'PRAMX(3,2)'	185.0	'PRDX(1)'	0.0	'FSDETH(3)'
45.0	'PRBMN(1,1)'	18.0	'PPDF(1)'	500.0	'FSDETH(4)'
390.0	'PRBMN(2,1)'	35.0	'PPDF(2)'	0.12	'FALLRT'
340.0	'PRBMN(3,1)'	0.7	'PPDF(3)'	0.05	'RDR'
0.0	'PRBMN(1,2)'	3.5	'PPDF(4)'	2.0	'RTDTMP'
0.0	'PRBMN(2,2)'	0.0	'BIOFLG'	0.0	'CRPRTF(1)'
0.0	'PRBMN(3,2)'	1800.0	'BIOK5'	0.0	'CRPRTF(2)'
60.0	'PRBMX(1,1)'	0.4	'PLTMRF'	0.0	'CRPRTF(3)'
420.0	'PRBMX(2,1)'	150.0	'FULCAN'	0.03	'SNFXMX(1)'
420.0	'PRBMX(3,1)'	0.4	'FRTC(1)'	-27.0	'DEL13C'
0.0	'PRBMX(1,2)'	0.4	'FRTC(2)'	1.3	'CO2IPR(1)'
0.0	'PRBMX(2,2)'	3.0	'FRTC(3)'	0.77	'CO2ITR(1)'
0.0	'PRBMX(3,2)'	600.0	'BIOMAX'	1.0	'CO2ICE(1,1,1)'
0.12	'FLIGNI(1,1)'	8.78	'PRAMN(1,1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,2)'
0.0	'FLIGNI(2,1)'	100.0	'PRAMN(2,1)'	1.0	'CO2ICE(1,1,3)'
0.06	'FLIGNI(1,2)'	100.0	'PRAMN(3,1)'	1.3	'CO2ICE(1,2,1)'
0.0	'FLIGNI(2,2)'	35.0	'PRAMN(1,2)'	1.0	'CO2ICE(1,2,2)'
0.30	'HIMAX'	160.0	'PRAMN(2,2)'		
0.0	'HIWSF'	200.0	'PRAMN(3,2)'		

continua...

APÊNDICE 3. Valores do parâmetro PRDX(1), do arquivo CROP.100, adotados para as culturas nos tratamentos utilizados nas simulações padrão e com modificações.

Trat.	Dose N	CLTEFF(2)	PRDX(1)	
			Aveia ou aveia+vica	Milho ou milho+caupi
kg ha ⁻¹			----- g C m ⁻² -----	
SIMULAÇÃO PADRÃO				
PCAM		1,60	190	230
PCAVMC		1,60	195	285
PDAM		1,00	110	130
PDAVMC		1,00	190	200
SIMULAÇÃO COM MODIFICAÇÕES				
PCAM	0N	2,40	350	400
PCAVMC		2,96	185	235
PDAM		0,70	380	550
PDAVMC		1,10	185	240
SIMULAÇÃO PADRÃO				
PCAM		1,60	120	240
PCAVMC		1,60	175	310
PDAM		1,00	110	230
PDAVMC		1,00	165	265
SIMULAÇÃO COM MODIFICAÇÕES				
PCAM	138N	3,04	120	230
PCAVMC		3,20	165	255
PDAM		1,40	100	218
PDAVMC		1,45	175	265
CN	padrão			180
	com modificação			180
CG	padrão		120	210
	com modificação		190	290

APÊNDICE 4. Parâmetros do arquivo acessório FERT.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações.

FERT N1 Nitrogênio 1gN m ⁻²	
1.00000	'FERAMT(1)'
0.00000	'FERAMT(2)'
0.00000	'FERAMT(3)'
0.00000	'AUFERT'
FERT N3 Nitrogênio 3 gN m ⁻²	
3.00000	'FERAMT(1)'
0.00000	'FERAMT(2)'
0.00000	'FERAMT(3)'
0.00000	'AUFERT'
FERT N46 Nitrogênio 4.6 gN m ⁻²	
4.60000	'FERAMT(1)'
0.00000	'FERAMT(2)'
0.00000	'FERAMT(3)'
0.00000	'AUFERT'
FERT N92 Nitrogênio 9.2 gN m ⁻²	
9.20000	'FERAMT(1)'
0.00000	'FERAMT(2)'
0.00000	'FERAMT(3)'
0.00000	'AUFERT'

APÊNDICE 5. Parâmetros do arquivo acessório IRRI.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações.

IRRI A95 Irrigação automática para suprir 95% da capacidade de retenção.

1.00000	'AUIRRI'
0.95000	'FAWHC'
0.00000	'IRRAUT'
0.00000	'IRRAMT'

APÊNDICE 6. Parâmetros do arquivo acessório HARV.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações.

HARV G Colheita de grão

0.00000	'AGLREM'
0.00000	'BGLREM'
1.00000	'FLGHRV'
0.00000	'RMVSTR'
0.50000	'REMWSD'
0.00000	'HIBG'

APÊNDICE 7. Parâmetros do arquivo acessório GRAZ.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações.

GRAZ GM pastejo com baixa intensidade e efeito moderado (linear) na produção

0.10000	'FLGREM'
0.01000	'FDGREM'
0.30000	'GFCRET'
0.90000	'GRET(1)'
0.95000	'GRET(2)'
0.95000	'GRET(3)'
1.00000	'GRZEFF'
0.50000	'FECF(1)'
0.90000	'FECF(2)'
0.50000	'FECF(3)'
0.25000	'FECLIG'

APÊNDICE 8. Parâmetros do arquivo FIX.100 padrão do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações.

X	Fixed_values	0.20000	'DEC5'	50.000	'PCEMIC(2,3)'
15.00000	'ADEP(1)'	5.0000	'DECK5'	0.0200	'PCEMIC(3,1)'
15.00000	'ADEP(2)'	-4.00000	'DLIGDF'	0.00150	'PCEMIC(3,2)'
15.00000	'ADEP(3)'	0.99900	'DRESP'	0.00150	'PCEMIC(3,3)'
15.00000	'ADEP(4)'	0.20000	'EDEPTH'	0.25000	'PEFTXA'
30.00000	'ADEP(5)'	0.40000	'ELITST'	0.75000	'PEFTXB'
30.00000	'ADEP(6)'	2.00000	'ENRICH'	6.00000	'PHESP(1)'
30.00000	'ADEP(7)'	0.90000	'FAVAIL(1)'	0.00080	'PHESP(2)'
30.00000	'ADEP(8)'	0.50000	'FAVAIL(3)'	7.60000	'PHESP(3)'
0.00000	'ADEP(9)'	0.20000	'FAVAIL(4)'	0.01500	'PHESP(4)'
0.00000	'ADEP(10)'	0.40000	'FAVAIL(5)'	3.00000	'PLIGST(1)'
-40.00000	'AGPPA'	2.00000	'FAVAIL(6)'	3.00000	'PLIGST(2)'
7.70000	'AGPPB'	0.20000	'FLEACH(1)'	0.55000	'PMCO2(1)'
1.50000	'ANEREF(1)'	0.70000	'FLEACH(2)'	0.55000	'PMCO2(2)'
3.00000	'ANEREF(2)'	1.00000	'FLEACH(3)'	0.00000	'PMNSEC(1)'
0.30000	'ANEREF(3)'	0.00000	'FLEACH(4)'	0.00000	'PMNSEC(2)'
5.00000	'ANIMPT'	0.10000	'FLEACH(5)'	2.00000	'PMNSEC(3)'
0.80000	'AWTL(1)'	0.80000	'FWLOSS(1)'	0.00400	'PMNTMP'
0.60000	'AWTL(2)'	0.80000	'FWLOSS(2)'	600.00000	'PMXBIO'
0.40000	'AWTL(3)'	0.65000	'FWLOSS(3)'	-0.00350	'PMXTMP'
0.30000	'AWTL(4)'	0.90000	'FWLOSS(4)'	0.00000	'PPARMN(1)'
0.20000	'AWTL(5)'	-0.12500	'FXMCA'	0.00010	'PPARMN(2)'
0.20000	'AWTL(6)'	0.00500	'FXMCB'	0.00050	'PPARMN(3)'
0.20000	'AWTL(7)'	0.35000	'FXMXS'	0.00000	'PPRPTS(1)'
0.20000	'AWTL(8)'	7.00000	'FXNPB'	1.00000	'PPRPTS(2)'
0.00000	'AWTL(9)'	0.00000	'GREMB'	0.80000	'PPRPTS(3)'
0.00000	'AWTL(10)'	2.00000	'IDEF'	0.45000	'PS1CO2(1)'
100.00000	'BGPPA'	0.20000	'LHZF(1)'	0.55000	'PS1CO2(2)'
7.00000	'BGPPB'	0.40000	'LHZF(2)'	0.00300	'PS1S3(1)'
350.00	'CO2PPM(1)'	0.80000	'LHZF(3)'	0.03200	'PS1S3(2)'
700.0	'CO2PPM(2)'	18.0000	'MINLCH'	0.00300	'PS2S3(1)'
0.00000	'CO2RMP'	0.00000	'NSNFIX'	0.00900	'PS2S3(2)'
0.00000	'DAMR(1,1)'	4.00000	'NTSPM'	0.00000	'PSECMN(1)'
0.00000	'DAMR(1,2)'	0.03000	'OMLECH(1)'	0.00220	'PSECMN(2)'
0.01000	'DAMR(1,3)'	0.12000	'OMLECH(2)'	0.20000	'PSECMN(3)'
0.02000	'DAMR(2,1)'	60.0000	'OMLECH(3)'	0.00000	'PSECOC'
0.02000	'DAMR(2,2)'	0.60000	'P1CO2A(1)'	12.000	'RAD1P(1,1)'
0.04000	'DAMR(2,3)'	0.17000	'P1CO2A(2)'	3.00000	'RAD1P(2,1)'
15.00	'DAMRMN(1)'	0.00000	'P1CO2B(1)'	5.00000	'RAD1P(3,1)'
150.0	'DAMRMN(2)'	0.68000	'P1CO2B(2)'	220.000	'RAD1P(1,2)'
150.0	'DAMRMN(3)'	0.55000	'P2CO2'	5.00000	'RAD1P(2,2)'
3.90000	'DEC1(1)'	0.55000	'P3CO2'	100.00	'RAD1P(3,2)'
4.90000	'DEC1(2)'	100.0000	'PABRES'	220.00	'RAD1P(1,3)'
14.80000	'DEC2(1)'	16.000	'PCEMIC(1,1)'		
18.50000	'DEC2(2)'	200.00	'PCEMIC(1,2)'		
6.00000	'DEC3(1)'	150.00	'PCEMIC(1,3)'		
7.30000	'DEC3(2)'	10.000	'PCEMIC(2,1)'		
0.00450	'DEC4'	99.000	'PCEMIC(2,2)'		

continua...

