

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

**SIMULAÇÃO DO IMPACTO DA AGRICULTURA SOBRE OS ESTOQUES DE
CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E O BALANÇO DE CO₂ REGIONAIS
INTEGRANDO O MODELO CENTURY E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA**

Elisandra Solange Oliveira Bortolon
(Tese de Doutorado)

Porto Alegre (RS) Brasil
Setembro de 2008

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

**SIMULAÇÃO DO IMPACTO DA AGRICULTURA SOBRE OS ESTOQUES DE
CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E O BALANÇO DE CO₂ REGIONAIS
INTEGRANDO O MODELO CENTURY E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA**

ELISANDRA SOLANGE OLIVEIRA BORTOLON

Engenheira Agrônoma (UFPEL)

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

Setembro de 2008

ELISANDRA SOLANGE OLIVEIRA BORTOLON

Engenheira Agrônoma (UFPel)

M. Sc. Ciência do Solo (UFRGS)

TESE

Submetida como parte dos requisitos

para a obtenção do Grau de

DOCTOR 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: 15.09.2008

Pela Banca Examinadora

Homologado em:

por

JOÃO MIELNICZUK

Professor Orientador

PPG-Ciência do Solo

RENATO LEVIEN

Coordenador do Programa de Pós-

Graduação em Ciência do Solo

CARLOS ALBERTO BISSANI

PPG-Ciência do Solo

SANDRA B. VICENCI FERNANDES

Departamento de Solos - UNIJUI

GILMAR ARDUINO BETTIO

MARODIN

Diretor da Faculdade de Agronomia

FLAVIA FONTANA FERNANDES

Departamento de Solos - UFPel

AGRADECIMENTOS

Ao Leandro, meu esposo e companheiro de todas as horas, pelo amor, renúncia, compreensão e, especialmente, pela oportunidade de participar diariamente da sua vida acadêmica como sua colega de faculdade, mestrado e doutorado e por se dispor a participar ativamente deste projeto, contribuindo muito para que esta conquista fosse alcançada.

Aos meus pais Daltro e Lúcia pelo exemplo de honestidade, trabalho e dedicação à família e pelo estímulo na minha formação. Aos meus irmãos Eliana, Daniel e Elisângela pelo apoio e incentivo. Aos meus cunhados Marcos e Diego pela amizade.

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

Ao Prof. João Mielniczuk, pela orientação, pelo exemplo profissional, paciência, estímulo e apoio em todas as horas e, em especial, nos momentos de incertezas. Por tornar simples aquilo que parecia ser complexo. Pela possibilidade de convívio enquanto muitas pessoas o admiram à distância. Pela disposição e força demonstradas ao longo de todo esse período em que tive a honra de conviver com ele. Pelas conversas informais em que ele ensina e orienta para a vida, mesmo sem se dar conta. Ao Prof. João meu grande apreço e gratidão.

À UFPel pela minha formação acadêmica.

À UFRGS pela possibilidade de realizar este trabalho que vem sendo construído desde o mestrado.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

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

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo aprendizado. Em especial ao Prof. Cimélio Bayer, pela orientação, sugestões e amizade e ao Prof. Élvio Giasson, que se dispôs a me mostrar quais eram as coordenadas iniciais para se trabalhar com geoprocessamento, além das sugestões e contribuições para o trabalho como um todo.

Ao colega de orientação Carlos Gustavo Tornquist, pelas discussões, sugestões, amizade e colaboração em todas as etapas da realização deste projeto, que foram fundamentais para a sua realização. Pelo exemplo de profissionalismo e competência, meu sincero agradecimento.

À colega de orientação e amiga Fabíola Lopes que, assim como o Gustavo, contribuiu decisivamente em todas as etapas deste trabalho, e, além disso, foi colega e parceira em atividades acadêmicas e “extra-acadêmicas” durante todo o curso, dando seu apoio e incentivo sempre, mesmo quando as circunstâncias da vida lhe impossibilitaram de estar presente em momentos importantes da minha vida acadêmica.

Aos colegas da área de Manejo de Solos, em especial a Aurélio, Carlos, Josiléia, Michely, Mirla, Rosane e Tiago, pelo companheirismo e amizade.

Aos demais colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela convivência e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Solos da UFRGS e, em especial, ao Jader, pelos esclarecimentos e ao Luís Antônio (Tonho), pelo auxílio e amizade.

