

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

**MODELAGEM ESPAÇO-TEMPORAL DA ALTERAÇÃO PELO CULTIVO
DOS ESTOQUES DE MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS DA REGIÃO DE
VACARIA NOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA – RIO GRANDE DO SUL**

**Fabíola Lopes
(Tese de Doutorado)**

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

FABÍOLA LOPES
Engenheira-Agrônoma (UFRGS)
M. Sc. Ciência do Solo (UFRGS)

Tese apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Doutor em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Dezembro de 2009

FABÍOLA LOPES
Engenheira-Agrônoma (UFRGS)
M. Sc. Ciência do Solo (UFRGS)

TESE

Submetida como parte dos requisitos à obtenção do
Grau de

DOUTOR EM CIÊNCIA DO SOLO

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS) Brasil

Aprovada em:
Pela banca examinadora

Homologado em:
Por

*Dedico este trabalho ao amado Juli...
A nossa estrela de brilho eterno...*

AGRADECIMENTOS

Ao professor João Mielniczuk pela sua dedicação, motivação e paciência durante todo o período de orientação, pelo exemplo de vida e por ser mais que um professor, um verdadeiro amigo.

A Carlos Gustavo Tornquist pela disposição sempre, pelo empenho de nos auxiliar em todos os momentos e pelos ensinamentos.

À amiga e colega Elisandra S.Oliveira (agora também Bortolon!) pela amizade e força em todos os momentos bons e muito tristes que vivi durante o período do doutorado.

Ao Departamento de Solos e ao PPG Ciência do Solo juntamente com os seus professores, pela formação acadêmica e pela oportunidade de ensino e pesquisa, e a Capes pela bolsa de doutorado concedida.

Ao pesquisador Carlos Alberto Flores pela preciosa atenção dada no início deste trabalho.

Aos colaboradores do município de Vacaria, em especial à professora Elaine Conte da Faculdade de Agronomia da Universidade de Caxias do Sul – Unidade Vacaria; ao Engenheiro Agrônomo Agenor Mussatto, ao pesquisador Gilmar Nachtigall da EMBRAPA Uva e Vinho – Unidade Vacaria, e ao pesquisador Ricardo Castro da FEPAGRO - Vacaria.

Aos produtores Wolni Ferreira, Stalin Lisboa, Cleverson Dian, Rodrigo Barizon e Luiz Augusto Soldatelli que cederam informações das suas propriedades e tiveram grande contribuição na realização deste trabalho.

Aos amigos e colegas do PPG Ciência do Solo, especialmente a André do Amaral, Ândrea Franco, Cecília Sacramento, Christina V. S. de Lima, Daniela Barbosa, Felipe Carmona, Graciele Santana, Jean Boukounga, Jeane Portela, Josiléia Zanatta, Leandro Bortolon, Letícia Sequinatto, Luis de França Neto, Michely Tomazi, Mirla Weber, Renan Vieira, Ricardo Schenato, Rosane Martinazzo e Tiago Zschornack, pela amizade e carinho.

À banca examinadora deste trabalho, composta por Eliana Lima da Fonseca, Élvio Giasson e Flavia Fernandes pelas considerações e sugestões.

A Rafael que, mesmo de longe, esteve sempre muito presente. Pela compreensão, carinho e estímulo. Pelos nossos inúmeros sonhos compartilhados.

Aos meus grandes amigos incentivadores: Rui e Luiza, a quem orgulhosamente chamo de pai e mãe. Não tenho palavras para agradecer-lhes, pelo exemplo de vida e de força.

Se você abre uma porta, você pode ou não entrar em uma nova sala. Você pode não entrar e ficar observando a vida. Mas se você vence a dúvida, o temor e entra, dá um grande passo: nesta sala vive-se! Mas, também, tem um preço... São inúmeras outras portas que você descobre.

O grande segredo é saber quando e qual porta deve ser aberta.

A vida não é rigorosa, ela propicia erros e acertos.

Os erros podem ser transformados em acertos quando com eles se aprende. Não existe a segurança do acerto eterno. A vida é generosa, a cada sala que se vive, descobrem-se tantas outras portas. E a vida enriquece quem se arrisca a abrir novas portas.

Ela privilegia quem descobre seus segredos e generosamente oferece afortunadas portas. Mas a vida também pode ser dura e severa se você não ultrapassar a porta, terá sempre a mesma porta pela frente.

É a repetição perante a criação, é a monotonia monocromática perante a multiplicidade das cores, é a estagnação da vida... Para a vida, as portas não são obstáculos, mas diferentes passagens!

Içami Tiba

MODELAGEM ESPAÇO-TEMPORAL DA ALTERAÇÃO PELO CULTIVO DOS ESTOQUES DE MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS DA REGIÃO DE VACARIA NOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA – RIO GRANDE DO SUL^{1/}

Autor: Fabíola Lopes

Orientador: Prof. João Mielniczuk

RESUMO

Os modelos de simulação, uma vez calibrados localmente, são ferramentas úteis para a avaliação dos impactos da agricultura sobre a dinâmica do carbono orgânico do solo (COS) e planejamento de sistemas agrícolas sustentáveis em escala regional. O presente trabalho teve como principal objetivo avaliar as alterações no estoque de carbono por meio do estudo da evolução espaço-temporal dos sistemas de uso e manejo dos solos de uma área localizada ao norte da zona urbana do Município de Vacaria - RS, por simulações com o modelo Century – versão 4.0, apoiado em levantamentos históricos e técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Além disto, estimou-se as emissões de CO₂ pelos solos desta região e seu potencial de seqüestro relacionado à adoção de cenários conservacionistas. Para tanto, uma base de dados geoespaciais foi criada em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). O modelo Century foi calibrado com os estoques de COS obtidos por amostragem (0-20cm de profundidade) sob vegetação nativa e sob lavouras da região de estudo. Foram realizadas simulações com o modelo para cada combinação “solo - posição na paisagem - início da agricultura”, caracterizando as unidades de simulação. Verificou-se que, para o período atual (ano 2008), a mudança de uso do solo, representada pela conversão da vegetação nativa em agricultura, causou uma redução no conteúdo de carbono ao longo dos anos, sendo que as lavouras com maior tempo de exploração e submetidas ao preparo convencional apresentaram os menores estoques. Por outro lado, nas simulações futuras (ano 2058) verifica-se que todas as unidades de simulação podem recuperar, e até superar, os estoques de carbono orgânico encontrados no solo sob vegetação nativa de campo. Conforme os resultados de emissão e adição de carbono no solo, verificou-se que, mesmo com a adoção de 50 anos de preparos conservacionistas (2008 a 2058), obtém-se um balanço de CO₂ negativo (emissão). Porém, os resultados apontam uma tendência de diminuição futura destas emissões, havendo, com isso, um aumento das adições (seqüestro) de carbono no solo ao longo do tempo.

^{1/} Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (118 p.) Dezembro, 2009. Trabalho realizado com apoio financeiro da Capes.

SPATIAL-TEMPORAL MODELING OF ALTERATION THROUGH THE CULTIVATION OF ORGANIC MATTER STOCKS IN THE SOIL IN THE REGION OF VACARIA, IN CAMPOS DE CIMA DA SERRA – RIO GRANDE DO SUL STATE ^{1/}

Author: Fabíola Lopes
Adviser: Prof. João Mielniczuk

ABSTRACT

Simulation models, when locally calibrated, are useful tools for evaluation of agriculture impacts on the dynamics of soil organic carbon (SOC) and planning of sustainable agricultural systems on a regional scale. The present study main objective was to evaluate the changes of soil carbon stocks through the study of spatial-temporal evolution of soil use and management in an area located to the north of Vacaria city urban area, by simulations with Century model - version 4.0, supported by historical surveys and GIS and remote sensing techniques. Moreover, CO₂ emissions from soils of this region and its potential for sequestration related to the adoption of conservation scenarios were estimated. Therefore, a geospatial database was created in a Geographic Information System (GIS). The Century model was calibrated with the stocks of SOC obtained by sampling (0-20cm depth) under native vegetation and crops in the study area. Simulations with the model for each combination "soil - position in the landscape - beginning of agriculture" were taken, featuring the simulation units. It was found that for the current period (year 2008), the change of land use, represented by the conversion of native vegetation to agriculture, caused a reduction in carbon content over the years, and crops submitted to longer periods of conventional tillage present the lowest stocks. On the other hand, future simulations (year 2058) show that the simulation units can recover, and even exceed, the organic carbon in the soil under field native vegetation. According to the results of emission and addition of carbon to the soil, it was found that even with the adoption of 50 years of conservation tillage (2008 to 2058), a negative balance of CO₂ (emissions) is obtained. However, the results indicate a downward trend in the future emissions, pointing to an increase of carbon additions (sequestration) in the soil over time.

^{1/} Doctoral Thesis in Soil Science. Faculty of Agronomy, Federal University of Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brazil. (118 p.) December, 2009.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. História da Agricultura na Região de Vacaria (RS).....	18
2.2. Dinâmica do carbono orgânico do solo (COS) nos agroecossistemas subtropicais.....	20
2.3. Qualidade do sistema solo.....	22
2.4. Influência do clima, manejo e textura nos estoques de COS...	24
2.5. Modelagem do COS.....	26
2.6. O modelo Century.....	27
2.6.1. Submodelo da matéria orgânica do solo (MOS).....	27
2.6.2. Aplicação do modelo Century no Rio Grande do Sul....	30
3. HIPÓTESE	33
4. OBJETIVOS	34
5. MATERIAL E MÉTODOS	35
5.1. Caracterização da área de estudo.....	35
5.2. Amostragem e métodos de análise de solo.....	38
5.3. Cálculo dos estoques de COS.....	40
5.4. Construção da base de dados geográfica.....	41
5.4.1. Evolução do uso do solo.....	41
5.5.2. Elementos da paisagem.....	43
5.5. Elaboração das unidades de simulação (US).....	44
5.6. Simulações pelo modelo Century 4.0.....	45
5.6.1. Parametrização do modelo Century 4.0.....	45
5.6.2. Cenários históricos e futuros de manejo do solo.....	47
5.6.3. Calibração do modelo.....	49
5.6.4. Validação do modelo.....	50
5.6.5. Generalização das estimativas do modelo Century 4.0.....	51

	Página
5.7. Espacialização das estimativas de COS geradas pelo modelo Century 4.0.....	51
5.8. Estimativa de emissão e seqüestro de CO ₂	53
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
6.1.Evolução do uso do solo.....	55
6.2. Unidades de simulação.....	60
6.3. Estoques de COS dos pontos amostrados a campo	64
6.4. Calibração e validação do modelo Century 4.0.....	66
6.4.1. Calibração do modelo.....	66
6.4.2. Validação do modelo.....	69
6.5. Generalização das estimativas de estoque de COS gerados pelo modelo Century 4.0.....	71
6.5.1. Estoques estimados pelo modelo Century 4.0.....	71
6.6. Espacialização dos estoques de COS.....	77
6.7. Estimativa de emissão e seqüestro de CO ₂	85
7. CONCLUSÕES.....	91
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
9. APÊNDICES.....	100

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
01. Distribuição dos compartimentos de C do solo sob vegetação no modelo Century.....	27
02. Composição granulométrica e densidade do solo representada pela média de cinco áreas amostradas sob campo nativo, equivalentes a camada de 0 a 20 cm, no município de Vacaria, RS.....	45
03. Parâmetros do modelo Century 4.0 ajustados na simulação com modificações e seus valores originais padrões.....	47
04. Cenários e eventos de manejo utilizados na simulação dos estoques atuais e futuros de COS da área de estudo, sob vegetação original de campo nativo.....	48
05. Principais usos do solo nos anos de 1964, 1976, 1987, 1996 e 2005 (em km ² e em % relativa) para a área do estudo do Município de Vacaria – RS.....	59
06. Ocupação da área agrícola (km ²) nas três diferentes posições na paisagem da região de Vacaria nos diferentes períodos de tempo estudados.....	63
07. Estoques de carbono em porcentagem e em massa equivalente dos solos presentes em Vacaria –RS submetidos a diferentes períodos de uso agrícola, e estoques da vegetação nativa de campo.....	64
08. Adição média de carbono pelas culturas estimados pelo modelo Century 4.0 para os diferentes cenários de manejo de solo adotados.....	69
09. Estoques de COS observados e estimados pelo modelo Century 4.0 para o ano de 2008 na camada de 0 a 20 cm em lavouras iniciadas em diferentes épocas localizadas em topo em Vacaria – RS.....	70
10. Estoques de COS (Mg ha ⁻¹) estimados pelo Century 4.0 para os anos de 2008 e 2058 para as 10 unidades de simulação de Vacaria – RS.....	72

Página

11.	Estoques atuais e futuros de COS estimados pelo Century 4.0 para a camada de 0 a 20 cm das 10 unidades de simulação, com as respectivas áreas.....	85
12.	Adição e emissão de C acumulados, e C acumulado associado a erosão estimados por meio do modelo Century 4.0 para as diferentes unidades de simulação da região de estudo dentro do município de Vacaria, RS.....	87
13.	Adição e emissão de C anual, e C perdido anualmente associado a erosão estimados por meio do modelo Century 4.0 para as unidades de simulação localizadas em topo da região de estudo dentro do município de Vacaria, RS.....	88
14.	Balanço de C e de CO ₂ estimados por meio do modelo Century 4.0 para as diferentes unidades de simulação da região de estudo dentro do município de Vacaria, RS.....	90

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
01. Localização do Município de Vacaria, Rio Grande do Sul.....	35
02. Área de estudo dentro do Município de Vacaria – RS, com o uso atual do solo e as estradas de acesso a região.....	36
03. Uso do solo atual (ano 2005) com a localização dos pontos amostrados.....	39
04. Elementos da paisagem derivados das informações contidas nos mapas de altitude e declividade da região de estudo.....	44
05. Esquema resumido do cruzamento dos planos de informação vetoriais para a confecção do mapa com as unidades de simulação (US) com a tabela de atributos associada.....	52
06. Mapas temáticos de uso do solo na área do estudo dentro do Município de Vacaria, RS para os anos 1950, 1965 e 1976	57
07. Mapas temáticos de uso do solo na área do estudo dentro do Município de Vacaria, RS para os anos 1987, 1996 e 2005.....	58
08. Evolução do uso do solo agrícola na área de estudo dentro do Município de Vacaria – RS.....	61
09. Representação espacial das unidades de simulação utilizadas nas simulações do modelo Century 4.0.....	62
10. Calibração do modelo Century 4.0 pela simulação da conversão de campo nativo em lavoura no ano de 1964, considerando os diferentes cenários de manejo adotados ao longo dos anos e estoques de COS medidos em 2008 (observados) na camada de 0 a 20 cm associados ao desvio-padrão em relação a média.....	68
11. Simulação dos estoques de COS para a unidade de simulação localizada em topo com lavoura desde o ano de 1964, em Vacaria – RS.....	73

Página

12.	Simulação dos estoques de COS para a unidade de simulação localizada em topo com lavoura desde o ano de 1976, em Vacaria – RS.....	73
13.	Simulação dos estoques de COS para a unidade de simulação localizada em topo com lavoura desde o ano de 1987, em Vacaria – RS.....	74
14.	Simulação dos estoques de COS para a unidade de simulação localizada em topo com lavoura desde o ano de 1996, em Vacaria – RS.....	74
15.	Distribuição espacial dos estoques atuais (ano de 2008) de carbono orgânico dos solos da região de Vacaria, RS, localizados em topo, entre os anos de 1950 (sem exploração agrícola) e 1976.....	79
16.	Distribuição espacial dos estoques atuais (ano de 2008) de carbono orgânico dos solos da região de Vacaria, RS, localizados em topo, entre os anos de 1987 e 2005.....	80
17.	Distribuição espacial dos estoques atuais (ano de 2008) de COS da região deste estudo.....	82
18.	Distribuição espacial dos estoques futuros (ano de 2058) de COS da região deste estudo.....	84

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
01. Perfil descrito Latossolo Bruno aluminoférrico típico – UM Vacaria.....	97
02. Taxas anuais de erosão para Vacaria - RS utilizadas nos diferentes cenários de simulação conforme as duas posições na paisagem simuladas no modelo Century 4.0.....	100
03. Parâmetros do campo nativo de Vacaria criado no arquivo CROP.100 do modelo Century 4.0 utilizado nas simulações.....	101
04. Parâmetros do arquivo acessório CULT.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	102
05. Parâmetros do arquivo acessório CROP.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	103
06. Parâmetros do arquivo FIX.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	110
07. Parâmetros do arquivo SITE.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	112
08. Parâmetros do arquivo FERT.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	115
09. Parâmetros do arquivo HARV.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	115
10. Parâmetros do arquivo FIRE.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	115
11. Organização do arquivo “*.SCH” utilizado pelo modelo Century 4.0 referentes a lavouras de topo iniciadas em 1964.....	116

1. INTRODUÇÃO

O aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera já é uma das principais preocupações ambientais da sociedade em nível mundial. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2001), das emissões totais dos gases de efeito estufa, a agricultura contribui com aproximadamente 20% de CO₂ e com 50-70% de N₂O e CH₄, gases cujas taxas anuais de aumento na atmosfera são de 0,5%, 1,0% e 0,8%, respectivamente. Entre as alternativas discutidas para enfrentar este problema ambiental destacam-se: o controle das emissões de gases e a adoção de medidas compensatórias, que compreendem, por exemplo, a preservação de florestas nativas e o incentivo ao reflorestamento, que são responsáveis pela retirada de grande quantidade de CO₂ da atmosfera por meio da fotossíntese.

O solo também possui a importante função de dreno do carbono da atmosfera e armazenamento temporário nos diferentes compartimentos da matéria orgânica (MO), uma vez que o carbono é o seu principal componente. A maior proporção no incremento de carbono ocorre nos compartimentos ativo e lento da MO, e isto confere dinamicidade ao processo. Assim, para que os ganhos de carbono sejam preservados, há necessidade de que as práticas conservacionistas de preparo e manejo do solo sejam adotadas sem interrupção. Evidentemente que as condições de clima, relevo, solo e drenagem também irão determinar a taxa de incremento do estoque de matéria orgânica do solo (MOS).

As principais estratégias para armazenar carbono em solos agrícolas são: a redução na intensidade de mobilização e manutenção de resíduos na superfície do solo, a fertilização equilibrada das culturas, o controle de pragas, a população de plantas, o incremento da atividade biológica e

outras práticas agronômicas que conduzem a obtenção de elevados rendimentos.

Além de funcionar como dreno do CO₂ atmosférico, a matéria orgânica possui outro papel fundamental no sistema solo, que é o potencial de ser utilizada como atributo-chave da qualidade do solo (Mielniczuk, 1999), pois, além de satisfazer o requisito básico de ser sensível a modificações pelo manejo do solo, é ainda fonte primária de nutrientes às plantas, influenciando a infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão (Gregorich et al., 1994).

Para quantificar a existência de estoques de carbono, prever alterações no carbono do solo em função das mudanças no uso, e avaliar possíveis respostas às mudanças climáticas, análises regionais das propriedades do ecossistema, incluindo o carbono do solo, são bastante utilizadas. As ferramentas necessárias para tais análises são os modelos de simulação acoplados com a base de dados espacialmente explícita da vegetação, solos, topografia, uso do solo e clima. Muitos modelos têm sido usados para simular a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) em diversos agroecossistemas, sendo que um dos maiores desafios na utilização destes modelos em ambientes tropicais e subtropicais é o uso de modelos desenvolvidos para condições de solo pouco intemperizados e de clima temperado. Estas dificuldades, porém, podem ser superadas por meio de uma avaliação criteriosa do modelo testando-o por meio da adoção de experimentos de longa duração, e calibrando-o para as condições específicas do local. Porém, com tudo isso, estudos em ambientes subtropicais são ainda recentes. Diante disto, este trabalho teve como principal objetivo estudar a dinâmica do carbono orgânico do solo em uma situação de solo muito argiloso e de clima subtropical, localizado no Sul do Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. História da agricultura na região de Vacaria – Rio Grande do Sul

Vacaria era o nome dado a grandes extensões de campos naturais, onde os missionários jesuítas das Reduções e dos Sete Povos das Missões colocavam seus rebanhos para se criarem soltos, formando reservas para as suas estâncias.

Em torno do ano de 1700, para fugir da fúria predatória dos conquistadores espanhóis e portugueses, os jesuítas resolveram criar a Vacaria dos Pinhais, numa região que parecia inacessível a espanhóis e portugueses. Era uma vasta região privilegiada, fortemente cercada por fronteiras naturais, possuindo a leste: a gigantesca muralha dos Aparados da Serra; ao norte: o rio Pelotas; ao sul: o rio das Antas; e ao Oeste: uma imensa floresta que mais tarde foi denominada de Mato Português e Mato Castelhana. Uma região de incomparáveis belezas, de verdes campos ondulados, com abundantes matas e capões, quase sempre dominados pelo pinheiro-araucária (Barbosa, 1978).

A estrada das Tropas e/ou da Serra, aberta entre os anos de 1727 e 1729, ligando a região de campos de Vacaria e Lages a Curitiba e São Paulo, propiciou a vinda dos primeiros povoadores da região de Vacaria, entre os anos de 1731 e 1732. Nesta época, a fim de zelar pelo bom estado dos animais, à beira da estrada formaram-se estabelecimentos onde eram realizados os cuidados com o gado. Assim, teve início o povoamento efetivo dos campos de Vacaria, o qual nasceu juntamente com o estado do Rio Grande do Sul, ganhando denominação de “Porteira do Rio Grande” no tempo e no espaço (Barbosa, 1978).

Estes campos, antes da chegada dos primeiros povoadores, eram habitados pelos índios Guaianás. A luta entre colonizadores e os indígenas formou um capítulo heróico da história desta região, sendo incalculável o número de vítimas desta longa batalha. Passada a época das invasões e assaltos dos índios às sedes das fazendas - que antes se localizavam nos altos das coxilhas - as mesmas desceram para próximo de capões, onde houvesse bastante aguada para os animais. Com o tempo, as divisas das propriedades foram traçadas, sendo estas localizadas, geralmente, próximo a um acidente natural, uma sanga, um arroio, um banhado, entre outros. Assim, cada colonizador foi tornando-se possessor de centenas de hectares. Após o desbravamento da terra, o preparo do campo e a formação dos rebanhos, o povoador podia requerer a concessão da sesmaria, sendo as pioneiras datadas de 1752.

Estes primeiros povoadores tiveram que mudar alguns costumes herdados de seus antepassados, como o trabalho agrícola, pela nova lida do campo, a fim de comercializar os rebanhos. Contudo, embora a pecuária tenha sido durante dois séculos, a atividade exclusiva da economia desta região, a agricultura apresentou um importante papel, porém, não como fator de exportação, mas sim para consumo interno. Ao lado do quintal e do pomar, todas as fazendas tinham sua lavoura, perto da casa. Lavrava-se o solo com arado puxado a bois nos meses de agosto e setembro, adubava-se com esterco de gado e plantava-se milho, feijão, batata, moranga, entre outros. O quintal era separado da lavoura, onde se plantava ervilha, feijão-de-vagem, repolho, alface, couve, fava, mostarda, entre outros.

Nos fins de século XIX, na região de Vacaria teve início a agricultura introduzida pelos imigrantes italianos vindos da serra gaúcha. Porém, apenas no século passado - em meados da década de 1950 - iniciou-se o estabelecimento das grandes lavouras, principalmente as de trigo, devido ao advento da fertilização mineral, as novas cultivares e a introdução de equipamentos mecânicos de preparo, semeadura e colheita, que possibilitaram a utilização de grandes extensões dos campos nativos, até então quase exclusivamente ocupados pela pecuária extensiva (Rückert, 2003). Em meados de 1970, Vacaria, devido ao clima bastante frio, também ficou reconhecida como uma das principais regiões produtoras de maçã do país, possuindo já naquela época, uma significativa área coberta por pomares.

2.2. Dinâmica do carbono orgânico do solo (COS) nos agroecossistemas subtropicais

Antes da intervenção do homem no ambiente, havia um equilíbrio do fluxo de carbono (C) entre os reservatórios: oceano, atmosfera e ecossistemas terrestres - solo e biota. Nesta condição, a liberação de C por meio da respiração da biota e da decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) era contrabalanceada pela retirada de C da atmosfera pela fotossíntese. A partir da transformação dos ecossistemas naturais em áreas agrícolas intensivas, com o uso do fogo para a queima da vegetação e do preparo intensivo do solo, ocorreu uma queda nos estoques de carbono orgânico do solo (COS), transformando o solo numa fonte de CO₂ para a atmosfera (Lovato, 2001).

Entre os atributos do solo, o conteúdo de COS é o que melhor se correlaciona com a manutenção da qualidade e produtividade dos solos agrícolas. Nas regiões subtropicais e tropicais este conteúdo é ainda mais importante, visto que se tratam de solos altamente intemperizados e com baixa fertilidade natural. Nestas regiões, as perdas nos estoques originais de COS após implantação da agricultura intensiva, são bastante altas devido às elevadas taxas de mineralização do COS e da biomassa (Lal et al., 1995). Por outro lado, em certas situações, como em sistemas de produção com menor mobilização do solo e alta diversidade de espécies, as taxas de mineralização mais elevadas nos solos subtropicais e tropicais podem ser contrabalanceadas por maiores adições de carbono, devido à maior produção de biomassa proporcionada pelo clima destas regiões. Também deve se ressaltar que a taxa de mineralização do COS é afetada pela textura e mineralogia do solo, portanto as perdas do estoque de COS ao longo do tempo podem ser menores em solos com textura mais argilosa (Bayer, 1996). Com isso, os estoques de COS nestas regiões não são necessariamente menores em comparação com os estoques das regiões de clima mais frio (Greenland et al., 1992).

A dinâmica do COS tem sido estudada considerando a sua heterogeneidade estrutural e composicional representada pelos seus diferentes compartimentos. Estes compartimentos variam conforme sua composição, estabilidade e tempo de permanência no solo. De acordo com a sua estabilidade, o COS pode ser dividido em fração lábil (não protegida) e fração estável ou protegida (Theng et al., 1989; Duxbury et al., 1989). A fração lábil é

composta por resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos (CO particulado ou fração leve) e pela biomassa microbiana. Essa fração representa cerca de 1/3 da CO total do solo, tem um tempo de permanência relativamente curto e tem como principais funções o fornecimento de carbono e energia aos microrganismos e de nutrientes às plantas, além de atuar sobre a agregação temporária e capacidade de troca de cátions (CTC) (Theng et al., 1989). A fração estável do CO é composta de substâncias húmicas e outras macromoléculas, possui um maior tempo de permanência no solo e tem como principal função atuar sobre processos físicos e químicos do solo, como agregação permanente e CTC (Theng et al., 1989; Duxbury et al., 1989).

A interação do CO com a fração mineral do solo proporciona a sua estabilidade física, e segundo Duxbury et al. (1989), pode ser dividida em proteção física estrutural, decorrente da formação dos agregados no solo, estando o CO localizado no interior dos agregados, protegido da ação dos microrganismos; e proteção física coloidal, que é resultante das interações entre os grupos funcionais da MOS com a superfície dos argilominerais e óxidos (complexo organomineral). Nesta proteção, os mecanismos de interação dependem dos grupos funcionais envolvidos, do tipo de carga predomina no mineral, da presença de cátions metálicos e das condições do meio. De acordo com Sposito (1989), os principais grupos funcionais da matéria orgânica do solo (MOS) que participam das interações com a fração mineral do solo são os grupos carboxílicos e OH fenólicos. Em função do baixo ponto de carga zero - PCZ (em torno de 3,0) estes grupos normalmente apresentam carga líquida negativa no solo.

Considerando a macroagregação do solo, os principais agentes orgânicos responsáveis pela sua estabilização são os polissacarídeos, raízes e hifas de fungos (Tisdall e Oades, 1982). Devido à curta permanência destes compostos no solo, a macroagregação é dependente da adição contínua de material orgânico ao solo. Já, na estabilização dos microagregados, os agentes ligantes são persistentes e envolvem interações entre as substâncias húmicas e a fração mineral do solo, conferindo alta estabilidade aos complexos formados (Tisdall e Oades, 1982; Duxbury et al., 1989). Neste caso, o preparo do solo deve apresentar um menor efeito sobre esta fração (Duxbury et al., 1989).

2.3. Qualidade do sistema solo

Segundo Vezzani (2001), a qualidade do solo foi definida de uma forma bem adequada por Doran & Parkin (1994), e reformulada por Doran (1997), onde os autores definiram a qualidade do solo como sendo a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, a fim de sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover saúde das plantas, dos animais e dos homens. Isto é, é a capacidade do solo exercer suas funções na natureza (Doran, 1997).

Assim como existem indicadores para qualidade do ar e da água, para se ter um melhor conhecimento da qualidade que o solo apresenta, é fundamental estabelecer indicadores que possam auxiliar na sua avaliação (Vezzani, 2001). Neste sentido surgiram várias linhas de pensamento. Em geral estas linhas se dividem em três: uma linha procura identificar os melhores indicadores de qualidade do solo de ordem física, química ou biológica (Doran et al., 1994); outra considera a matéria orgânica do solo como o melhor indicador (Gregorich et al., 1994; Lal, 1997); e existe ainda um linha alternativa que deixa de lado a busca por atributos e analisa os processos no sistema solo-planta (Addiscott, 1995; Coleman et al., 1998).

De acordo com Vezzani (2001), o ponto chave na definição de qualidade do solo é entender que o solo deve ser considerado como um sistema aberto, isto é, que troca energia e matéria com o meio. Conforme Addiscott (1995), o solo é, termodinamicamente, um sistema aberto, e como tal tende para um estado estável, caracterizado pela mínima produção de entropia. Este princípio da mínima produção de entropia diz que a realização de trabalho termodinâmico contínuo no sistema solo-planta, a partir da energia solar, conduz à auto-organização deste sistema. Por este princípio, a qualidade do solo depende da manutenção de um balanço adequado entre ordem e dissipação dos processos físicos, químicos e biológicos, que ocorrem no sistema solo-planta, sendo que o solo por si só não atinge a qualidade, mas sim o sistema solo-planta e, naturalmente, o sistema de microrganismos integrados (Vezzani, 2001). Os sistemas abertos caracterizam-se por receberem um fluxo contínuo de energia e matéria e, por isso, nestes sistemas o equilíbrio nunca é alcançado, sendo definidos pela termodinâmica do não-equilíbrio (Prigogine e Stengers, 1992; Prigogine e Stengers, 1997).