5.00000	'RAD1P(2,3)'	4.00000	'TMELT(2)'	2.000	'VARAT3(3,2)'
100.00	'RAD1P(3,3)'	14.00	'VARAT1(1,1)'	200.0	'VARAT3(1,3)'
200.00	'RCESTR(1)'	3.000	'VARAT1(2,1)'	50.00	'VARAT3(2,3)'
500.00	'RCESTR(2)'	2.000	'VARAT1(3,1)'	2.000	'VARAT3(3,3)'
500.00	'RCESTR(3)'	150.0	'VARAT1(1,2)'	0.02000	'VLOSSE'
0.01500	'RICTRL'	30.00	'VARAT1(2,2)'	0.01000	'VLOSSG'
0.80000	'RIINT'	2.000	'VARAT1(3,2)'	Fix.100 de	
0.30000	'RSPLIG'	200.0	'VARAT1(1,3)'	mesic/subhumid	
-1.00000	'SEED'	50.00	'VARAT1(2,3)'	grassland	
0.85000	'SPL(1)'	2.000	'VARAT1(3,3)'		
0.01300	'SPL(2)'	20.00	'VARAT2(1,1)'		
5000.00	'STRMAX(1)'	12.00	'VARAT2(2,1)'		
5000.00	'STRMAX(2)'	2.000	'VARAT2(3,1)'		
1.00000	'TEXEPP(1)'	400.0	'VARAT2(1,2)'		
0.70000	'TEXEPP(2)'	100.0	'VARAT2(2,2)'		
0.00010	'TEXEPP(3)'	2.000	'VARAT2(3,2)'		
0.00016	'TEXEPP(4)'	400.0	'VARAT2(1,3)'		
2.00000	'TEXEPP(5)'	100.0	'VARAT2(2,3)'		
1.00000	'TEXESP(1)'	2.000	'VARAT2(3,3)'		
0.00400	'TEXESP(3)'	8.00	'VARAT3(1,1)'		
0.00000	'TEFF(1)'	6.000	'VARAT3(2,1)'		
0.12500	'TEFF(2)'	2.000	'VARAT3(3,1)'		
0.07000	'TEFF(3)'	200.0	'VARAT3(1,2)'		
-8.00000	'TMELT(1)'	50.00	'VARAT3(2,2)'		

Nota: Parâmetros em negrito têm seu valor modificado na simulação com modificações.

APÊNDICE 9. Parâmetros do arquivo SITE.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações padrão e com modificações com base em dados reais de clima e solo da área em estudo.

equi2.100		12.1	TMN2M(9)
*** Parâmetros de clima –		13.8	TMN2M(10)
Eldorado do Sul		15.8	TMN2M(11)
10.2	PRECIP(1)	17.9	TMN2M(12)
8.9	PRECIP(2)	30.4	TMX2M(1)
9.3	PRECIP(3)	30.0	TMX2M(2)
11.8	PRECIP(4)	28.5	TMX2M(3)
12.5	PRECIP(5)	25.3	TMX2M(4)
13.0	PRECIP(6)	21.9	TMX2M(5)
12.3	PRECIP(7)	19.2	TMX2M(6)
13.4	PRECIP(8)	18.9	TMX2M(7)
12.3	PRECIP(9)	19.9	TMX2M(8)
10.1	PRECIP(10)	21.3	TMX2M(9)
9.2	PRECIP(11)	23.5	TMX2M(10)
9.2	PRECIP(12)	26.5	TMX2M(11)
4.88	PRCSTD(1)	29.1	TMX2M(12)
6.31	PRCSTD(2)		*** Parâmetros de controle e local
4.36	PRCSTD(3)	0	IVAUTO
7.80	PRCSTD(4)	1.0	NELEM
6.72	PRCSTD(5)	-30.09	SITLAT
5.19	PRCSTD(6)	-51.64	SITLNG
7.68	PRCSTD(7)	0.517	SAND
6.67	PRCSTD(8)	0.262	SILT
7.78	PRCSTD(9)	0.229	CLAY
10.27	PRCSTD(10)	1.550	BULKD
4.40	PRCSTD(11)	5.0	NLAYER
7.42	PRCSTD(12)	5.0	NLAYPG
0.24	PRCSKW(1)	0.5	DRAIN
2.04	PRCSKW(2)	0.3	BASEF
0.04	PRCSKW(3)	0.6	STORMF
0.51	PRCSKW(4)	3.0	SWFLAG
0.79	PRCSKW(5)	0.2	AWILT(1)
-0.32	PRCSKW(6)	0.2	AWILT(2)
-0.43	PRCSKW(7)	0.2	AWILT(3)
0.44	PRCSKW(8)	0.2	AWILT(4)
0.31	PRCSKW(9)	0.2	AWILT(5)
0.45	PRCSKW(10)	0.2	AWILT(6)
-0.28	PRCSKW(11)	0.2	AWILT(7)
0.93	PRCSKW(12)	0.2	AWILT(8)
19.7	TMN2M(1)	0.2	AWILT(9)
19.7	TMN2M(2)	0.2	AWILT(10)
18.3	TMN2M(3)	0.4	AFIEL(1)
15.5	TMN2M(4)	0.4	AFIEL(2)
12.2	TMN2M(5)	0.4	AFIEL(3)
9.8	TMN2M(6)	0.4	AFIEL(4)
9.2	TMN2M(7)		
10.3	TMN2M(8)		continua...

	0.4	AFIEL(5)	0.0	AGLCIS(2)
	0.4	AFIEL(6)	0.43836	AGLIVE(1)
	0.4	AFIEL(7)	0.054439	AGLIVE(2)
	0.4	AFIEL(8)	0.0	AGLIVE(3)
	0.4	AFIEL(9)	397.69	BGLCIS(1)
	0.4	AFIEL(10)	0.0	BGLCIS(2)
	5.1	PH	6.5784	BGLIVE(1)
	1.0	PSLSRB	0.94794	BGLIVE(2)
	100.0	SORPMX	0.45	BGLIVE(3)
***	Parâmetros de entrada externa		17.198	STDCIS(1)
	de nutrientes		0.0	STDCIS(2)
	0.2100	EPNFA(1)	0.29745	STDEDE(1)
	0.0028	EPNFA(2)	0.044097	STDEDE(2)
	-0.92	EPNFS(1)	0.2	STDEDE(3)
	0.028	EPNFS(2)		
	0.0	SATMOS(1)		
	0.0	SATMOS(2)		
	0.0	SIRRI		
***	Valores para matéria orgânica			
	inicial			
	46.6887	SOM1CI(1,1)	0.0	RLVCIS(1)
	0.0	SOM1CI(1,2)	0.0	RLVCIS(2)
	115.7017	SOM1CI(2,1)	0.0	RLEAVE(1)
	0.0	SOM1CI(2,2)	0.0	RLEAVE(2)
	2522.6430	SOM2CI(1)	0.0	RLEAVE(3)
	0.0	SOM2CI(2)	0.0	FBRCIS(1)
	2096.2900	SOM3CI(1)	0.0	FBRCIS(2)
	0.0	SOM3CI(2)	0.0	FBRCHE(1)
	15.818	RCES1(1,1)	0.0	FBRCHE(2)
	92.476	RCES1(1,2)	0.0	FBRCHE(3)
	57.791	RCES1(1,3)	0.0	RLWCIS(1)
	11.59	RCES1(2,1)	0.0	RLWCIS(2)
	40.358	RCES1(2,2)	0.0	RLWODE(1)
	88.241	RCES1(2,3)	0.0	RLWODE(2)
	18.007	RCES2(1)	0.0	RLWODE(3)
	128.29	RCES2(2)	0.0	FRTCIS(1)
	291.84	RCES2(3)	0.0	FRTCIS(2)
	7.406	RCES3(1)	0.0	FROOTE(1)
	28.47	RCES3(2)	0.0	FROOTE(2)
	91.677	RCES3(3)	0.0	FROOTE(3)
	64.815	CLITTR(1,1)	0.0	CRTCIS(1)
	0.0	CLITTR(1,2)	0.0	CRTCIS(2)
	332.46	CLITTR(2,1)	0.0	CROOTE(1)
	0.0	CLITTR(2,2)	0.0	CROOTE(2)
	96.377	RCELIT(1,1)	0.0	CROOTE(3)
	433.07	RCELIT(1,2)	0.0	WD1CIS(1)
	300.0	RCELIT(1,3)	0.0	WD1CIS(2)
	110.53	RCELIT(2,1)	0.0	WD2CIS(1)
	471.86	RCELIT(2,2)	0.0	WD2CIS(2)
	300.0	RCELIT(2,3)	0.0	WD3CIS(1)
	21.231	AGLCIS(1)	0.3	WD3CIS(2)
				W1LIG
				continua...

0.3	W2LIG	0.0	MINERL(7,3)
0.3	W3LIG	0.0	MINERL(8,3)
***	Parâmetros de minerais iniciais	0.0	MINERL(9,3)
0.19987	MINERL(1,1)	0.0	MINERL(10,3)
0.0057205	MINERL(2,1)	0.0	PARENT(1)
3.5449E-05	MINERL(3,1)	50.0	PARENT(2)
0.00	MINERL(4,1)	50.0	PARENT(3)
0.00	MINERL(5,1)	0.0	SECNDY(1)
1.1340E-06	MINERL(6,1)	15.0	SECNDY(2)
0.0	MINERL(7,1)	2.0	SECNDY(3)
0.0	MINERL(8,1)	0.0	OCCLUD
0.0	MINERL(9,1)	***	Parâmetros de água inicial
0.0	MINERL(10,1)	0.98041	RWCF(1)
5.6548	MINERL(1,2)	0.99468	RWCF(2)
0.0	MINERL(2,2)	0.13776	RWCF(3)
0.0	MINERL(3,2)	0.0	RWCF(4)
0.0	MINERL(4,2)	0.0	RWCF(5)
0.0	MINERL(5,2)	0.0	RWCF(6)
0.0	MINERL(6,2)	0.0	RWCF(7)
0.0	MINERL(7,2)	0.0	RWCF(8)
0.0	MINERL(8,2)	0.0	RWCF(9)
0.0	MINERL(9,2)	0.0	RWCF(10)
0.0	MINERL(10,2)	0.0	SNLQ
0.5	MINERL(1,3)	0.0	SNOW
0.0	MINERL(2,3)		
0.0	MINERL(3,3)		
0.0	MINERL(4,3)		
0.0	MINERL(5,3)		
0.0	MINERL(6,3)		

Nota: Parâmetro em negrito tem seu valor modificado na simulação com modificações.

APÊNDICE 10. Dados mensais de precipitação (prec), em cm, e temperaturas mínima (tmin) e máxima (tmax) do ar referentes ao período de 1985 a 2003 para formar o arquivo SJERONIMO.WTH utilizado pelo modelo Century nas simulações padrão e com modificações. Departamento de Forrageiras e Agrometeorologia da Faculdade de Agronomia da UFRGS (dados não publicados) referentes à Estação Meteorológica de Eldorado do Sul.