À UNIJUI, em especial aos professores da Faculdade de Agronomia Sandra B. Vicenci Fernandes e Valmir de Quadros.

Aos chefes dos escritórios municipais da Emater/RS de Ijuí (Edio Korb) e de Bozano (Edivin Bernich) pelas contribuições e informações dadas durante o trabalho de campo no Distrito Santana.

Às famílias Kosloski, Lucacheski, Quadros, Ledermann, Gentarski e Pietrzak, por permitirem a coleta de amostras em suas propriedades e por fornecerem informações históricas sobre a região. Em especial a família Kosloski nas pessoas da D. Eva e Seu Zica e D. Mari e Seu Luiz, que abriram as portas da sua casa e da sua propriedade para a realização do presente trabalho, tornando-se a base de apoio da nossa equipe de trabalho no Distrito Santana e facilitando imensamente a realização deste projeto.

A todas as famílias de agricultores do Distrito Santana, Ijuí, RS que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao povo brasileiro por custear os meus estudos.

SIMULAÇÃO DO IMPACTO DA AGRICULTURA SOBRE OS ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E O BALANÇO DE CO₂ REGIONAIS INTEGRANDO O MODELO CENTURY E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA ^{1/}

Autora: Elisandra S. O. Bortolon
Orientador: João Mielniczuk

RESUMO

A conversão de áreas sob vegetação nativa para agricultura, em geral, causa redução nos estoques de C orgânico do solo (COS) e aumento nas emissões de CO₂ para a atmosfera, especialmente quando o manejo do solo envolve o preparo convencional (PC). A adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo possibilita aumentar o conteúdo de C do solo, auxiliando na mitigação das emissões de CO₂. Modelos de simulação da dinâmica da matéria orgânica ajustados a situações locais auxiliam no acompanhamento, ao longo do tempo, das alterações nos estoques de COS causadas pelo uso agrícola. O presente estudo teve como objetivo principal estudar a evolução espaço-temporal dos estoques de COS e do balanço de CO₂ dos solos do Distrito Santana (10.669 ha), em Ijuí, RS, desde o início da colonização em 1900 até 2050, a partir de simulações com o modelo Century, apoiado em técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Para tanto, foi criada uma base de dados geoespaciais (BDGE) em ambiente ArcGis 9 com os planos temáticos: solos, elementos da paisagem e início do uso agrícola. Foram reconstituídos os cenários históricos e atuais de manejo do solo, e inseridos no Century 4.0, o qual foi inicializado com dados edafo-climáticos locais e calibrado pelo ajuste de parâmetros internos do modelo, valendo-se da adição de C pelo milho, trigo e soja e estoques de COS medidos em 2007 na camada de 0 a 20 cm da mata nativa (condição original) e de uma lavoura adjacente, cuja conversão ocorreu entre 1901 e 1930 sob Latossolo de topo. O modelo, assim ajustado, foi estatisticamente validado comparando-se os estoques simulados e medidos em 2007 em 10 lavouras iniciadas entre 1901 e 1987. Posteriormente, o Century foi executado para todas as demais combinações solos-elementos da paisagem-início do uso agrícola do Distrito Santana (54 unidades de simulação), através da interface i-Century e os resultados gerados referentes aos estoques de COS e balanço de CO₂ foram inseridos manualmente na BDGE. O uso agrícola dos solos causou redução nos estoques de COS em mais de 50% de 1900 até 1986 (de 550,9 x 10³ Mg para 276,8 x 10³ Mg), final do período de PC do solo, representando emissão de 2.277,5 x 10³ Mg de CO₂ para a atmosfera. Por outro lado, a adoção de cenários conservacionistas de manejo a partir de 1987 possibilitou a recuperação do conteúdo de C do solo, estimando-se para 2050, em relação ao original, recuperação do COS em até 65% (355,9 x 10³ Mg) no cenário "Atual" e em até 87% no cenário "Melhorado", evidenciando balanço positivo de CO₂ em relação a 1986 (478,5 x 10³ Mg). Tais resultados indicaram que o modelo Century estimou adequadamente a evolução dos estoques de COS e o balanço de CO₂ em função do uso agrícola do solo.

^{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. (161p.) Setembro, 2008. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq.