Nesta linha, o sistema solo pode ser considerado como resultado de complexas interações entre os subsistemas mineral, plantas e microrganismos (Vezzani, 2001). As plantas, pelo processo de fotossíntese, transformam energia luminosa em energia química e produzem a matéria vegetal, rica em energia e carbono. Na forma de parte aérea, raízes e exsudatos, ocorre a entrada de energia e matéria dentro do sistema solo. Os microrganismos utilizam o tecido da parte aérea e das raízes e os exsudatos das plantas para extrair energia e carbono que necessitam para a sua atividade e o seu desenvolvimento, havendo a formação de compostos orgânicos como subprodutos deste processo. Sendo assim, convertem a energia e a matéria de uma forma para outra, o que caracteriza o fluxo no sistema solo.

Em função deste fluxo, os componentes do sistema solo, minerais, íons metálicos, matéria orgânica e organismos, se auto-organizam em estados de ordem, que pode ser representado pelo processo de agregação do solo, onde ocorre a formação de uma hierarquia de estruturas. De forma resumida, este processo pode ser descrito por meio da sequência de eventos que o caracteriza, a qual inicia com a interação das partículas minerais, formando agregados na ordem de nanômetros. Os compostos orgânicos, que entram no sistema como produtos da interação dos subsistemas plantas e microrganismos, interagem com os agregados minerais, resultando na formação de agregados maiores e de estrutura mais complexa. À medida que os compostos orgânicos entram no sistema solo, estruturas cada vez maiores são formadas, caracterizando os microagregados. A formação de estruturas maiores a partir destes microagregados é devida principalmente ao entrelaçamento de microagregados pelas raízes das plantas e hifas de fungos, caracterizando a formação dos macroagregados. Esta hierarquia na formação dos agregados retrata a história dos sistemas abertos, onde a estrutura atual foi formada a partir de estruturas menores formadas anteriormente (Vezzani, 2001).

Quando, através das plantas, grande quantidade de matéria e energia entra no sistema solo, este tem condições de se auto-organizar em níveis de ordem sucessivamente mais elevados, representados pela macroagregação, surgindo com isso as propriedades emergentes (resistência à erosão, infiltração e retenção de água, capacidade de troca de cátions, aumento do estoque de nutrientes, adsorção e complexação de compostos

orgânicos e inorgânicos, favorecimento dos organismos do solo, promoção da ciclagem dos elementos químicos, seqüestro de carbono, aumento da diversidade da população microbiana, resistência a perturbações e resiliência). Nessa condição de nível de ordem mais elevado, o solo é capaz de cumprir suas funções e, desta forma, atinge a qualidade (Mielniczuk et al., 2003).

2.4. Influência do clima, manejo e textura nos estoques de COS

A quantidade e a dinâmica do COS são dependentes do clima, manejo e principalmente da textura e mineralogia do solo (Craswell & Lefroy, 2001). Isso pode explicar as diferentes quantidades de carbono encontradas entre os solos de regiões tropicais e temperadas.

Para idênticas adições de biomassa, quanto mais frio e úmido for o local, menor será a taxa de decomposição e, portanto, maiores estoques de MO poderão ser encontrados no solo (Stevenson, 1994). Isso foi verificado em um estudo numa climossequência do RS, no qual Kämpf & Schwertmann (1983) observaram um aumento no teor de COS com o aumento da umidade e diminuição de temperatura. Já Franzluebbbers et al. (2001), observaram uma influência maior da temperatura média anual, aumentando a atividade microbiana, em relação à precipitação média anual, em solos provenientes de diferentes regiões climáticas dos EUA. Zech et al. (1989) observaram que com o aumento da temperatura e da relação temperatura/precipitação houve um aumento do grau de humificação em oito perfis de solos de regiões de clima temperado, tropical e subtropical. Neste mesmo estudo, os autores observaram também que os fatores como pH do solo e relação C/N do material orgânico original apresentaram influência secundária na dinâmica da matéria orgânica.

Os estoques atuais de carbono orgânico presente no solo são definidos pelos estoques originais da vegetação nativa e pelos diferentes usos e manejo adotados no solo. A conversão do solo sob vegetação nativa para o uso agrícola, normalmente provoca uma redução nos estoques de COS, devido ao menor suprimento de resíduos e ao aumento na taxa de decomposição, assim como uma elevação das perdas nas camadas superficiais do solo pela erosão (Feller & Beare, 1997; Bayer & Mielniczuk, 2008). Os sistemas convencionais de cultivo, envolvendo aração e gradagem, são considerados os de maior poder de degradação, resultando na maioria das vezes na redução dos estoques de COS (Bayer & Mielniczuk, 2008). As

perdas de COS, segundo Bayer & Mielniczuk (2008) são favorecidas principalmente pelo revolvimento do solo e conseqüente destruição dos agregados, maior fragmentação e incorporação dos resíduos vegetais e diminuição da cobertura do solo, que resultam em alterações na temperatura, umidade e aeração do solo.

Sistemas conservacionistas de preparo do solo, como o plantio direto, por não revolverem o solo e deixarem os resíduos vegetais na superfície, interfere menos na taxa de decomposição da MOS, o que favorece a manutenção e até o acúmulo da mesma (Bayer & Mielniczuk, 2008). Em trabalhos realizados no sul do Brasil, verificou-se que rotações de culturas anuais bem manejadas sob sistema conservacionista de preparo do solo podem acumular uma quantidade de COS igual ou até superior à quantidade presente na vegetação nativa original (Sá et al., 2001; Dieckow et al., 2005; Amado et al., 2006). Entretanto, deve-se ressaltar que este potencial de acúmulo é afetado por particularidades do sistema de manejo adotado, os quais resultam em diferentes aportes e diferentes quantidades de resíduos adicionados ao solo (Roscoe et al., 2006).

Em função de algumas características como textura, mineralogia dominante e presença de óxidos de ferro e alumínio, os solos apresentam diferentes capacidades físicas e químicas de proteção à decomposição da MOS. Devido ao grande intemperismo, os solos das regiões subtropicais e tropicais possuem como característica marcante a presença de grandes quantidades de óxidos (Roscoe et al., 2000), os quais além de atuarem na proteção física contra a decomposição da MOS, influenciam o ambiente onde vivem os microrganismos, controlando sua atuação (Zech et al., 1997).

Diversos trabalhos evidenciam a importância da textura na estabilidade e proteção da MOS, como Silva et al. (1994) que observaram perdas dos estoques MOS em cinco anos de cultivo, onde as maiores reduções em relação aos teores iniciais foram verificadas em Neossolos Quartzarênicos (<15% de argila) e as menores reduções nos estoques de MOS foram verificadas em Latossolos argilosos (>30% de argila). Já Freitas et al. (2000) não registraram perdas de MOS após 25 anos de cultivo com culturas diversas em um Latossolo muito argiloso. Roscoe & Burman (2003), também em um Latossolo muito argiloso, observaram estoques de carbono similares em áreas sob vegetação nativa de cerrado e cultivadas com milho e

feijão por 30 anos. Esta alta estabilidade da MOS em Latossolos muito argilosos é atribuída à presença de altos teores de óxidos de ferro e alumínio, que complexam a MOS, estabilizando-a (Roscoe et al., 2000).

2.5. Modelagem do carbono orgânico do solo (COS)

Os modelos de simulação otimizam o entendimento da dinâmica da MOS e são ferramentas essenciais para estimar mudanças climáticas, para testar cenários específicos e para desenvolver estratégias que mitiguem os efeitos dessas mudanças. As mudanças no clima influenciam as taxas de acúmulo e decomposição da MOS por meio de alterações na temperatura, umidade e taxa de retorno de resíduos vegetais ao solo. Outras mudanças, especialmente no manejo e uso do solo, podem ter efeitos maiores. Em ambiente tropical e subtropical, as mudanças no uso do solo são essenciais no ciclo global do carbono, pois a ciclagem da MOS é mais rápida do que em ambientes temperados, há grande quantidade de carbono e, por fim, as mudanças no uso do solo ocorrem rapidamente.

Muitos modelos têm sido usados para simular a dinâmica da MOS em diversos agroecossistemas. Um dos maiores desafios, no entanto, é a utilização em ambientes tropicais de modelos desenvolvidos em ambientes temperados. Estas dificuldades podem ser superadas com uma avaliação criteriosa do modelo, testando-o por meio da adoção de dados de experimentos de longa duração e calibrando-o para as condições específicas do local.

2.6. O modelo Century

Os modelos de simulação de nutrientes são úteis para a compreensão do impacto de alterações ambientais sobre a MOS. O modelo Century (Parton et al., 1987; Metherell et al., 1994) em particular tem sido freqüentemente aplicado pela sua consistência e eficiência no estudo da dinâmica do carbono em diversos ecossistemas e sistemas de uso e manejo dos solos (Donigian et al., 1994; Smith et al., 1997; Silveira et al., 2000; Fernandes, 2002; Vezzani, 2001; Debarba, 2002; Oliveira, 2005; Lopes et al., 2008; Bortolon, 2008; Tornquist et al., 2009). O Century é capaz de estimar o potencial de adição de carbono das plantas superiores através de submodelos de crescimento das plantas e aspectos teóricos relacionados à fotossíntese (Fernandes, 2002) e apresenta como principal vantagem a possibilidade de

simular diferentes formas de manejo no tempo, permitindo assim a simulação de estoques atuais e futuros de carbono no solo.

2.6.1 Submodelo da matéria orgânica do solo (MOS)

O submodelo da MO é dividido em oito compartimentos, segundo o período médio de tempo até que o carbono orgânico do compartimento seja decomposto. O modelo possui quatro compartimentos de planta (estrutural e metabólico, da superfície e do solo), um compartimento microbiano superficial associado à liteira em decomposição na superfície, e três compartimentos de solo (ativo, lento e passivo) (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição dos compartimentos de C do solo sob vegetação no modelo Century

Compartimento	Composição	Proporção do total (%)	Tempo de permanência (ano)
Metabólico	Resíduos vegetais de fácil decomposição	-	0,1 - 1
Estrutural	Resíduos vegetais de decomposição mais difícil (celulose, hemicelulose e lignina)	-	1 – 5
Ativo	Biomassa microbiana e produtos de exsudação	4 – 5	Até 3
Lento	Material vegetal resistente e produtos estabilizados no solo	30 – 70	20 – 50
Passivo	Material muito resistente à decomposição, estabilizado física e quimicamente	30 - 50	400 – 200

Os compostos orgânicos dos resíduos da planta adicionados ao solo (parte aérea e raízes), são divididos nos compartimentos estrutural e metabólico segundo a relação lignina / nitrogênio (L/N).

O modelo assume que a decomposição dos compostos orgânicos de cada compartimento é de natureza microbiana, com uma perda associada de CO₂, devido à respiração dos microorganismos. O tempo de permanência do CO nos compartimentos é função da taxa de decomposição máxima de cada compartimento (K_i) e de um fator que leva em consideração o efeito do ambiente do solo (umidade e temperatura) sobre a atividade microbiana. Este efeito é estimado através da equação:

$$dCO_i/dt = K_i \cdot M_d \cdot T_d \cdot CO_i$$

Equação 1

Onde:

dCO_i/dt = variação da quantidade de CO em cada compartimento;

K_i = taxa de decomposição máxima (semanal) da cada compartimento;

M_d = razão entre a precipitação total mensal e da taxa de evapotranspiração potencial;

T_d = temperatura média mensal do solo;

CO_i = quantidade inicial de CO em cada compartimento.

O preparo do solo é outro fator que afeta a taxa de decomposição dos compartimentos. Quando é realizado o preparo, ocorre o aumento na decomposição dos resíduos vegetais e a sua transferência para os compartimentos do solo, bem como o aumento na taxa de decomposição destes compartimentos (Parton et al., 1987; Metherell et al., 1994).

A composição granulométrica do solo também afeta a taxa de decomposição e o fluxo de CO entre os compartimentos. Segundo equações do modelo, quanto mais arenoso for o solo, maior será a taxa de decomposição do compartimento ativo e as perdas de CO como CO_2 , e assim, conseqüentemente, menor a quantidade de CO será transferida do compartimento ativo para o lento. O fluxo do CO para do compartimento lento para o passivo é regulado de acordo com a percentagem de argila do solo.

Em termos de modelagem da MOS, principalmente quando se trata do Century é importante destacar que este não é um modelo de erosão, sendo que suas estimativas são pontuais, enquanto o processo erosivo ocorre de forma espacializada na paisagem. Para o Century 4.0, o COS perdido via erosão é uma fração do estoque total de COS presente na camada de simulação no mês do evento de erosão, calculada a partir da taxa de erosão do solo atribuída no mês e pelo fator de enriquecimento do carbono (parâmetro fixo igual a 2,0), sendo esta perda de COS da camada de 0 a 20 cm simulada, repostada por uma quantidade de C subsuperficial contida em uma massa igual à massa perdida por erosão. Desta forma, os resultados deste estudo devem ser analisados com atenção, dado a precariedade que alguns aspectos de erosão

são tratados pelo modelo. Estes aspectos contribuem para incertezas associadas às estimativas das alterações dos estoques de COS causadas pelo uso agrícola dos solos. Porém, isso não invalida os resultados obtidos pelo modelo, visto que o objetivo deste trabalho não é gerar estoques exatos de COS para Vacaria, como já citado anteriormente, mas o conhecimento de tal limitação é importante, para assim, se buscar estimativas mais condizentes possíveis com a realidade.

A maioria dos modelos de dinâmica de nutrientes possuem parâmetros associados com simulações pontuais, representativos de uma situação ambiental média. Contudo, estudos considerando a variação espacial do carbono conforme diferentes posições na paisagem, usos e sistemas de manejo de solos já estão sendo realizados em diferentes tipos de solo e clima (Donigan et al., 1994; Shaffer et al., 2001; Parshotam et al., 1996; Falloon & Smith, 2002; Lopes et. al; 2008; Bortolon, 2008; Tornquist et al., 2009).

A modelagem dinâmica espacialmente explícita é uma alternativa para aplicação da visão geral de estoque e dinâmica de nutrientes e para a simulação de processos, incorporando sua variabilidade espacial. Esta modelagem tem sido executada por meio de aproximações simples, nas quais relações empíricas são assumidas para serem aplicadas em grandes áreas, ou por meio de aproximações complexas nas quais a dinâmica dos modelos de simulação é relacionada a dados georreferenciados, normalmente utilizando-se do Sistema de Informações Geográficas (SIG) para representar as diferenças espaciais no clima, solo e uso do solo (Donigan et al., 1994; Parshotam et al., 1996 Shaffer et al., 2001; Fallon & Smith, 2002).

2.6.2 Aplicação do modelo Century no Rio Grande do Sul

O modelo Century foi inicialmente desenvolvido para condições de solo, clima e vegetação característicos de clima temperado, e para solos sob pastagens naturais, sendo, posteriormente, adaptado para solos de florestas e sob explorações agrícolas, passando a incluir o efeito do preparo de solo sobre algumas taxas de decomposição.

Para as condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, o modelo já foi testado e apresentou boa performance de simulação na dinâmica do

carbono orgânico (Vezzani, 2001; Debarba, 2002; Fernandes, 2002; Lopes et al., 2008; Bortolon, 2008; Tornquist et al., 2009).

Fernandes (2002), num primeiro estudo utilizando o modelo Century analisou quais atributos do solo estariam relacionados com a proteção à decomposição. Através deste estudo verificou que o compartimento passivo (COP) relaciona-se principalmente com os teores da fração argila e óxidos de ferro. Num segundo estudo, Fernandes (2002) verificou a necessidade de inclusão de alteração de parâmetros do modelo em função de diferenças nos atributos de solo que alterem os níveis de proteção do carbono orgânico do solo, concluindo que o modelo apresenta maior sensibilidade às variações na taxa de decomposição máxima do compartimento lento (COL) do que na eficiência de conversão do compartimento ativo (COA) em lento (COL). O resultado obtido foi coerente com o esperado, indicando a potencialidade de uso do modelo para o planejamento de estratégias de manejo de solo para o Rio Grande do Sul.

Debarba (2002) estimou através do modelo Century as perdas históricas de CO e emissão de CO₂ em solos do Planalto do RS com diferenças na textura do solo, quando da utilização da agricultura convencional nas áreas com vegetação original de floresta e campo nativo. Neste trabalho, o autor constatou que para os solos das regiões cuja vegetação original era campo, o modelo estimou reduções no estoque original de CO, no período de 1951 a 1980, de 31 a 45%, sendo que as menores reduções ocorreram nos solos com maior teor de argila. Para os solos das regiões com vegetação original de floresta, a redução no período de 1901 a 1980 variou de 32,7 a 44%. Cenários de manejo incluindo sistemas de cultura com alta adição de biomassa associado a métodos de preparo com menor grau de revolvimento do solo, a partir de 1981, estimaram uma recuperação parcial do CO perdido em todos os solos estudados. Com isto, Debarba (2002), concluiu que o modelo Century mostrou-se uma ferramenta adequada para estudos de inventários do estoque de CO em solos, além de permitir o maior detalhamento da dinâmica da MO em sistemas agrícolas.

Lopes et al. (2008) aplicou o modelo Century e espacializou os estoques de COS de uma microbacia rural, cultivada desde meados de 1925, localizada na Encosta Superior do Nordeste do RS. Verificou que após 80 anos de plantio houve um decréscimo de 60% dos estoques originais de COS.

Considerando as simulações futuras, apenas o sistema de plantio direto com rotação e sucessão de culturas foi capaz de recuperar o conteúdo de COS, no ano de 2055, quando comparado ao estoque obtido em 2005 (40 anos de cultivo intensivo).

A aplicação do modelo Century no Planalto Rio-Grandense foi realizado por Bortolon (2008) e Tornquist et al. (2009), nos municípios de Ijuí e Ibirubá, respectivamente. Em Ijuí, verificou-se que a adoção de sistemas de manejo conservacionistas proporcionou uma reversão no processo de perda dos estoques de COS, passando a haver um acúmulo de COS ao longo dos anos. Porém, tais acúmulos não garantem a recuperação dos estoques atuais de COS até a condição da vegetação original. Em Ibirubá estimou-se acúmulos de COS superiores a condição de vegetação nativa apenas nos Latossolos muito argilosos, os quais superariam no ano de 2050 os estoques originais (ano de 1900) em até 11%.

Entre as diversas condições de clima e solo existentes no país, a situação de solo muito argiloso associado a clima subtropical, os quais proporcionam uma maior proteção da MOS a decomposição microbiana, ainda não foram testadas no modelo Century. Diante disto, neste trabalho se propôs estudar a dinâmica do carbono orgânico do solo nesta situação em um solo localizado na região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul.

3. HIPÓTESE

É possível estimar adequadamente as alterações nos estoques originais de carbono causadas pelo uso agrícola do solo, de forma espacial e temporal, pelo uso da modelagem dinâmica associada a técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

4. OBJETIVOS

Estudar a evolução espacial e temporal dos sistemas de uso e manejo de solos da região de Vacaria por simulações com o modelo Century 4.0, apoiado em levantamento de dados históricos e técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

Estimar os estoques atuais e futuros de carbono orgânico do solo partindo da condição original, nos solos da região de Vacaria, através de simulações com o modelo Century 4.0.

Estimar as emissões de CO₂ pelos solos deste município e o seu potencial de seqüestro relacionado à adoção de cenários conservacionistas.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo, localizada na região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), compreende 126 km², e está situada ao norte e envolvendo parte da zona urbana do Município de Vacaria (Figura 2).

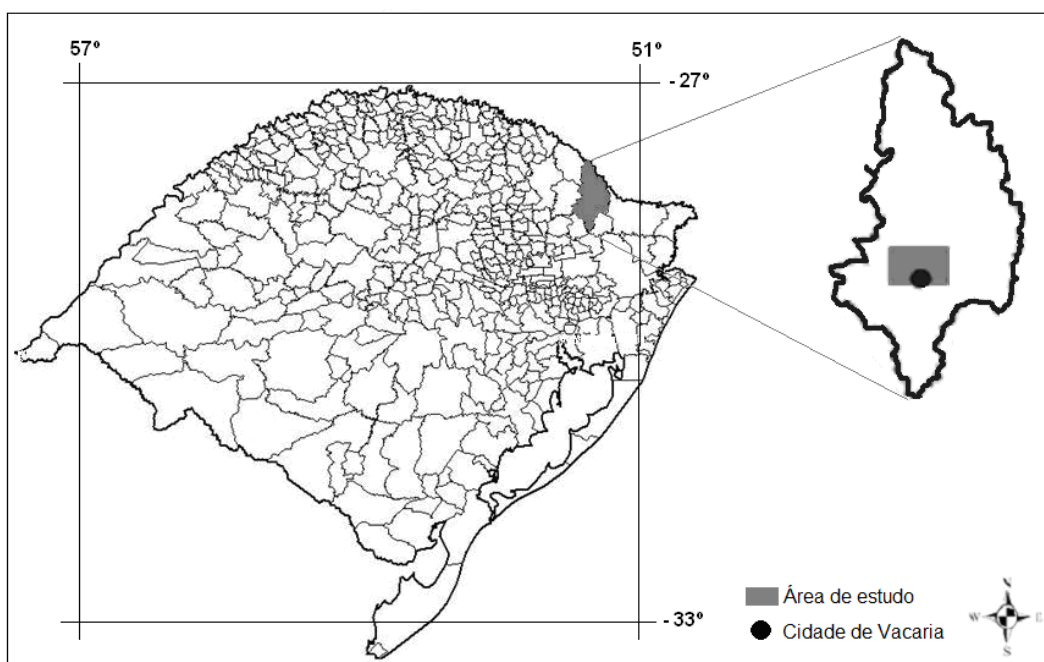


Figura 1. Localização do Município de Vacaria pertencente ao Estado do Rio Grande do Sul.

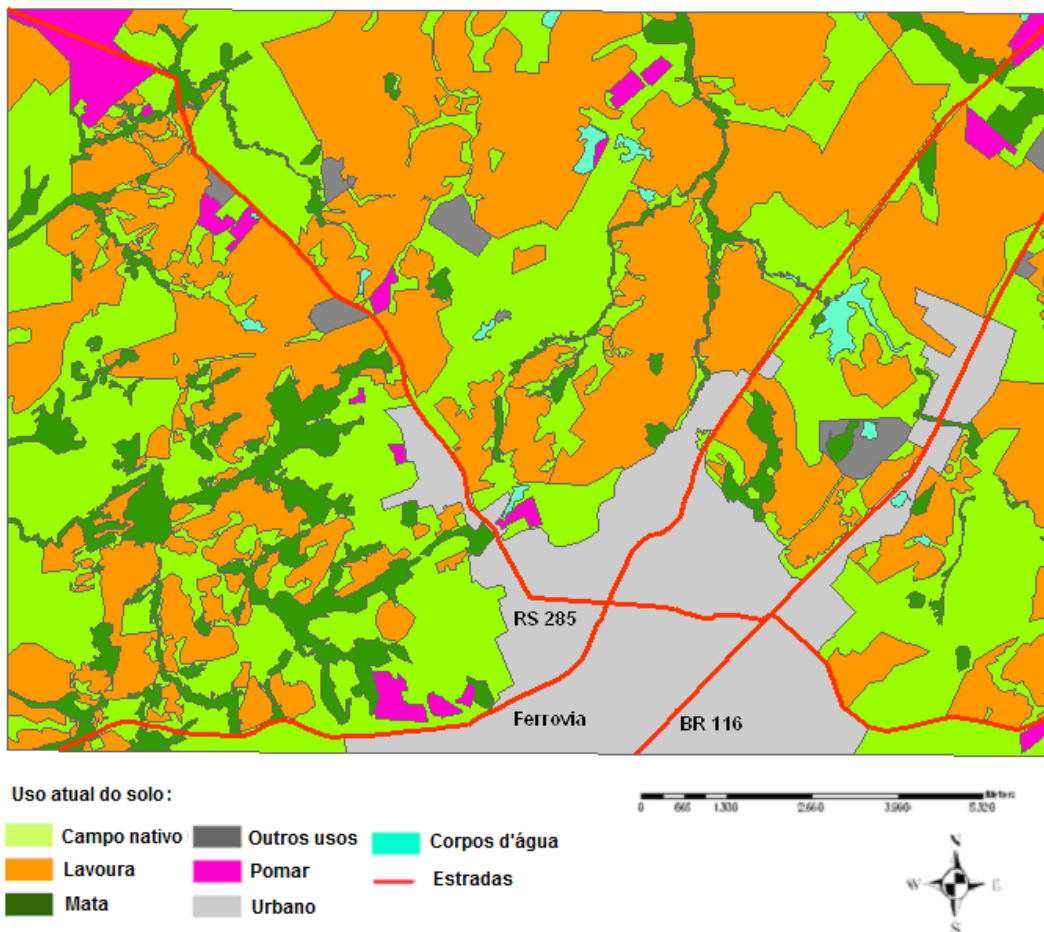


Figura 2. Área de estudo dentro do Município de Vacaria - RS, com o uso atual do solo e as estradas de acesso a região.

O critério utilizado na escolha desta região foi a existência de informações de sensoriamento remoto desde o ano de 1964, coincidindo aproximadamente com o início da maior conversão de campo nativo em lavouras anuais, possibilitando, com isso, um maior controle e uma maior precisão na espacialização das informações de uso do solo. Somado a isso, esta área também é coberta por uma imagem recente de alta resolução espacial (1,8 metros), datada de novembro de 2005, a qual foi imprescindível para a identificação precisa e para o reconhecimento *in loco* das modificações ocorridas até o presente.

A vegetação predominante na região de Vacaria foi originalmente composta por capões e restingas nos vales e várzeas; densa mata subtropical nas encostas dos rios; e principalmente, por campos limpos com a presença do pinheiro araucária (*Araucaria angustifolia*) (RADAMBRASIL, 1986).

O Município de Vacaria possui seu território cortado por diversos rios, córregos e sangas, que tem suas águas desembocadas nas bacias hidrográficas do Taquari-Antas (desemboca no Lago Guaíba) e Apuae-Inhandaua (desemboca no Rio Uruguai).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é o Cfb com chuvas bem distribuídas durante todo o ano, possuindo médias de temperatura do mês mais quente inferior a 22°C e a do mês mais frio superior a 3°C (INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS, 1989).

A grande maioria dos solos existentes nos Campos de Cima da Serra é formada por rochas magmáticas extrusivas da Formação Serra Geral, com predomínio do basalto bastante intemperizado, originando solos profundos, com textura argilosa, possuindo argila de carga variável e coloração vermelha escura devido à presença de ferro e manganês. As propriedades destes solos referentes à cor, quantidade de argila, profundidade e fertilidade, entre outras, são condicionadas predominantemente pelo clima bastante frio e úmido.

Como a região de interesse encontra-se numa porção homogênea da paisagem, sem variações abruptas do terreno; e os mapas de levantamento de solo em escalas maiores são ainda escassos no país, optou-se pelo uso do levantamento de reconhecimento de solos do Rio Grande do Sul de 1969 (Brasil, 1973) neste trabalho. Por meio deste levantamento identificou-se o solo predominante na região, o qual é classificado como LATOSSOLO BRUNO Aluminoférrico típico - unidade de mapeamento Vacaria (BRASIL, 1973).

Na fração argila do Latossolo Bruno predomina, além da caulinita, os óxidos de ferro, os quais se encontram principalmente na forma de goethita, que é responsável pela cor amarelada ou brunada do solo (Carvalho, 1982).

Considerando o relevo da área, tem-se ao sudoeste regiões em posições menos elevadas na paisagem (em torno de 800 m de altitude) caracterizadas pelo relevo ondulado, e a sudeste regiões em posições mais elevadas (até 1000 m de altitude) localizadas em relevo suave ondulado.

5.2. Amostragem e métodos de análises de solo

Para a escolha das áreas de amostragens, levou-se em consideração a posição de ocorrência dos solos na paisagem. Assim, segundo Pötter (1977), os solos mais vermelhos, acidentalmente drenados da associação Vacaria-Durox (Latosolo Bruno – Latossolo Vermelho) situam-se na porção convexa correspondente a parte superior da encosta (topo) e os solos mais amarelados, bem drenados, da Unidade de Mapeamento Vacaria (Apêndice 1) ocorrem na porção côncava dos últimos declives do primeiro terraço e na superfície do segundo terraço (encosta). Na amostragem levou-se também em consideração o posterior uso destas informações coletadas a campo, já que serão utilizadas na modelagem dos estoques de COS no Century, o qual utiliza como entrada de informações referentes ao tipo de solo a textura média do mesmo, principalmente a fração argila + silte. Com isso, a amostragem nos Latossolos Brunos e Vermelhos, por possuírem um teor de argila semelhante, não compromete os resultados das simulações pelo modelo.

Além da posição na paisagem, os critérios utilizados para a definição dos locais de amostragem foram a disponibilidade de dados históricos do uso agrícola, a vegetação original, a proximidade com campo nativo para servir de testemunha e o tempo de exploração agrícola. As informações históricas foram obtidas por meio de dados de sensoriamento remoto, pesquisa feita com produtores antigos na região, técnicos agrícolas, pesquisadores e agrônomos atuantes no município.