Parâmetro	Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
prec	1985	9.08	7.08	16.74	12.96	10.34	9.06	10.90	20.28	16.16	5.36	1.34	6.92
tmin	1985	18.00	19.70	18.40	15.70	9.90	10.30	9.70	11.90	13.70	15.10	16.90	18.30
tmax	1985	26.60	29.20	28.20	24.30	20.60	18.60	19.70	19.10	21.70	25.20	29.80	30.40
prec	1986	1.90	8.80	5.52	17.04	7.55	0.00	7.32	15.82	12.37	13.97	23.48	7.18
tmin	1986	19.60	19.80	17.60	17.30	12.00	0.00	8.70	11.90	11.90	13.70	16.70	19.00
tmax	1986	31.20	30.40	27.30	25.10	22.20	0.00	19.90	20.10	22.00	24.00	26.20	28.60
prec	1987	12.96	9.62	10.70	9.88	14.92	0.00	0.00	28.04	13.62	12.26	6.90	8.42
tmin	1987	19.40	19.80	18.10	16.50	9.70	0.00	0.00	9.80	9.80	13.10	16.50	17.80
tmax	1987	29.30	30.00	29.10	24.90	18.50	0.00	0.00	17.50	19.90	23.70	26.40	28.00
prec	1988	13.94	7.20	2.78	8.80	2.05	25.94	4.60	2.60	16.66	12.67	11.70	4.40
tmin	1988	19.90	18.70	18.00	13.10	8.50	6.30	6.90	10.60	12.50	12.60	14.50	18.70
tmax	1988	29.80	29.30	31.30	25.10	18.80	16.80	18.20	19.90	19.80	23.80	26.40	29.70
prec	1989	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99
tmin	1989	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99
tmax	1989	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99
prec	1990	11.62	10.30	12.24	16.24	5.93	9.90	5.00	1.93	20.73	-99.99	19.42	7.89
tmin	1990	20.13	20.29	18.88	17.27	9.99	6.82	8.00	8.84	10.94	16.97	18.21	17.20
tmax	1990	29.73	29.07	27.62	24.99	20.61	16.84	16.77	21.34	19.42	25.03	28.00	27.77
prec	1991	4.47	11.08	3.67	24.43	1.46	10.15	22.68	8.60	4.28	6.56	8.22	16.57
tmin	1991	18.18	17.25	18.50	15.77	13.26	10.15	7.80	10.70	11.69	14.11	16.06	19.93
tmax	1991	30.03	30.36	29.85	25.14	23.91	19.07	18.65	20.56	22.82	25.18	26.46	29.41
prec	1992	5.89	14.05	12.58	15.46	8.17	16.05	19.11	6.74	17.80	8.41	14.09	5.73
tmin	1992	19.20	20.14	19.60	16.31	11.62	11.02	7.35	9.11	12.35	13.77	14.85	17.80
tmax	1992	29.50	29.37	28.80	24.54	20.37	21.16	16.03	19.51	21.15	24.63	26.10	28.52

continua...

prec	1993	16.92	5.99	4.92	3.35	25.18	5.13	20.90	25.18	6.60	13.86	14.19	25.18
tmin	1993	21.09	20.11	20.31	18.60	18.30	8.90	8.97	18.21	10.94	14.61	16.09	18.30
tmax	1993	29.73	28.19	27.39	26.30	28.40	17.50	16.44	28.42	18.38	24.24	25.84	28.40
prec	1994	7.17	-99.99	6.75	15.44	9.54	18.35	19.33	10.38	4.55	23.01	7.20	10.05
tmin	1994	18.37	20.14	17.71	13.78	15.02	9.03	8.79	9.23	11.72	15.26	14.87	18.91
tmax	1994	29.21	27.69	26.73	23.30	22.22	17.41	17.42	19.56	23.51	24.35	25.77	30.98
prec	1995	13.15	12.24	6.47	5.85	10.25	19.62	-99.99	16.87	19.11	5.49	10.71	9.53
tmin	1995	19.37	16.79	15.76	11.58	8.61	7.38	9.68	8.99	9.73	10.84	15.70	16.80
tmax	1995	30.58	27.36	28.57	26.60	21.72	19.53	20.79	20.41	22.02	24.11	29.00	31.24
prec	1996	18.83	7.10	9.37	8.97	0.80	13.93	2.29	17.41	12.16	13.51	11.68	9.33
tmin	1996	20.03	19.50	14.72	11.85	8.40	7.49	8.30	9.76	10.48	14.75	16.43	18.46
tmax	1996	29.79	25.87	28.97	26.95	22.55	17.53	16.63	21.96	20.93	24.93	28.71	29.55
prec	1997	12.04	12.77	2.51	2.81	7.28	16.70	10.79	14.59	6.03	-99.99	13.85	28.50
tmin	1997	20.03	19.50	14.72	11.85	8.40	7.49	8.30	9.76	10.48	14.75	16.43	18.46
tmax	1997	32.05	29.35	29.11	26.37	22.80	19.01	20.02	22.52	22.28	22.79	26.62	29.50
prec	1998	12.20	14.23	10.77	23.10	16.80	87.00	19.16	18.91	16.49	4.34	6.90	10.43
tmin	1998	19.31	18.63	16.21	15.15	13.14	10.34	13.13	14.37	13.32	15.25	17.05	17.55
tmax	1998	29.21	27.91	27.28	23.77	23.34	20.40	21.73	21.02	22.13	25.33	30.27	29.45
prec	1999	5.99	10.31	7.54	14.28	14.72	18.30	18.95	6.21	9.30	13.34	2.70	10.63
tmin	1999	18.47	17.61	18.91	13.28	8.73	7.57	8.08	8.01	9.94	12.63	13.59	16.72
tmax	1999	30.85	29.48	32.00	23.47	21.29	18.51	18.36	21.47	22.44	22.69	26.01	29.01
prec	2000	4.96	8.50	16.14	9.35	12.90	21.80	9.48	10.07	26.67	18.30	10.77	6.55
tmin	2000	18.52	17.28	16.61	14.28	9.77	11.00	3.78	5.24	9.37	15.35	14.09	16.73
tmax	2000	30.55	29.44	27.58	25.67	21.36	20.47	16.48	19.87	21.33	24.70	26.50	28.93
prec	2001	17.13	12.15	14.37	29.09	3.61	11.81	22.76	3.64	26.17	6.36	17.14	9.27
tmin	2001	18.31	20.91	19.95	15.79	10.35	9.94	8.23	10.99	11.83	15.72	14.86	16.20
tmax	2001	30.34	30.42	30.00	25.58	20.67	21.00	19.45	24.24	21.81	25.66	27.34	27.90

continua...

prec	2002	12.91	7.42	15.49	11.74	14.62	22.58	20.81	15.67	16.81	25.33	14.41	22.35
tmin	2002	18.29	16.51	20.23	14.80	12.79	8.35	7.77	10.10	8.93	16.25	15.76	18.14
tmax	2002	29.98	29.25	30.95	25.10	23.38	19.07	18.57	21.04	20.50	25.11	27.27	28.74
prec	2003	6.45	19.65	9.15	11.57	4.10	16.12	13.87	6.07	6.87	27.73	11.94	20.32
tmin	2003	18.15	19.31	17.94	12.80	10.18	11.65	7.77	6.17	8.63	13.41	14.57	15.25
tmax	2003	30.92	31.17	29.12	24.86	22.37	20.14	19.08	19.64	21.92	25.50	27.00	26.99

APÊNDICE 11. Organização do arquivo PCAM.SCH formando o cenário de manejo do campo nativo, colza/girassol e tratamento PCAM ON utilizado pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações.

```

0          Starting year
6181       Last year
equi2.100  Site file name
0          Labeling type
-1         Labeling year
-1.00     Microcosm
-1         CO2 Systems
1          Initial system
CN1       Initial crop
          Initial tree
Year Month Option
1          Block # CAMPO NATIVO
6000      Last year
1          Repeats # years
0          Output starting year
1          Output month
500.0     Output interval
M         Weather choice
  1 1 GRAZ GM  2 GRAZ GM  3 GRAZ GM  4 GRAZ GM  4 LAST  5 SENM
  1 5 GRAZ GM  6 GRAZ GM  7 GRAZ GM  8 GRAZ GM  9 CROP CN1
  1 9 FRST 9 GRAZ GM  10 GRAZ GM  11 GRAZ GM  12 GRAZ GM
-999 -999 X
2          Block # INICIO AGRICULTURA (colza/girassol)
6015      Last year
2          Repeats # years
6001      Output starting year
1          Output month
0.0833    Output interval
S         Weather choice
  1  3 CULT P  4 CULT A  4 CROP APCAMCOE  4 PLTM  4 CULT D
  1  4 FRST 5 CULT A  8 LAST  8 HARV G  9 CULT P  10 CULT A  10 PLTM
  1  10 CROP MPCAMCOE  10 CULT D  10 FRST  10 FERT N1  11 CULT A
  1  11 CULT C  11 FERT N3  12 EROD 0.5
  2  2 LAST  2 HARV G  3 CULT P  4 CULT A  4 CROP APCAMCOE
  2  4 PLTM  4 CULT D  4 FRST  5 CULT A  8 LAST  8 HARV G  9 CULT P
  2  10 CULT A  10 PLTM  10 CROP MPCAMCOE  10 CULT D  10 FRST
  2  10 FERT N1  11 CULT A  11 CULT C  11 FERT N3  12 EROD 0.5
-999 -999 X
3          Block # INICIO EXPERIMENTO, PCAM ON
6034      Last year
2          Repeats # years
6016      Output starting year

```

continua...

```

1      Output month
0.0833 Output interval
F      Weather choice
sjeronimo.wth
1 1 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
1 4 4 CROP APCPDAM 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT P1 10 CULT A
1 10 10 PLTM 10 CROP MILHOPCAM 10 CULT D 10 FRST 11 CULT A
1 11 11 IRR1 A95 12 IRR1 A95 12 EROD 0.5
2 1 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
2 4 4 CROP APCPDAM 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT P1 10 CULT A
2 10 10 PLTM 10 CROP MPCPDAM 10 CULT D 10 FRST 11 CULT A
2 11 11 IRR1 A95 12 IRR1 A95 12 EROD 0.5
-999 -999 X
4      Block # ESTIMATIVA FUTURA PARA O EXPERIMENTO, PCAM ON
6181   Last year
2      Repeats # years
6035   Output starting year
1      Output month
0.0833 Output interval
S      Weather choice
1 1 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
1 4 4 CROP APCPDAM 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT P1 10 CULT A
1 10 10 PLTM 10 CROP MPCPDAM 10 CULT D 10 FRST 11 CULT A
1 11 11 IRR1 A95 12 IRR1 A95 12 EROD 0.5
2 1 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
2 4 4 CROP APCPDAM 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT P1 10 CULT A
1 10 10 PLTM 10 CROP MPCPDAM 10 CULT D 10 FRST 11 CULT A
1 11 11 IRR1 A95 12 IRR1 A95 12 EROD 0.5
-999 -999 X

```

Nota: Na simulação padrão manteve-se a mesmo esquema de manejo, porém sem a utilização do CULT A.

APÊNDICE 12. Organização do arquivo PDAM.SCH formando o cenário de manejo do campo nativo, colza/girassol e tratamento PDAM 0N utilizado pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações.

```

0          Starting year
6181       Last year
equi2.100  Site file name
0          Labeling type
-1         Labeling year
-1.00     Microcosm
-1         CO2 Systems
1          Initial system
CN1        Initial crop
           Initial tree
Year Month Option
1          Block # CAMPO NATIVO
6000       Last year
1          Repeats # years
0          Output starting year
1          Output month
500.0     Output interval
M          Weather choice
  1 1 GRAZ GM  2 GRAZ GM  3 GRAZ GM  4 GRAZ GM  4 LAST 5 SENM
  1 5 GRAZ GM  6 GRAZ GM  7 GRAZ GM  8 GRAZ GM  9 CROP CN1
  1 9 FRST 9 GRAZ GM  10 GRAZ GM 11 GRAZ GM 12 GRAZ GM
-999 -999 X
2          Block # INICIO AGRICULTURA (colza/girassol)
6015       Last year
2          Repeats # years
6001       Output starting year
1          Output month
0.0833    Output interval
S          Weather choice
  1  3 CULT P 4 CULT A 4 CROP APCAMCOE 4 PLTM 4 CULT D
  1  4 FRST 5 CULT A 8 LAST 8 HARV G 9 CULT P 10 CULT A 10 PLTM
  1 10 CROP MPCAMCOE 10 CULT D 10 FRST 10 FERT N1 11 CULT A
  1 11 CULT C 11 FERT N3 12 EROD 0.5
  2  2 LAST 2 HARV G 3 CULT P 4 CULT A 4 CROP APCAMCOE
  2  4 PLTM 4 CULT D 4 FRST 5 CULT A 8 LAST 8 HARV G 9 CULT P
  2 10 CULT A 10 PLTM 10 CROP MPCAMCOE 10 CULT D 10 FRST
  2 10 FERT N1 11 CULT A 11 CULT C 11 FERT N3 12 EROD 0.5
-999 -999 X
3          Block # INICIO EXPERIMENTO, PDAM 0N
6034       Last year
2          Repeats # years
6016       Output starting year

```

continua...