**SIMULATION OF THE IMPACT ON AGRICULTURE ON REGIONAL STOCKS
OF SOIL ORGANIC CARBON AND THE BALANCE OF THE CO₂
INTEGRANDO CENTURY MODEL AND GEOGRAPHIC INFORMATION
SYSTEMS ^{1/}**

Author: Elisandra S. O. Bortolon

Adviser: Prof. João Mielniczuk

ABSTRACT

The conversion of areas under native vegetation to agriculture, in general, cause reduction in stocks of soil organic carbon (SOC) and increase in emissions of CO₂ into the atmosphere, especially when the soil management involves the conventional tillage. Adoption of soil conservation management systems can increase SOC content and mitigate CO₂ emissions. Simulation models of SOC dynamics tailored to local situations can help in the assessment of C stock changes derived from agricultural use. This study sought to investigate spatial and temporal trends of SOC stocks and CO₂ emissions in the Santana District (10,669 ha), in Ijuí, Rio Grande do Sul state, from the onset of colonization in 1900 until 2050. The Century Soil Organic Matter model, geoprocessing and remote sensing were used for spatio-temporal analysis and forecast of SOC changes. Thematic plans of soil classes, land cover, landforms and start of agricultural use were created in a geospatial database in ArcGis 9. We reconstituted the historical and current soil management scenarios. Century 4.0 was initialized with local soil and climatic, then calibrated by adjustment of internal parameters to match observed SOC stocks measured in 2007 in both native vegetation sites and cropland. Modelled biomass production of corn, wheat and soybeans was also compared with locally observed data for further calibration. The calibrated model was validated with statistical tests of simulated and measured output from ten sampled farms. After calibration, all 54 possible combinations of soils, landforms, land use cover and land use change for the agricultural use of District Santana (54 units of simulation) were simulated in Century through the i-Century interface. Selected output variables for SOC stocks, C inputs and CO₂ emissions were entered manually into the geospatial database for map visualization. Agriculture caused a 50% reduction in SOC stocks from 1900 to 1986 (from 550.9 to 276.8 Mg x 10³), by the end most intensive soil management period, which corresponded to emissions of 2,277.5 x 10³ Mg of CO₂ into the atmosphere. Moreover the adoption of conservation agriculture management in 1987 enabled the recovery of C content of the soil. It is considered for 2050, compared with the original, recovery of the COS in up to 65% (355.9 x 10³ Mg) In the scenario "Current" and up to 87% in the scenario "Improved", highlighting positive assessment of CO₂ for 1986 (478.5 x 10³ Mg). Such results indicated that the model Century adequately estimated the evolution of stocks of COS and the balance of CO₂ in relation to the agricultural use of land.

^{1/} Doctorate Thesis in Soil Science – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (161p.) September, 2008.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1. O solo como um compartimento do ciclo biogeoquímico do carbono	03
2.2. Modelos de simulação da dinâmica da matéria orgânica em ecossistemas tropicais e subtropicais	05
2.3. Modelo Century.....	08
2.3.1. Submodelo do carbono - compartimentos e fluxos	10
2.4. Integração espaço-temporal: a modelagem dinâmica espacialmente explícita	12
2.5. A agricultura no Planalto Médio e região de Ijuí	15
2.6. A colonização de Ijuí	17
2.6.1. O Distrito Santana	18
3. HIPÓTESES	21
4. OBJETIVOS	22
5. MATERIAL E MÉTODOS	23
5.1. Delimitação espacial e características da área de estudo	23
5.1.1. O ambiente natural do Distrito Santana	25
5.1.1.1. Vegetação	25
5.1.1.2. Relevo	25
5.1.1.3. Solos	27
5.2. Abrangência temporal	29
5.3. Evolução espacial das mudanças no uso do solo	29
5.3.1. Implementação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	29
5.3.1.1. Base cartográfica (mapa-base)	29
5.3.1.2. Vegetação original	30
5.3.1.3. Mudanças de uso e manejo de solos	30