Com isso, foram abertas mini-trincheiras nas dimensões aproximadas de 40 cm de largura, 50 cm de comprimento e 35 cm de profundidade, e foram coletadas amostras de 11 locais bem distribuídos na região (Figura 3) em 3 profundidades (0-10cm, 10-20cm e 20-30cm) para determinação das seguintes características:

- densidade do solo com anel volumétrico de 5,38cm Ø x 3cm, conforme método descrito em EMBRAPA (1997);

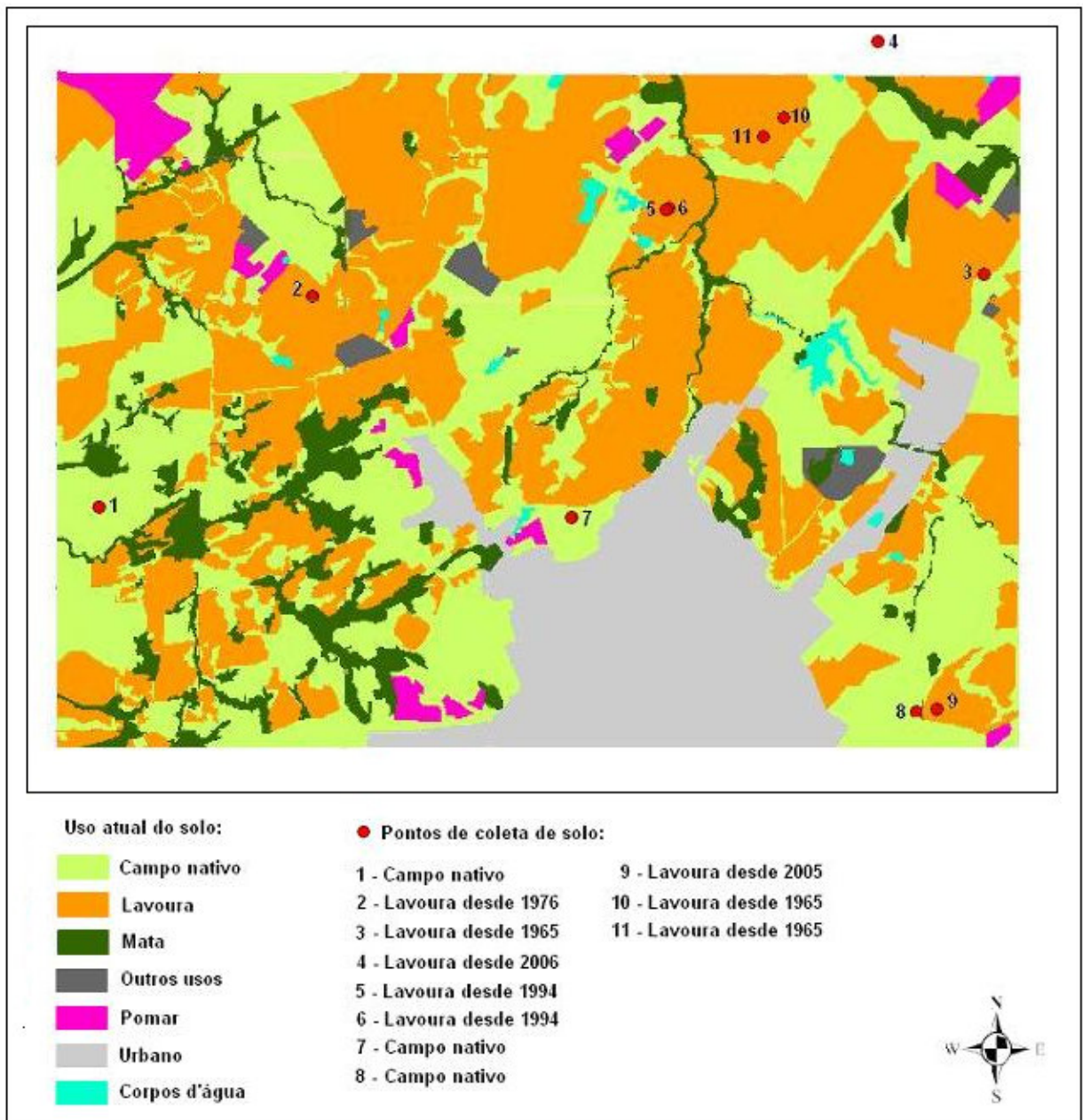


Figura 3. Uso do solo atual (ano 2005) com a localização dos pontos amostrados.

- análise de teor de carbono orgânico por combustão seca (Nelson & Sommers, 1996), em analisador Shimadzu – TOC (modelo V_{csn})
- teores de areia, silte e argila pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

Deve-se chamar a atenção que o ponto 4 (Figura 3) mesmo localizado fora da área de estudo, foi mantido neste trabalho pelo fato de se tratar de uma lavoura de apenas um ano de exploração, a qual provavelmente manteve as características do solo sob vegetação nativa, sendo assim possível de ser utilizado no cálculo dos estoques de COS do campo nativo.

Para as análises de textura, devido à característica de alta proteção e estabilidade que a MOS apresenta nos Latossolos, teve-se que escolher um método de dispersão mais eficiente do que o método comumente utilizado que é a dispersão por meio da agitação com NaOH, pois os microagregados muito argilosos nem sempre são totalmente quebrados pela dispersão química e mecânica, contribuindo, devido o seu tamanho, para superestimar a proporção de silte do solo analisado (Donagemma, 2003). Assim, conforme resultados de estudos de dispersão de tamanhos de partículas já realizados (Genrich & Bremner, 1972; Gregorich et al., 1988; Donagemma, 2003), neste trabalho adotou-se o método da energia ultra-sônica. Para isso utilizou-se um aparelho Vibracel, da marca SONICS & MATERIALS, modelo VC 750, para dispersar os solos visando posterior análise textural. Para a dispersão total dos solos foi necessário uma energia de 2389 J mL⁻¹, a mesma energia que foi utilizada por Inda et al. (2007) para dispersar um Latossolo Bruno – Unidade de Mapeamento Guarapuava.

5.3. Cálculo dos estoques de COS

O cálculo dos estoques de COS do campo nativo partiu do pressuposto que o estoque nesta vegetação nativa se manteve estável até os dias atuais. Estes estoques foram calculados com base na concentração de carbono da amostra, na densidade do solo e na profundidade amostrada, conforme equação abaixo:

$$\text{Estoque} = C \times \rho \times \text{prof.} \times 10 \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:

Estoque = estoque de COS (Mg ha⁻¹)

C = concentração de carbono na amostra (kg Mg⁻¹)

ρ = densidade do solo (Mg m⁻³)

prof. = espessura da camada (m)

Para o cálculo dos estoques de COS na camada de 0 a 20 cm das lavouras utilizou-se o método da massa equivalente à do solo sob vegetação nativa (Bayer, 2000). Este método utiliza como referência a massa de solo de um tratamento, neste caso do campo nativo, a qual é tomada como base para o cálculo do estoque em todos os demais tratamentos (Ellert & Bettany, 1995), sendo neste trabalho as lavouras. Com isso, elimina-se o efeito do adensamento do solo sob cultivo, e conseqüentemente evita a superestimativa dos estoques de COS (Bayer, 2000).

5.4. Construção da base de dados geográfica

A integração e manipulação das informações espaciais importantes neste trabalho foi feita por meio da construção um Sistema de Informações Geográficas (SIG) em ambiente *ArcView* (ESRI, 1999) e *ArcGIS* (ESRI, 2003). A escolha das diferentes informações inseridas no SIG foi determinada pela relevância do seu uso nas simulações com o modelo Century. Neste ambiente, estas informações foram organizadas em diferentes *planos de informação temáticos* na forma de mapas digitais com tabelas de dados associadas, configurando uma base de dados espacializada, conforme descritos a seguir.

Para a confecção da base cartográfica que serviu de mapa-base utilizou-se uma imagem de alta resolução espacial – do satélite Eros (*Earth Resources Observation Satellite*) com resolução de 1,8 metros. Para isto, a imagem Eros foi comparada e adequada ao georreferenciamento das cartas topográficas na escala 1:50.000.

5.4.1. Evolução do uso do solo

Comparando com as demais regiões produtoras de grãos do Rio Grande do Sul, a agricultura na região de Vacaria iniciou mais tardiamente, em meados da década de 1950. Para este trabalho esta característica de início da exploração agrícola mais recente possibilitou uma reconstituição da ocupação espaço-temporal do solo realizada exclusivamente por meio de produtos do sensoriamento remoto, o que é um fato raro, considerando que a maioria dos levantamentos aerofotogramétricos existentes são datados a partir da década de 1950, e apenas a partir de 1972, há a disponibilidade de imagens de satélite. Estes sensores remotos são bastante importantes neste tipo de

trabalho visto que apresentam informações espacializadas, com atualização freqüente sobre o uso do solo, possuindo com isso uma maior confiabilidade e precisão das informações geradas.

Desde modo, foi possível adotar a seguinte abordagem para a identificação espacializada das mudanças de uso agrícola dos solos:

a) período de 1950 até 1963 – conforme informações de agrônomos atuantes na região há vários anos e aos anuários agrícolas do IBGE, considerou-se que em 1950 o solo encontrava-se sob a condição original, isto é, com campo nativo e mata ciliar nas encostas dos rios;

b) período de 1964 até junho de 1975 – neste período identificou-se o uso agrícola do solo por meio de fotointerpretação do registro mais antigo disponível, que foi uma aerofoto pancromática datada de 1964 com escala aproximada de 1:60.000, adquirida junto à 1^a Divisão de Levantamento do Exército - DL;

c) período de outubro de 1976 até outubro de 1986 - neste período a identificação das mudanças para o uso agrícola do solo foi realizada a partir da classificação supervisionada pelo método da máxima verossimilhança de imagens do satélite LANDSAT (sensor MSS – 80 metros de resolução espacial);

d) período de outubro de 1987 até outubro 2004 – a classificação do uso dos solos nesta época foi feita com auxílio de imagens LANDSAT (sensor TM – 30 metros de resolução espacial);

e) período atual – a identificação do uso do solo foi feita por meio da identificação dos alvos e vetorização da imagem de alta resolução do ano de 2005 (sensor Eros A – 1,8 metros).

Todo o período de evolução do uso do solo foi guiado pelas duas imagens de alta resolução utilizadas, sendo o início do período de estudo guiado pelas aerofotos datadas de 1964, e o final do período pela imagem Eros A datada de 2005, proporcionando, com isso, no período intermediário a estas imagens (onde foram utilizados sensores de menor resolução espacial), uma maior exatidão e confiabilidade nas classificações realizadas.

Para o acompanhamento completo do uso agrícola do solo utilizou-se necessariamente, entre as décadas de 1970 e 1980, o único sensor orbital disponível – LANDSAT MSS, sendo este de pequena resolução espacial. O

seu uso nesta região caracterizada pelas grandes lavouras, porém, não comprometeu o resultado do trabalho, pois se trata de regiões extensas que, conseqüentemente, são passíveis de serem identificadas nestas imagens.

As datas das imagens de satélite, das décadas de 1970 a 1990, foram determinadas a partir de imagens disponíveis no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – UFRGS.

5.4.2. Elementos da paisagem

O relevo da área de estudo, representado pelas diferentes posições na paisagem, foi espacializado levando em consideração as informações contidas nos mapas de altitude e declividade, este último mapa obtido por meio do Modelo Numérico do Terreno (MNT) gerado a partir da interpolação das curvas de nível com espaçamento vertical de 20 m das cartas 1:50.000. Com o auxílio das informações contidas nestes dois mapas, construiu-se um mapa final separando as áreas de topo (com declividade entre 0 e <8%), de encosta (com declividade >8%) e as áreas deposicionais (com declividade próxima a zero que não é topo) (Figura 4). Deve-se ressaltar que este trabalho foi feito manualmente em ambiente ArcView, sem ajuda de algoritmos, com o intuito de melhorar a separação das diferentes posições da paisagem, visto que na confecção do MNT foram utilizadas curvas de nível, espaçadas de 20 em 20 metros os quais não capturam muitos detalhes do relevo.

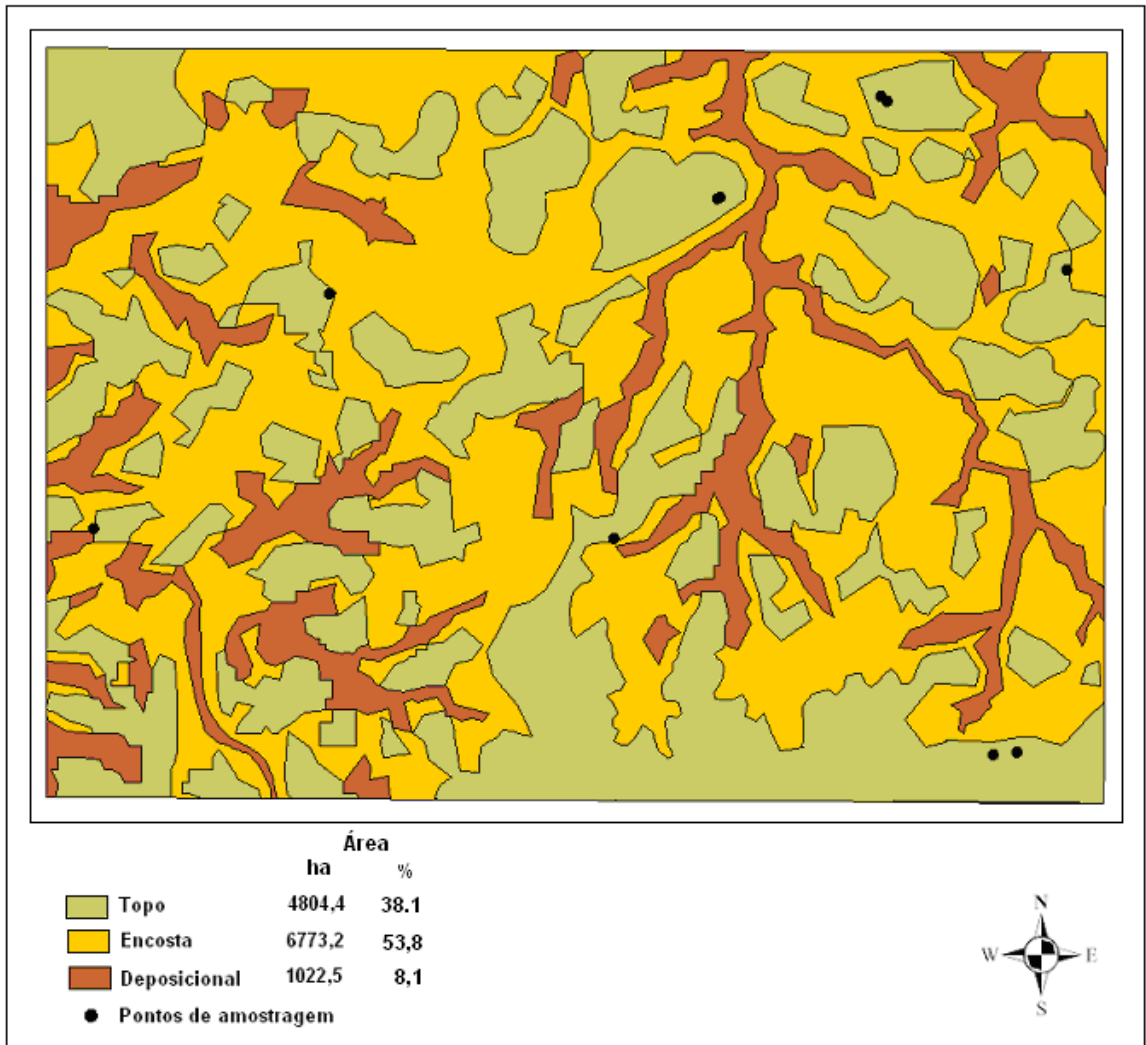


Figura 4. Elementos da paisagem derivados das informações contidas nos mapas de altitude e declividade da região de estudo.

5.5. Elaboração das Unidades de Simulação

Para a avaliação do comportamento do COS ao longo do tempo, foram separadas áreas com características homogêneas, denominadas unidades de simulação (US). Estas foram agrupadas conforme as características julgadas importantes, como o tempo de uso agrícola do solo, o uso e a posição na paisagem, para o posterior uso no modelo Century.

Os atributos da paisagem foram incluídos devido a relevância da erosão e da deposição no estudo da dinâmica do COS em escala regional, sendo que o que diferenciou cada posição na paisagem dentro do modelo Century foram as diferentes quantidades perdidas de solo através da erosão por ano. Neste trabalho os valores de erosão utilizados foram os mesmos

adotados por Debarba (2002) em um estudo que aplicou o Century em diversas regiões do estado, inclusive Vacaria, e estão demonstrados no Apêndice 2.

As 10 unidades de simulação foram obtidas a partir do cruzamento no ArcGIS do mapa temático da evolução do uso do solo com o mapa temático dos elementos da paisagem. Como o objetivo maior deste trabalho foi estudar o comportamento do CO nos solos predominantes da região, na elaboração do mapa das unidades de simulação desconsideraram-se as áreas deposicionais, pelo fato de estarem localizadas sob neossolos e gleissolos juntamente com a mata ciliar.

5.6. Simulações pelo modelo Century 4.0

Para o funcionamento do modelo, é necessário o fornecimento de um conjunto mínimo de variáveis locais de entrada. Estas são divididas em variáveis de solo e climáticas. As variáveis de solo foram obtidas a partir de amostragem no campo, conforme descrito no item 5.2, as quais resultaram nos valores médios descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Composição granulométrica e densidade do solo representada pela média de cinco áreas amostradas sob campo nativo, equivalentes a camada de 0 a 20 cm, no município de Vacaria, RS

Granulometria			Densidade do solo
Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila	g cm ⁻³
36,2	194,0	769,8	1,20

Os dados climáticos médios corresponderam à precipitação média anual de 1500 mm, temperatura média mensal máxima de 22°C e a média mínima de 10,2°C. Estas variáveis foram obtidas por meio da média do período de 1913 a 2000 da estação meteorológica do município de Vacaria (8^o DISME/INMET).

5.6.1. Parametrização do modelo Century 4.0

Buscando-se a estabilização de todas as variáveis de saída do modelo Century, o mesmo foi executado por um período de 6000 anos na condição de campo nativo (execução do equilíbrio), verificando-se ao final desse período se os estoques de COS estimados pelo modelo (variável SOMSC) correspondiam aos estoques reais médios presentes na camada de 0 a 20 cm do solo sob vegetação nativa. A correspondência entre o valor de CO

observado no solo sob campo nativo e o valor estimado pelo Century foi obtida por meio de ajustes nos parâmetros locais, de cultura e parâmetros fixos, conforme descrito a seguir:

Parâmetros locais conforme nomenclatura do modelo Century 4.0:

- EPNFS(2): refere-se entrada de N pela fixação não-simbiótica, e foi modificado conforme Oliveira (2005);

Parâmetros de cultura:

- PRDX: refere-se ao potencial máximo mensal de produção de C pela parte aérea, no caso deste trabalho para o ecossistema “campos subtropicais”;

Parâmetros fixos conforme nomenclatura do modelo Century 4.0:

- VLOSSG: relacionado com a perda de N por volatilização, modificado conforme Oliveira (2005);

- VARAT2(1,1) e VARAT3(1,1): estão relacionados às relações C/N do material que entra nos compartimentos lento e passivo, respectivamente. Foram modificados conforme descrito e indicado em Oliveira (2005), a fim de ajustar a dinâmica do N tanto no campo nativo como para as lavouras que virão nos blocos posteriores do modelo.

- PS1S3(2) e PS2S3(2): refere-se ao fluxo de C do compartimento ativo para o passivo e para o lento, respectivamente. Foram alterados visando adequar a porcentagem de CO que é distribuída entre os compartimentos passivo e lento aos valores esperados para um solo muito argiloso associado a um clima mais ameno.

Os valores padrões originais do modelo e os valores modificados estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros do modelo Century 4.0 ajustados na simulação com modificações e seus valores originais padrões

Parâmetros	Valor	
	Padrão original	Modificado
<i>Parâmetro local</i>		
EPNFS(2)	0,028	0,019
<i>Parâmetro de cultura</i>		
PRDX	*	488
<i>Parâmetros fixos</i>		
VARAT2(1,1)	18	20
VARAT3(1,1)	8	10
VLOSSG	0,010	0,013
PS1S3(2)	0,032	0,05
PS2S3(2)	0,009	0,012

* foi criado no CROP.100 um campo nativo com as características do campo nativo da região de Vacaria, conforme visto no Apêndice 3.

5.6.2. Cenários históricos e futuros de manejo do solo

Para a simulação das alterações no estoque de CO a partir da condição de sistema estável, foram elaborados os cenários de manejo objetivando a maior semelhança possível com a realidade verificada a campo (Tabela 4).

O início da simulação nas diferentes unidades de simulação variou de acordo com o início da exploração agrícola em cada área.

Tabela 4. Cenários e eventos de manejo utilizados na simulação dos estoques atuais e futuros de COS da área de estudo, sob vegetação original de campo nativo

Cenários (períodos)	Descrição do evento de manejo
(I) 1951 – 1970 Preparo convencional	trigo/pousio com presença de invasoras; preparo mecanizado do solo com arado e grade; 30 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ de N sintético aplicado no trigo; cultivares com baixo potencial de rendimento
(II) 1971 – 1980 Preparo convencional	trigo/soja com queima anual de palha de trigo; preparo mecanizado do solo com arado e grade; 40 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ de N sintético aplicado no trigo; cultivares com médio potencial de rendimento
(III) 1981 – 1990 Preparo reduzido	trigo/soja sem queima da palha do trigo; preparo mecanizado do solo com escarificador e grade; 60 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ de N sintético aplicado no trigo; cultivares com médio potencial de rendimento
(IV) 1991 – 2058 Plantio direto	trigo/soja aveia/soja/aveia/milho; dessecação da aveia; plantio direto; 80 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ e N sintético aplicado no trigo, 100 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ aplicado no milho; cultivares com alto potencial de rendimento

No período entre o início da exploração agrícola até o ano de 1980 procurou-se englobar eventos de manejo, como o sistema de preparo do solo e os sistemas de culturas, adotados pelos agricultores no período da expansão da agricultura no Estado do Rio Grande do Sul.

A partir de 1981, visando retratar as melhorias nas práticas de manejo utilizadas pelos agricultores no final da década de 70 por meio da implantação do Programa Integrado de Uso e Conservação do Solo (PIUCS), incorporaram-se modificações no sistema de manejo do solo, como a substituição do plantio convencional pelo preparo reduzido e a eliminação da queima da palha do trigo. A partir de 1991, acompanhando as modificações ocorridas no campo pela implantação do Programa METAS, adotou-se a prática do plantio direto e a inclusão de culturas com maior aporte de carbono ao solo via fitomassa.

As adições de C pelas culturas estimadas pelo modelo Century variaram de acordo com os cenários de manejo adotados, e foram estimadas a partir de variáveis de saída do modelo, de acordo com a Equação 3 a seguir.

$$\text{Adição de C} = (\text{AGLIVC} + \text{BGLIVC}) - \text{CGRAIN}$$

Equação 3

Onde:

Adição de C = Adição de C ao solo via culturas (Mg ha^{-1})

AGLIVC = C adicionado pela parte aérea (Mg ha^{-1})

BGLIVC = C adicionado pelas raízes (Mg ha^{-1})

CGRain = C exportado nos grãos devido à colheita (Mg ha^{-1})

Para cada cenário de manejo e diferentes posições na paisagem (topo e encosta) foram atribuídas diferentes taxas de perdas de solo por erosão, de acordo com o método de preparo e sistema de cultura adotado. Os valores de perda de solo foram os mesmos utilizados por Debarba (2002), conforme já citado no item 5.5, o qual utilizou o Century 4.0 em simulações da região de Vacaria, sendo que o mesmo se baseou nos trabalhos de Cassol et al. (1980) e Wünsche e Denardin (1980). Vale ressaltar que ainda são raros os trabalhos que visam obter dados de perdas de solo por erosão, sendo que para o solo deste estudo, estes dados ainda são inexistentes na literatura.

5.6.3. Calibração do modelo

Esta etapa consiste no ajuste de parâmetros do modelo buscando melhorar a concordância entre as suas estimativas e os dados de campo disponíveis (Jørgensen & Bendorochio, 2001). Com isso, a calibração torna-se um processo interativo de comparação do modelo com o sistema real, fazendo-se ajustes (ou até mesmo grandes alterações) no modelo, comparando a revisão do modelo com o mundo real, fazendo ajustes adicionais, comparando novamente, e assim por diante, até chegar à valores compatíveis

Para a calibração torna-se indispensável conhecer o histórico de uso da área em estudo, permitindo estimativas razoáveis da quantidade de biomassa adicionada no passado e da decomposição desta ao longo do tempo podendo então o modelo ser executado e os valores simulados serem comparados aos medidos (Silva & Pasqual, 1999).

Assim, com o modelo ajustado por meio da simulação de equilíbrio, executou-se a simulação de calibração visando chegar ao estoque de COS referente à lavoura mais antiga disponível na região de interesse, localizada em topo, que iniciou a exploração agrícola em meados de 1964. O estoque desta lavoura foi obtido por meio da média de três pontos calculada com base no método da massa equivalente à do solo sob vegetação nativa (Bayer, 2003).

Na calibração do Century 4.0 para condição de solo cultivado foram necessárias alterações nos parâmetros de planta (crop.100) e de cultivo (cult.100), conforme descrito a seguir:

a) o parâmetro equivalente ao potencial máximo mensal de produção de C pela parte aérea (PRDX) das culturas utilizadas foi alterado para que as variáveis de saída AGLIVC (carbono na biomassa viva superficial) e BGLIVC (carbono na biomassa viva subsuperficial) se aproximassem dos valores considerados compatíveis para as culturas utilizadas na condição de Vacaria. Para isto considerou-se uma contribuição do total de C de 30% correspondente às raízes. Estas alterações foram realizadas comparando também os valores obtidos para Vacaria com os valores já obtidos nas calibrações do Century 4.0 por Bortolon (2008) e Tornquist (2007) para as condições do Planalto Riograndense.

b) ajustou-se o efeito do preparo do solo, sobre a taxa de decomposição do compartimento lento por meio da alteração do parâmetro CLTEFF(2) – multiplicador que aumenta a decomposição do referido compartimento no mês de cultivo – do CULT P. Assim, nas simulações sob plantio convencional aumentou-se o CLTEFF (2) de 1,60 (valor padrão) para 3,20, conforme Oliveira (2005). Além disso, para adequar o modelo para condições de solos cultivados, utilizou-se um “efeito adicional de cultivo” (CULT A), por quatro meses seguidos após o revolvimento do solo no plantio convencional e por três meses no preparo reduzido, tendo-se prolongado, assim, o efeito do preparo sobre as taxas de decomposição da MOS (Leite et al., 2004; Oliveira, 2005).

Os parâmetros e variáveis utilizados nas simulações constam nos Apêndices 4, 5, 6, 7, 8 e 9 e um exemplo de organização de um arquivo .SCH com os cenários de manejo adotados em Vacaria encontra-se no Apêndice 10.

5.6.4. Validação do modelo

Nesta etapa as estimativas geradas pelo modelo devem ser comparadas com os dados observados a campo, havendo assim a validação ou não do modelo.

Neste trabalho a acurácia das simulações foi testada com base na raiz quadrada do erro médio do modelo (RMSE – root mean square error of model) a partir da análise estatística proposta por Smith et al. (1997). Da

análise estatística foram excluídos os dados referentes a pontos já utilizados no equilíbrio e na calibração.

5.6.5. Generalização das estimativas do modelo Century 4.0

Após a calibração e a validação do modelo, o mesmo foi aplicado para as condições das demais unidades de simulação, para posterior espacialização dos estoques estimados pelo Century.

Nesta etapa, os parâmetros dos arquivos: CULT.100, CROP.100, FERT.100, HARV.100, FIRE.100 e FIX.100 (Apêndices 4 a 9) foram mantidos idênticos aos adotados na etapa de calibração do modelo, independente de ser executado para condição de relevo (posição na paisagem) diferente daquela na qual o modelo foi calibrado (topo). Havendo diferença apenas nas taxas de erosão adotadas para cada posição na paisagem.

5.7. Espacialização das estimativas de COS geradas pelo modelo Century 4.0

Nesta etapa do trabalho, após a calibração, validação e execução do modelo Century para as 10 unidades de simulação (US), objetivou-se a espacialização dos estoques de COS estimados em toda a área de interesse. Devido ao pequeno número de US geradas, esta espacialização foi feita por meio do acoplamento livre, o qual permite um controle mais eficiente sobre o banco de dados espacializados e as simulações, conforme descrito em Norgaard (2004) e já utilizado para condições do RS por Tornquist et al. (2009), Bortolon (2008) e Lopes et al. (2008).

Para a espacialização da evolução do uso agrícola do solo na região deste estudo foram realizados cinco cruzamentos no programa ArcGIS entre os mapas de diferentes períodos, conforme Figura 5. Esses cruzamentos foram executados de dois em dois mapas, isto é, foi cruzado o mapa do uso em 1964 com o mapa da área das lavouras em 1976; o mapa resultante foi cruzado com o mapa das lavouras em 1987, até o último cruzamento das lavouras de 1996 com as lavouras até 2005. Com isso, gerou-se o mapa final da evolução do uso do solo desses 44 anos de exploração agrícola na região. A representação espacial das diferentes US foi feita por meio do cruzamento no ambiente ArcGIS do mapa de evolução do uso agrícola do solo com o mapa com as diferentes posições na paisagem (Figura 4). As US assim delimitadas serviram como base nas simulações realizadas no Century, conforme já descrito anteriormente.

As simulações foram executadas com o auxílio da interface i-Century, a qual gerencia uma base de dados em formato MS Access[®] que contém informações de solo, clima, uso e manejo dos solos da região de interesse, permitindo com isso a realização de múltiplas simulações, conforme já utilizado por Tornquist et al. (2009) e Bortolon (2008). Outras vantagens do uso desta interface estão na redução do tempo gasto para montar e organizar os arquivos utilizados nas simulações e na possibilidade de se visualizar estas estimativas em janelas gráficas, facilitando e aumentando, assim, o controle das simulações com base nos dados de saída do modelo.

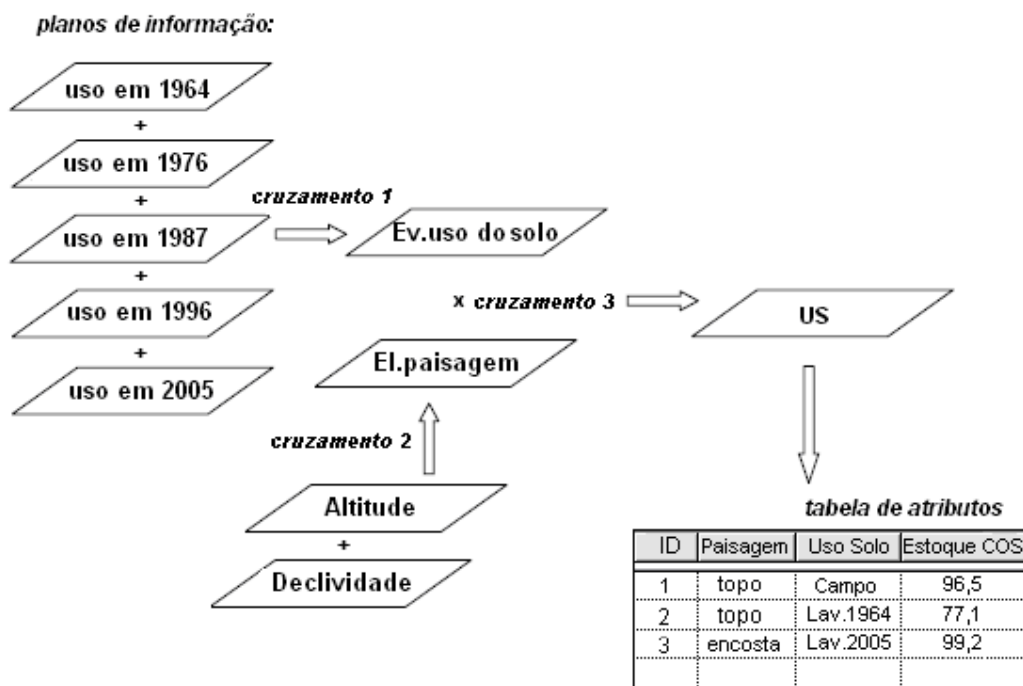


Figura 5. Esquema resumido do cruzamento dos planos de informação vetoriais para a confecção do mapa com as unidades de simulação (US), com a tabela de atributos associada.