1 Output month
 0.0833 Output interval
 F Weather choice
 sjeronimo.wth
 1 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 1 4 CROP APCPDAM 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT H 9 CULT RF
 1 10 PLTM 10 CROP MPCPDAM 10 CULT N 10 FRST 11 IRR1 A95
 1 12 IRR1 A95 12 EROD 0.01
 2 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 2 4 CROP APCPDAM 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT H 9 CULT RF
 2 10 PLTM 10 CROP MPCPDAM 10 CULT N 10 FRST 11 IRR1 A95
 2 12 IRR1 A95 12 EROD 0.01
 -999 -999 X
 4 Block # ESTIMATIVA FUTURA PARA O EXPERIMENTO, PDAM ON
 6181 Last year
 2 Repeats # years
 6035 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 S Weather choice
 1 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 1 4 CROP APCPDAM 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT H 9 CULT RF
 1 10 PLTM 10 CROP MPCPDAM 10 CULT N 10 FRST 11 IRR1 A95
 1 12 IRR1 A95 12 EROD 0.01
 2 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 2 4 CROP APCPDAM 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT H 9 CULT RF
 2 10 PLTM 10 CROP MPCPDAM 10 CULT N 10 FRST 11 IRR1 A95
 2 12 IRR1 A95 12 EROD 0.01
 -999 -999 X

APÊNDICE 13. Organização do arquivo PDAM138.SCH formando o cenário de manejo do campo nativo, colza/girassol e tratamento PDAM 138N utilizado pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações.

```

0          Starting year
6181       Last year
equi2.100  Site file name
0          Labeling type
-1         Labeling year
-1.00     Microcosm
-1         CO2 Systems
1          Initial system
CN1        Initial crop
           Initial tree
Year Month Option
1          Block # CAMPO NATIVO
6000       Last year
1          Repeats # years
0          Output starting year
1          Output month
500.0     Output interval
M          Weather choice
  1 1 GRAZ GM  2 GRAZ GM  3 GRAZ GM  4 GRAZ GM  4 LAST  5 SENM
  1 5 GRAZ GM  6 GRAZ GM  7 GRAZ GM  8 GRAZ GM  9 CROP CN1
  1 9 FRST 9 GRAZ GM  10 GRAZ GM 11 GRAZ GM 12 GRAZ GM
-999 -999 X
2          Block # INICIO AGRICULTURA (colza/girassol)
6015       Last year
2          Repeats # years
6001       Output starting year
1          Output month
0.0833    Output interval
S          Weather choice
  1  3 CULT P 4 CULT A 4 CROP APCAMCOE 4 PLTM 4 CULT D
  1  4 FRST 5 CULT A 8 LAST 8 HARV G 9 CULT P 10 CULT A 10 PLTM
  1 10 CROP MPCAMCOE 10 CULT D 10 FRST 10 FERT N1 11 CULT A
  1 11 CULT C 11 FERT N3 12 EROD 0.5
  2  2 LAST 2 HARV G 3 CULT P 4 CULT A 4 CROP APCAMCOE
  2  4 PLTM 4 CULT D 4 FRST 5 CULT A 8 LAST 8 HARV G 9 CULT P
  2 10 CULT A 10 PLTM 10 CROP MPCAMCOE 10 CULT D 10 FRST
  2 10 FERT N1 11 CULT A 11 CULT C 11 FERT N3 12 EROD 0.5
-999 -999 X
3          Block # INICIO EXPERIMENTO, PDAM 138 kg/ha N
6034       Last year
2          Repeats # years
6016       Output starting year

```

continua...

1 Output month
 0.0833 Output interval
 F Weather choice
 sjeronimo.wth
 1 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 1 4 CROP APCPDAM 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT H 9 CULT RF
 1 10 PLTM 10 CROP MPCPDAM 10 CULT N 10 FRST 10 FERT N46
 1 11 FERT N92 11 IRR1 A95 12 IRR1 A95 12 EROD 0.01
 2 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 2 4 CROP APCPDAM 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT H 9 CULT RF
 2 10 PLTM 10 CROP MPCPDAM 10 CULT N 10 FRST 10 FERT N46
 2 11 FERT N92 11 IRR1 A95 12 IRR1 A95 12 EROD 0.01
 -999 -999 X
 4 Block # ESTIMATIVA FUTURA PARA O EXPERIMENTO, PDAM 138
 kg/ha N
 6181 Last year
 2 Repeats # years
 6035 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 S Weather choice
 1 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 1 4 CROP APCPDAM 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT H 9 CULT RF
 1 10 PLTM 10 CROP MPCPDAM 10 CULT N 10 FRST 10 FERT N46
 1 11 FERT N92 11 IRR1 A95 12 IRR1 A95 12 EROD 0.01
 2 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 2 4 CROP APCPDAM 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT H 9 CULT RF
 2 10 PLTM 10 CROP MPCPDAM 10 CULT N 10 FRST 10 FERT N46
 2 11 FERT N92 11 IRR1 A95 12 IRR1 A95 12 EROD 0.01
 -999 -999 X

APÊNDICE 14. Organização do arquivo PCAVMC138.SCH formando o cenário de manejo do campo nativo, colza/girassol e tratamento PCAVMC 138N utilizado pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações.

```

0          Starting year
6181       Last year
equi2.100  Site file name
0          Labeling type
-1         Labeling year
-1.00     Microcosm
-1         CO2 Systems
1          Initial system
CN1        Initial crop
           Initial tree
Year Month Option
1          Block # CAMPO NATIVO
6000       Last year
1          Repeats # years
0          Output starting year
1          Output month
500.0     Output interval
M          Weather choice
  1 1 GRAZ GM  2 GRAZ GM  3 GRAZ GM  4 GRAZ GM  4 LAST 5 SENM
  1 5 GRAZ GM  6 GRAZ GM  7 GRAZ GM  8 GRAZ GM  9 CROP CN1
  1 9 FRST 9 GRAZ GM  10 GRAZ GM 11 GRAZ GM 12 GRAZ GM
-999 -999 X
2          Block # INICIO AGRICULTURA (colza/girassol)
6015       Last year
2          Repeats # years
6001       Output starting year
1          Output month
0.0833    Output interval
S          Weather choice
  1  3 CULT P 4 CULT A 4 CROP APCAMCOE 4 PLTM 4 CULT D
  1  4 FRST 5 CULT A 8 LAST 8 HARV G 9 CULT P 10 CULT A 10 PLTM
  1 10 CROP MPCAMCOE 10 CULT D 10 FRST 10 FERT N1 11 CULT A
  1 11 CULT C 11 FERT N3 12 EROD 0.5
  2  2 LAST 2 HARV G 3 CULT P 4 CULT A 4 CROP APCAMCOE
  2  4 PLTM 4 CULT D 4 FRST 5 CULT A 8 LAST 8 HARV G 9 CULT P
  2 10 CULT A 10 PLTM 10 CROP MPCAMCOE 10 CULT D 10 FRST
  2 10 FERT N1 11 CULT A 11 CULT C 11 FERT N3 12 EROD 0.5
-999 -999 X
3          Block # INICIO EXPERIMENTO, PCAVMC 138 kg/ha N
6034       Last year
2          Repeats # years
6016       Output starting year

```

continua...

1 Output month
 0.0833 Output interval
 F Weather choice
 sjeronimo.wth
 1 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 1 4 CROP AVPCAVMC 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT P2 10 CULT A
 1 10 PLTM 10 CROP MCPCAVMC 10 CULT D 10 FRST 10 FERT N46
 1 11 FERT N92 11 CULT A 11 IRR1 A95 12 IRR1 A95 12 EROD 0.5
 2 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 2 4 CROP AVPCAVMC 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT P2 10 CULT A
 2 10 PLTM 10 CROP MCPCAVMC 10 CULT D 10 FRST 10 FERT N46
 2 11 FERT N92 11 CULT A 11 IRR1 A95 12 IRR1 A95 12 EROD 0.5
 -999 -999 X
 4 Block # ESTIMATIVA FUTURA PARA O EXPERIMENTO, PCAVMC
 138 kg/ha N
 6181 Last year
 2 Repeats # years
 6035 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 S Weather choice
 1 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 1 4 CROP AVPCAVMC 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT P2 10 CULT A
 1 10 PLTM 10 CROP MCPCAVMC 10 CULT D 10 FRST 10 FERT N46
 1 11 FERT N92 11 CULT A 11 IRR1 A95 12 IRR1 A95 12 EROD 0.5
 2 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 2 4 CROP AVPCAVMC 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT P2 10 CULT A
 2 10 PLTM 10 CROP MCPCAVMC 10 CULT D 10 FRST 10 FERT N46
 2 11 FERT N92 11 CULT A 11 IRR1 A95 12 IRR1 A95 12 EROD 0.5
 -999 -999 X

Nota: Na simulação padrão manteve-se a mesmo esquema de manejo, porém sem a utilização do CULT A.