	Página
5.3.1.4. Solos	31
5.3.1.5. Elementos da paisagem	32
5.4. Evolução dos estoques de COS em função do uso e manejo do solo	32
5.4.1. Amostragem de solo	34
5.4.1.1. Procedimentos de coleta de solo no campo ..	35
a) COS e granulometria	36
b) densidade do solo	36
5.4.1.2. Procedimentos de análises laboratoriais	36
a) COS	36
b) granulometria do solo	36
c) densidade do solo	37
5.4.2. Cálculos dos estoques de COS	37
5.4.2.1. Mata nativa (condição original)	37
5.4.2.1. Lavouras	38
5.4.3. Simulações pelo modelo Century	38
5.4.3.1. Inicialização do modelo	39
5.4.3.2. Cenários históricos e futuros de manejo de solo	40
5.4.3.3. Calibração do modelo	43
5.4.3.4. Validação do modelo	45
5.4.3.5. Generalização das estimativas do modelo Century	46
5.4.3.6. Integração das estimativas do modelo Century com a Base de Dados Geoespaciais	48
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
6.1. Calibração e validação do Modelo Century	53
6.1.1. Calibração do modelo	53
6.1.2. Validação do modelo	56
6.2. Generalização das estimativas do modelo Century	61
6.2.1. Evolução do uso agrícola do solo	61
6.2.2. Estoques de COS estimados pelo modelo Century	67

	Página
6.2.2.1. Simulações considerando diferentes épocas de início do uso agrícola do solo	68
6.2.2.2. Simulações considerando diferentes elementos da paisagem	79
6.2.2.3. Distribuição espacial dos estoques de COS ..	89
6.2.2.4. Estoques totais regionais de COS	102
6.2.3. Balanço de emissão e seqüestro de CO ₂ estimado pelo modelo Century	104
6.2.3.1. Distribuição espacial da emissão e seqüestro de CO ₂	118
6.2.3.2. Balanço de emissão e seqüestro de CO ₂ em escala regional	128
7. CONCLUSÕES	134
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
9. APÊNDICES	143

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
01. Composição granulométrica, densidade do solo e estoque de COS em condição de mata nativa nas quatro áreas amostradas sob Latossolo Vermelho distroférico de topo, equivalentes à camada de 0 a 20 cm, no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	39
02. Composição granulométrica, densidade do solo e estoque de COS em condição de mata nativa nas diferentes classes de solo em estudo, equivalentes à camada de 0 a 20 cm, utilizados na inicialização do modelo Century.....	40
03. Cenários de manejo utilizados nas simulações com o modelo Century (1901 a 2050), no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	42
04. Adição média de carbono pelas culturas estimada pelo modelo Century para os diferentes cenários de manejo de solo adotados durante a calibração do modelo.....	55
05. Estoques de carbono orgânico observados e estimados pelo modelo Century para o ano de 2007 na camada de 0 a 20 cm em Latossolo Vermelho distroférico de topo nas lavouras iniciadas em diferentes épocas, no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	56
06. Perda (-) ou ganho (+) de COS em relação ao estoque original (1900) estimado pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1901 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem, no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	76

07.	Perda (-) ou ganho (+) de COS em relação ao estoque original (1900) estimado pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1988 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem, no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	77
08.	Erosão (-) ou deposição (+) cumulativa de COS na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1901 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem estimada pelo modelo Century pela variável de saída SCLOSA, no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	86
09.	Erosão (-) ou deposição (+) cumulativa de COS na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1988 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem estimada pelo modelo Century pela variável de saída SCLOSA, no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	87
10.	Estoques totais de COS e sua variação de 1900 a 2050 nas diferentes classes de solo do Distrito Santana, Ijuí-RS, em função dos cenários de manejo adotados considerando a massa equivalente de solo na camada de 0 a 20 cm da mata..	103
11.	Adição de C acumulada por período em função dos cenários de manejo na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1901 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem estimada pelo modelo Century pela variável de saída CINPUT, no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	107
12.	Adição de C acumulada por período em função dos cenários de manejo na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1988 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem estimada pelo modelo Century pela variável de saída CINPUT, no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	108

- 13.** Emissão de C acumulada por período em função dos cenários de manejo na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1901 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem estimada pelo modelo Century pela variável de saída RESP(1), no Distrito Santana, Ijuí-RS..... 110
- 14.** Emissão de C acumulada por período em função dos cenários de manejo na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1988 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem estimada pelo modelo Century pela variável de saída RESP(1), no Distrito Santana, Ijuí-RS..... 111
- 15.** Balanço entre adição pelas culturas e emissão de C pela respiração microbiana e erosão e em função dos cenários de manejo na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1988 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem, no Distrito Santana, Ijuí-RS..... 114
- 16.** Balanço entre adição pelas culturas e emissão de C pela respiração microbiana e erosão e em função dos cenários de manejo na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1988 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem, no Distrito Santana, Ijuí-RS..... 115
- 17.** Emissão total de CO₂ pela queima da floresta nas diferentes classes de solo do Distrito Santana, Ijuí-RS, considerando os diferentes períodos de início do uso agrícola dos solos, estimada pelo modelo Century pelas variáveis de saída WOOD1C, WOOD2C e WOOD3C..... 129