Após as simulações, os dados gerados no MS Access[®] foram extraídos e armazenados em tabelas do MS Excel[®], possibilitando com isso a organização das variáveis de interesse e a separação manual dos dados contendo apenas as estimativas referentes aos períodos englobados neste trabalho, constituindo-se assim tabelas com dados referentes aos anos de 1964, 1976, 1987, 1996 e 2005 para os cenários atual (2008) e futuro (2058). Estes dados foram inseridos manualmente na tabela de atributos associada às US, passando assim a fazer parte do banco de dados geoespacializado do SIG, e configurando com isso, o acoplamento livre entre as estimativas do

Century e o SIG. Com o banco de dados geoespacial completo foi possível visualizar mapas com os atributos de interesse, além de possibilitar a realização de cálculos e operações comuns em ambiente SIG.

5.8. Estimativa de emissão e seqüestro de CO₂

Com os dados de saída do modelo Century foi possível calcular a estimativa de emissão e seqüestro de CO₂ para a região deste estudo, em função da conversão de campo nativo para agricultura com a adoção de diferentes cenários de manejo.

Os dados de saída do modelo avaliados e utilizados para o cálculo foram:

- SOMSC: representa a soma dos compartimentos ativo, lento e passivo, que corresponde ao estoque de COS;
- CINPUT: quantidade de carbono adicionada ao solo anualmente;
- RESP(1): quantidade de carbono perdido anualmente pela respiração microbiana durante a decomposição dos compartimentos da MOS;
- SCLOSA: quantidade de carbono perdido anualmente associado ao solo removido por erosão;

O balanço de carbono em função dos manejos do solo, após o início da agricultura, foi estimado pela diferença entre a quantidade de C adicionada ao solo anualmente (CINPUT) e a quantidade de C perdido anualmente pela respiração microbiana (RESP(1)) e pela erosão (SCLOSA) em cada período de manejo, conforme Bortolon (2008). Assumiu-se que 20% do C perdido por erosão foi mineralizado pela microbiota do solo e efetivamente perdido para a atmosfera. O cálculo do balanço de C é demonstrado na Equação 3 a seguir:

$$\text{Balanço de C} = \text{CINPUT} - [\text{RESP}(1) + (\text{SCLOSA} \times 0,2)] \quad \text{Equação 3}$$

Para expressar os resultados do balanço de C em termos de balanço de CO₂, multiplicaram-se as estimativas obtidas pela aplicação da Equação 3 por 3,67, que corresponde à razão molar entre CO₂ e C (44/12 = 3,67). Resultando, com isso, no balanço das quantidades de C retidas no solo (seqüestrada) e emitidas para a atmosfera sob a forma de CO₂.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Evolução do uso do solo

Segundo informações obtidas por meio de entrevistas realizadas com agricultores e agrônomos atuantes na região, juntamente com os dados dos anuários agrícolas do IBGE, verificou-se que em meados de 1950 os solos da região eram praticamente todos cobertos por campo nativo, tendo como principal atividade a pecuária extensiva (Figura 6). Verifica-se que no ano de 1964: 9,5% da área já estava ocupada com agricultura (Figura 6); em 1976: 17% da área (Figura 6); em 1987: 23,4% (Figura 7); em 1996: 34,5% (Figura 7); chegando em 2005 a, aproximadamente, 40% da área explorada com agricultura (Figura 7).

A taxa de expansão das áreas agrícolas, no período estudado, foi crescente, sendo de $0,68 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ entre 1950 e 1964, de $0,74 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ entre 1976 e 1987, e $1,6 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ entre 1987 e 1996. A maior taxa de expansão no período que envolve as décadas de 80 e 90, segundo trabalhos realizados na região (Batista, 2006; Overbeck et al., 2007), foi devido principalmente a baixa rentabilidade da atividade pecuária tradicional, comparada às outras oportunidades oferecidas, como a agricultura empresarial, o que impulsionou a exploração do solo com estes usos mais rentáveis. Somado a isto, Vacaria situa-se numa região de clima e solo propícios para cultivos de culturas anuais.

As estimativas de expansão das áreas agrícolas obtidas foram similares às apresentadas no estudo de Debarba (2002) e nos anuários agrícolas do IBGE.

O crescimento da zona urbana foi um fenômeno que também se destacou na evolução do uso do solo na área, a qual duplicou em 40 anos - 1964 a 2005 (Figuras 6 e 7). Este crescimento foi alavancado pela geração de

empregos proporcionada pelo cultivo de fruteiras de clima temperado, principalmente a maçã, instalando um novo ciclo econômico na região, em detrimento do ciclo extrativista da araucária e da pecuária extensiva, gerando, para a mesma área, empregos na proporção de oitenta para um, se comparando com a pecuária extensiva (AGAPOMI, 2009).

Na Tabela 5 é possível verificar o grande aumento nas áreas cultivadas com agricultura nos anos 1970, a qual praticamente duplicou em 12 anos (1964 a 1976), devido, principalmente, à introdução da soja na região. Nesta época houve também início do cultivo de pomares de maçã, onde em 40 anos verificou-se um aumento de 2,5 vezes das áreas com esta cultura.

As áreas de mata nativa continuam praticamente as mesmas nestes 40 anos de avaliação (Tabela 5), provavelmente porque estão localizadas nas regiões mais acidentadas e junto às drenagens, caracterizando-se em matas ciliares, o que dificulta a sua retirada. Além disto, existe a legislação ambiental (Código florestal federal e Código florestal do Estado do Rio Grande do Sul) que as protege contra o desmatamento.

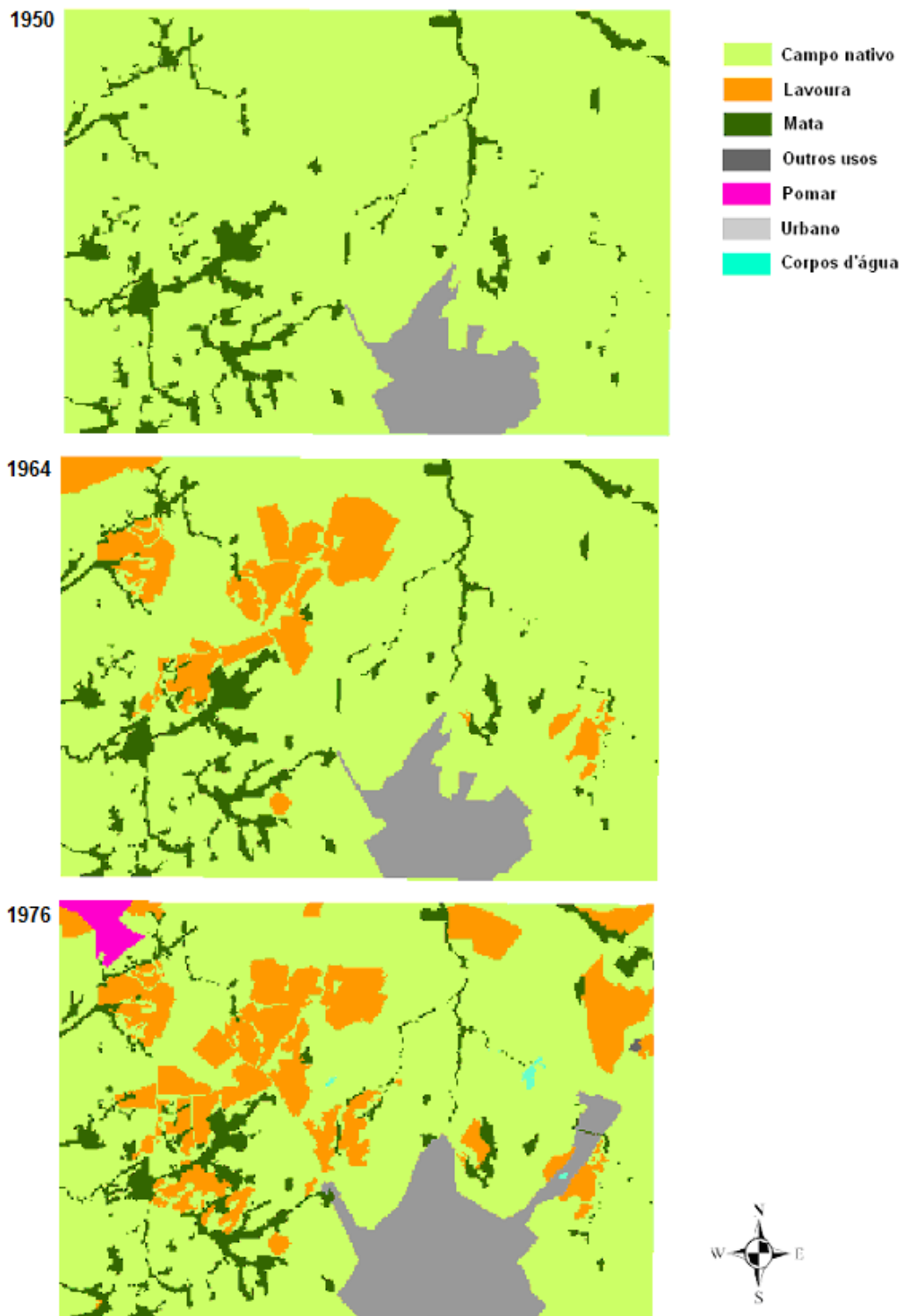


Figura 6. Mapas temáticos de uso do solo na área do estudo dentro do Município de Vacaria - RS para os anos 1950, 1964 e 1976.



Figura 7. Mapas temáticos de uso do solo na área do estudo dentro do Município de Vacaria - RS para os anos 1987, 1996 e 2005.

Tabela 5. Principais usos do solo nos anos de 1964, 1976, 1987, 1996 e 2005 (em km² e % relativa) para a área do estudo dentro do Município de Vacaria – RS

Usos	Ano				
	1964	1976	1987	1996	2005
	-----Km ² -----				
Campo nativo	96,5 (76,6)	80,5 (63,9)	65,2 (51,7)	50,3 (39,9)	44,2 (35,1)
Mata nativa	9,6 (7,6)	9,6 (7,6)	10,7 (8,5)	10,2 (8,1)	9,8 (7,8)
Lavoura	11,9 (9,5)	21,4 (17,0)	29,5 (23,4)	43,5 (34,5)	49,0 (38,9)
Urbano	8,0 (6,3)	13,0 (10,3)	16,4 (13,1)	17,2 (13,7)	17,7 (14,0)
Corpo d'água	x	0,2 (0,2)	0,8 (0,6)	0,8 (0,6)	0,9 (0,7)
Pomar	x	1,2 (1,0)	2,5 (2,0)	2,6 (2,1)	3,0 (2,3)
Outros	x	0,1 (0,04)	0,9 (0,7)	1,4 (1,1)	1,4 (1,1)

* Valores entre parênteses são as porcentagens (%) dos usos dentro da área de estudo

Com o aumento das demais classes, principalmente lavoura e urbano, houve conseqüentemente um decréscimo do campo nativo ao longo do tempo (Tabela 5), o qual foi se reduzindo em taxas médias de 1,4 km² ano⁻¹, exceto entre 1996 e 2005, onde foi encontrada a menor taxa, de 0,7 km² ano⁻¹. Isso por que as melhores áreas neste período já estavam sob outro uso que não a vegetação nativa.

Conforme visitas realizadas na região, as poucas áreas remanescentes atuais com campo nativo são bastante diversas em termos de cobertura e composição florística, isso devido principalmente em função das diferentes lotações de bovinos utilizadas e manejos aplicados, como a roçada, melhoramento de pastagens, por meio da correção e adubação do solo, ou queimada, sendo variáveis os efeitos do fogo sobre a produtividade da vegetação, em função da intensidade e freqüência do distúrbio, e das condições intrínsecas de cada local (Heringer & Jacques, 2002).

A análise da evolução do uso do solo na região (Figuras 6 e 7) evidencia a grande redução da cobertura vegetal original do solo, principalmente, pela expansão da agricultura.

O aumento das áreas com agricultura em detrimento das áreas com campo nativo verificado neste trabalho é conseqüência de um somatório de fatores, que envolvem fatores ambientais, como climáticos e de solo que favorecem o estabelecimento e alta produção de culturas anuais (milho, trigo, soja, entre outras); e fatores financeiros, representados pela baixa rentabilidade da atividade pecuária extensiva tradicional nas últimas décadas. O clima

característico com temperaturas baixas durante a noite contribui para o aumento da taxa fotossintética líquida em função da diminuição da respiração, isso somado com o elevado e bem distribuído regime de chuvas favorece o rendimento das culturas, como é o caso do milho (Argenta et al., 2003) e da soja (Fontana et al., 2001). No inverno, com o clima mais frio e seco há uma menor incidência de doenças fúngicas, principalmente no trigo (Fernandes & Picinini, 1999), com isso, o potencial de rendimento de trigo no Estado do Rio Grande do Sul, por razões de ambiente (risco de geada na floração, ocorrência de doenças fúngicas e excesso de chuva na colheita) aumenta à medida que se desloca da Região das Missões e Planalto Médio para os Campos de Cima da Serra – região de Vacaria (EMBRAPA, 2008; Cunha, 2009).

6.2. Unidades de simulação

A classificação das imagens de satélite disponíveis e a fotointerpretação (Figuras 6 e 7) possibilitaram a construção de um modelo espacializado de evolução do uso do solo (Figura 8).

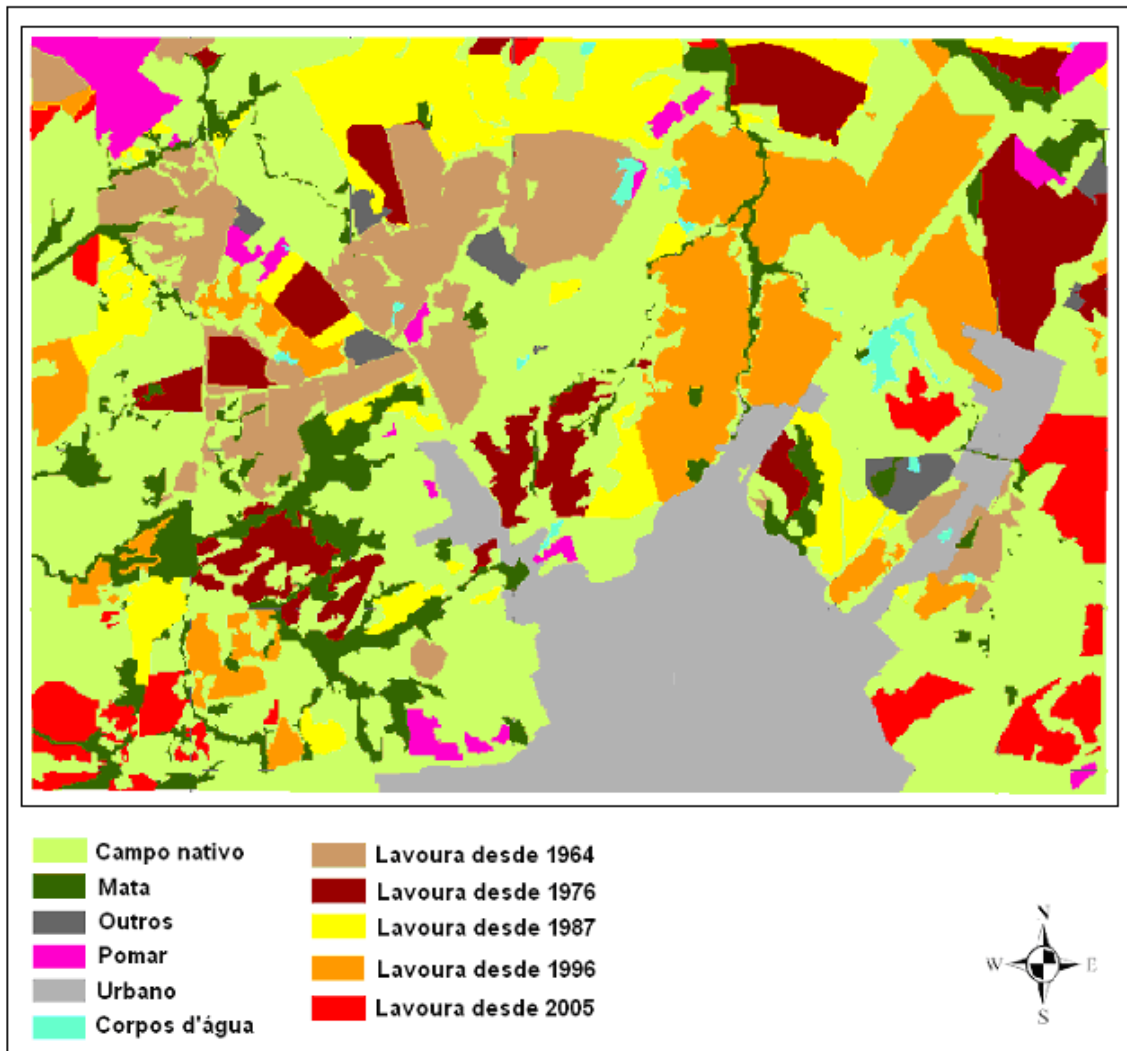


Figura 8. Evolução do uso do solo agrícola na área de estudo dentro do Município de Vacaria – RS.

A partir do cruzamento dos mapas de evolução do uso agrícola do solo (Figura 8) e o mapa com as diferentes posições na paisagem (Figura 4), as 10 unidades de simulação (US) (Figura 9) foram geradas.

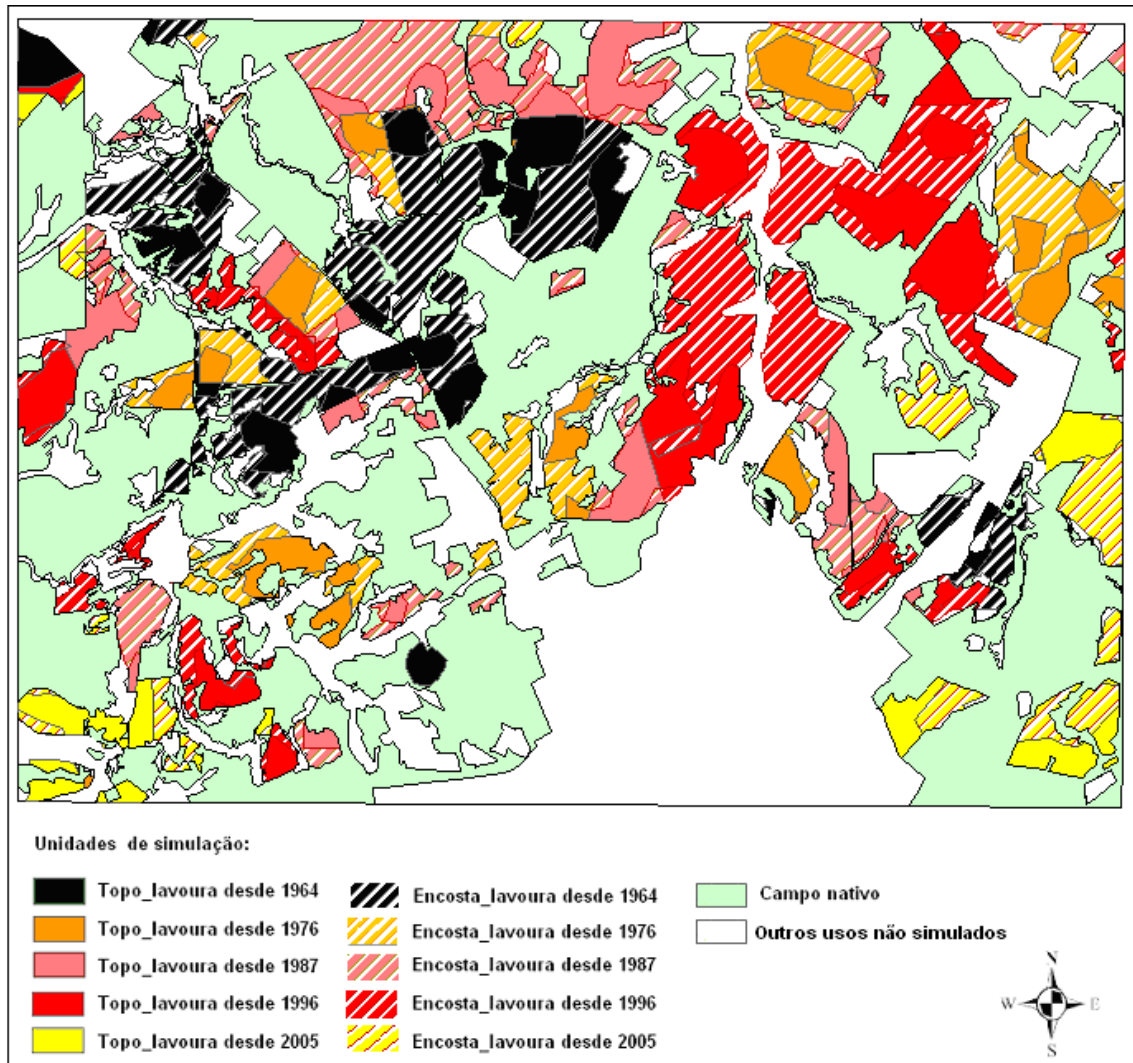


Figura 9. Representação espacial das unidades de simulação utilizadas nas simulações do modelo Century

Verifica-se na Tabela 6 que a taxa de expansão da agricultura foi bastante semelhante em todos os períodos analisados, sendo que a maioria das lavouras encontraram-se nas áreas localizadas sob a encosta, as quais englobaram cerca de 50 a 58% da agricultura entre os anos de 1964 a 2005. Foi também verificada uma grande expansão agrícola entre os anos de 1964 e 2005 nas lavouras localizadas no topo, as quais colaboraram com 36 a 43% da área com agricultura neste período. A maior expansão verificada nestas áreas pode ter sido devido ao relevo onde ocorrem as mesmas, que é caracterizado por ser suave-ondulado, o qual facilita a atividade de mecanização; além disto, a proximidade com as estradas e da zona urbana destas áreas facilita as atividades de manejo e o escoamento da produção.

Tabela 6. Ocupação da área agrícola (km²) nas três diferentes posições na paisagem da região de Vacaria nos diferentes períodos de tempo estudados

Ano	Posição na paisagem		
	Topo	Encosta	Deposicional
	-----km ² -----		
1964	45,5	74,2	6,3
1976	46,2	66,8	13,0
1987	48,9	70,2	6,9
1996	47,9	64,3	13,9
2005	55,1	60,9	10,1

A posição na paisagem onde houve a menor expansão da agricultura em todos os períodos foram nas áreas localizadas na deposição. Isto pode ser devido principalmente à proximidade destas áreas com a drenagem, podendo acumular muita umidade no solo, dificultando o preparo e a implantação das culturas. Além disto, a deposição representa uma pequena área dentro da área de estudo, em comparação com as demais localizadas nas outras posições na paisagem, contribuindo pouco para a área total de expansão da agricultura. Deve-se considerar também que as áreas deposicionais estão na sua maioria localizadas sob mata ciliar, o que dificulta o cultivo nestas áreas, tanto pela questão da mecanização, como também pela questão ambiental, na qual estas áreas estão protegidas por lei.

6.3. Estoques de COS dos pontos amostrados a campo

Foram amostrados 11 locais bem distribuídos em toda a região de estudo, sendo três pontos em campo nativo e oito pontos em lavouras com diferente ano de início de exploração agrícola (Tabela 7).

Tabela 7. Estoques de carbono em porcentagem e em massa equivalente dos solos presente em Vacaria – RS submetidos a diferentes períodos de uso agrícola, e estoques da vegetação nativa de campo

Ponto	Prof. (cm)	Início do uso agrícola (ano)	C total (%)	Estoque de C (Mg ha ⁻¹)	Estoque de C (Mg ha ⁻¹) em 0-20cm
1	0 – 10	Campo nativo	4,80	57,12	97,71
	10 – 20		3,30	40,59	
	20 - 30		2,75	33,35	
2	0 – 10	1976	4,05	48,30	84,6
	10 – 20		2,95	36,33	
	20 - 30		2,63	31,93	
3	0 – 10	1965	3,24	38,55	70,8
	10 – 20		2,62	32,25	
	20 - 30		2,36	28,63	
4	0 – 10	2006	4,74	56,37	96,01
	10 – 20		3,22	39,64	
	20 - 30		2,53	30,61	
5	0 – 10	1994	4,21	50,16	84,3
	10 – 20		2,77	34,18	
	20 - 30		2,33	28,24	
6	0 – 10	1994	4,32	51,49	89,6
	10 – 20		3,09	38,10	
	20 - 30		2,19	26,58	
7	0 – 10	Campo nativo	4,60	54,84	95,8
	10 – 20		3,32	40,92	
	20 - 30		2,77	33,53	
8	0 – 10	Campo nativo	5,06	60,18	106,2
	10 – 20		3,74	46,00	
	20 - 30		2,84	34,34	
9	0 – 10	2005	4,89	58,20	100,5
	10 – 20		3,44	42,27	
	20 - 30		2,85	34,46	
10	0 – 10	1965	3,79	45,18	84,73
	10 – 20		3,21	39,55	
	20 - 30		2,69	32,57	
11	0 – 10	1965	4,07	48,55	90,93
	10 – 20		3,44	42,37	
	20 - 30		3,35	40,59	

Apesar de ser desejável um número expressivo de amostras de campo para a estimativa de estoques de COS, sua execução demanda muito tempo e envolve altos custos, visto que para isso normalmente necessita-se de uma amostragem em grade, na qual se coletam pontos de amostras espaçados de acordo com a topografia natural da área, cobertura vegetal e tipo de solo. Com isso, para uma amostragem em grade em Vacaria, seria necessário um

mapeamento mais detalhado do que o já existente dos solos de Vacaria, além de um modelo numérico do terreno gerado a partir de curvas de nível mais detalhadas.

Conforme visto na Tabela 7, os maiores estoques correspondem ao campo nativo e às lavouras com menor tempo de agricultura, devido principalmente a menor perda de COS via decomposição microbiana, lixiviação e pela perda de solo por erosão. Observa-se também nesta Tabela que, via de regra, quanto maior o tempo de exploração agrícola, menores são os estoques de COS encontrados nas lavouras, entretanto, as reduções observadas em Vacaria são menores quando comparadas às regiões de clima mais quente (Tornquist et al., 2009; Bortolon, 2008; Lopes et al., 2008; Bayer et al., 2006), devido ao frio predominante na região que diminui a ação dos microrganismos na decomposição da MOS. Somado a isso, os solos desta região são bastante argilosos, com predominância de óxidos de ferro e de alumínio, os quais possuem alta área superficial específica interagindo, assim, com a MOS e proporcionando-a uma maior proteção física e química à decomposição (Oades, 1989).

Apesar de existir uma aparente homogeneidade quanto às características visíveis na paisagem da região deste estudo, como relevo, tipo de solo e vegetação, o atributo carbono apresentou considerável variabilidade, mesmo dentro de pequenos espaços como as lavouras estudadas do ano de 1965. Estas diferenças podem ser justificadas por diversos fatores que comprovam a variabilidade natural da área, como por exemplo, a presença de uma mancha de solo mais raso disponibilizando, assim, uma menor quantidade de água para as plantas, fazendo com que estas produzam uma menor quantidade de matéria seca o que, conseqüentemente, pode ter diminuído o estoque de COS nestas áreas. Além disto, fatores relacionados ao manejo do solo também podem ter provocado estas diferenças. Machado et al. (2003) em um trabalho em Carambeí, PR, também encontraram uma grande variação nos estoques de carbono, mesmo em pequenas áreas. Estes autores constataram uma variação de 26 a 62 Mg de C ha⁻¹ para a profundidade de 0-20 cm numa lavoura homogênea de 13 ha de produção de grãos (milho, soja e trigo) em plantio direto.

Em síntese, o estoque de COS é uma função de inúmeros fatores bióticos (por exemplo, o tipo de solo e a espécie de planta), e abióticos

(adubação e calagem, entre outros), que interagem entre si. As práticas de manejo e a forma com que estas afetam a dinâmica do carbono orgânico são importantes componentes do sistema que devem ser conduzidos a fim de minimizar as perdas e maximizar as adições de carbono ao solo, permitindo um incremento na qualidade do sistema solo. Deve-se também levar em consideração que sem esta amostragem executada, os estoques atuais e de equilíbrio não estariam disponíveis para a realização da adequada modelagem requerida posteriormente no Century.