APÊNDICE 15. Organização do arquivo PDAVMC.SCH formando o cenário de manejo do campo nativo, colza/girassol e tratamento PDAVMC 0N utilizado pelo modelo Century 4.0 nas simulações padrão e com modificações.

```

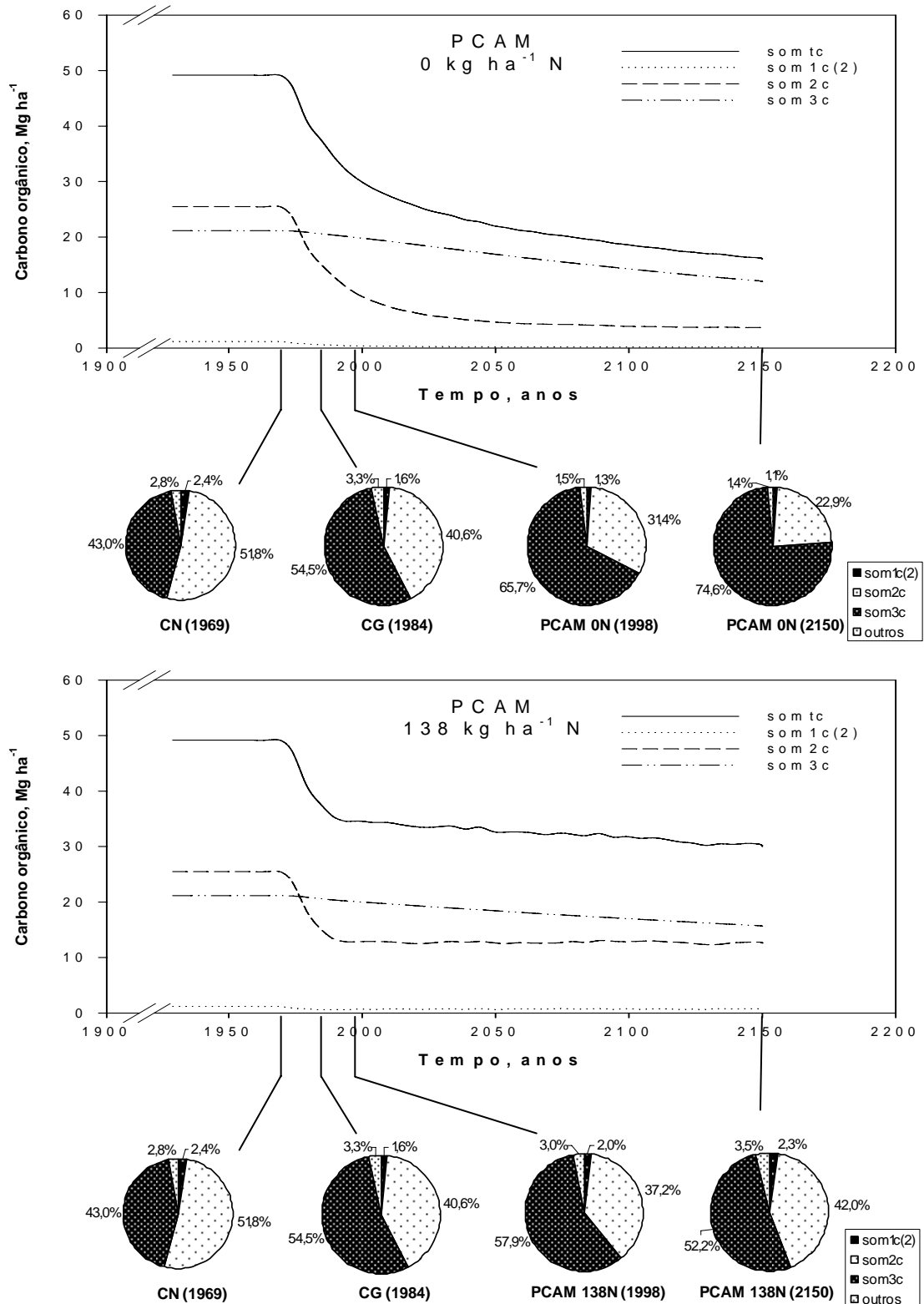
0          Starting year
6181       Last year
equi2.100  Site file name
0          Labeling type
-1         Labeling year
-1.00     Microcosm
-1         CO2 Systems
1          Initial system
CN1        Initial crop
           Initial tree
Year Month Option
1          Block # CAMPO NATIVO
6000       Last year
1          Repeats # years
0          Output starting year
1          Output month
500.0     Output interval
M          Weather choice
  1 1 GRAZ GM  2 GRAZ GM  3 GRAZ GM  4 GRAZ GM  4 LAST  5 SENM
  1 5 GRAZ GM  6 GRAZ GM  7 GRAZ GM  8 GRAZ GM  9 CROP CN1
  1 9 FRST 9 GRAZ GM  10 GRAZ GM 11 GRAZ GM 12 GRAZ GM
-999 -999 X
2          Block # INICIO AGRICULTURA (colza/girassol)
6015       Last year
2          Repeats # years
6001       Output starting year
1          Output month
0.0833    Output interval
S          Weather choice
  1  3 CULT P 4 CULT A 4 CROP APCAMCOE 4 PLTM 4 CULT D
  1  4 FRST 5 CULT A 8 LAST 8 HARV G 9 CULT P 10 CULT A 10 PLTM
  1 10 CROP MPCAMCOE 10 CULT D 10 FRST 10 FERT N1 11 CULT A
  1 11 CULT C 11 FERT N3 12 EROD 0.5
  2  2 LAST 2 HARV G 3 CULT P 4 CULT A 4 CROP APCAMCOE
  2  4 PLTM 4 CULT D 4 FRST 5 CULT A 8 LAST 8 HARV G 9 CULT P
  2 10 CULT A 10 PLTM 10 CROP MPCAMCOE 10 CULT D 10 FRST
  2 10 FERT N1 11 CULT A 11 CULT C 11 FERT N3 12 EROD 0.5
-999 -999 X
3          Block # INICIO EXPERIMENTO, PDAVMC 0N
2          Repeats # years
6016       Output starting year

```

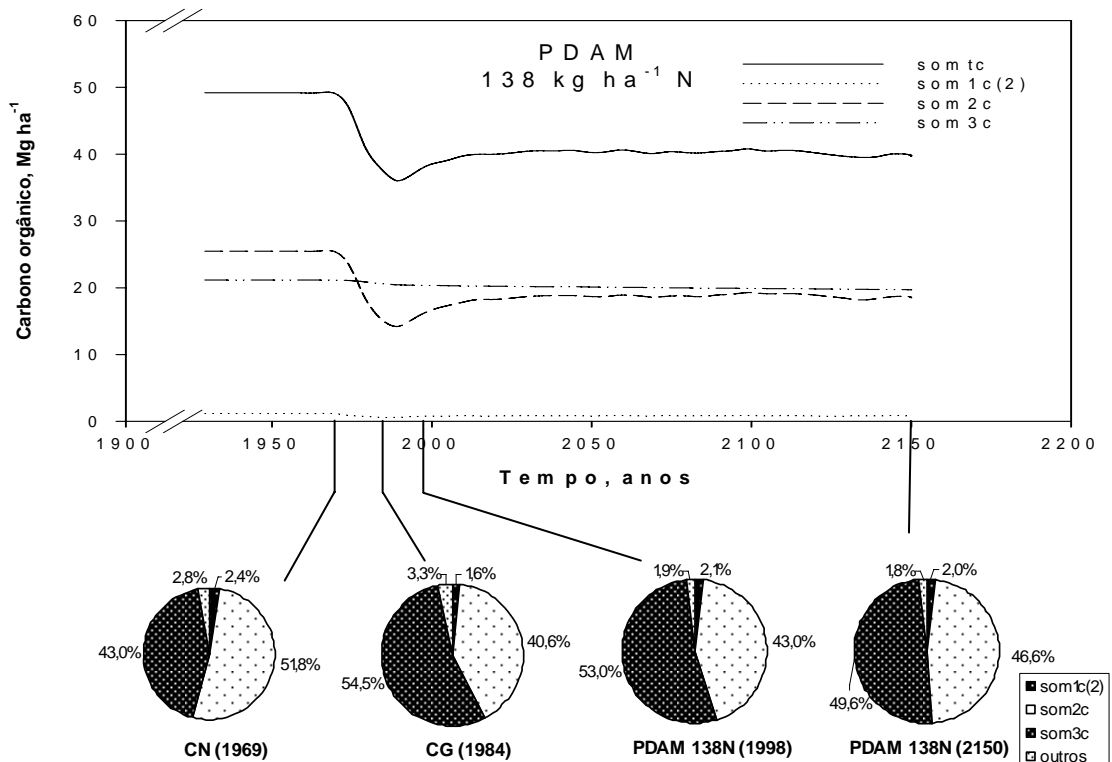
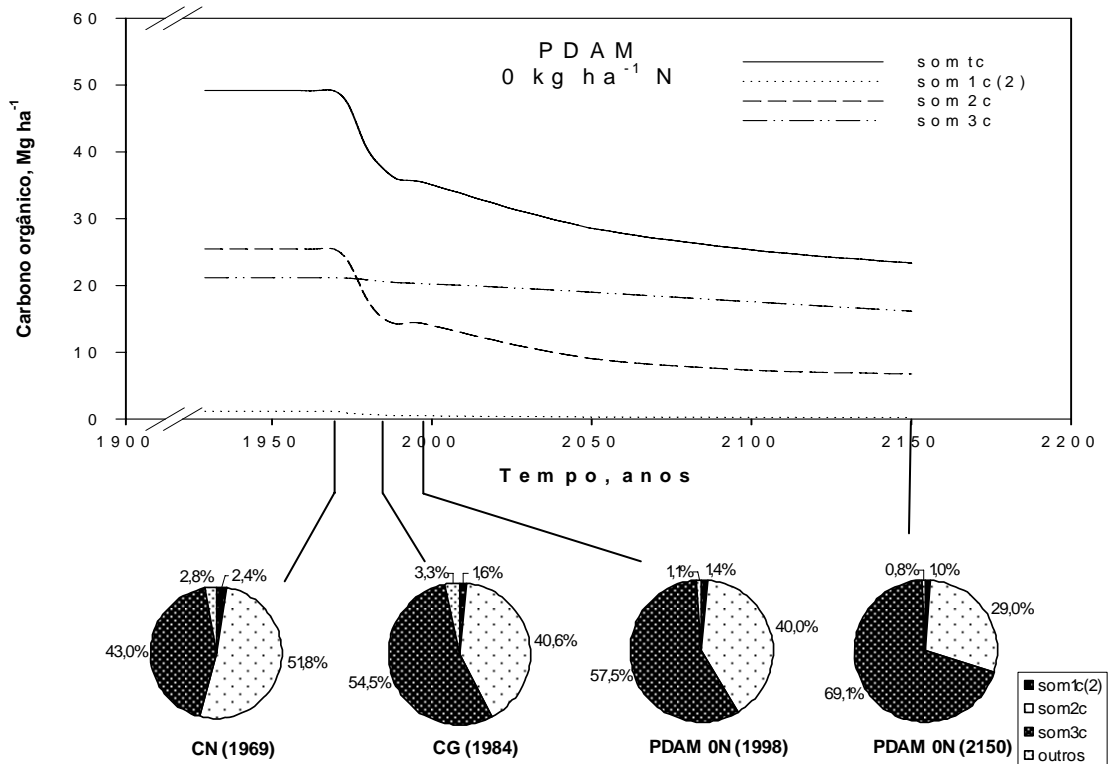
continua...

1 Output month
 0.0833 Output interval
 F Weather choice
 sjeronimo.wth
 1 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 1 4 CROP AVPCAVMC 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT H 9 CULT RF
 1 10 PLTM 10 CROP MCPCAVMC 10 CULT N 10 FRST 11 IRR1 A95
 1 12 IRR1 A95 12 EROD 0.01
 2 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 2 4 CROP AVPCAVMC 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT H 9 CULT RF
 2 10 PLTM 10 CROP MCPCAVMC 10 CULT N 10 FRST 11 IRR1 A95
 2 12 IRR1 A95 12 EROD 0.01
 -999 -999 X
 4 Block # ESTIMATIVA FUTURA PARA O EXPERIMENTO, PDAVMC 0N
 6181 Last year
 2 Repeats # years
 6035 Output starting year
 1 Output month
 0.0833 Output interval
 S Weather choice
 1 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 1 4 CROP AVPCAVMC 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT H 9 CULT RF
 1 10 PLTM 10 CROP MCPCAVMC 10 CULT N 10 FRST 11 IRR1 A95
 1 12 IRR1 A95 12 EROD 0.01
 2 1 IRR1 A95 2 IRR1 A95 2 LAST 2 HARV G 3 CULT H 3 CULT RF 4 PLTM
 2 4 CROP AVPCAVMC 4 CULT N 4 FRST 8 LAST 9 CULT H 9 CULT RF
 2 10 PLTM 10 CROP MCPCAVMC 10 CULT N 10 FRST 11 IRR1 A95
 2 12 IRR1 A95 12 EROD 0.01
 -999 -999 X