- 18.** Balanço das emissões (-) ou seqüestro (+) de CO₂ nas diferentes classes de solo do Distrito Santana, Ijuí-RS, em função dos cenários de manejo adotados relativos a condição original (1900) e ao final do período convencional de preparo do solo (1986) na camada de 0 a 20 cm, considerando a respiração microbiana, erosão e queima da floresta..... 131

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
01. Resumo geral do Modelo Century (adaptado de Tornquist, 2007).....	09
02. Compartimentos e fluxos de carbono no modelo Century 4.0, conforme Metherell et al. 1994.....	11
03. Formas e graus de acoplamento de SIG e modelos dinâmicos de simulação (adaptado de Norgaard, 2004 e Tornquist, 2007)	13
04. Mapa dos lotes da Colônia Ijuhy em 1909.....	19
05. Localização do Distrito Santana no município de Ijuí no Estado do Rio Grande do Sul.....	24
06. Mapa hipsométrico do Distrito Santana, Ijuí-RS, gerado a partir do modelo numérico do terreno derivado por interpolação das curvas de nível espaçadas de 20 em 20 metros (Brasil, 1980).....	26
07. Mapa de solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, compilado de Abrão e Azolin (1970).....	28
08. Elementos da paisagem derivado do modelo numérico do terreno, criado a partir das curvas de nível espaçadas de 20 em 20 m (Brasil, 1980), para o Distrito Santana, Ijuí-RS.....	33
09. Localização das quatro áreas amostradas no Distrito Santana, Ijuí-RS, e distribuição espacial dos pontos amostrados em cada área.....	35

	Página
10. Esquema resumido do cruzamento dos planos de informações vetoriais para a delimitação das unidades de simulação.....	48
11. Calibração do modelo Century pela simulação , na Área 1 (Distrito Santana, Ijuí-RS), da conversão de mata nativa em lavoura em 1901 seguida por 106 anos de cultivo do solo (1901 a 2007) considerando os diferentes cenários de manejos do solo adotados ao longo dos anos e estoques de carbono orgânico do solo (COS) medidos em 2007 (observados) na camada de 0 a 20 cm associados ao desvio padrão em relação a média.....	54
12. Validação do modelo Century pela simulação da conversão de mata nativa em lavoura considerando os diferentes cenários de manejos do solo adotados com início do uso agrícola em 1931 (a) e 1976 (b) na Área 1 e em 1931 (c), 1965 (d) e 1976 (e) na Área 2 (Distrito Santana, Ijuí-RS), além dos estoques de carbono orgânico do solo (COS) medidos em 2007 (observados) na camada de 0 a 20 cm associados ao desvio padrão em relação a média, quando disponível.....	58
13. Validação do modelo Century pela simulação da conversão de mata nativa em lavoura considerando os diferentes cenários de manejos do solo adotados ao longo dos anos com início do uso agrícola em 1901 (a), 1931 (b), 1965 (c) e 1976 (d) na Área 3 e em 1931 (e) na Área 4 (Distrito Santana, Ijuí-RS), além dos estoques de carbono orgânico do solo (COS) medidos em 2007 (observados) na camada de 0 a 20 cm associados ao desvio padrão em relação a média.....	59
14. Mapa de uso agrícola do solo no Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1900 (a) e 1956 (b) obtidos a partir de fotointerpretação de fotos aéreas.....	62