6.4. Calibração e validação do modelo Century 4.0

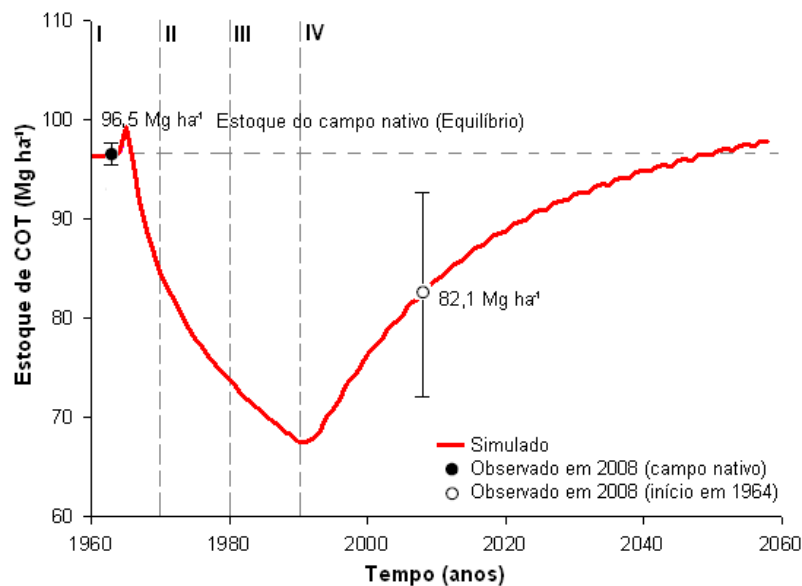
6.4.1. Calibração do modelo

A calibração para as condições de solo e clima da região de Vacaria foi realizada por meio de alterações em alguns parâmetros do modelo Century 4.0, já descritas no item 5.6.3.

Conforme visto na Figura 10, o início da exploração agrícola com o uso de sistema de preparo convencional (PC) ocasionou uma queda brusca nos estoques de COS ao longo dos anos, e isto ocorreu devido, principalmente, ao rompimento do estado estável do solo. Esta queda nos estoques de COS é explicada pelo fato das taxas de perdas de carbono superarem as taxas de adição, devido a maior perda de MOS pela decomposição microbiana (revolvimento do solo) associada à erosão hídrica e a menor adição de resíduos ao solo pela adoção de sistemas sem sucessão e/ou rotação de culturas (Bayer, 1996). Além disto, entre o período de 1970 e 1980 houve a prática de queima da palha do trigo, que teve efeito direto na redução da adição de resíduos culturais ao solo.

Esta queda inicial, proporcionada pela adoção de um sistema não conservacionista associado à menor adição de biomassa pelas culturas foi também verificada em outras regiões simuladas pelo Century no Rio Grande do Sul, com clima e solo diferentes de Vacaria (Tornquist et al. 2009; Bortolon, 2008). Contudo, a recuperação dos estoques de COS com adoção de práticas conservacionistas e a introdução de culturas com maior potencial de produção de biomassa nestas outras regiões não é tão alta quanto a recuperação verificada nas simulações em Vacaria, onde o solo é mais argiloso e o clima mais ameno, proporcionando assim um ambiente mais favorável à manutenção e à recuperação dos estoques de CO por meio da proteção

química e física da matéria orgânica e da menor ação dos microrganismos devido ao clima mais frio. Este sistema com alta adição de resíduos e não revolvimento do solo ao longo do tempo tende a uma estabilização do estoque de COS. Sendo que no caso de Vacaria, por possuir solos naturalmente bastante ácidos e com baixos teores de fósforo, esta estabilização, sob sistemas agrícolas com calagem e adubação, tende a valores acima dos verificados em situação de campo nativo. Situação semelhante já foi verificada a campo por outros autores (Sá et al., 2001; Dieckow et al., 2005) em diferentes tipos de solos, onde se verificou um aumento nos estoques de COS superior ao estoque da vegetação nativa por meio da adoção de lavouras sob plantio direto por diversos anos.



Cenários de manejo do solo

- I - 1965-1970 - PC trigo/pousio
- II - 1971-1980 - PC trigo/soja com queima da palha do trigo
- III - 1981-1990 - PR trigo/soja
- IV - 1991-2058 - PD trigo/soja aveia /soja e aveia/milho

Figura 10. Calibração do modelo Century 4.0 pela simulação da conversão de campo nativo em lavoura no ano de 1964, considerando os diferentes cenários de manejo adotados ao longo dos anos e estoques de COS medidos em 2008 (observados) na camada de 0 a 20 cm associados ao desvio-padrão em relação a média.

As adições de C pelas culturas estimadas pelo modelo Century (Tabela 8) variaram de acordo com os cenários de manejo de solo adotados –

descritos no item 5.6.2. A quantidade média de C adicionado anualmente nos diferentes períodos variou em função dos diferentes sistemas de culturas utilizados em cada período considerado, sendo que a menor adição anual de C ao solo foi de 2,24 Mg ha⁻¹, a qual foi estimada no período de preparo convencional (PC), o que pode ser atribuído ao revolvimento e ao cultivo da sucessão trigo/pousio o que limitou a adição de C ao solo. A maior adição total de C estimada ocorreu no plantio direto (PD), com 5,17 Mg ha⁻¹ano⁻¹ com a sucessão de culturas trigo/soja aveia/soja e aveia/milho. Resultados semelhantes de adições foram obtidos em simulações com Century em outros solos do RS (Tornquist et al., 2009; Bortolon, 2008).

Tabela 8. Adição média de carbono pelas culturas estimada pelo modelo Century 4.0 para os diferentes cenários de manejo de solo adotados

Cenários de manejo do solo	Período	Adição de carbono ¹					média ²
		pousio	milho	trigo	soja	aveia	
		----- Mg ha ⁻¹ -----					Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹
(I) PC trigo/pousio	1965-1970	0,76	-	1,48	-	-	2,24
(II) PC trigo/soja com a queima da palha da trigo	1971-1980	-	-	1,41	1,38	-	2,79
(III) PR trigo/soja	1981-1990	-	-	1,37	1,33	-	2,70
(IV) PD trigo/soja aveia/soja aveia/milho	1991-2008	-	4,72	1,72	2,51	2,10	5,17

¹ Obtido a partir das variáveis de saída do modelo pela soma do C adicionado pela parte aérea (AGLIVC) e raízes (BGLIVC) das culturas descontando-se o C extraído nos grãos (CGRAIN) devido à colheita. ² Média das adições anuais, ponderada pela frequência de participação das culturas na sucessão nos diferentes cenários de manejo adotados.

6.4.2. Validação do modelo

Com o intuito de validar as alterações realizadas no modelo durante a etapa de calibração, o mesmo foi utilizado em outras simulações, modificando apenas o ano de início da exploração agrícola, conforme os cenários de manejo para cada período, verificando com isso a performance do modelo em simular os estoques de COS. É importante ressaltar que os dados escolhidos para a validação foram diferentes dos dados utilizados na simulação de equilíbrio e na calibração, procedimento este que deve ser adotado nesta

etapa (Gomes e Varriale, 2004; Leal, 1996). Os resultados comparando os estoques observados e os simulados constam na Tabela 9.

Tabela 9. Estoques de COS observados e estimados pelo modelo Century 4.0 para o ano 2008 na camada de 0 a 20 cm em lavouras iniciadas em diferentes épocas localizadas em topo em Vacaria – RS

Ano de início da agricultura	Estoques de COS	
	Observado	Simulado
	-----Mg ha ⁻¹ -----	
1976 – 32 anos de lavoura	84,6	87,5
1994 – 14 anos de lavoura	89,6	99,9
2005 – 3 anos de lavoura	100,5	99,3

$r = 0,7$

RMSE = 6,7

Conforme a Tabela 8, os valores simulados e observados resultaram em uma boa correlação, com um valor do coeficiente de correlação de Pearson (r) igual a 0,70.

A coincidência entre os valores medidos e simulados também foi avaliada pelo cálculo de um valor absoluto para a diferença total, expressa como a raiz quadrada do erro médio do modelo (RMSE). O valor da RMSE obtido indica que a diferença entre os valores medidos e simulados foi pequena, visto que quanto menor a raiz menos intensas são as derivas entre os valores estimados e observados (Smith et al., 1997), o que evidencia a potencialidade do modelo em simular a dinâmica do CO nos solos da região de Vacaria sob diferentes sistemas de manejo.

A respeito do ponto intermediário do ano de 1994 (14 anos de agricultura), verifica-se que o valor simulado ficou bem acima do valor observado a campo, o que conseqüentemente teve um efeito direto no resultado dos valores de RMSE e de correlação. Esta diferença pode ser sido devido a uma falha do modelo Century 4.0 já constatada por outros autores (Tornquist et al., 2009; Foereid et al., 2007), o qual não considera os efeitos das alterações de pH do solo. Na condição de campo verificada no ponto do ano de 1994, provavelmente após a calagem, houve um aumento da atividade microbiana inicial a uma taxa maior do que a taxa de produção inicial de biomassa, o qual pode ter afetado os estoques de COS, por um período relativamente curto.

6.5. Generalização das estimativas de estoque de COS gerados pelo modelo Century 4.0

O modelo Century 4.0 calibrado e validado para uma lavoura desde 1965 localizada em topo, conforme descrito no item 5.6, foi executado para todas as unidades de simulação (US) sem qualquer novo ajuste, buscando reproduzir os estoques observados em diferentes períodos de uso agrícola do solo, generalizando, assim, as estimativas dos estoques de COS para toda a região de estudo.

6.5.1. Estoques estimados pelo modelo Century 4.0

As simulações realizadas nas 10 unidades de simulação (Figura 7) tiveram seu início de acordo com o ano de início da atividade agrícola, isto é, a época da retirada da vegetação nativa em cada unidade, e tiveram o seu fim no ano de 2008; sendo após este período realizadas simulações futuras até o ano de 2058. Com isso, os resultados das lavouras iniciadas em 2005 nas duas posições da paisagem simuladas, não serão apresentados neste tópico pelo fato do modelo Century não simular de forma adequada os estoques de COS de um período de tempo tão curto. A elaboração dos cenários de manejo das demais simulações foi feita de acordo com a Tabela 4 citada no item 5.6.2 do Material e Métodos.

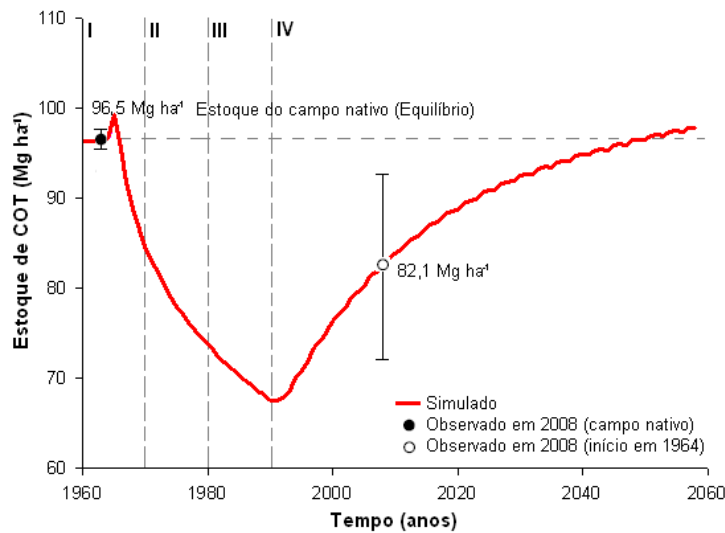
Neste estudo, as diferenças entre a posição dos elementos na paisagem ocorrem unicamente pela variação das taxas de erosão adotadas em cada posição; sendo que estas taxas variaram dentro de cada posição conforme os diferentes cenários adotados. Neste sentido, as diferentes taxas de erosão atribuídas às diferentes posições na paisagem tiveram pequeno impacto na evolução dos estoques de COS nos cenários simulados, ocasionado, conseqüentemente, um comportamento semelhante ao longo do tempo e um resultado final dos estoques de COS parecido entre topo e encosta. Com isto, serão apresentados graficamente apenas os resultados gerados para o topo, pelo fato de todos os pontos de amostragem terem sido coletados nesta posição, evitando, de certa forma, a exibição de resultados muito semelhantes, tornando-os repetitivos. Os estoques de COS do topo e da encosta podem ser visualizados na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10. Estoques de COS (Mg ha^{-1}) estimados pelo Century 4.0 para os anos de 2008 e 2058 para as 10 unidades de simulação de Vacaria - RS

Ano de início da agricultura	Estoque de COS (Mg ha^{-1}) estimado pelo Century 4.0			
	Topo		Encosta	
	Ano de 2008	Ano de 2058	Ano de 2008	Ano de 2058
1964	82,3	97,8	80,0	94,0
1976	87,5	101,5	85,7	98,1
1987	98,7	106,1	97,6	103,0
1996	101,8	107,0	101,1	104,3
2005	99,3	106,6	99,2	104,2

Analisando as Figuras 10, 11 e 12, verifica-se o mesmo comportamento do COS ao longo do tempo, nos quais observa-se uma grande queda nos estoques de COS nos primeiros anos de cultivo, quando comparado com os estoques originais. Este comportamento é explicado pela presença de frações orgânicas com diferentes graus de estabilidade e/ou proteção à decomposição no solo. Sendo assim, logo após a alteração da vegetação nativa para o sistema agrícola (com baixa adição de biomassa e revolvimento do solo), ocorre uma rápida decomposição da fração lábil da MO. As frações orgânicas sofrem também grande influência do preparo convencional, que através do revolvimento do solo, provoca a ruptura dos agregados, expondo as frações que estavam protegidas no interior destes ao ataque microbiano. Após um determinado período de tempo, os compartimentos lábil e protegido estruturalmente tendem a atingir uma nova condição estável, porém bastante inferior à condição original, permanecendo no solo frações orgânicas mais resistentes à decomposição, como aquelas protegidas pela interação com a fração mineral do solo (proteção coloidal). Com isto, a atividade microbiana também é reduzida, aumentando a influência do processo erosivo nas perdas de CO do solo.

Na simulação das lavouras iniciadas 1964 (Figura 11) verifica-se que a maior queda ocorre nos anos sob PC do solo, onde houve uma redução de 30% dos estoques de COS quando comparado com o estoque original. O ano de 1991, que representa a mudança entre os sistemas não conservacionistas



Cenários de manejo do solo

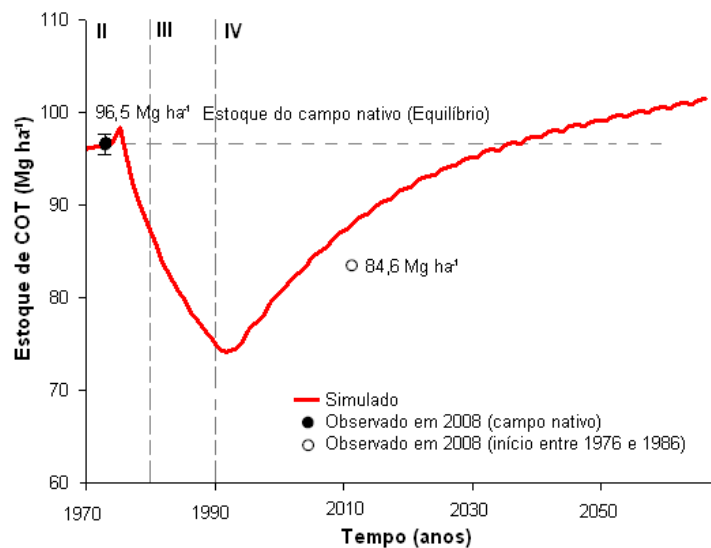
I - 1965-1970 - PC trigo/pousio

II - 1971-1980 - PC trigo/soja com queima da palha do trigo

III - 1981-1990 - PR trigo/soja

IV - 1991-2058 - PD trigo/soja aveia /soja e aveia/milho

Figura 11. Simulação dos estoques de COS para a unidade de simulação localizada em topo com lavoura desde o ano de 1964, em Vacaria, RS.



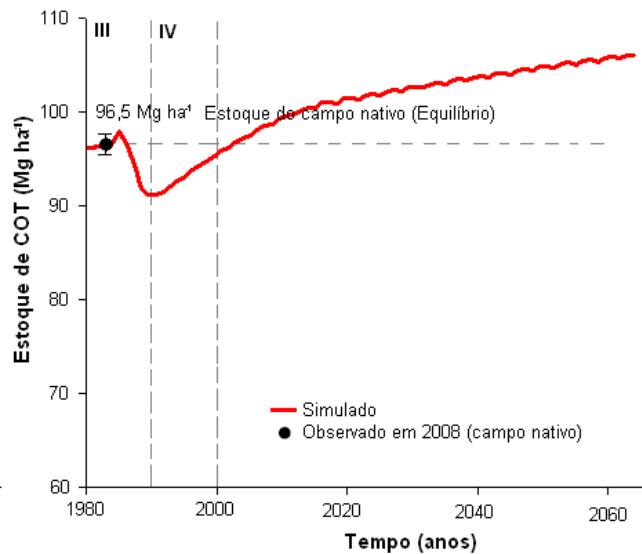
Cenários de manejo do solo

II - 1971-1980 - PC trigo/soja com queima da palha do trigo

III - 1981-1990 - PR trigo/soja

IV - 1991-2058 - PD trigo/soja aveia /soja e aveia/milho

Figura 12. Simulação dos estoques de COS para a unidade de simulação localizada em topo com lavoura desde o ano de 1976, em Vacaria, RS.

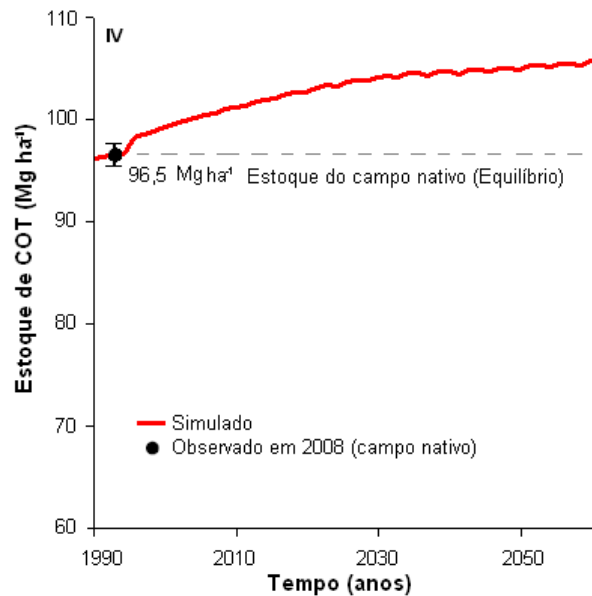


Cenários de manejo do solo

III - 1981-1990 - PR trigo/soja

IV - 1991-2058 - PD trigo/soja aveia /soja e aveia/milho

Figura 13. Simulação dos estoques de COS para a unidade de simulação localizada em topo com lavoura desde o ano de 1987, em Vacaria, RS.



Cenário de manejo do solo

IV - 1991-2058 - PD trigo/soja aveia /soja e aveia/milho

Figura 14. Simulação dos estoques de COS para a unidade de simulação localizada em topo com lavoura desde o ano de 1996, em Vacaria, RS.

utilizados até então e a adoção dos sistemas conservacionistas de preparo do solo, apresentou os menores estoques de COS em todo o período de simulação, e em todas as US, sendo que na US com lavouras desde 1964, o estoque em 1991 chegou a 67,5 Mg ha⁻¹. Já a partir da adoção do sistema de plantio direto (ano de 1992) verifica-se um aumento nos estoques de COS. Entre os anos de 1992 e 2008 há um acréscimo de 18%, e no período de 1992 a 2058 observa-se um acréscimo de 31%, o que representa uma taxa de acúmulo de COS de 0,45 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Nas lavouras iniciadas em 1976 (Figura 12), observa-se uma queda nos estoques de COS quando comparado com o estoque do campo nativo até o ano de 2008, havendo uma recuperação nos estoques apenas nas simulações futuras até 2058, onde ocorre um aumento de 5,1% nos estoques de COS. Do ano de maior queda dos estoques (1991) até o presente (2008) verificou-se um aumento de 15,2% no estoque de COS, e do período de 1992 até 2058 estimou-se um acréscimo de 26,9%, os quais representam uma taxa de acúmulo de 0,41Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e 0,78 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para os períodos de 1992 a 2008 e 1992 a 2058, respectivamente.

Este processo de perda de COS verificado nas lavouras desde 1964 e desde 1976 (Figuras 11 e 12), como já citado anteriormente, ocorre provavelmente devido à adoção do sistema de preparo convencional, o qual proporciona uma maior aeração ao solo, e conseqüentemente uma maior decomposição microbiana da MOS, além de proporcionar uma maior desagregação ao solo, aumentando assim, as perdas por erosão.

A unidade de simulação com lavouras iniciadas em 1987 (Figura 13) apresentou as menores quedas quando comparado com os estoques originais, devido ao menor tempo em que foram submetidas à exploração agrícola, sendo inexistente o período com a adoção de práticas não conservacionistas de preparo do solo nesta unidade. As taxas de acúmulo de COS também não foram tão elevadas quando comparadas às taxas das outras unidades de simulação com lavouras mais antigas, e isso pode ter sido devido ao fato do menor período de exploração agrícola desta unidade quando comparado com as outras unidades de simulação, associado a adoção desde o início de sistemas conservacionistas de preparo e rotação/sucessão de culturas, não havendo assim grandes perdas de COS, e conseqüentemente não sendo

necessária uma grande recuperação dos estoques de COS. As taxas de acúmulo de COS estimadas para esta unidade de simulação foram de 0,44 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ entre os anos de 1992 a 2008, e de 0,22 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para o período entre 1992 a 2058.

Nas lavouras iniciadas a partir de 1996 (Figura 14), que partiram diretamente sob o sistema de plantio direto associado ao uso de culturas que proporcionam alto aporte de biomassa ao solo, não é verificada queda nos estoques de COS ao longo do tempo, ao contrário, verifica-se uma elevação nos estoques quando comparado aos estoques da vegetação original. Esta condição já foi comprovada a campo por alguns autores (Diekow et al., 2005; Sá et al., 2001; Bayer, 1996), os quais verificaram que a adoção do sistema de plantio direto juntamente com culturas com alta produção de biomassa, proporcionou um elevado aporte de CO ao solo, aumentando a qualidade do ambiente em regiões subtropicais. As taxas de acúmulo de COS nesta unidade de simulação foram de 0,43 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para os anos entre 1996 a 2008, e de 0,17 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para o período entre 1996 a 2058.

Em síntese, as taxas de acúmulo de COS após adoção de PD até 2058 ficaram entre 0,17 e 0,45 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, resultando em uma média de 0,31 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. As lavouras mais antigas, desde 1964, que resultaram na taxa de 0,45 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ apresentaram valores bem próximos dos resultados médios obtidos por Bayer et al. (2006) de 0,48 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para solos subtropicais do Brasil. As taxas estimadas para Vacaria também ficaram próximas das taxas estimadas por Tornquist et al. (2009), onde os autores estimaram taxas entre 0,30 a 0,44 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para lavouras com diferentes anos de início de agricultura e sob diferente vegetação original e tipo de solo.

Como pode ser visualizado nas Figuras 13 e 14, e na Tabela 11, os estoques de COS estimados para o ano de 2008 ficaram acima do estoque original do campo nativo em todas as lavouras a partir do ano de 1987, onde os maiores estoques foram verificados nas lavouras iniciadas em 1996, apresentando valores 5,5% a 4,8% superiores aos estoques do campo nativo para topo e encosta, respectivamente. As lavouras mais novas, a partir do ano de 2005, também apresentaram valores de estoques superiores ao da vegetação nativa, porém, não foram superiores aos estoques estimados para as lavouras desde 1996 devido, provavelmente, ao pequeno período de

simulação, no qual, o modelo considera um leve decréscimo proporcionado pelo revolvimento inicial do solo para implantação da agricultura, onde ocorre uma maior ação dos microrganismos na decomposição da MOS, diminuindo por um pequeno período de tempo os estoques de COS, os quais são rapidamente recuperados se adotado um manejo conservacionista do solo.

Bortolon (2008) em simulações realizadas para condições de solo e clima de Ijuí – RS estimou uma grande queda inicial, de aproximadamente 40% do estoque original, em lavouras iniciadas no ano de 1965. Esta queda foi maior do que a verificada para Vacaria, devido provavelmente pelo menor teor de argila presente nos solos de Ijuí, proporcionando uma menor proteção química e física da MOS à decomposição. Além disto, existe a diferença de clima entre as duas regiões. Ijuí é mais quente e menos úmido do que Vacaria. Já Tornquist et al. (2009) nas simulações realizadas em Ibirubá – RS, em lavouras que partiram da condição de campo nativo, iniciadas em 1956 sob Latossolo muito argiloso, obteve 17,6% como a maior queda dos estoques originais de COS. Esta queda foi menor do que a obtida para Vacaria provavelmente pelo fato das taxas de erosão adotadas por Tornquist et al. (2009) serem menores que as taxas adotadas para Vacaria.

6.6. Espacialização dos estoques de COS

Por meio do acoplamento livre (Norgaard, 2004), associaram-se os valores simulados a partir do Century com o Sistema de Informações Geográficas (SIG), gerando assim mapas com informações espacializadas das alterações nos estoques proporcionadas pelas mudanças de uso do solo. Desta forma foi possível visualizar a distribuição dos estoques de COS desde a condição original até os cenários futuros, considerando as mudanças de uso e sistemas de manejo e o efeito da posição na paisagem de forma integrada.

Observando os mapas de estoques de COS na camada de 0 a 20cm (Figuras 15 e 16), é possível fazer uma identificação rápida das áreas mais afetadas, cujos estoques sofreram maiores impactos. Com isso, verifica-se que em geral houve uma grande perda dos estoques de COS nas áreas agrícolas mais antigas, ocorrendo o contrário nas áreas mais novas, onde se verifica uma manutenção ou até aumento nos estoques de COS, quando comparados com os estoques da vegetação nativa. Cabe ressaltar que foi adotada uma única legenda para todos os mapas, onde a variação nos estoques de COS

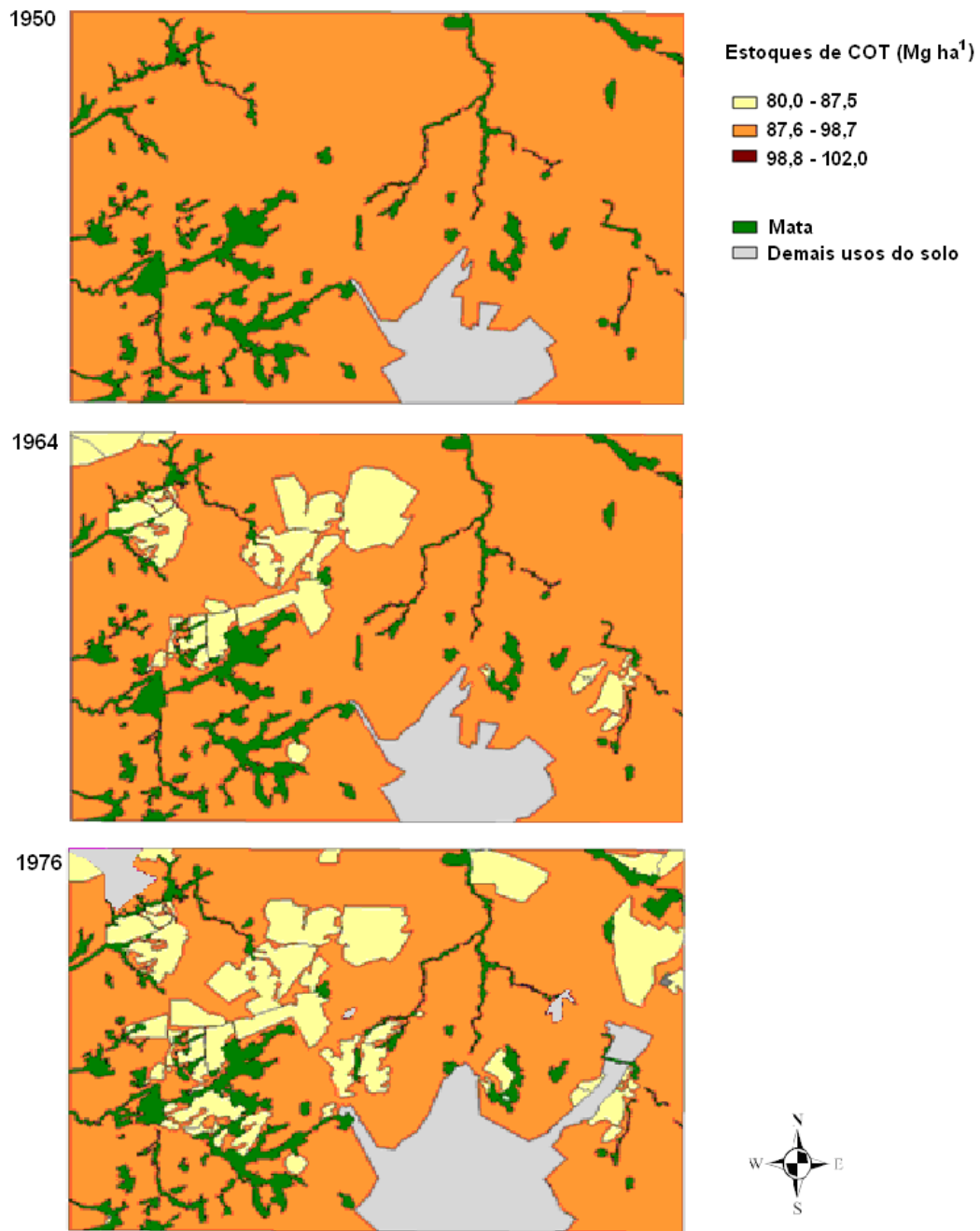


Figura 15. Distribuição espacial dos estoques atuais (ano de 2008) de carbono orgânico dos solos da região de Vacaria, RS, localizados em topo, entre os anos de 1950 (sem exploração agrícola) e 1976 .