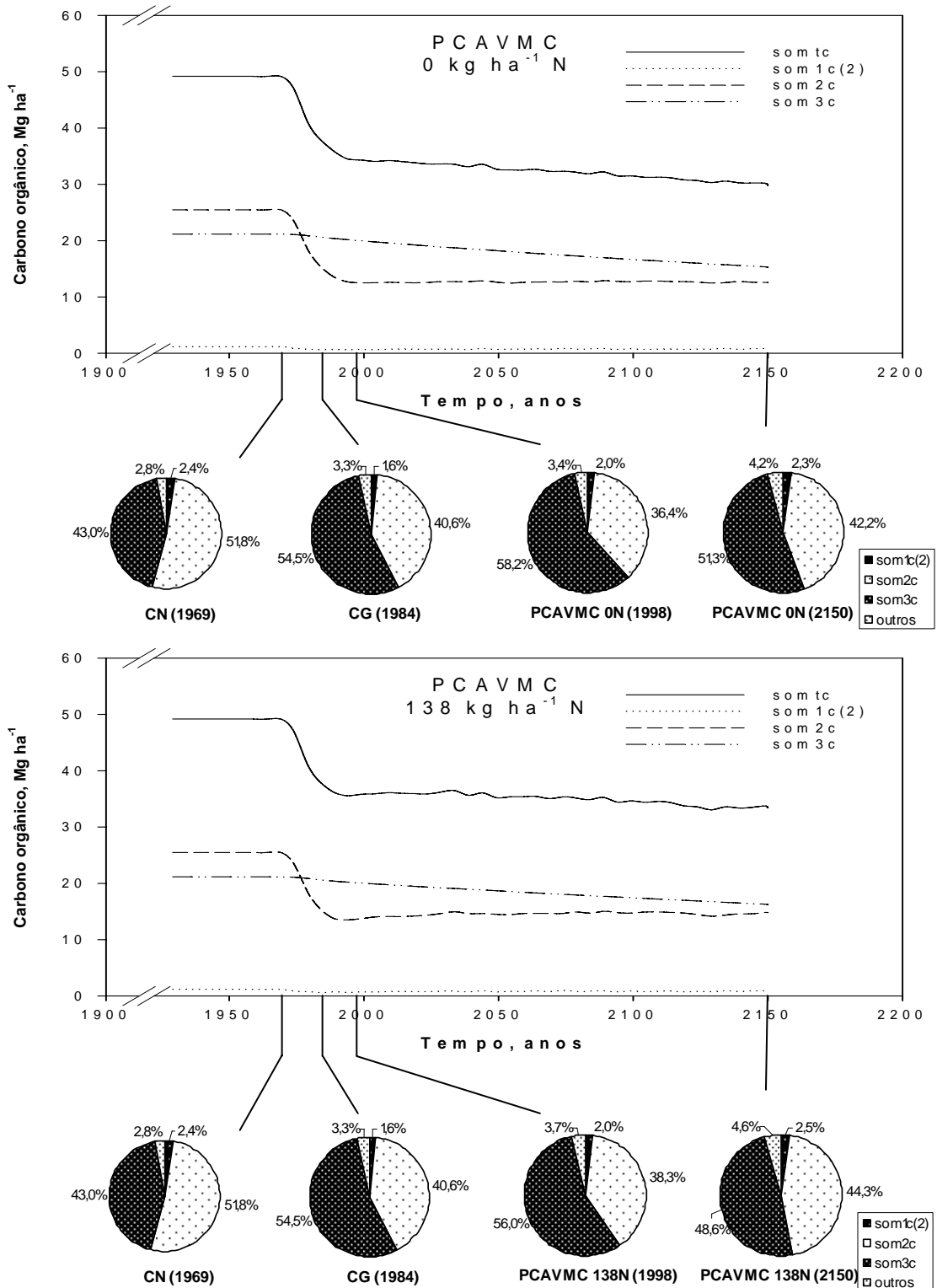
APÊNDICE 16. Dinâmica dos compartimentos de C no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com preparo convencional (PC) e sucessão aveia/milho (AM) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. somtc=COT; som1c(2)= COA; som2c= COL; som3c= COP; outros= demais compartimentos de C.



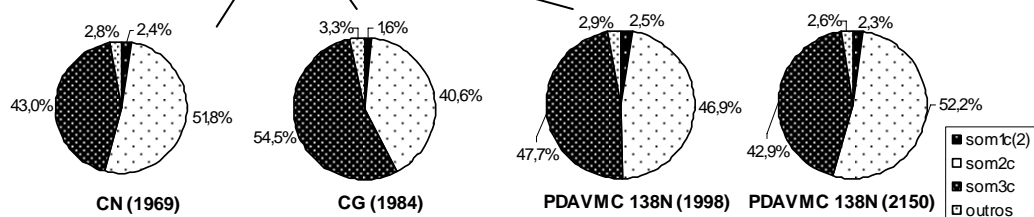
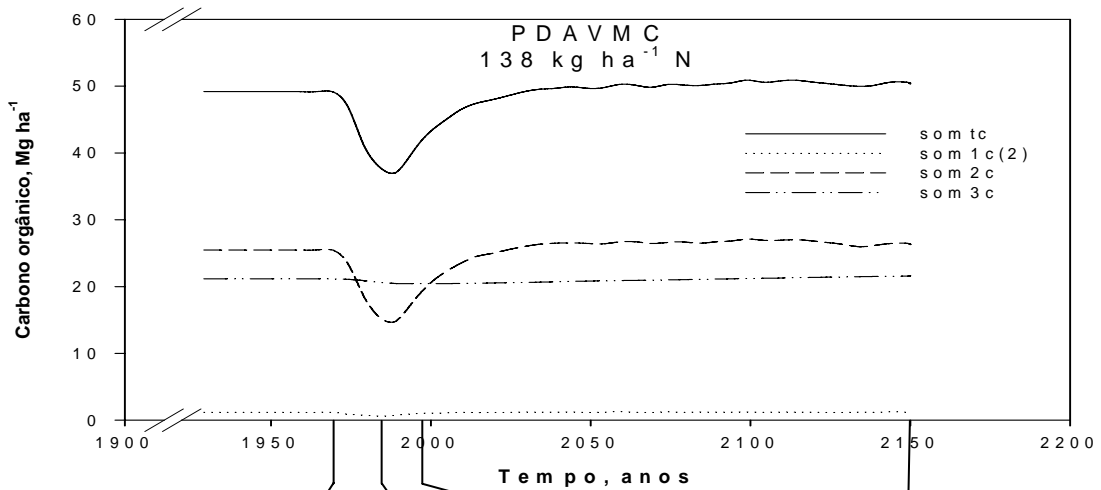
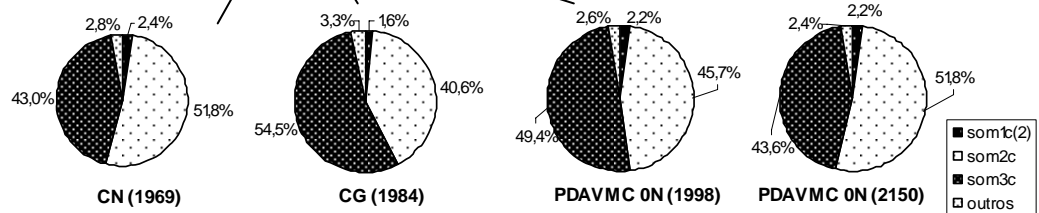
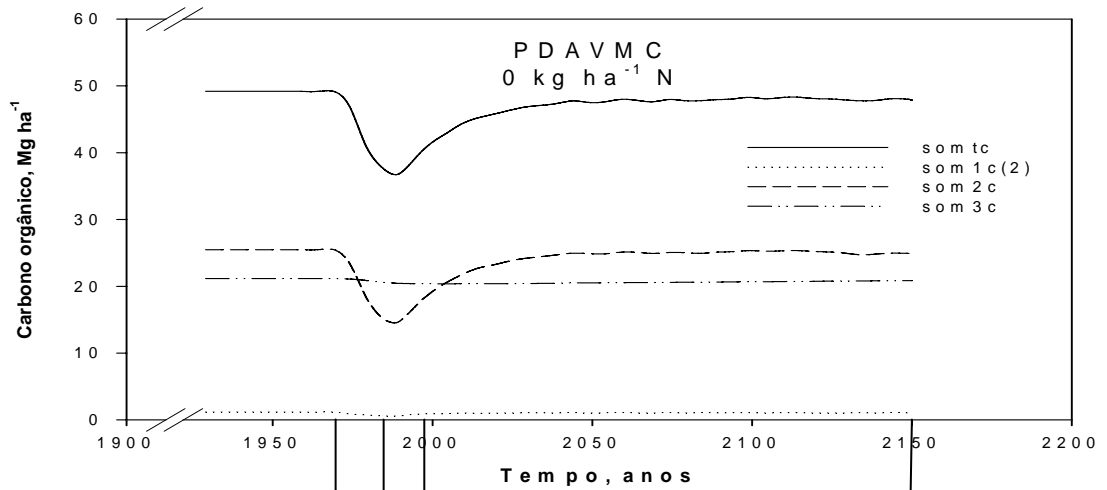
APÊNDICE 17. Dinâmica dos compartimentos de C no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com plantio direto (PD) e sucessão aveia/milho (AM) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. somtc=COT; som1c(2)= COA; som2c= COL; som3c= COP; outros= demais compartimentos de C.



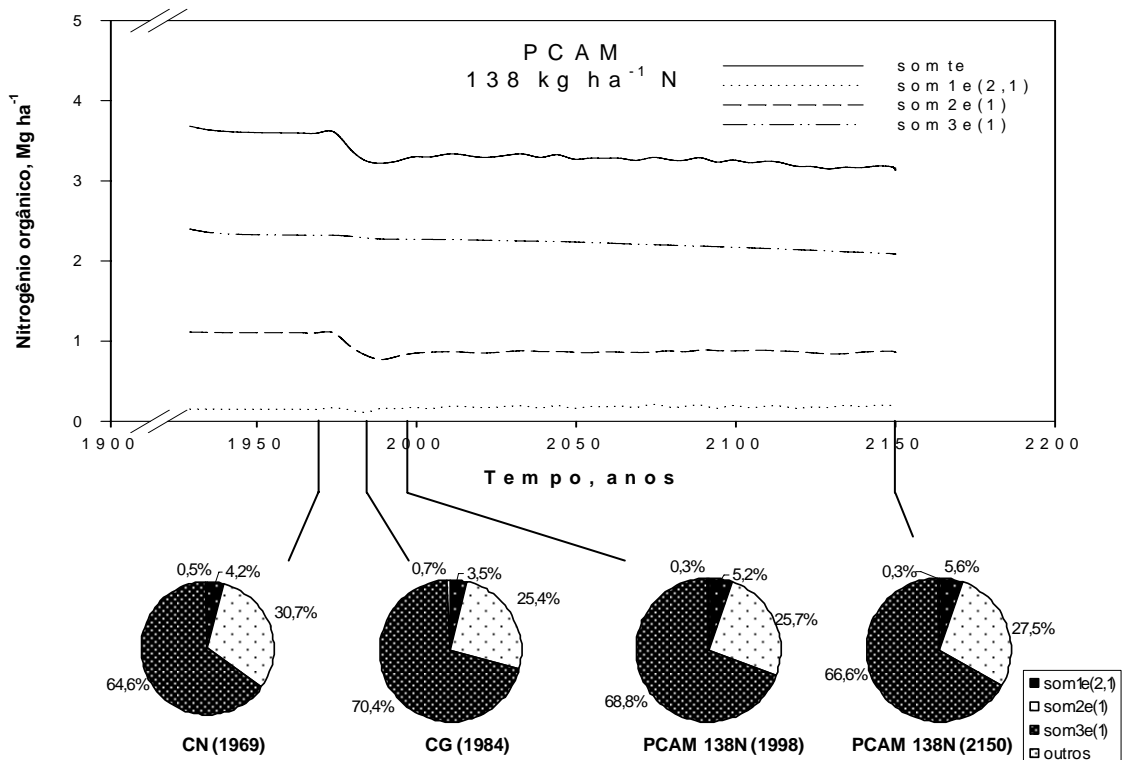
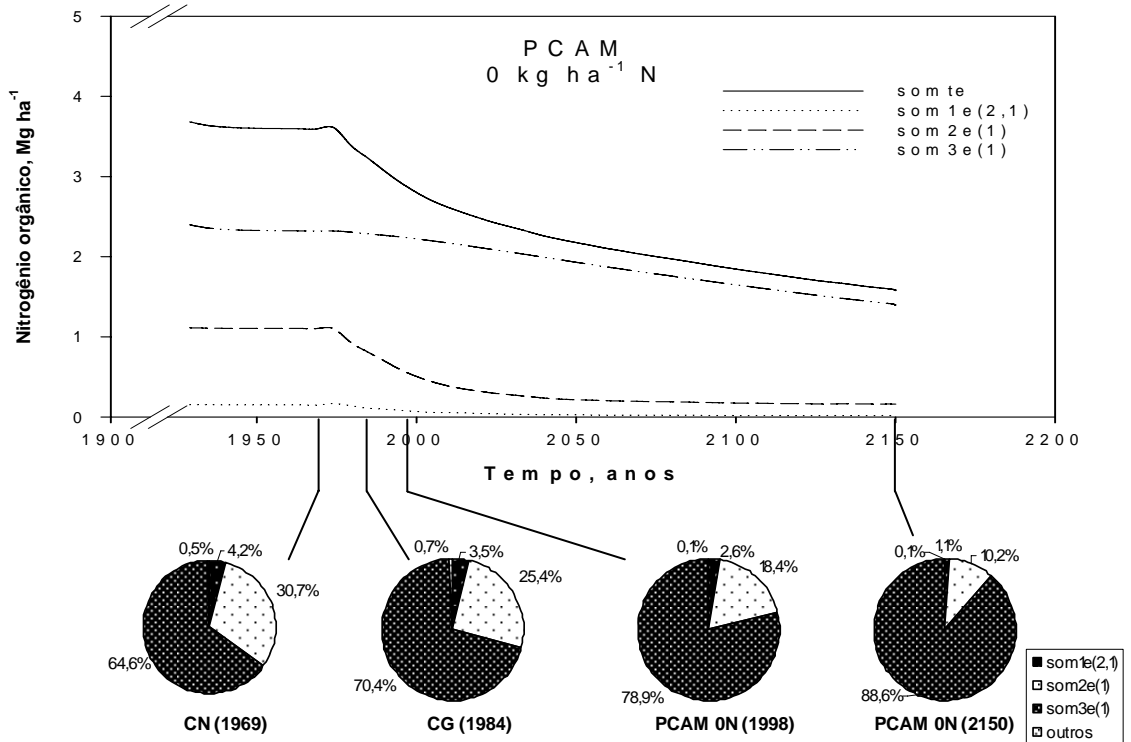
APÊNDICE 18. Dinâmica dos compartimentos de C no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com preparo convencional (PC) e sucessão aveia+vica/milho+caupi (AVMC) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. somtc=COT; som1c(2)= COA; som2c= COL; som3c= COP; outros= demais compartimentos de C.