	Página
15. Mapa de uso agrícola do solo no Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1964 (a) e 1975 (b) obtidos a partir de fotointerpretação de fotos aéreas.....	63
16. Mapa de uso agrícola do solo no Distrito Santana, Ijuí-RS, obtido a partir de classificação de imagens do satélite LANDSAT em 1987 (a) e do satélite ALOS-PRISM em 2007 (b).....	64
17. Mapa de evolução de uso agrícola do solo no Distrito Santana, Ijuí-RS, de 1900 (condição original) a 2007.....	66
18. Evolução dos estoques de COS em diferentes épocas de início do uso agrícola estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Latossolo Vermelho distroférico de topo nos cenários “Atual” (a) e “Melhorado” (b), no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	69
19. Evolução dos estoques de COS em diferentes épocas de início do uso agrícola estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Chernossolo Argilúvico órtico de topo nos cenários “Atual” (a) e “Melhorado” (b), no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	71
20. Evolução dos estoques de COS em diferentes épocas de início do uso agrícola estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Neossolo Regolítico eutrófico de topo nos cenários “Atual” (a) e “Melhorado” (b), no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	72
21. Evolução dos estoques de COS em diferentes épocas de início do uso agrícola estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Neossolo Flúvico deposicionais nos cenários “Atual” (a) e “Melhorado” (b), no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	74

- 22.** Evolução dos estoques de COS em diferentes elementos da paisagem estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Latossolo Vermelho distroférico em lavouras iniciadas em 1901 nos cenários “Atual” (a) e “Melhorado” (b) e em lavouras iniciadas em 1988 nos cenários “Atual” (c) e “Melhorado” (d), no Distrito Santana, Ijuí-RS..... 82
- 23.** Evolução dos estoques de COS em diferentes elementos da paisagem estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Chernossolo Argilúvico órtico em lavouras iniciadas em 1901 nos cenários “Atual” (a) e “Melhorado” (b) e em lavouras iniciadas em 1988 nos cenários “Atual” (c) e “Melhorado” (d), no Distrito Santana, Ijuí-RS..... 83
- 24.** Evolução dos estoques de COS em diferentes elementos da paisagem estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Neossolo Regolítico eutrófico em lavouras iniciadas em 1901 nos cenários “Atual” (a) e “Melhorado” (b) e em lavouras iniciadas em 1988 nos cenários “Atual” (c) e “Melhorado” (d), no Distrito Santana, Ijuí-RS..... 84
- 25.** Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1900 (condição original) na camada de 0 a 20 cm..... 91
- 26.** Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1955 (final do período de agricultura colonial 1). Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente a camada de 0 a 20 cm da mata original..... 92

27.	Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1970 (final do período de agricultura colonial 2). Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente a camada de 0 a 20 cm da mata original.....	93
28.	Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1986 (final do período de preparo convencional). Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente a camada de 0 a 20 cm da mata original.....	94
29.	Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1994 (final do período de preparo reduzido). Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente a camada de 0 a 20 cm da mata original.....	95
30.	Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2007 com adoção do no cenário “Atual” a partir de 1995. Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente a camada de 0 a 20 cm da mata original.....	96
31.	Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2050 com adoção do no cenário “Atual” a partir de 1995. Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente a camada de 0 a 20 cm da mata original.....	97
32.	Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2007 com adoção do no cenário “Melhorado” a partir de 1995. Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente a camada de 0 a 20 cm da mata original.....	98

	Página
33. Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2050 com adoção do no cenário “Melhorado” a partir de 1995. Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente a camada de 0 a 20 cm da mata original.....	99
34. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO ₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1955 (final do período de agricultura colonial 1).....	119
35. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO ₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1970 (final do período de agricultura colonial 2).....	120
36. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO ₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1986 (final do período de preparo convencional).....	121
37. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO ₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1994 (final do período de preparo reduzido).....	122
38. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO ₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2007 com adoção do no cenário “Atual” a partir de 1995....	123
39. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO ₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2050 com adoção do no cenário “Atual” a partir de 1995....	124

	Página
40. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO ₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2007 com adoção do no cenário “Melhorado” a partir de 1995.....	125
41. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO ₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2050 com adoção do no cenário “Melhorado” a partir de 1995.....	126

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
01. Correspondência entre a legenda original do levantamento e utilização dos solos do município de Ijuí e reclassificação conforme Embrapa, 2006 nas classes de solo que ocorrem no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	144
02. Concentração de COS e densidade do solo nas amostras coletadas em 2007 em quatro áreas sob a classe dos Latossolos de topo, considerando o uso atual do solo e as camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm (quando disponível) de profundidade, no Distrito Santana, Ijuí-RS.....	144
03. Alterações nos parâmetros originais (padrão) do arquivo FIX.100 do modelo Century 4.0 utilizadas nas simulações do presente estudo.....	145
04. Opções de florestas adicionadas em TREE.100 e os respectivos valores utilizados nos parâmetros PRDX(2) utilizados nas simulações do modelo Century 4.0.....	145
05. Parâmetros do arquivo acessório CULT.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	146
06. Parâmetros de culturas do arquivo acessório CROP.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	147
07. Parâmetros do arquivo acessório FERT.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	151
08. Parâmetros do arquivo acessório HARV.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	152