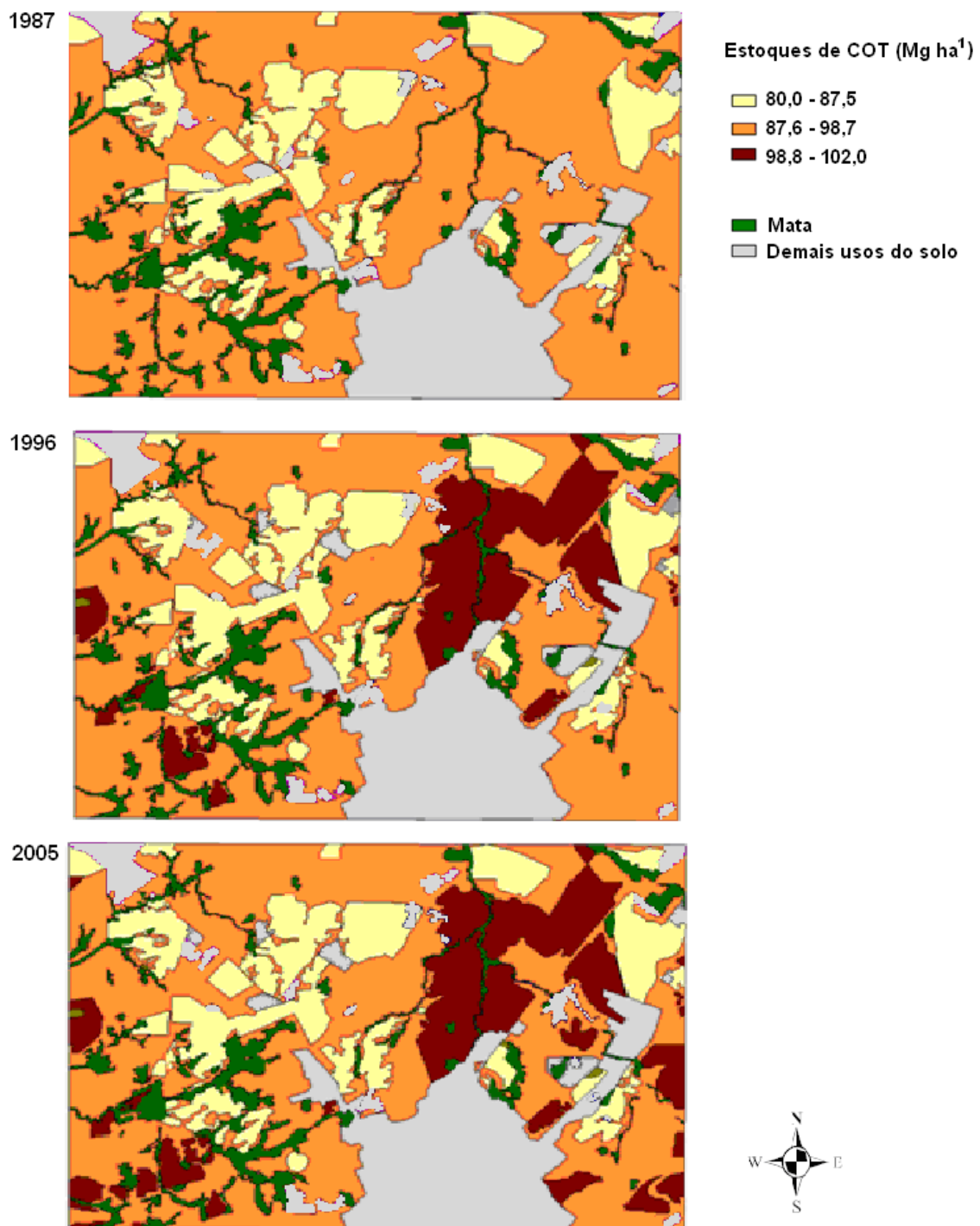


Figura 16. Distribuição espacial dos estoques atuais (ano de 2008) de carbono orgânico dos solos da região de Vacaria, RS, localizados em topo, entre os anos de 1987 e 2005.

(de 1950 a 2058) está contemplada em três classes associadas a uma escala de cores. Isto foi feito para facilitar a interpretação conjunta dos mapas, visto que existem pequenas variações entre os estoques, os quais em todos os períodos apresentou diferenças menores de $2,3 \text{ Mg ha}^{-1}$, independente do tempo de agricultura.

Nos primeiros 23 anos de agricultura (de 1964 a 1987) verifica-se um decréscimo nos estoques de COS de forma generalizada para toda a área agrícola deste estudo. Esta queda está associada a sistemas de preparo com grande revolvimento do solo, e por algum período, com a prática de queima da palha do trigo, ocasionando uma queda ainda maior nos estoques de COS. Após este período inicial, a partir de 1987, verifica-se em algumas lavouras um aumento nos estoques de COS quando comparados aos estoques originais de campo nativo ($96,5 \text{ Mg ha}^{-1}$). Isto ocorreu devido, principalmente, pela adoção de sistemas conservacionistas de preparo do solo associado ao uso de culturas que proporciona um alto aporte de biomassa ao solo. Vale ressaltar que foram adotadas diferentes taxas de erosão nos diferentes períodos, o que certamente contribuiu para a queda nos estoques no período inicial de agricultura, e para o aumento nos estoques no período final, devido ao uso de práticas mais conservacionistas de preparo do solo.

Segundo Siqueira et al. (2008) as maiores perdas de COS devido o uso antrópico geralmente são verificadas em solos cujos estoques originais são maiores. Nestes solos há uma maior dificuldade de se recuperar a condição original, devendo-se para isso manter um fluxo elevado de adição de CO ao solo.

De acordo com o mapa dos estoques espacializados de COS para o ano de 2008 (Figura 17) verifica-se que a grande maioria das áreas agrícolas apresentou um aumento nos estoques de COS quando comparados aos estoques da condição original de campo nativo, sendo os estoques do topo e encosta bem semelhantes.

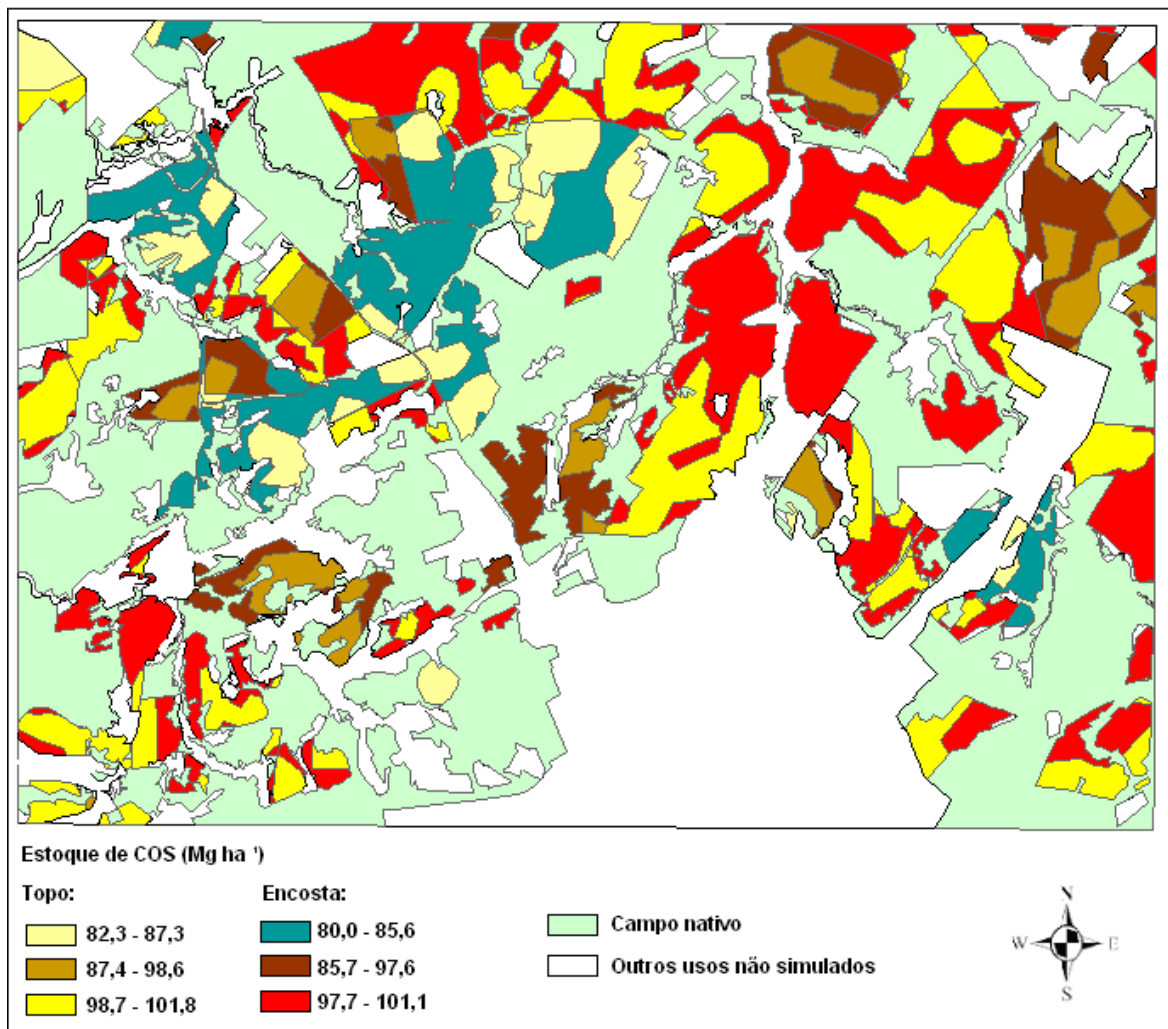


Figura 17. Distribuição espacial dos estoques atuais (ano de 2008) de COS da região deste estudo

Com estes resultados, pode-se confirmar que o uso agrícola do solo baseado em sistemas conservacionistas de preparo do solo, culturas com alta adição de biomassa e fertilização e correção do solo adequadas, proporciona um aumento nos estoques de COS, e conseqüentemente, uma melhora da qualidade do sistema solo.

O mesmo comportamento é verificado nas simulações futuras (Figura 18), porém, como o tempo da adoção do sistema agrícola conservacionista associado a culturas que adicionam alta quantidade de CO ao solo é maior (até o ano de 2058), verifica-se um aumento maior nos estoques de COS quando comparado com a condição de campo nativo. Todas as lavouras localizadas no topo apresentaram estoque de COS acima do verificado para o campo nativo ($96,5 \text{ Mg ha}^{-1}$), sendo o mesmo observado para a maioria das áreas localizadas na encosta.

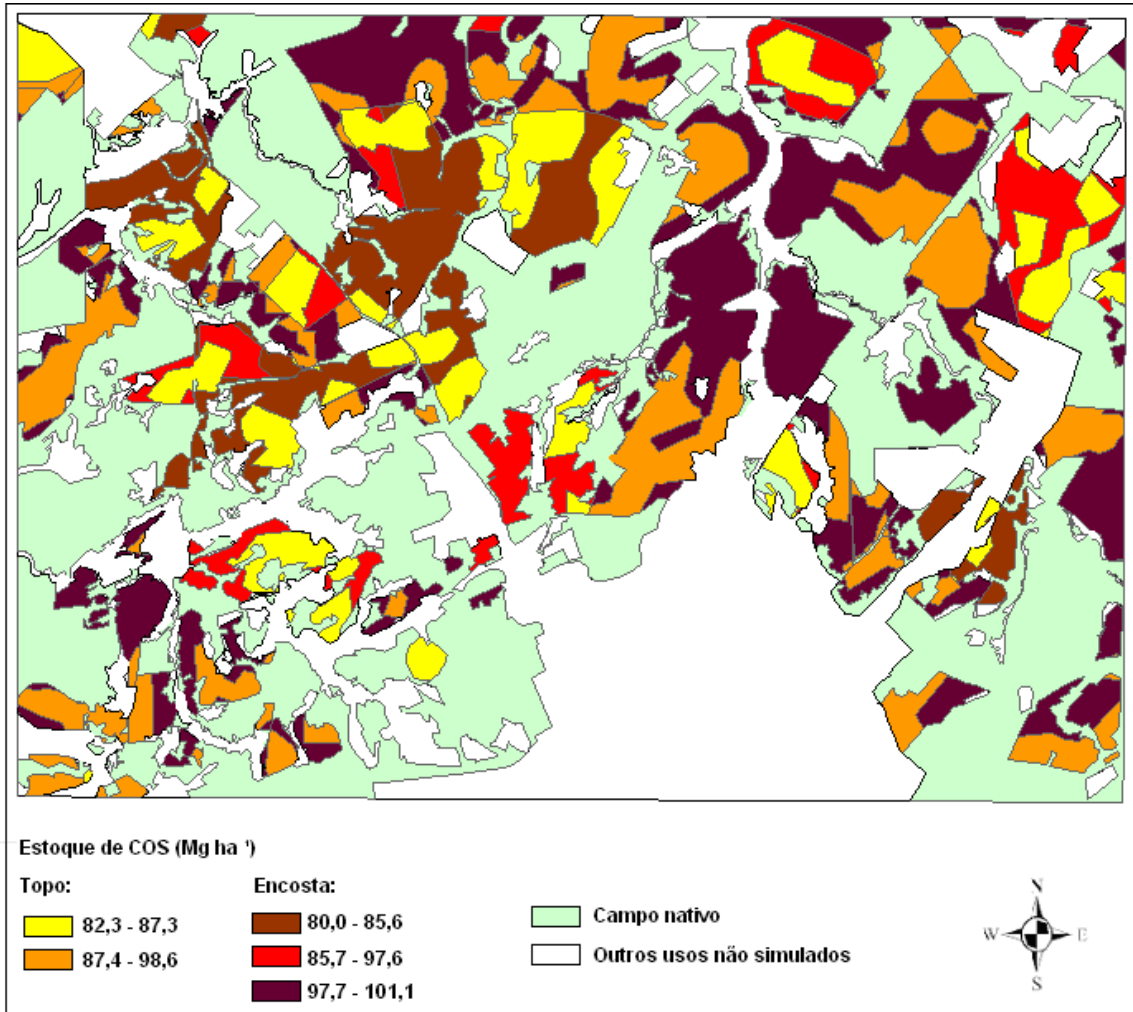


Figura 18. Distribuição espacial dos estoques futuros (ano de 2058) de COS da região deste estudo

Na tabela 11 é possível verificar os estoques de COS atuais e futuros estimados pelo Century. Os maiores aumentos nos estoques entre os anos de 2008 e 2058 ocorreram nas lavouras mais antigas, tanto no topo como na encosta, pelo fato de terem perdido uma maior quantidade de COS ao longo do tempo.

Tabela 11. Estoques atuais e futuros de COS estimados pelo Century 4.0 para a camada de 0 a 20 cm das 10 unidades de simulação, com as respectivas áreas

	Área (ha)	COT 2008 Mg ha ⁻¹	Estoque na área – 2008 (Mg)	COT 2058 Mg ha ⁻¹	Estoque na área – 2058 (Mg)
Topo					
1964	398,0	82,3	32.756,4	97,8	38.917,6
1976	322,6	87,5	28.214,2	101,5	32.730,1
1987	374,2	98,7	36.918,0	106,1	39.683,3
1996	535,8	101,8	54.521,6	107,0	57.339,8
2005	236,7	99,3	23.518,2	106,6	25.236,9
total	1.867,3	469,5	175.928,3	518,9	193.907,7
Encosta					
1964	649,1	80,0	51.905,3	94,0	60.985,6
1976	466,2	85,7	39.970,1	98,1	45.708,8
1987	537,2	97,6	52.421,1	103,0	55.332,4
1996	718,3	101,1	72.631,0	104,3	74.907,9
2005	261,8	99,2	25.962,9	104,2	27.279,8
total	2632,5	463,6	242.890,3	503,5	264.214,4

O estoque total estimado para 2008 para todas as áreas agrícolas foi de 418.818,6 Mg, e o estoque total para o ano de 2058 foi de 458.122,1 Mg, representando um aumento em 50 anos de agricultura de 39.303,50 Mg, o que significa 8,6% de aumento. Resultado semelhante foi encontrado por Bortolon (2008) para solos da região de Ijuí, no Planalto Médio do RS, onde a autora estimou para o cenário atual de manejo do solo um aumento de 5,6% nos estoques de COS em 50 anos.

6.7. Estimativa de emissão e seqüestro de CO₂

O balanço de carbono (C) nos solos depende da quantidade de C adicionado ao solo pelas culturas (responsáveis pela entrada de C na forma de CO₂ por meio da fotossíntese), e da quantidade de C perdida via erosão e via mineralização da matéria orgânica a partir da respiração dos microrganismos do solo, sendo este C perdido na forma de CO₂ (Bayer & Mielniczuk, 2008; Costa et al., 2008 a e b). Observa-se, com isso, a importância de se conhecer a quantidade de C adicionada pelas culturas e a quantidade perdida via erosão e

via respiração microbiana, para com isso saber se o solo está retendo ou liberando C para a atmosfera.

Por meio do modelo Century 4.0 foi possível estimar as adições e perdas anuais de C, e com isso, estimar o balanço de CO₂ nos solos da região deste estudo. As adições de C pelo modelo Century podem ser obtidas de duas maneiras: a partir de estimativas indiretas, por meio da soma das variáveis de saída BGLIVC (C alocado nas raízes) e AGLIVC (C alocado na parte aérea no último mês do ciclo das culturas) subtraídas da variável de saída CGRAIN (C exportado nos grãos pela colheita); e de maneira direta a partir dos valores da variável de saída CINPUT, que representa o total de C adicionado ao solo anualmente. Da forma indireta a biomassa superficial no fim do ciclo de determinada cultura simulada pode ser comparada diretamente com uma medição a campo dos resíduos das culturas efetivamente existentes no final do ciclo. Quanto à forma direta, o CINPUT representa um acumulador que soma as entradas (“inputs”) listadas mês a mês, zerando no final de cada ano. Para esta etapa do trabalho, o método direto foi o escolhido, pois o CINPUT considera a biomassa recebida via compartimentos estruturais e metabólicos, do solo e superfície, transferidos para o compartimento do solo, sendo que o C entra nestes compartimentos por meio dos eventos de adição de resíduos orgânicos no solo (OMAD.100), evento de cultivo (CULT.100), evento de pastejo (GRAZ.100) e evento de colheita (HARV.100). Este detalhamento da definição da variável CINPUT, não disponível no manual do modelo (Metherel et al., 1994), foi fornecido diretamente pelos desenvolvedores do modelo (C. Keough, NREL Colorado State University).

Como já descrito no item 5.8 do Material e Métodos, a quantidade de C perdido anualmente pela respiração microbiana foi obtida pela variável RESP(1), e a quantidade de C perdido anualmente pela erosão foi obtida pela variável SCLOSA, conforme realizado por Bortolon (2008). Assumiu-se também que 20% do C perdido por erosão foi mineralizado pela microbiota do solo e efetivamente perdido para a atmosfera.

Observando a Tabela 12, verifica-se que houve pouca variação nos resultados de adição, de emissão e de perda de C via erosão, entre as diferentes posições na paisagem estudadas (topo e encosta). Considerando estes resultados acumulados, as maiores adições, emissões e perdas de C via

erosão são observadas nas lavouras mais antigas, diminuindo conforme o menor tempo de exploração agrícola.

Analisando a quantidade adicionada em relação à quantidade emitida, nota-se que as adições foram sempre superiores às emissões, o que determina um acúmulo de C no solo, sendo que este acúmulo foi aumentando conforme a redução na intensidade do revolvimento do solo e aumento do aporte de biomassa ao solo a partir dos anos 1980.

Tabela 12. Adição e emissão de C acumulados anualmente, e C acumulado associado à erosão estimados por meio do modelo Century 4.0 para as diferentes unidades de simulação da região de estudo dentro do município de Vacaria, RS

Unidades de simulação	Adição de C acumulada ¹		Emissão de C acumulada ²		C acumulado perdido associado a erosão ³	
	Ano					
	2008	2058	2008	2058	2008	2058
	-----Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----					
Topo						
1964	247,4	632,0	238,3	574,1	404,0	1315,3
1976	206,1	597,3	191,6	536,3	146,6	650,7
1987	152,2	550,8	137,5	490,2	43,2	374,4
1996	102,1	487,0	88,9	437,1	9,8	254,1
Encosta						
1964	244,8	629,8	237,7	570,8	403,7	1314,4
1976	205,5	594,9	190,7	532,9	191,0	874,7
1987	152,1	548,7	137,2	487,4	57,8	524,4
1996	102,1	485,4	88,8	435,0	14,4	369,2

¹ Estimada no modelo Century pela variável de saída CINPUT

² Estimada no modelo Century pela variável de saída RESP(1)

³ Estimado no modelo Century pela variável de saída SCLOSA

Se considerarmos os resultados anuais da adição e emissão de C e do C perdido via erosão (Tabela 12), verifica-se que quanto maior o tempo de exploração agrícola (lavouras desde 1964) menores são as adições de C ao solo, e isto pode ser explicado pelo fato de que estas lavouras mais antigas foram submetidas a um maior revolvimento do solo, entre os anos de 1964 e 1980, por meio do sistema de plantio convencional, além do uso de culturas com menor aporte de C via parte aérea e via raízes. Considerando as emissões, verifica-se que a quantidade emitida para a atmosfera foi proporcional à quantidade de C adicionada, evidenciando a dependência da atividade da microbiota em relação à fonte de C disponível a ser consumida, conforme também observado por Bortolon (2008) e Vezzani (2001). Para o C perdido anualmente via erosão observa-se uma maior perda nas lavouras mais antigas, a qual vai diminuindo conforme o menor tempo de exploração agrícola.

Em síntese, conforme Tabela 13, verifica-se pouca variação nas adições de C anual entre as lavouras iniciadas em 1964 (mais antigas) e as lavouras iniciadas em 1996 (mais novas), e uma variação menor ainda nos resultados de emissão de C. Porém, para os valores de perda anual de C via erosão, verifica-se uma diferença de 8,4 Mg ha⁻¹ entre as lavouras iniciadas entre 1964 e 1996. Isto é devido às maiores taxas de erosão adotadas no período onde se adotou o sistema de plantio convencional, no qual devido ao grande revolvimento do solo associado a pouca cobertura oferecida pelas culturas adotadas na época, proporciona uma maior perda de solo quando comparada às lavouras mais novas, que partiram diretamente sob o sistema de plantio direto com rotação de culturas e com alto aporte de biomassa ao solo. Deve-se chamar a atenção que os resultados das unidades de simulação localizadas na encosta não foram demonstrados na Tabela 13 pelo fato de serem muito semelhantes aos resultados obtidos para as lavouras de topo.

Tabela 13. Adição e emissão de C anual, e C perdido anualmente associado a erosão estimados por meio do modelo Century 4.0 para as unidades de simulação localizadas em topo da região de estudo dentro do município de Vacaria, RS

Unidades de simulação	Adição de C anual ¹		Emissão de C anual ²		C perdido anualmente associado a erosão ³	
	Até 2008	Até 2058	Até 2008	Até 2058	Até 2008	Até 2058
-----Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----						
Topo						
1964	5,6	6,7	5,4	6,1	9,2	14,0
1976	6,4	7,3	6,0	6,7	4,6	7,9
1987	7,2	7,6	6,5	6,8	2,1	5,2
1996	8,5	7,9	7,4	7,1	0,8	4,1

¹ Estimada no modelo Century pela variável de saída CINPUT

² Estimada no modelo Century pela variável de saída RESP(1)

³ Estimado no modelo Century pela variável de saída SCLOSA

A interpretação adequada do balanço de C está associada ao entendimento da dinâmica do C no sistema solo-planta-atmosfera, pois os estoques de COS são determinados pelo balanço anual do C que entra no solo via fotossíntese realizada pelas plantas e o C que sai do solo para atmosfera via decomposição microbiana (Costa et al., 2006). Em geral áreas submetidas ao uso agrícola possuem um balanço negativo de C, devido à redução dos estoques adicionados e o aumento da emissão para a atmosfera proporcionado pelo revolvimento intensivo do solo (Bayer et al, 2000; Vezzani, 2001; Amado et al., 2006). Balanços positivos podem ser alcançados através da adoção de

sistemas conservacionistas de preparo associado ao uso de culturas que proporcionam um alto aporte de biomassa vegetal ao solo. Assim, neste caso, o solo passa a reter (seqüestrar) C atmosférico, aumentando com isso os estoques de CO no solo (Bayer et al., 2000; Lovato et al., 2004; Amado et al., 2006; Costa et al., 2008b).

Neste trabalho, como já citado anteriormente, para determinar o balanço de C, considerou-se que 20% do total perdido por erosão foram decompostos pelos microrganismos e liberados para a atmosfera como CO₂, conforme sugerido por Debarba (2002) e descrito na Equação 3 do item 5.8.

Conforme visto na Tabela 14, verifica-se que até o ano de 2008, as lavouras mais antigas (iniciadas em 1964 e 1976) apresentam balanço negativo tanto para o topo como para a encosta, sendo que a partir de 1987, com a introdução do sistema de preparo reduzido e posteriormente do plantio direto (a partir de 1991), o balanço apresentou-se positivo.

Analisando até o ano de 2058 (estimações futuras), nota-se que em todas as unidades de simulação houve um balanço negativo, ficando ainda mais negativo nas lavouras mais antigas, que foram submetidas ao preparo convencional e ao baixo aporte de biomassa ao solo, sendo que com isso durante todo este período o solo atuou como fonte de CO₂ para a atmosfera. O mesmo foi observado por Bortolon (2008), onde mesmo sob cenários conservacionistas de manejo, o balanço de C foi sempre negativo até o ano de 2050.

Tabela 14. Balanço de C e de CO₂ estimados por meio do modelo Century 4.0 para as diferentes unidades de simulação da região de estudo dentro do Município de Vacaria, RS

Unidades de Simulação	Balanço de C		Balanço de CO ₂	
	Emissão (-) ou sequestro (+)		Emissão (-) ou sequestro (+)	
	Ano		Ano	
	2008	2058	2008	2058
	Mg ha ⁻¹			
Topo				
1964	-71,7	- 205,2	-263,1	-752,9
1976	-14,8	-69,1	-54,4	-253,7
1987	6,1	-14,3	22,2	-52,4
1996	11,2	-0,92	41,3	-3,4
Encosta				
1964	-74,3	-203,8	-272,8	-748,1
1976	-23,4	-112,9	-85,9	-414,5
1987	3,3	-43,6	12,3	-159,9
1996	10,4	-23,4	38,2	-86,0

Quando o balanço de C apresenta taxas de seqüestro ou emissão próximas a zero, como ocorreu nas lavouras desde 1996 localizadas em topo para o ano de 2058, tem-se a indicação de que o solo está tendendo a um novo estado estável. Vezzani (2001) estimou pelo modelo Century 4.0 que após 150 anos de adoção do mesmo sistema de manejo do solo, os fluxos de adição e emissão de C tenderiam a estabilizar, e segundo a autora, isso é justificado pela auto-organização dos sistemas ao longo do tempo.

Os resultados da Tabela 14 apontam uma tendência de diminuição futura das emissões de CO₂, ocorrendo, com isso, um aumento das adições (seqüestro) de carbono no solo ao longo do tempo.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho verificou-se que o uso do modelo Century 4.0, previamente calibrado, associado a técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento possibilita estimar as alterações nos estoques originais de carbono causadas pelo uso agrícola do solo.

As mudanças no uso e manejo dos solos causaram uma redução no conteúdo de carbono ao longo dos anos, sendo que as lavouras com maior tempo de exploração e submetidas ao preparo convencional apresentaram os menores estoques, por outro lado as lavouras mais novas submetidas apenas ao preparo conservacionista apresentaram os maiores estoques de carbono no solo.

Considerando a posição na paisagem, as lavouras localizadas no topo apresentaram os maiores estoques atuais e futuros de carbono no solo.

Conforme os resultados de emissão e adição de carbono no solo, verificou-se que mesmo com a adoção de 50 anos de preparos conservacionistas (2008 a 2058), obtém-se um balanço de CO₂ negativo (emissão). Porém, os resultados apontam uma tendência de diminuição futura destas emissões havendo, com isso, um aumento das adições (seqüestro) de carbono no solo ao longo do tempo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDISCOTT, T.M. Entropy and sustainability. **European Journal Soil Science**, [Exeter, UK], v.46, p.161-168, 1995.

AGAPOMI - Associação gaúcha dos produtores de maçã. [Informações]. Disponível em: <<http://www.agapomi.com.br/historia.php>>. Acesso em: 10 nov. 2009.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B.C.; VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, Stanford, v. 35, p.1599-1607, 2006.

ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, R.C.; STRIEDER, M.L.; FORSTHOFER, E.L. SUHRE, E. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.4, n.1-2, p.27-34, 2003.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pos-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN – NETO, L.; FERNANDES, S. A. 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, 2000.

BAYER, C. Aumento do estoque de matéria orgânica de um Cambissolo Húmico catarinense sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.2, 88-96, 2003.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIEKOW, J.; Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, p.237-244, 2006.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In.:SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.

BARBOSA, F. D. **Vacaria dos Pinhais**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 1978. 247p.

BORTOLON, E. S. O. **Simulação do impacto da agricultura sobre os estoques de carbono orgânico do solo e o balanço de CO₂ regionais integrando o modelo Century e o Sistema de Informações geográficas.** 2008. 185f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul.** Recife, 1973. 431p. (Boletim 30).

CARVALHO, A. P. Conceituação de Latossolo Bruno. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Conceituação sumária de algumas classes de solos recém-reconhecidas nos levantamentos e estudos de correlação do SNLCS.** Rio de Janeiro, 1982. (Circular Técnica, 1).

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. E. F.; GUERRA, M., VIAU, L. V. M. **Perdas de solo por erosão sob chuva natural no solo Santo Ângelo (Latossolo – Roxo distrófico), em diferentes sistemas de manejo do solo:** resultados anuais de pesquisa. Porto Alegre: Secretaria de Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul : INPR, 1980.

COLEMAN, K.; JENKINSON, D.S. RothC 26,3 – a model for the turnover of carbon in soil. In: POLWSON, T. S.; SMITH, P.; SMITH, J. U. (Eds). **Evaluation of soil organic matter using existing long term datasets.** Heidelberg: Springer Verlag, 1996. v.38, p.237-246. (NATO ASI, Series I).

COLEMAN, D.C.; HENDRIX, P. F.; ODUM, E. P. Ecosystem health: an overview. In: HUANG, P. M. (Ed.). **Soil chemistry and ecosystem health.** Madison: Soil Science Society of America, 1998. p. 1-20. (Special Publication, 52)

CRASWELL, E. T.; LEFROY, R. D. B. The role and function of organic matter in tropical soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 61, n. 1/2, p. 7-18, 2001.

CUNHA, G. R. da; MALUF, J. R. T.; HAAS, J. C.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M. **Regionalização climática e suas implicações para o potencial de rendimento de grãos de trigo no Rio Grande do Sul.** Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_bp11.htm>. Acesso em: 30 mar.2009.

DEBARBA, L. **Simulação pelo Modelo Century do Impacto da Agricultura sobre o Estoque de Carbono Orgânico em Solos do Planalto Riograndense.** 2002. 172 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D., P.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.81, p. 87-95, 2005.

DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; FONTES, M.P.F.; KER, J.C.; SCHAEFER, C.E.G.R. Dispersão de latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos

- na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p.765-772, 2003.
- DONIGAN Jr, A.S.; BARNWELL, T.O.; JACKSON, R.B.; PATWARDHAN, A.S.; WEINRICH, K.B.; ROWELL, A.L.; CHINNASWAMY, R.V.; COLE, C.V. **Assessment of alternative management practices and policies affecting carbon in agroecosystems of the Central United States**. Boca Raton: CRC, 1994. 194p.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B., Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison : SSSAJ, 1994. (Publication Number 35). p.3-22.
- DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Palestras...** Rio de Janeiro, 1997. Publicação apresentada em CDROM.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.M. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii: NifTAL, 1989. p. 33-67.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos e análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNPS, 2006. 306p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **[Informações]** Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/noticias/2005/not0506.htm>> Acesso em: 23 jun 2008.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. **Arcview**. Redland, California, 1999.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS 9**. Redland, California, 2003.
- FALLOON, P.D.; SMITH, P. Simulating SOC changes in long-term experiments with ROTHC and Century: model evaluation for regional scale application. **Soil Use and Management**, Cambridge, v. 18, p. 101-111, 2002.
- FELLER, C.; BEARE, N.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropic. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p.69-116, 1997.
- FERNANDES, F. F. **Uso do modelo century no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos do Rio Grande do Sul**. 2002. 157 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

- FERNANDES, J. M. C.; PICININI, E. C. Controlando as doenças de trigo na hora certa. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 3p. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co22.htm>. Acesso em: 10 maio 2008.
- FOEREID, B.; BERTHHRAM, G.T.; MARRIOTT, C.A. The CENTURY model failed to simulate soil organic matter development in an acidic grassland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam v. 78, p.143–153, 2007.
- FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; LAUSCHNER, M. H. et al. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.3, p.399-403, 2001
- FRANZLUEBBERS, A.J.; HANEY, R.L.; HONEYCUTT, M.A. Climatic influences on active fractions of soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.33, p. 1103-1111, 2001.
- FREITAS, P.L.; BLANCANEAUX, P.; GAVINELI, E.; LARRE-LARROUY, M.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 157-170, 2000.
- GREENLAND, D.J; WILD, A; ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics-from myth to complex reality. In: LAL, R. (Ed.) **Myths and science of soils of the tropics**. Madison: ASA: SSSA, 1992. p.17-33.
- GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M.; ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.74, p.367-375, 1994.
- HERINGER, I.; JACQUES, A.V.A. Acumulação de Forragem e Material Morto em Pastagem Nativa sob Distintas Alternativas de Manejo em Relação às Queimadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n.2, 2002.
- INDA, A.V; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; SALTON, J.C.; TONIN, A.T. Variáveis relacionadas à estabilidade dos complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.1301-1307, 2007.
- INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. Seção de Ecologia Agrícola. **Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1989 3v.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2001: the scientific basis**. United Kingdom: Cambridge University, 2001. 881p.
- JØRGENSEN, S.E.; BENDOROCHIO, G. **Fundamentals of ecological modelling**. 3rd ed. New York: Elsevier, 2001. 530p. (Developments in Environmental Modelling, 21).
- KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification I kaolinitic soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 29, p.27-39, 1983.
- LAL, R.; KIMBLE, J.M.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. World soils as a source or sink for radiatively-active soils. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M, LEVINE, E.; STEWART, B.A.(Eds). **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p.1-7.

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.

LEITE, L.,F.; MENDONÇA, E.,S.; MACHADO, P.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 system using the Century model. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p.283-295, 2004.

LOPES, F.; MERTEN, G.H.;MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C.G.; OLIVEIRA, E.S. Simulação da dinâmica do carbono do solo numa microbacia rural pelo modelo Century. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.6, p.745-753, 2008.

LOVATO, T. **Dinâmica do Carbono e Nitrogênio do Solo afetada por Preparos do Solo, Sistemas de Cultura e Adubo Nitrogenado**. 2001. 133 f. 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**, Viçosa, v. 28, p.175-187, 2004.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; VALENCIA, L. I. O.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G.; MADARI, B.; MEIRELLES, M. S. P. **Estoque de Carbono de Solo sob plantio direto de grãos: variabilidade espacial em lavoura**. Rio de Janeiro. EMBRAPA. CNPS, 2003. 25p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 25).

METHEREL, A.K.; HARVING, L.A.; COLE, C.V.; PARTON, W.J. **Century: Soil Organic Matter Model Environmental**. Technical Documentation Agrossystem Version 4.0. Fort Collins: USDA-ARS, 1994. 123p. (Great Plains System Research Unit. Technical Report, 4).

MIELNICZUK, J., Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F. A.de O.(eds) Fundamentos da matéria orgânica do solo. **Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.1-8.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BESAN, F.M.; LOVATO, T.; FERNÁNDEZ, F.F. ; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURTI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. ; ALVAREZ, V.H.(Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: SPARKS, D. L.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSON, C. T.; SUMNER, M. E. (eds.). Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.961-1110. (Book series, 5)

OADES, J.M. An introduction to organic matter in mineral soils. In: DIXON, J.B; WEED, S.B. (Eds). **Mineral in soil environments**. 2 ed. Madison: Soil Science Society América, 1989

OLIVEIRA, E.S. **Uso do modelo Century no estudo da dinâmica do nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul**. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

PARSHOTAM, A.; TATE, K.R.; GILTRAP, D.J.; Potential effects of climate and land-use change on soil carbon and CO₂ emissions from New Zealand's indigenous forest and unimproved grassland. **Weather and Climate**, Wellington, v. 15, p. 3-12, 1996.

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 América**, Madison, v. 51, p. 1173-1179, 1987.

PÖTTER, R.O. **Caracterização dos Solos da região dos Campos de Cima da Serra-RS**. 1977. 176 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1977.

PRIGOGINE, I; STENGERS, I. **A Nova Aliança: metamorfose da ciência**. Brasília: Editora UnB, 1991.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **A nova aliança**. 3. ed. Brasília: UnB, 1997.

RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro : Fundação Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, 1986.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E.J.; Disruptions of soil aggregates by varied amounts of ultrasonic energy fractionations of organic matter of a clay latosol: carbon, nitrogen and C13 distributions in particle-size fractions. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 51, p.445-454, 2000.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.70, p.107-119, 2003.

ROSCOE, R.; BODDEY, R.M.; SALTON, J.C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In.: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**. Dourados: Embrapa, 2006. p. 17-42.

RÜCKERT, A., A. **Reforma do Estado e tendências de reestruturação territorial. Cenários contemporâneos no Rio Grande do Sul**. 2001. 662f. Tese (Doutorado - Geografia Humana) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SÁ, J.C.M; CERRI, C.C; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE-FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for tillage chronosequence in Brazilian Oxisol. **Soil Science Society Of America Journal**, Madison, v.65, p. 1486-1499, 2001.

SHAFFER, M.J.; MA, L.; HANSEN, S. Introduction to simulation of carbon and nitrogen dynamic in soils. In: SHAFFER, M.J.; MA, L.; HANSEN, S. (Eds) **Modeling Carbon and Nitrogen Dynamic for Soil Management**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2001. p. 1-10.

SILVA, J.E.; LEMAINKI, J.; RESCK, D.V.S.; Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca de cátions em solos da região de

- cerrado do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 541-547, 1994.
- SILVA, L.M.V.; PASQUAL, A. Dinâmica da matéria orgânica do solo com ênfase ao ecossistema tropical. **Energia na Agricultura**, Botucatu, n.3, v.14, p.13-24, 1999.
- SMITH, P.; SMITH, J.U.; POWLSON, D.S.; MCGILL, W.B.; ARAH, J.R.M.; CHERTOV, O.G.; COLEMAN, K.; FROLKING, S.; JENKINSON, D.S.; JENSEN, L.S.; KELLY, R.H.; KLEIN-GUNNEWIEK, H.; KOMAROV, A.S.; MOLINA, J.A.E.; MUELER, T.; PARTON, W.J.; THORNLEY, J.H.M.; WHITMORE, A.P. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. **Geoderma**, Amsterdam, v. 81, p.153-225, 1997.
- SPOSITO, G. **The Chemistry of Soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 277p.
- STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry: genesis, composition, reactions**. 2 ed. New York: John Wiley, 1994. 496p.
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**, 2.ed. Porto Alegre : Emater/RS-Ascar, 2008. 222p.
- THENG, B.K.G; TATE, K.R.; SOLLINS, P. Constituents of Organic Matter in temperate and tropical soil. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii: NifTAL, 1989. p. 5-32.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.33, n.2, p.141-163, 1982.
- TORNQUIST, C.G.; GASSMAN, P,W.; MIELNICZUK, J.; GIASSON, E.; CAMPBELL, T. Spatially explicit simulations of soil C dynamics in Southern Brazil: Integrating Century and GIS with i-Century. **Geoderma**. Amsterdam, v.150. p. 404-414, 2009
- VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre ,2001.
- WÜNSCHE, W.A.; DENARDIN, J.E. **Conservação e manejo dos solos**. I. Planalto Riograndense. Considerações finais. Passo Fundo: Embrapa, 1980. 20p. (Circular técnica, 2).
- ZECH, W.; HAUMAIER, L.; KÖGEL-KNABNER, I. Changes in aromaticity and carbon distribution of soil organic matter due to pedogenesis. **The science of the total environment**, Amsterdam, v. 81, p. 179-186, 1989.
- ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, J.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p.117-161, 1997, Special Issue.

8. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Perfil descrito do Latossolo Bruno aluminoférrico típico – UM Vacaria

Características gerais

São solos medianamente profundos a profundos, argilosos e de coloração brunada. São ácidos com teor de alumínio elevado, teores de matéria orgânica médios e altos e quimicamente pobres. Ocupam 464.000 há (1,7 % da área do estado do RS).

Variações e inclusões	Limitações ao uso agrícola	Classe de aptidão
Cambissolos	Fertilidade – forte	2 (b) c ou 2'' ab (c)
Neossolos litólicos	Falta d'água – nula	A – f, c
Gleissolos	Excesso d'água – nula	B – f, c
Afloramento de rochas	Erosão – ligeira	C – f, e, c
Espessura do perfil	Mecanização - ligeira	

Perfil: RS 15 (perfil descrito na VI RCC, EMBRAPA – CNPS)

Localização: Estrada Vacaria para Bom Jesus a 550 metros além da entrada para a Unidade do Centro de Uva e Vinho da Embrapa, barranco do lado direito.

Situação: Terço superior de encosta com 5% de declive.

Altitude: Aproximadamente 900 metros.

Relevo: Suave ondulado.

Material de origem: Rochas ácidas da Formação da Serra Geral.

Drenagem: Bem drenado.

Cobertura primária: Campo subtropical.

Descrição morfológica

- Ap 0-11cm; Bruno escuro (10YR 3/3, úmido); argila; moderada pequena granular e moderada média blocos subangulares; muito poroso, macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso transição clara e plana.
- AB 11-37cm; Bruno amarelo escuro (10YR 3/4, úmido); argila pesada fraca média blocos subangulares e moderada média; granular, poroso; duro; friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- BA 37-54cm; Bruno a Bruno escuro (7,5 YR 4/4, úmido); argila pesada; fraca média blocos subangulares; revestimento fosco, comum nas superfícies verticais; muito poroso; duro; friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

- Bw 54-90cm; Bruno forte (7,5 YR 4/6, úmido); argila pesada; fraca média blocos angulares e subangulares com aspecto de maciça pouco coerente; revestimento fosco e fraco só nas fendas verticais; poroso; duro; friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- BC 90-135cm; Bruno forte (7,5 YR 4/5, úmido) mosqueado comum grande, e proeminente, preto (N 1, úmido), Bruno avermelhado (5 YR 4/4, úmido); argila; macia; pouco coerente; pouco poroso; friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.
- C1 135-200 cm; vermelho amarelado (5 YR 4/8, úmido) e na transição com o BC, Bruno amarelado escuro (10 YR 4/4, úmido); mosqueado abundante; médio e distinto; Bruno amarelado (10 YR 5/6, úmido) e comum médio proeminente preto (N 2/, úmido); fraco; friável a firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição abrupta.
- C2 100-235cm; Bruno amarelado (7,5 YR 5/2, úmido); mosqueado distinto preto (N 5/2, úmido).

Dados analíticos

Símbolo	Horizonte Profundidade (cm)	Amostras seca ao ar (%)			pH		Equivalente de umidade
		Calhaus > 20mm	Cascalhos 20-2 mm	Terra fina < 2mm	Água	KCl	
Ap	0-11	0	1	99	4,7	3,7	34
AB	11-37	0	0	100	4,2	3,7	32
BA	37-54	0	1	99	4,5	3,8	36
Bw	54-90	0	1	99	4,8	3,9	37
BC	90-135	0	5	95	5,4	4,2	35
C1	135-200	0	1	99	5,2	3,8	45
C2	200-235	4	1	95	5,3	3,9	44

Ataque por H ₂ SO ₄ (%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	P (mg L ⁻¹)
22,4	19,1	17,8	3,49	0,17	0,15	1,99	1,25	1,68	2,0
21,6	19,0	18,3	3,28	0,18	-	1,93	1,20	1,63	2,0
25,2	22,6	18,5	3,85	0,15	-	1,90	1,25	1,92	1,0
25,9	22,6	19,5	3,33	0,13	0,17	1,95	1,26	1,82	1,0
24,4	21,5	21,4	3,11	0,14	-	1,93	1,17	1,54	1,0
29,5	23,3	24,2	3,15	0,28	-	2,15	1,29	1,51	1,0
26,4	22,1	28,1	3,61	0,37	-	2,03	1,12	1,23	1,0

Complexo sortivo (cmol _c kg ⁻¹)									
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	CTC pH 7	V (%)	Al (%)
1,6	1,0	0,17	0,05	2,8	4,2	10,0	17,0	16	60
1,0	0,4	0,09	0,03	1,5	4,8	9,4	15,7	10	76
0,6	0,6	0,03	0,04	1,3	5,1	7,3	13,7	9	80
0,5	0,5	0,03	0,04	0,6	5,2	2,0	8,3	13	83
0,4	0,4	0,02	0,04	1,1	1,2	5,5	7,5	11	58
0,7	0,6	0,03	0,08	1,4	7,6	5,0	14,0	10	84
1,6	1,0	0,05	0,12	2,8	6,5	5,4	14,7	9	70

C g kg ¹	N g kg ¹	C/ N	Composição granulométrica g kg ¹					Argila dispersa g kg ¹	Grau de flocula ção %	Silte/A rgila
			Areia grossa (2-0,20 mm)	Areia fina (0,20- 0,05mm)	Silte (0,05- 0,002mm)	Argila (<0,002 mm)				
29,0	2,2	13	50	40	320	590	110	81	0,54	
13,9	1,9	13	40	30	300	630	100	84	0,47	
16,5	1,2	14	50	20	200	730	90	88	0,27	
6,7	0,9	7	30	30	210	730	110	85	0,29	
2,7	0,4	7	160	110	240	490	10	98	0,48	
1,1	0,2	6	220	100	190	190	0	100	2,58	
1,3	0,2	7	270	190	410	130	0	100	3,15	

APÊNDICE 2. Taxas anuais de erosão para Vacaria - RS utilizadas nos diferentes cenários de simulação conforme as duas posições na paisagem simuladas no modelo Century 4.0

Cenários (períodos)	Posição na paisagem	
	Topo	Encosta
	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	
(I) 1951 – 1970 Preparo convencional	6,0*	8,0
(II) 1971 – 1980 Preparo convencional	6,0*	8,0
(III) 1981 – 1990 Preparo reduzido	4,0*	5,0
(IV) 1991 – 2058 Plantio direto	1,5*	2,25

* conforme Debarba, 2002

APÊNDICE 3. Parâmetros do campo nativo de Vacaria criado no arquivo CROP.100 do modelo Century 4.0 utilizado nas simulações

Nome: CNVAC

Descrição: Campos de Cima da Serra – LBr

prdx:	488			
	N	P	S	
pramn (*,1):	40	390	340	
pramn (*,2):	90	390	340	
pramx (*,1):	30	440	440	
pramn (*,2):	95	440	440	
efrgrn:	0	0	0	
crprt:	0	0	0	
CO2ICE				
(1,1,*):	1	1	1	
CO2ICE				
(1,2,*):	1	1	1	
biok5:	60			
Pltmrf:	1			
fulcan:	100			
frtc:	0.1	0.3	2	
biomax:	400			
flign (*,1):	0.02	0.0012		
flign (*,2):	0.26	-0.0015		
himax:	0.02			
hiwsf:	0			
himon:	2	1		
vlossp:	0.15			
fsdeth:	0.2	0.95	0.2	150
fallrt:	0.15			
rdr:	0.05			
rtdtmp:	2			
✓ bioflag				
ppdf:	30	45	1	2.5
snfxmx:	0.00055			
del13c:	-15			
co2ipr:	1			
co2itr:	0.77			
co2irs:	1			

APÊNDICE 4. Parâmetros do arquivo acessório CULT.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações

A - Efeito adicional de cultivo	1.00000	CLTEFF(4)
0.00000	CULTRA(1)	
0.00000	CULTRA(2)	
0.00000	CULTRA(3)	
0.00000	CULTRA(4)	
0.00000	CULTRA(5)	
0.00000	CULTRA(6)	
0.00000	CULTRA(7)	
4.00000	CLTEFF(1)	
4.00000	CLTEFF(2)	
4.00000	CLTEFF(3)	
4.00000	CLTEFF(4)	
CHISL – Escarificador e grade no Preparo Reduzido		
0.50000	CULTRA(1)	
0.30000	CULTRA(2)	
0.40000	CULTRA(3)	
0.30000	CULTRA(4)	
0.30000	CULTRA(5)	
0.30000	CULTRA(6)	
0.70000	CULTRA(7)	
1.10000	CLTEFF(1)	
1.30000	CLTEFF(2)	
1.30000	CLTEFF(3)	
1.10000	CLTEFF(4)	
CVTIL Preparo Convencional		
0.00000	CULTRA(1)	
0.10000	CULTRA(2)	
0.90000	CULTRA(3)	
0.10000	CULTRA(4)	
0.90000	CULTRA(5)	
0.90000	CULTRA(6)	
1.00000	CULTRA(7)	
1.80000	CLTEFF(1)	
3.20000	CLTEFF(2)	
3.20000	CLTEFF(3)	
1.80000	CLTEFF(4)	
DDEC - Diminuição do efeito da decomposição		
1.10000	CLTEFF(4)	
0.00000	CULTRA(1)	
0.00000	CULTRA(2)	
0.00000	CULTRA(3)	
0.00000	CULTRA(4)	
0.00000	CULTRA(5)	
0.00000	CULTRA(6)	
0.00000	CULTRA(7)	
1.00000	CLTEFF(1)	
1.80000	CLTEFF(2)	
1.80000	CLTEFF(3)	
HERB - Herbicida		
1.00000	CULTRA(1)	
0.00000	CULTRA(2)	
0.00000	CULTRA(3)	
0.00000	CULTRA(4)	
0.00000	CULTRA(5)	
0.00000	CULTRA(6)	
1.00000	CULTRA(7)	
1.00000	CLTEFF(1)	
1.00000	CLTEFF(2)	
1.00000	CLTEFF(3)	
1.00000	CLTEFF(4)	
NTIL - Plantio direto		
0.00000	CULTRA(1)	
0.00000	CULTRA(2)	
0.00000	CULTRA(3)	
0.05000	CULTRA(4)	
0.05000	CULTRA(5)	
0.05000	CULTRA(6)	
0.10000	CULTRA(7)	
1.10000	CLTEFF(1)	
1.10000	CLTEFF(2)	
1.10000	CLTEFF(3)	

Nota: os parâmetros em negrito tiveram os valores alterados em relação ao valor original (padrão) do modelo

0.06000	FLIGNI(1,2)	390.00000	PRBMN(2,1)
0.00000	FLIGNI(2,2)	340.00000	PRBMN(3,1)
0.05000	HIMAX	0.00000	PRBMN(1,2)
0.00000	HIWSF	0.00000	PRBMN(2,2)
3.00000	HIMON(1)	0.00000	PRBMN(3,2)
1.00000	HIMON(2)	28.00000	PRBMX(1,1)
0.00000	EFRGRN(1)	420.00000	PRBMX(2,1)
0.00000	EFRGRN(2)	0.00000	PRBMX(3,1)
0.00000	EFRGRN(3)	0.00000	PRBMX(1,2)
0.15000	VLOSSP	0.00000	PRBMX(2,2)
0.20000	FSDETH(1)	0.00000	PRBMX(3,2)
0.95000	FSDETH(2)	0.12000	FLIGNI(1,1)
0.20000	FSDETH(3)	0.00000	FLIGNI(2,1)
150.00000	FSDETH(4)	0.06000	FLIGNI(1,2)
0.18000	FALLRT	0.00000	FLIGNI(2,2)
0.05000	RDR	0.50000	HIMAX
2.00000	RTDTMP	0.20000	HIWSF
0.00000	CRPRTF(1)	2.00000	HIMON(1)
0.00000	CRPRTF(2)	1.00000	HIMON(2)
0.00000	CRPRTF(3)	0.67000	EFRGRN(1)
0.00000	SNFXMX(1)	0.60000	EFRGRN(2)
-18.00000	DEL13C	0.60000	EFRGRN(3)
1.07500	CO2IPR(1)	0.04000	VLOSSP
0.77000	CO2ITR(1)	0.00000	FSDETH(1)
1.00000	CO2ICE(1,1,1)	0.00000	FSDETH(2)
1.00000	CO2ICE(1,1,2)	0.00000	FSDETH(3)
1.00000	CO2ICE(1,1,3)	500.00000	FSDETH(4)
1.07500	CO2ICE(1,2,1)	0.10000	FALLRT
1.00000	CO2ICE(1,2,2)	0.05000	RDR
1.00000	CO2ICE(1,2,3)	2.00000	RTDTMP
1.00000	CO2IRS(1)	0.00000	CRPRTF(1)

SYBN2 - Soja

175.00000	PRDX(1)
27.00000	PPDF(1)
40.00000	PPDF(2)
1.00000	PPDF(3)
2.50000	PPDF(4)
0.00000	BIOFLG
1800.00000	BIOK5
0.50000	PLTMRF
150.00000	FULCAN
0.50000	FRTC(1)
0.01000	FRTC(2)
3.00000	FRTC(3)
800.00000	BIOMAX
10.00000	PRAMN(1,1)
150.00000	PRAMN(2,1)
190.00000	PRAMN(3,1)
40.00000	PRAMN(1,2)
150.00000	PRAMN(2,2)
150.00000	PRAMN(3,2)
15.00000	PRAMX(1,1)
230.00000	PRAMX(2,1)
230.00000	PRAMX(3,1)
45.00000	PRAMX(1,2)
230.00000	PRAMX(2,2)
230.00000	PRAMX(3,2)
24.00000	PRBMN(1,1)

0.00000	PRBMN(1,2)
0.00000	PRBMN(2,2)
0.00000	PRBMN(3,2)
28.00000	PRBMX(1,1)
420.00000	PRBMX(2,1)
0.00000	PRBMX(3,1)
0.00000	PRBMX(1,2)
0.00000	PRBMX(2,2)
0.00000	PRBMX(3,2)
0.12000	FLIGNI(1,1)
0.00000	FLIGNI(2,1)
0.06000	FLIGNI(1,2)
0.00000	FLIGNI(2,2)
0.50000	HIMAX
0.20000	HIWSF
2.00000	HIMON(1)
1.00000	HIMON(2)
0.67000	EFRGRN(1)
0.60000	EFRGRN(2)
0.60000	EFRGRN(3)
0.04000	VLOSSP
0.00000	FSDETH(1)
0.00000	FSDETH(2)
0.00000	FSDETH(3)
500.00000	FSDETH(4)
0.10000	FALLRT
0.05000	RDR
2.00000	RTDTMP
0.00000	CRPRTF(1)
0.00000	CRPRTF(2)
0.00000	CRPRTF(3)
0.03750	SNFXMX(1)
-27.00000	DEL13C
1.30000	CO2IPR(1)
0.77000	CO2ITR(1)
1.00000	CO2ICE(1,1,1)
1.00000	CO2ICE(1,1,2)
1.00000	CO2ICE(1,1,3)
1.30000	CO2ICE(1,2,1)
1.00000	CO2ICE(1,2,2)
1.00000	CO2ICE(1,2,3)
1.00000	CO2IRS(1)

SYBN3 Soja médio potencial de rendimento

195.00000	PRDX(1)
27.00000	PPDF(1)
40.00000	PPDF(2)
1.00000	PPDF(3)
2.50000	PPDF(4)
0.00000	BIOFLG
1800.00000	BIOK5
0.50000	PLTMRF
150.00000	FULCAN
0.50000	FRTC(1)
0.01000	FRTC(2)
3.00000	FRTC(3)

continua....

		SYBN4 – alto potencial de rendimiento	
800.00000	BIOMAX	200.00000	PRDX(1)
10.00000	PRAMN(1,1)	27.00000	PPDF(1)
150.00000	PRAMN(2,1)	40.00000	PPDF(2)
190.00000	PRAMN(3,1)	1.00000	PPDF(3)
40.00000	PRAMN(1,2)	2.50000	PPDF(4)
150.00000	PRAMN(2,2)	0.00000	BIOFLG
150.00000	PRAMN(3,2)	1800.00000	BIOK5
15.00000	PRAMX(1,1)	0.50000	PLTMRP
230.00000	PRAMX(2,1)	150.00000	FULCAN
230.00000	PRAMX(3,1)	0.50000	FRTC(1)
45.00000	PRAMX(1,2)	0.20000	FRTC(2)
230.00000	PRAMX(2,2)	3.00000	FRTC(3)
230.00000	PRAMX(3,2)	800.00000	BIOMAX
24.00000	PRBMN(1,1)	10.00000	PRAMN(1,1)
390.00000	PRBMN(2,1)	150.00000	PRAMN(2,1)
340.00000	PRBMN(3,1)	190.00000	PRAMN(3,1)
0.00000	PRBMN(1,2)	40.00000	PRAMN(1,2)
0.00000	PRBMN(2,2)	150.00000	PRAMN(2,2)
0.00000	PRBMN(3,2)	150.00000	PRAMN(3,2)
28.00000	PRBMX(1,1)	15.00000	PRAMX(1,1)
420.00000	PRBMX(2,1)	230.00000	PRAMX(2,1)
0.00000	PRBMX(3,1)	230.00000	PRAMX(3,1)
0.00000	PRBMX(1,2)	45.00000	PRAMX(1,2)
0.00000	PRBMX(2,2)	230.00000	PRAMX(2,2)
0.00000	PRBMX(3,2)	230.00000	PRAMX(3,2)
0.12000	FLIGNI(1,1)	24.00000	PRBMN(1,1)
0.00000	FLIGNI(2,1)	390.00000	PRBMN(2,1)
0.06000	FLIGNI(1,2)	340.00000	PRBMN(3,1)
0.00000	FLIGNI(2,2)	0.00000	PRBMN(1,2)
0.30000	HIMAX	0.00000	PRBMN(2,2)
0.70000	HIWSF	0.00000	PRBMN(3,2)
2.00000	HIMON(1)	28.00000	PRBMX(1,1)
1.00000	HIMON(2)	420.00000	PRBMX(2,1)
0.67000	EFRGRN(1)	0.00000	PRBMX(3,1)
0.60000	EFRGRN(2)	0.00000	PRBMX(1,2)
0.60000	EFRGRN(3)	0.00000	PRBMX(2,2)
0.04000	VLOSSP	0.00000	PRBMX(3,2)
0.00000	FSDETH(1)	0.12000	FLIGNI(1,1)
0.00000	FSDETH(2)	0.00000	FLIGNI(2,1)
0.00000	FSDETH(3)	0.06000	FLIGNI(1,2)
500.00000	FSDETH(4)	0.00000	FLIGNI(2,2)
0.10000	FALLRT	0.40000	HIMAX
0.05000	RDR	0.70000	HIWSF
2.00000	RTDTMP	2.00000	HIMON(1)
0.00000	CRPRTF(1)	1.00000	HIMON(2)
0.00000	CRPRTF(2)	0.67000	EFRGRN(1)
0.00000	CRPRTF(3)	0.60000	EFRGRN(2)
0.03750	SNFXMX(1)	0.60000	EFRGRN(3)
-27.00000	DEL13C	0.04000	VLOSSP
1.30000	CO2IPR(1)	0.00000	FSDETH(1)
0.77000	CO2ITR(1)	0.00000	FSDETH(2)
1.00000	CO2ICE(1,1,1)	0.00000	FSDETH(3)
1.00000	CO2ICE(1,1,2)	500.00000	FSDETH(4)
1.00000	CO2ICE(1,1,3)	0.10000	FALLRT
1.30000	CO2ICE(1,2,1)	0.05000	RDR
1.00000	CO2ICE(1,2,2)	2.00000	RTDTMP
1.00000	CO2ICE(1,2,3)	0.00000	CRPRTF(1)
1.00000	CO2IRS(1)	0.00000	CRPRTF(2)

continua....