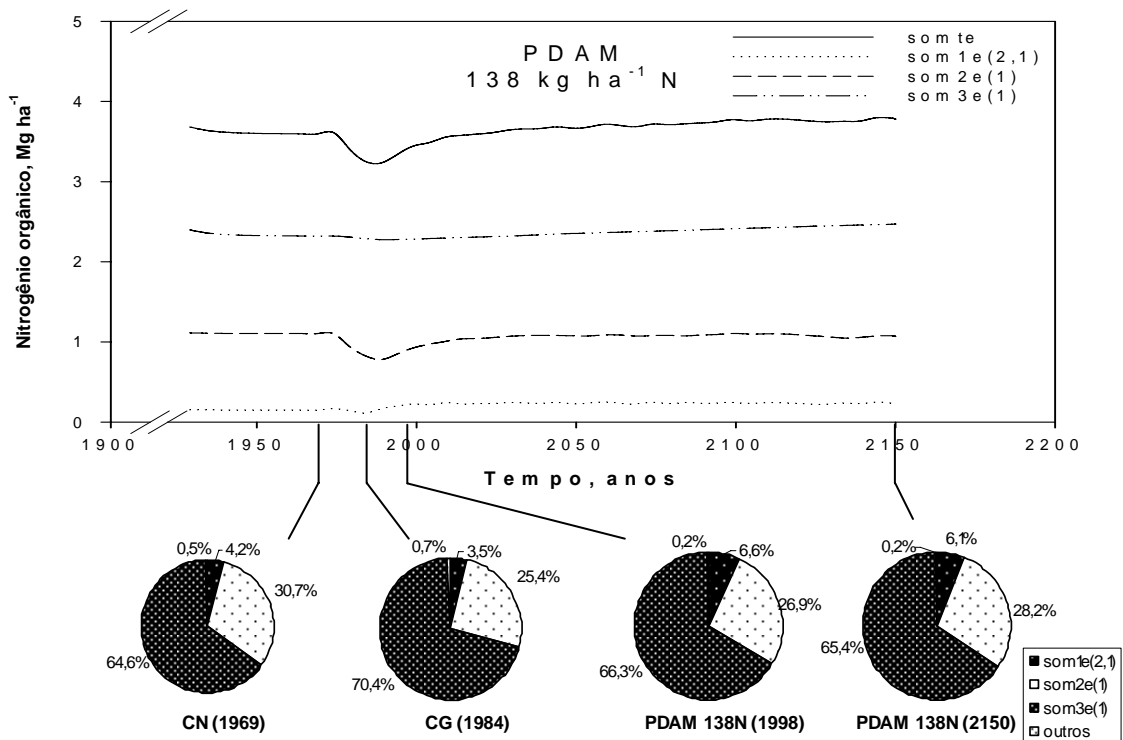
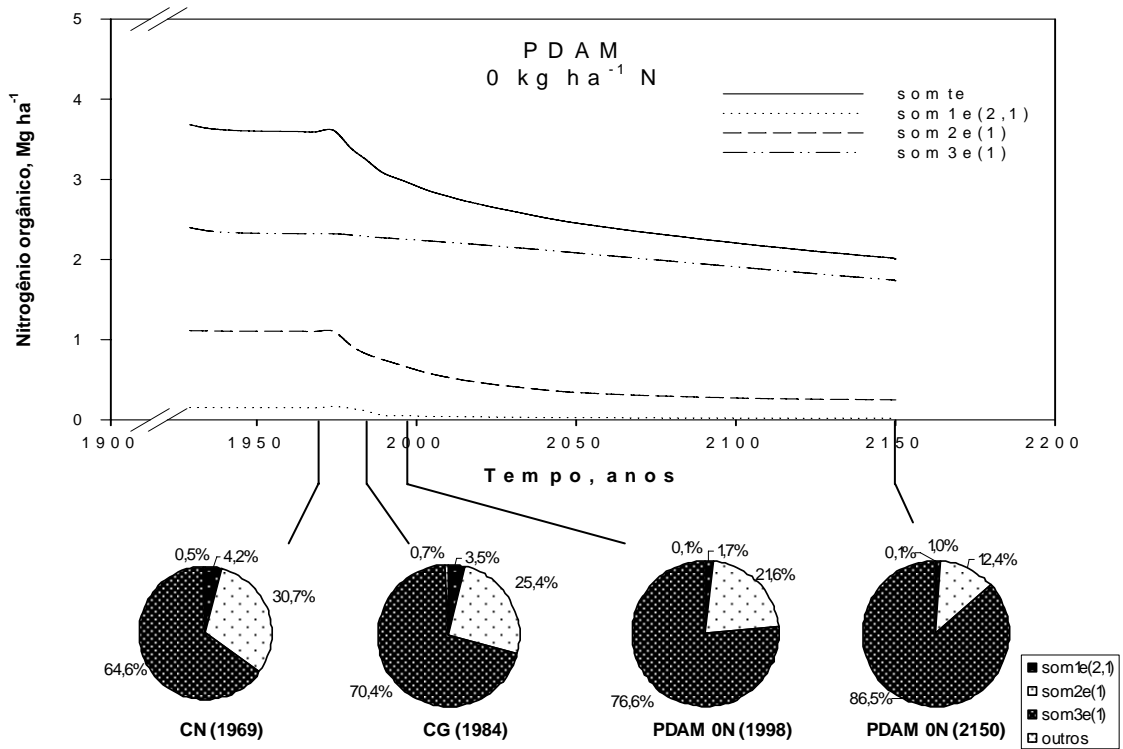
APÊNDICE 19. Dinâmica dos compartimentos de C no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com plantio direto (PD) e sucessão aveia+vica/milho+caupi (AVMC) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. som1c=COT; som1c(2)= COA; som2c= COL; som3c= COP; outros= demais compartimentos de C.



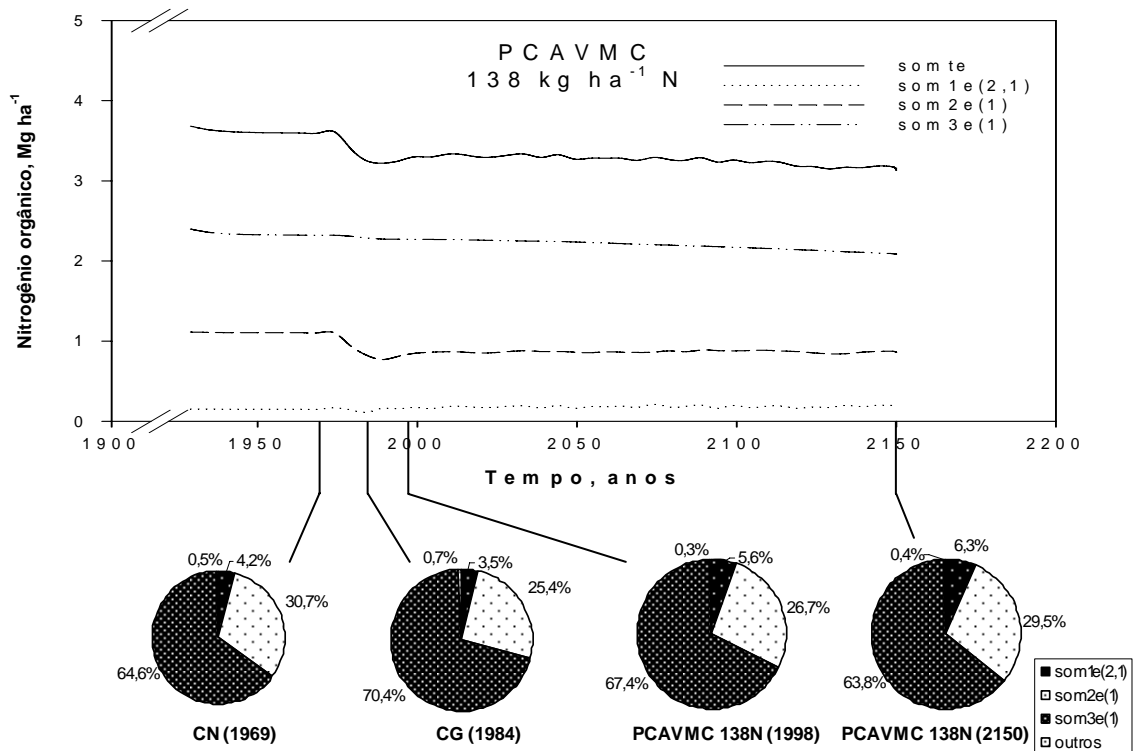
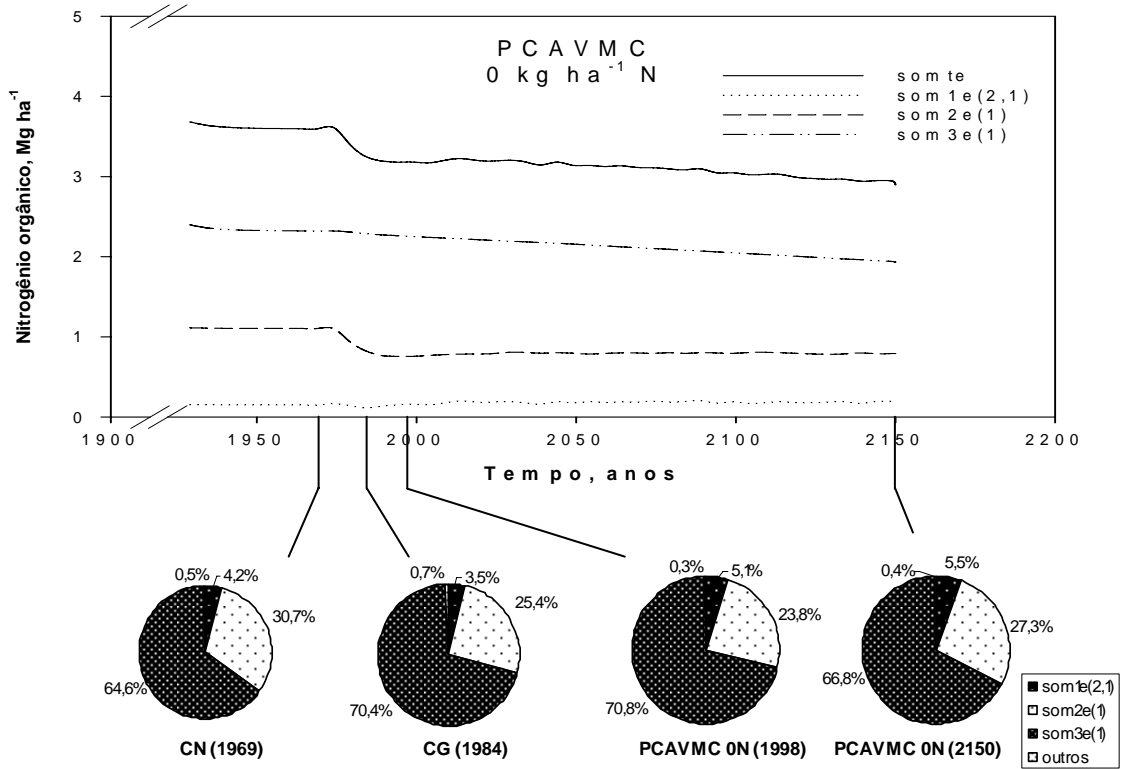
APÊNDICE 20. Dinâmica dos compartimentos de N no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com preparo convencional (PC) e sucessão aveia/milho (AM) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. $\text{somte}=\text{NT}$; $\text{som1e}(2,1)=\text{COA}$; $\text{som2e}(1)=\text{COL}$; $\text{som3e}(1)=\text{COP}$; outros= demais compartimentos de N.