	Página
09. Parâmetros do arquivo acessório FIRE.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	152
10. Parâmetros do arquivo acessório TREM.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	152
11. Parâmetros do arquivo FIX.100 padrão do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.....	153
12. Variáveis locais do arquivo SITE.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações com base em dados de clima e solo da área em estudo.....	154
13. Parâmetros do arquivo TREE.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações, referentes ao bioma “Floresta subtropical”.....	156
14. Organização do arquivo .SCH utilizado pelo modelo Century 4.0, referentes a lavouras iniciadas em 1901 nos topos com o cenário “Atual” a partir de 1995.....	157
15. Organização do arquivo .SCH utilizado pelo modelo Century 4.0, referentes a lavouras iniciadas em 1901 nos topos com o cenário “Melhorado” a partir de 1995.....	159
16. Diagrama para a produção de floresta no modelo Century (adaptado de Metherell et al, 1994).....	161

1. INTRODUÇÃO

O incremento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, bem como de outros gases de efeito estufa, devido a sua associação às mudanças climáticas observadas no planeta, tem colocado em evidência o ciclo biogeoquímico do carbono (C).

A conversão de áreas sob vegetação nativa em lavouras tem sido apontada como um dos principais fatores responsáveis pelas emissões de C para a atmosfera (Lal, 2001). Isso porque as mudanças no uso do solo interferem na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS), podendo levar à redução dos estoques de C do mesmo. Em geral, as perdas de C orgânico do solo (COS) são maiores quando o solo é submetido a métodos de preparo com intenso revolvimento e sistemas de culturas com baixa adição de biomassa. No entanto, quando são adotados métodos conservacionistas de preparo do solo, fundamentados na redução ou ausência de revolvimento e maior aporte de biomassa vegetal, ocorre a recuperação dos estoques de COS e o aumento da qualidade do solo (Vezzani, 2001; Mielniczuk et al, 2003), levando à redução do ônus ambiental das emissões de CO₂ para atmosfera geradas pela atividade agrícola (Bayer et al., 2006; Costa et al., 2008a). Neste sentido, o contexto histórico em que se deu a exploração agrícola do solo é determinante do seu conteúdo de C atual.

No Planalto do Rio Grande do Sul, a expansão da agricultura foi marcada pela chegada dos imigrantes europeus por volta de 1900, com a ocupação das áreas sob florestas, caracterizando-se, principalmente, pela agricultura familiar de subsistência em pequenas propriedades, com cultivo baseado na fertilidade natural do solo, utilização de práticas agrícolas nos

moldes europeus e intensa mobilização do solo. Tais práticas, associadas ao cultivo intensivo do solo, levaram ao esgotamento da sua fertilidade natural com perda de matéria orgânica, tornando-os ácidos e improdutivos após alguns anos de cultivo. A recuperação das áreas degradadas somente foi possível pela mudança no sistema produtivo graças a programas institucionais de melhoria da fertilidade e conservação do solo, implantados nas décadas de 1960 e 1970, respectivamente, e posteriormente (década de 1980) pela adoção de práticas conservacionistas de preparo dos solos nesta região. A partir daí, passou-se a entender a matéria orgânica do solo como componente fundamental da capacidade produtiva do solo, especialmente em condições de clima tropical e subtropical.

Experimentos de longa-duração são valiosos para estudar as alterações da dinâmica do COS ao longo do tempo em função do uso e manejo a que o solo é submetido, no entanto são relativamente recentes se comparados ao início do uso agrícola dos solos. Neste sentido, métodos indiretos, como a modelagem da dinâmica do MOS, auxiliam na interpretação e extrapolação dos resultados experimentais, constituindo-se numa ferramenta importante para integrar os conhecimentos sobre a dinâmica do C (Oliveira, 2005; Tornquist, 2007). Além disso, quando as estimativas obtidas por meio da modelagem dinâmica da MOS são associadas ao histórico de distribuição espacial das mudanças no uso do solo, a partir de produtos de sensores remotos (fotos aéreas e imagens de satélites) e técnicas de geoprocessamento, torna-se possível o entendimento das alterações na dinâmica do C de forma espacializada num contexto regional e, portanto, mais amplo, auxiliando no planejamento e definição de sistemas de manejo mais adequados para uma determinada região e que sejam ambientalmente sustentáveis em longo prazo.