0.00000	CRPRTF(3)	1.00000	HIMON(2)
0.02500	SNFXMX(1)	0.60000	EFRGRN(1)
-27.00000	DEL13C	0.60000	EFRGRN(2)
1.30000	CO2IPR(1)	0.60000	EFRGRN(3)
0.77000	CO2ITR(1)	0.04000	VLOSSP
1.00000	CO2ICE(1,1,1)	0.00000	FSDETH(1)
1.00000	CO2ICE(1,1,2)	0.00000	FSDETH(2)
1.00000	CO2ICE(1,1,3)	0.00000	FSDETH(3)
1.30000	CO2ICE(1,2,1)	200.00000	FSDETH(4)
1.00000	CO2ICE(1,2,2)	0.10000	FALLRT
1.00000	CO2ICE(1,2,3)	0.05000	RDR
1.00000	CO2IRS(1)	2.00000	RTDTMP
1.00000		0.00000	CRPRTF(1)
		0.00000	CRPRTF(2)
		0.00000	CRPRTF(3)
		0.00000	SNFXMX(1)

W0.5 – Trigo baixo potencial de rendimento

170.00000	PRDX(1)
18.00000	PPDF(1)
35.00000	PPDF(2)
0.70000	PPDF(3)
5.00000	PPDF(4)
0.00000	BIOFLG
1800.00000	BIOK5
0.40000	PLTMRF
250.00000	FULCAN
0.55000	FRTC(1)
0.15000	FRTC(2)
2.00000	FRTC(3)
600.00000	BIOMAX
40.00000	PRAMN(1,1)
100.00000	PRAMN(2,1)
100.00000	PRAMN(3,1)
80.00000	PRAMN(1,2)
160.00000	PRAMN(2,2)
200.00000	PRAMN(3,2)
40.00000	PRAMX(1,1)
200.00000	PRAMX(2,1)
230.00000	PRAMX(3,1)
160.00000	PRAMX(1,2)
260.00000	PRAMX(2,2)
270.00000	PRAMX(3,2)
45.00000	PRBMN(1,1)
390.00000	PRBMN(2,1)
340.00000	PRBMN(3,1)
0.00000	PRBMN(1,2)
0.00000	PRBMN(2,2)
0.00000	PRBMN(3,2)
60.00000	PRBMX(1,1)
420.00000	PRBMX(2,1)
0.00000	PRBMX(3,1)
0.00000	PRBMX(1,2)
0.00000	PRBMX(2,2)
0.00000	PRBMX(3,2)
0.12000	FLIGNI(1,1)
0.00000	FLIGNI(2,1)
0.06000	FLIGNI(1,2)
0.00000	FLIGNI(2,2)
0.39000	HIMAX
0.70000	HIWSF
2.00000	HIMON(1)

1.00000	HIMON(2)
0.60000	EFRGRN(1)
0.60000	EFRGRN(2)
0.60000	EFRGRN(3)
0.04000	VLOSSP
0.00000	FSDETH(1)
0.00000	FSDETH(2)
0.00000	FSDETH(3)
200.00000	FSDETH(4)
0.10000	FALLRT
0.05000	RDR
2.00000	RTDTMP
0.00000	CRPRTF(1)
0.00000	CRPRTF(2)
0.00000	CRPRTF(3)
0.00000	SNFXMX(1)
-27.00000	DEL13C
1.30000	CO2IPR(1)
0.77000	CO2ITR(1)
1.00000	CO2ICE(1,1,1)
1.00000	CO2ICE(1,1,2)
1.00000	CO2ICE(1,1,3)
1.30000	CO2ICE(1,2,1)
1.00000	CO2ICE(1,2,2)
1.00000	CO2ICE(1,2,3)
1.00000	CO2IRS(1)

W1 – Trigo médio potencial de rendimento

240.00000	PRDX(1)
18.00000	PPDF(1)
35.00000	PPDF(2)
0.70000	PPDF(3)
5.00000	PPDF(4)
0.00000	BIOFLG
1800.00000	BIOK5
0.40000	PLTMRF
250.00000	FULCAN
0.50000	FRTC(1)
0.20000	FRTC(2)
2.00000	FRTC(3)
600.00000	BIOMAX
20.00000	PRAMN(1,1)
100.00000	PRAMN(2,1)
100.00000	PRAMN(3,1)
80.00000	PRAMN(1,2)
160.00000	PRAMN(2,2)
200.00000	PRAMN(3,2)
40.00000	PRAMX(1,1)
200.00000	PRAMX(2,1)
230.00000	PRAMX(3,1)
160.00000	PRAMX(1,2)
260.00000	PRAMX(2,2)
270.00000	PRAMX(3,2)
45.00000	PRBMN(1,1)
390.00000	PRBMN(2,1)
340.00000	PRBMN(3,1)
0.00000	PRBMN(1,2)
0.00000	PRBMN(2,2)

continua....

35.00000 PPDF(2)
 2.00000 PPDF(3)
 4.00000 PPDF(4)
 0.00000 BIOFLG
 1800.00000 BLOK5
 0.40000 PLTMRF
 150.00000 FULCAN
 0.65000 FRTC(1)
 0.10000 FRTC(2)
 2.00000 FRTC(3)
 300.00000 BIOMAX
 40.00000 PRAMN(1,1)
 100.00000 PRAMN(2,1)
 100.00000 PRAMN(3,1)
 80.00000 PRAMN(1,2)
 160.00000 PRAMN(2,2)
 200.00000 PRAMN(3,2)
 40.00000 PRAMX(1,1)
 200.00000 PRAMX(2,1)
 230.00000 PRAMX(3,1)
 160.00000 PRAMX(1,2)
 260.00000 PRAMX(2,2)
 270.00000 PRAMX(3,2)
 45.00000 PRBMN(1,1)
 390.00000 PRBMN(2,1)
 340.00000 PRBMN(3,1)
 0.00000 PRBMN(1,2)
 0.00000 PRBMN(2,2)
 0.00000 PRBMN(3,2)
 60.00000 PRBMX(1,1)
 420.00000 PRBMX(2,1)
 0.00000 PRBMX(3,1)
 0.00000 PRBMX(1,2)
 0.00000 PRBMX(2,2)
 0.00000 PRBMX(3,2)
 0.12000 FLIGNI(1,1)
 0.00000 FLIGNI(2,1)
 0.08000 FLIGNI(1,2)
 0.00000 FLIGNI(2,2)
 0.05000 HIMAX
 0.00000 HIWSF
 2.00000 HIMON(1)
 1.00000 HIMON(2)
 0.50000 EFRGRN(1)
 0.60000 EFRGRN(2)
 0.60000 EFRGRN(3)
 0.04000 VLOSSP
 0.00000 FSDETH(1)
 0.00000 FSDETH(2)
 0.00000 FSDETH(3)
 200.00000 FSDETH(4)
 0.10000 FALLRT
 0.05000 RDR
 2.00000 RTDTMP
 0.00000 CRPRTF(1)
 0.00000 CRPRTF(2)
 0.00000 CRPRTF(3)
 0.00000 SNFXMX(1)
 -27.00000 DEL13C
 1.30000 CO2IPR(1)

0.77000 CO2ITR(1)
 1.00000 CO2ICE(1,1,1)
 1.00000 CO2ICE(1,1,2)
 1.00000 CO2ICE(1,1,3)
 1.30000 CO2ICE(1,2,1)
 1.00000 CO2ICE(1,2,2)
 1.00000 CO2ICE(1,2,3)
 1.00000 CO2IRS(1)

C4 – Milho alto potencial de rendimento

590.00000 PRDX(1)
 30.00000 PPDF(1)
 45.00000 PPDF(2)
 1.00000 PPDF(3)
 2.50000 PPDF(4)
 0.00000 BIOFLG
 1800.00000 BLOK5
 0.20000 PLTMRF
 150.00000 FULCAN
 0.50000 FRTC(1)
 0.20000 FRTC(2)
 3.00000 FRTC(3)
 700.00000 BIOMAX
 40.00000 PRAMN(1,1)
 150.00000 PRAMN(2,1)
 190.00000 PRAMN(3,1)
 62.50000 PRAMN(1,2)
 150.00000 PRAMN(2,2)
 150.00000 PRAMN(3,2)
 40.00000 PRAMX(1,1)
 230.00000 PRAMX(2,1)
 230.00000 PRAMX(3,1)
 125.00000 PRAMX(1,2)
 230.00000 PRAMX(2,2)
 230.00000 PRAMX(3,2)
 45.00000 PRBMN(1,1)
 390.00000 PRBMN(2,1)
 340.00000 PRBMN(3,1)
 0.00000 PRBMN(1,2)
 0.00000 PRBMN(2,2)
 0.00000 PRBMN(3,2)
 60.00000 PRBMX(1,1)
 420.00000 PRBMX(2,1)
 0.00000 PRBMX(3,1)
 0.00000 PRBMX(1,2)
 0.00000 PRBMX(2,2)
 0.00000 PRBMX(3,2)
 0.12000 FLIGNI(1,1)
 0.00000 FLIGNI(2,1)
 0.06000 FLIGNI(1,2)
 0.00000 FLIGNI(2,2)
 0.65000 HIMAX
 0.50000 HIWSF
 2.00000 HIMON(1)
 1.00000 HIMON(2)
 0.75000 EFRGRN(1)
 0.60000 EFRGRN(2)
 0.60000 EFRGRN(3)
 0.04000 VLOSSP

continua....

0.00000	FSDETH(1)	1.00000	CO2ICE(1,1,3)
0.00000	FSDETH(2)	1.00000	CO2ICE(1,2,1)
0.00000	FSDETH(3)	1.00000	CO2ICE(1,2,2)
500.00000	FSDETH(4)	1.00000	CO2ICE(1,2,3)
0.10000	FALLRT	1.00000	CO2IRS(1)
0.05000	RDR		
2.00000	RTDTMP		
0.00000	CRPRTF(1)		
0.00000	CRPRTF(2)		
0.00000	CRPRTF(3)		
0.00000	SNFXMX(1)		
-15.00000	DEL13C		
1.00000	CO2IPR(1)		
0.77000	CO2ITR(1)		
1.00000	CO2ICE(1,1,1)		
1.00000	CO2ICE(1,1,2)		

APÊNDICE 6. Parâmetros do arquivo FIX.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações

X	Fixed_values	15.00000	DAMRMN(1)	0.40000	LHZF(2)
15.00000	ADEP(1)	150.00000	DAMMN(2)	0.80000	LHZF(3)
15.00000	ADEP(2)	150.00000	DAMRMN(3)	18.00000	MINLCH
15.00000	ADEP(3)	3.90000	DEC1(1)	0.00000	NSNFI
15.00000	ADEP(4)	4.90000	DEC1(2)	4.00000	NTSPM
30.00000	ADEP(5)	14.80000	DEC2(1)	0.03000	OMLECH(1)
30.00000	ADEP(6)	18.50000	DEC2(2)	0.12000	OMLECH(2)
0.00000	ADEP(7)	6.00000	DEC3(1)	60.00000	OMLECH(3)
0.00000	ADEP(8)	7.30000	DEC3(2)	0.60000	P1CO2A(1)
0.00000	ADEP(9)	0.00450	DEC4	0.17000	P1CO2A(2)
0.00000	ADEP(10)	0.20000	DEC5	0.00000	P1CO2B(1)
-40.00000	AGPPA	5.00000	DECK5	0.68000	P1CO2B(2)
7.70000	AGPPB	-4.00000	DLIGDF	0.55000	P2CO2
1.50000	ANEREF(1)	0.99900	DRESP	0.55000	P3CO2
3.00000	ANEREF(2)	0.20000	EDEPTH	100.00000	PABRES
0.30000	ANEREF(3)	0.40000	ELITST	16.00000	PCEMIC(1,1)
5.00000	ANIMPT	2.00000	ENRICH	200.00000	PCEMIC(1,2)
0.97725	AWTL(1)	0.60000	FAVAIL(1)	150.00000	PCEMIC(1,3)
0.99934	AWTL(2)	0.50000	FAVAIL(3)	10.00000	PCEMIC(2,1)
0.99956	AWTL(3)	0.20000	FAVAIL(4)	99.00000	PCEMIC(2,2)
0.99967	AWTL(4)	0.40000	FAVAIL(5)	50.00000	PCEMIC(2,3)
0.99978	AWTL(5)	2.00000	FAVAIL(6)	0.02000	PCEMIC(3,1)
0.99978	AWTL(6)	0.20000	FLEACH(1)	0.00150	PCEMIC(3,2)
0.00000	AWTL(7)	0.70000	FLEACH(2)	0.00150	PCEMIC(3,3)
0.00000	AWTL(8)	1.00000	FLEACH(3)	0.25000	PEFTXA
0.00000	AWTL(9)	0.00000	FLEACH(4)	0.75000	PEFTXB
0.00000	AWTL(10)	0.10000	FLEACH(5)	6.00000	PHESP(1)
100.00000	BGPPA	0.80000	FWLOSS(1)	0.00080	PHESP(2)
7.00000	BGPPB	0.80000	FWLOSS(2)	7.60000	PHESP(3)
350.00000	CO2PPM(1)	0.65000	FWLOSS(3)	0.01500	PHESP(4)
640.00000	CO2PPM(2)	0.75000	FWLOSS(4)	3.00000	PLIGST(1)
1	CO2RMP	-0.12500	FXMCA	3.00000	PLIGST(2)
0.00000	DAMR(1,1)	0.00500	FXMCB	0.55000	PMCO2(1)
0.00000	DAMR(1,2)	0.35000	FXMXS	0.55000	PMCO2(2)
0.01000	DAMR(1,3)	7.00000	FXNPB	0.00000	PMNSEC(1)
0.02000	DAMR(2,1)	0.00000	GREMB	0.00000	PMNSEC(2)
0.02000	DAMR(2,2)	1	IDEF	2.00000	PMNSEC(3)
0.04000	DAMR(2,3)	0.20000	LHZF(1)		continua....

0.00400	PMNTMP	500.00000	RCESTR(2)	50.00000	VARAT1(2,3)
600.00000	PMXBIO	500.00000	RCESTR(3)	2.00000	VARAT1(3,3)
-0.00350	PMXTMP	0.01500	RICTRL	20.00000	VARAT2(1,1)
0.00000	PPARMN(1)	0.80000	RIINT	12.00000	VARAT2(2,1)
0.00010	PPARMN(2)	0.30000	RSPLIG	2.00000	VARAT2(3,1)
0.00050	PPARMN(3)	-1.00000	SEED	400.00000	VARAT2(1,2)
0.00000	PPRPTS(1)	0.85000	SPL(1)	100.00000	VARAT2(2,2)
1.00000	PPRPTS(2)	0.01300	SPL(2)	2.00000	VARAT2(3,2)
0.80000	PPRPTS(3)	5000.00000	STRMAX(1)	400.00000	VARAT2(1,3)
0.45000	PS1CO2(1)	5000.00000	STRMAX(2)	100.00000	VARAT2(2,3)
0.55000	PS1CO2(2)	1.00000	TEXEPP(1)	2.00000	VARAT2(3,3)
0.00300	PS1S3(1)	0.70000	TEXEPP(2)	10.00000	VARAT3(1,1)
0.05000	PS1S3(2)	0.00010	TEXEPP(3)	8.00000	VARAT3(2,1)
0.00300	PS2S3(1)	0.00016	TEXEPP(4)	3.00000	VARAT3(3,1)
0.01200	PS2S3(2)	2.00000	TEXEPP(5)	200.00000	VARAT3(1,2)
0.00000	PSECMN(1)	1.00000	TEXESP(1)	50.00000	VARAT3(2,2)
0.00220	PSECMN(2)	0.00400	TEXESP(3)	2.00000	VARAT3(3,2)
0.20000	PSECMN(3)	0.00000	TEFF(1)	200.00000	VARAT3(1,3)
0.00000	PSECOC	0.12500	TEFF(2)	50.00000	VARAT3(2,3)
12.00000	RAD1P(1,1)	0.07000	TEFF(3)	2.00000	VARAT3(3,3)
3.00000	RAD1P(2,1)	-8.00000	TMELT(1)	0.05000	VLOSSE
5.00000	RAD1P(3,1)	4.00000	TMELT(2)	0.01300	VLOSSG
220.00000	RAD1P(1,2)	18.00000	VARAT1(1,1)		
5.00000	RAD1P(2,2)	5.00000	VARAT1(2,1)		
100.00000	RAD1P(3,2)	2.00000	VARAT1(3,1)		
220.00000	RAD1P(1,3)	150.00000	VARAT1(1,2)		
5.00000	RAD1P(2,3)	30.00000	VARAT1(2,2)		
100.00000	RAD1P(3,3)	2.00000	VARAT1(3,2)		
150.00000	RCESTR(1)	200.00000	VARAT1(1,3)		

Nota: Os parâmetros em negrito tiveram seu valor modificado nas simulações em relação ao padrão do Century.

APÊNDICE 7. Parâmetros do arquivo SITE.100 do modelo Century
4.0 utilizados nas simulações

*** Variáveis de clima -	14.80000	TMN2M(1)	0.30000	BASEF
Vacaria (RS)	14.70000	TMN2M(2)	0.60000	STORMF
12.50000	PRECIP(1)	13.50000	TMN2M(3)	0
				SWFLAG
11.80000	PRECIP(2)	10.40000	TMN2M(4)	0.12000
11.40000	PRECIP(3)	7.60000	TMN2M(5)	0.12000
9.70000	PRECIP(4)	6.20000	TMN2M(6)	0.12000
10.50000	PRECIP(5)	5.70000	TMN2M(7)	0.34000
14.10000	PRECIP(6)	6.70000	TMN2M(8)	0.34000
13.70000	PRECIP(7)	8.30000	TMN2M(9)	0.34000
15.00000	PRECIP(8)	9.80000	TMN2M(10)	0.00000
15.80000	PRECIP(9)	11.30000	TMN2M(11)	0.00000
13.60000	PRECIP(10)	13.30000	TMN2M(12)	0.00000
9.30000	PRECIP(11)	26.80000	TMX2M(1)	0.00000
12.00000	PRECIP(12)	26.40000	TMX2M(2)	0.33000
0.00000	PRCSTD(1)	24.80000	TMX2M(3)	0.33000
0.00000	PRCSTD(2)	21.90000	TMX2M(4)	0.33000
0.00000	PRCSTD(3)	19.10000	TMX2M(5)	0.55000
0.00000	PRCSTD(4)	17.20000	TMX2M(6)	0.55000
0.00000	PRCSTD(5)	17.20000	TMX2M(7)	0.55000
0.00000	PRCSTD(6)	18.50000	TMX2M(8)	0.00000
0.00000	PRCSTD(7)	19.50000	TMX2M(9)	0.00000
0.00000	PRCSTD(8)	21.90000	TMX2M(10)	0.00000
0.00000	PRCSTD(9)	24.30000	TMX2M(11)	0.00000
0.00000	PRCSTD(10)	26.50000	TMX2M(12)	4.50000
0.00000	PRCSTD(11)			1.00000
0.00000	PRCSTD(12)	*** Variáveis de controle e	100.00000	SORPMX
0.00000	PRCSKW(1)	local		*** Variáveis de entrada
0.00000	PRCSKW(2)	0.00000	IVAUTO	externa de nutrientes
0.00000	PRCSKW(3)	1.00000	NELEM	0.70000
0.00000	PRCSKW(4)	-28.00000	SITLAT	0.00000
0.00000	PRCSKW(5)	-53.00000	SITLNG	0.30000
0.00000	PRCSKW(6)	0.04000	SAND	0.01900
0.00000	PRCSKW(7)	0.19000	SILT	0.00000
0.00000	PRCSKW(8)	0.77000	CLAY	0.00000
0.00000	PRCSKW(9)	1.20000	BULKD	0.00000
0.00000	PRCSKW(10)	6	NLAYER	*** Variáveis iniciais para
0.00000	PRCSKW(11)	4	NLAYPG	a material orgânica
0.00000	PRCSKW(12)	1.00000	DRAIN	continua....

1.00000	SOM1CI(1,1)	1.00000	AGLIVE(3)	0.00000	MINERL(2,3)
0.00000	SOM1CI(1,2)	1.00000	BGLCIS(1)	0.00000	MINERL(3,3)
1.00000	SOM1CI(2,1)	0.00000	BGLCIS(2)	0.00000	MINERL(4,3)
0.00000	SOM1CI(2,2)	1.00000	BGLIVE(1)	0.00000	MINERL(5,3)
1.00000	SOM2CI(1)	1.00000	BGLIVE(2)	0.00000	MINERL(6,3)
0.00000	SOM2CI(2)	1.00000	BGLIVE(3)	0.00000	MINERL(7,3)
1.00000	SOM3CI(1)	1.00000	STDCIS(1)	0.00000	MINERL(8,3)
0.00000	SOM3CI(2)	0.00000	STDCIS(2)	0.00000	MINERL(9,3)
27.00000	RCES1(1,1)	1.00000	STDEDE(1)	0.00000	MINERL(10,3)
0.00000	RCES1(1,2)	1.00000	STDEDE(2)	1.00000	PARENT(1)
0.00000	RCES1(1,3)	1.00000	STDEDE(3)	1.00000	PARENT(2)
15.00000	RCES1(2,1)	***	Variáveis minerais	1.00000	PARENT(3)
0.00000	RCES1(2,2)	iniciais		1.00000	SECNDY(1)
0.00000	RCES1(2,3)	0.61133	MINERL(1,1)	1.00000	SECNDY(2)
38.00000	RCES2(1)	0.01749	MINERL(2,1)	1.00000	SECNDY(3)
0.00000	RCES2(2)	0.00458	MINERL(3,1)	0.00000	OCCLUD
0.00000	RCES2(3)	0.00180	MINERL(4,1)	***	Variáveis iniciais para
18.00000	RCES3(1)	0.00077	MINERL(5,1)	a água	
0.00000	RCES3(2)	0.00032	MINERL(6,1)	0.97552	RWCF(1)
0.00000	RCES3(3)	0.00000	MINERL(7,1)	0.97497	RWCF(2)
1.00000	CLITTR(1,1)	0.00000	MINERL(8,1)	0.97497	RWCF(3)
0.00000	CLITTR(1,2)	0.00000	MINERL(9,1)	0.97496	RWCF(4)
1.00000	CLITTR(2,1)	0.00000	MINERL(10,1)	0.97496	RWCF(5)
0.00000	CLITTR(2,2)	0.00000	MINERL(1,2)	0.97496	RWCF(6)
142.00000	RCELIT(1,1)	0.00000	MINERL(2,2)	0.00000	RWCF(7)
0.00000	RCELIT(1,2)	0.00000	MINERL(3,2)	0.00000	RWCF(8)
0.00000	RCELIT(1,3)	0.00000	MINERL(4,2)	0.00000	RWCF(9)
142.00000	RCELIT(2,1)	0.00000	MINERL(5,2)	0.00000	RWCF(10)
0.00000	RCELIT(2,2)	0.00000	MINERL(6,2)	0.00000	SNLQ
0.00000	RCELIT(2,3)	0.00000	MINERL(7,2)	0.00000	SNOW
1.00000	AGLCIS(1)	0.00000	MINERL(8,2)		
0.00000	AGLCIS(2)	0.00000	MINERL(9,2)		
1.00000	AGLIVE(1)	0.00000	MINERL(10,2)		
1.00000	AGLIVE(2)	0.00000	MINERL(1,3)		

Nota: parâmetros em negrito tiveram o seu valor modificado do padrão do Century.

APÊNDICE 8. Parâmetros do arquivo FERT.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações

N3 – Nitrogênio 3 gN/m²
3.00000 FERAMT(1)
0.00000 FERAMT(2)
0.00000 FERAMT(3)
0.00000 AUFERT

N3.5 – Nitrogênio 3,5 gN/m²
3.50000 FERAMT(1)
0.00000 FERAMT(2)
0.00000 FERAMT(3)
0.00000 AUFERT

N4 – Nitrogênio 4 gN/m²
4.00000 FERAMT(1)
0.00000 FERAMT(2)
0.00000 FERAMT(3)
0.00000 AUFERT

N5 - Nitrogênio – 5 gN/m²
5.00000 FERAMT(1)
0.00000 FERAMT(2)
0.00000 FERAMT(3)
0.00000 AUFERT

N7.5 - Nitrogênio 7,5 gN/m²
7.50000 FERAMT(1)
0.00000 FERAMT(2)
0.00000 FERAMT(3)
0.00000 AUFERT

APÊNDICE 9. Parâmetros do arquivo HARV.100 do modelo
Century 4.0 utilizados nas simulações

G GRAIN - grain removal only
0.00000 AGLREM
0.00000 BGLREM
1 FLGHRV
0.00000 RMVSTR
0.20000 REMWSD
0.00000 HIBG

APÊNDICE 10. Parâmetros do arquivo FIRE.100 do modelo
Century 4.0 utilizados nas simulações

M Medium
0.70000 FLFREM
0.70000 FDFREM(1)
0.30000 FDFREM(2)
0.20000 FRET(1)
1.00000 FRET(2)
1.00000 FRET(3)
0.20000 FRTSH
10.00000 FNUE(1)
30.00000 FNUE(2)

APÊNDICE 11. Organização do arquivo “*.SCH” utilizado pelo modelo Century 4.0 referentes a lavouras de topo iniciadas em 1964

0 Starting year
 6158 Last year
 icsite.100 Site file name
 0 Labeling type
 0 Labeling year
 -1 Microcosm
 -1 CO2 Systems
 1 Initial system
 CNVAC Initial Crop

Year Month Option

1 Block # CAMPO EQUILÍBRIO 0 A 1963
 6063 Last year
 06 Repeats # years
 0 Output starting year
 1 Output Month
 0.08330 Output interval
 M Weather choice
 1 01 GRAZ GL 01 CROP CNVAC 02 GRAZ GL 03 GRAZ GL 04 GRAZ GL 05 GRAZ GL 06
 1 GRAZ GL 07 GRAZ GL 08 LAST 09 FRST 09 GRAZ GL 10 GRAZ GL 11 GRAZ GL 12
 1 GRAZ GL
 2 CROP CNVAC 01 GRAZ GL 02 GRAZ GL 03 GRAZ GL 04 GRAZ GL 05 GRAZ GL 06
 2 GRAZ GL 07 GRAZ GL 08 LAST 09 FRST 02 09 GRAZ GL 02 10 GRAZ GL 02 11 GRAZ
 2 GL 02 12 GRAZ GL
 3 01 GRAZ GL 01 CROP CNVAC 02 GRAZ GL 03 GRAZ GL 04 GRAZ GL
 3 05 GRAZ GL 06 GRAZ GL 07 GRAZ GL 08 LAST 09 FRST 09 GRAZ GL 10 GRAZ GL
 3 11 GRAZ GL 12 GRAZ GL
 4 01 GRAZ GL 01 CROP CNVAC 02 GRAZ GL 03 GRAZ GL 04 GRAZ GL 05 GRAZ GL 06
 4 GRAZ GL 07 GRAZ GL 08 LAST 09 FRST 09 GRAZ GL 10 GRAZ GL 11 GRAZ GL 12
 4 GRAZ GL
 5 01 CROP CNVAC 05 02 GRAZ GL 05 03 GRAZ GL 04 GRAZ GL 05 GRAZ GL 06 GRAZ
 5 GL 07 GRAZ GL 08 LAST 09 GRAZ GL 09 FRST 10 GRAZ GL 11 GRAZ GL 12 GRAZ
 5 GL
 6 GRAZ GL 01 CROP CNVAC 02 GRAZ GL 03 GRAZ GL 04 GRAZ GL 05 GRAZ GL GRAZ
 6 GL 07 GRAZ GL 08 LAST 08 FIRE M 09 GRAZ GL 09 FIRE M 09 FRST 10 GRAZ GL 11
 6 GRAZ GL 12 GRAZ GL

continua....

-999 -999 X

2 Block # Retirada do campo 1964

6064 Last year

1 Repeats # years

6064 Output starting year

1 Output Month

0.08330 Output interval

M Weather choice

01 CROP CNVAC 09 FIRE C 10 LAST

-999 -999 X

3 Block # PC trigo-pousio -1965 a 1970

6070 Last year

1 Repeats # years

6065 Output starting year

0 Output Month

0.08330 Output interval

M Weather choice

01 CROP WEED 01 FRST 05 LAST 05 CULT CVTIL3anos 06 CROP W0.5 06 CULT A 07
PLTM 07 FERT N3 07 CULT A 08 CULT A 09 CULT A 09 FERT N3 09 CULT A 12 HARV
G 12 EROD 0.600000

-999 -999 X

4 Block # PC trigo-soja c/queima da palha trigo - 1971-1980

6080 Last year

3 Repeats # years

6071 Output starting year

1 Output Month

0.08330 Output interval

M Weather choice

1 04 CULT CVTIL11ano 05 CROP W1 05 PLTM 05 FERT N3.5 05 CULT A 06 CULT A 07
1 CULT A 08 FERT N3.5 08 CULT A 09 CULT A 10 LAST 10 HARV G 11 FIRE C 11 CULT
CVTIL11ano 1 12 PLTM 12 CROP SYBN2 12 EROD 0.600000

2 03 LAST 03 HARV G 03 CULT CVTIL11ano 05 CROP W1 05 PLTM 05 FERT N3 05
2 CULT A 06 CULT A 07 CULT A 08 FERT N3.5 08 CULT A 09 CULT A 10 HARV G 11
2 FIRE C 11 CULT CVTIL11ano 12 PLTM 12 CROP SYBN2 12 EROD 0.600000

3 03 HARV G 03 LAST 04 CULT CVTIL11ano 05 CROP W1 05 PLTM 05 CULT A 06 CULT
3 A 07 CULT A 08 FERT N3.5 08 CULT A 09 CULT A 10 LAST 10 HARV G 11 FIRE C 11
3 CULT CVTIL11ano 12 CROP SYBN2 12 PLTM 12 EROD 0.600000

-999 -999 X

5 Block # PR trigo-soja s/queima da palha trigo - 1981-1990

continua....

6090 Last year
 2 Repeats # years
 6081 Output starting year
 1 Output Month
 0.08330 Output interval
 M Weather choice
 1 03 LAST 03 HARV G 04 CULT CHISL 05 CROP W1 05 PLTM 05 FERT N4.5 05 CULT A
 1 06 CULT A 07 FERT N4.5 07 CULT A 10 HARV G 10 LAST 11 CULT CHISL 12 CROP 1
 1 SYBN3 12 PLTM 12 EROD 0.400000
 2 01 CULT A 02 CULT A 03 HARV G 03 LAST 03 CULT A 04 CULT CHISL 05 FERT N4.5
 2 05 CROP W1 05 PLTM 07 FERT N4.5 10 HARV G 10 LAST 11 CULT CHISL 12 CROP
 2 SYBN3 12 PLTM 12 EROD 0.400000
 -999 -999 X
 6 Block # PD trigo-soja aveia-soja aveia-milho - 1991-2007
 6158 Last year
 3 Repeats # years
 6091 Output starting year
 1 Output Month
 0.08330 Output interval
 M Weather choice
 1 04 HARV G 04 LAST 05 PLTM 05 CROP W2 06 FERT N7.5 07 FERT N3 10 HARV G
 1 LAST 11 CROP SYBN4 11 PLTM 11 CULT NTIL 12 EROD 0.150000
 2 05 CROP OAT2 05 PLTM 05 FERT N3 08 CULT HERB 08 LAST 09 PLTM 09 CULT
 2 NTIL 09 CROP SYBN4 12 EROD 0.150000
 3 04 HARV G 04 LAST 05 CROP OAT2 05 PLTM 05 FERT N3 08 LAST 08 CULT HERB
 3 09 PLTM 09 CULT NTIL 09 CROP C4 09 FERT N7.5 11 FERT N3 12 EROD 0.150000
 -999 -999 X