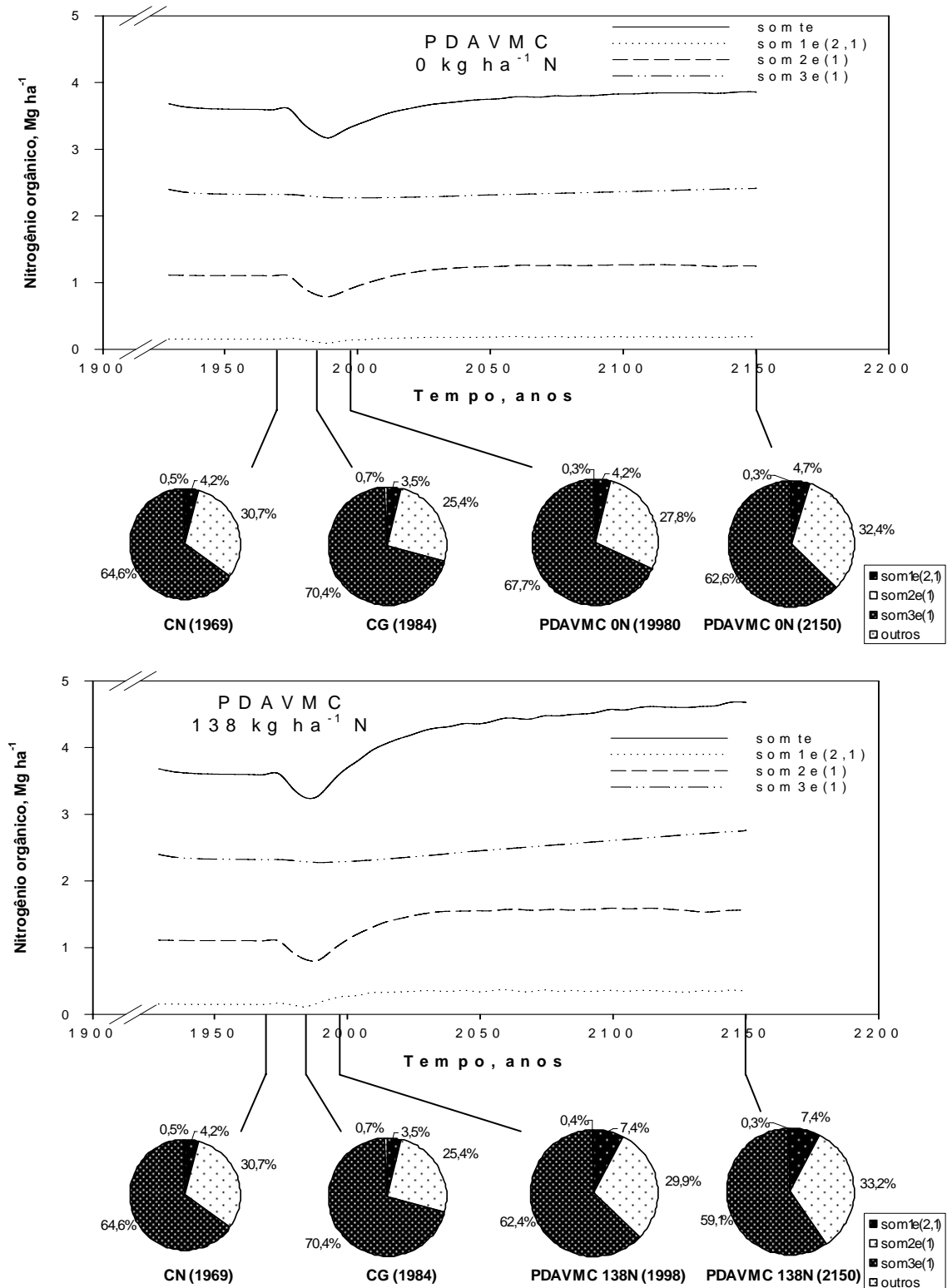
APÊNDICE 21. Dinâmica dos compartimentos de N no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com plantio direto (PD) e sucessão aveia/milho (AM) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. *somte*=NT; *som1e(2,1)*= COA; *som2e(1)*= COL; *som3e(1)*= COP; outros= demais compartimentos de N.



APÊNDICE 22. Dinâmica dos compartimentos de N no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com preparo convencional (PC) e sucessão aveia+vica/milho+caupi (AVMC) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. *somte*=NT; *som1e(2,1)*= COA; *som2e(1)*= COL; *som3e(1)*= COP; outros= demais compartimentos de N.



APÊNDICE 23. Dinâmica dos compartimentos de N no solo e sua distribuição percentual em cortes no tempo nos cenários de manejo do campo nativo (CN), colza/girassol (CG) e tratamento com plantio direto (PD) e sucessão aveia+vica/milho+caupi (AVMC) sem (0N) e com adubação nitrogenada (138N), estimados pelo modelo Century 4.0 na simulação com modificações. $\text{somte}=\text{NT}$; $\text{som1e}(2,1)=\text{COA}$; $\text{som2e}(1)=\text{COL}$; $\text{som3e}(1)=\text{COP}$; outros= demais compartimentos de N.



APÊNDICE 24. Definições de parâmetros e variáveis de saída do modelo Century 4.0 estudadas nas simulações padrão e com modificações.

Parâmetros do SITE.100

- EPNFA(2) Inclinação da curva que determina o efeito da precipitação anual na entrada de N pela deposição atmosférica ($\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$).
- EPNFS(2) Inclinação da curva que determina o efeito da precipitação anual na entrada de N pela fixação não-simbiótica ($\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$).
- PRECIP(12) Precipitação pluviométrica de janeiro a dezembro (cm mês^{-1}).
- PRCSTD(12) Desvio padrão da precipitação pluviométrica de janeiro a dezembro (cm mês^{-1}).
- PRCSKW(12) Distorção da normal da precipitação pluviométrica de janeiro a dezembro.
- TMX2M(12) Temperatura máxima do ar de janeiro a dezembro ($^{\circ}\text{C}$).
- TMN2M(12) Temperatura mínima do ar de janeiro a dezembro ($^{\circ}\text{C}$).

Parâmetros do FIX.100

- DEC5 Taxa de decomposição do compartimento lento.
- VARAT2(1,1) Relações C/N máximas do material que entra nos compartimentos lento.
- VARAT3(1,1) Relações C/N máximas do material que entra nos compartimentos passivo.
- VLOSSG Fração mensal do total de N mineralizado que é volatilizada.

Parâmetros do CULT.100

- CLTEFF(1) Fator de cultivo para decomposição do compartimento ativo.
- CLTEFF(2) Fator de cultivo para decomposição do compartimento lento.
- CLTEFF(3) Fator de cultivo para decomposição do compartimento passivo.

Parâmetros do CROP.100

- PRDX(1) Potencial mensal de produção de C pela parte aérea da cultura (g m^{-2}).
- SNFXMX(1) Quantidade máxima de N que é fixada por simbiose.

continua...

Variáveis de saída

AGCACC	Quantidade de C alocado na parte aérea das culturas na estação de crescimento (g m^{-2}).
BGCACC	Quantidade de C alocado nas raízes das culturas na estação de crescimento (g m^{-2}).
CGRAIN	Quantidade de C alocado nos grãos (g m^{-2}).
CINPUT	Adição anual de C ao solo (g m^{-2}).
EGRain(1)	Quantidade de N alocado nos grãos (g m^{-2}).
EUPACC(1)	Quantidade de N absorvido pelas culturas na estação de crescimento (g m^{-2}).
SNFXAC(1)	Acumulador anual de N pela fixação simbiótica.
SOILNM(1)	Acumulador anual para a mineralização líquida de N nos compartimentos do solo (g m^{-2}).
SOMTC	Carbono orgânico total do solo (g m^{-2}).
SOM1C(2)	Carbono do compartimento orgânico ativo do solo (g m^{-2}).
SOM2C	Carbono do compartimento orgânico lento do solo (g m^{-2}).
SOM3C	Carbono do compartimento orgânico passivo do solo (g m^{-2}).
SOMTE(1)	Nitrogênio contido na matéria orgânica do solo (g m^{-2}).
SOM1E(2,1)	Nitrogênio do compartimento orgânico ativo do solo (g m^{-2}).
SOM2E(1)	Nitrogênio do compartimento orgânico lento do solo (g m^{-2}).
SOM3E(1)	Nitrogênio do compartimento orgânico passivo do solo (g m^{-2}).
TCERAT(1)	Relação C/N total do solo.
TNETMN(1)	Acumulador anual para a mineralização líquida de N em todos os compartimentos ($\text{g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$).
VOLGM	Quantidade de N perdida por volatilização a partir da mineralização bruta (g m^{-2}).
WDFXS	Fixação não-simbiótica anual de N ($\text{g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$).