Assim, a presente pesquisa teve como finalidade estimar o impacto das mudanças no uso e manejo dos solos sobre os estoques de COS, bem como o potencial de emissão e seqüestro de CO₂ atmosférico pelo solo em função de diferentes práticas de manejo adotadas desde o início da agricultura no Distrito Santana, em Ijuí, RS. Para tanto, foram utilizados como ferramentas o modelo Century 4.0, associado aos produtos do sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O solo como um compartimento do ciclo biogeoquímico do carbono

O entendimento das transformações tecnológicas ocorridas no campo e os avanços na compreensão dos seus efeitos sobre as alterações ambientais observadas nas últimas décadas evidenciam a importância da matéria orgânica do solo (MOS) na regulação dos ciclos biogeoquímicos do C, N, P, S e da água, sendo um dos principais indicadores da qualidade do solo, com participação significativa na CTC, complexação de elementos tóxicos às plantas, poder tampão de pH, além de influenciar atributos físicos, como estrutura do solo e capacidade de armazenamento de água (Silva et al., 2000; Fernandes, 2002).

Apesar de a MOS ser composta de vários elementos, a sua quantidade no solo é determinada efetivamente pela quantidade de carbono orgânico do solo (COS), visto que o carbono é o seu principal componente (em torno de 56%).

Em escala global, o C circula entre três grandes reservatórios, os oceanos, a atmosfera e os ecossistemas terrestres (solo e biota), havendo estreita relação entre eles, de modo que a alteração de um provoca mudanças nos demais e vice-versa. Neste caso, considera-se como inativo ou não circulante aquele C do reservatório geológico (petróleo e carvão) (Johnson, 1995). Dentre os compartimentos terrestres, o solo é o que possui maior quantidade de C, cerca de 1550 Pg (Pg=10¹⁵g), armazenado sob a forma de MOS, contra 750 Pg do reservatório atmosférico e 550 Pg da biota. A reserva

de C em solos das regiões tropicais representa aproximadamente 32% do total de C no solo, armazenando 506 Pg de C (Lal, 1997; Bayer et al., 2000, Post e Knorr, 2000).

A concentração de C (CO_2) na atmosfera tem aumentado consideravelmente desde o início da revolução industrial, 29% acima do período pré-industrial (Evans et al., 2001), devido, principalmente, às atividades industriais e aos transportes pela queima de combustíveis fósseis, como o petróleo, gás natural e carvão mineral (IPCC, 2001), que juntamente com o aumento nas concentrações de outros gases, determinam o chamado *efeito estufa* responsável pelo aquecimento adicional verificado no planeta (Lal, 2004; IPCC, 2006). Contudo, parte desse aumento na concentração de CO_2 atmosférico deve-se às mudanças de uso e manejo do solo, estimando-se que o cultivo dos solos nos dois séculos passados contribuiu com as emissões antrópicas de CO_2 para a atmosfera em cerca de 50 Pg do C (Paustian et al., 2000) e que a remoção de florestas libera entre 1,0 e 3,2 Pg C ano⁻¹ na forma de CO_2 (Veldkamp, 1994).

Em solos sob vegetação natural, o estoque de C encontra-se estável devido ao equilíbrio no fluxo de C entre os ecossistemas terrestres e a atmosfera, e, portanto, as adições de C ao solo (pela fotossíntese) se equivalem às perdas deste na forma de CO_2 para a atmosfera (respiração da biota e decomposição da MOS). No entanto, com a intervenção antrópica e incorporação destas áreas na agricultura, ocorre redução do estoque de C e, conseqüentemente, emissão de CO_2 para a atmosfera, especialmente quando se utilizam métodos de preparo que revolvem intensamente o solo e sistemas de culturas com baixa adição de resíduos vegetais (Lovato, 2001; Vezzani, 2001). Nesta situação, se estabelece um processo de degradação das condições químicas, físicas e biológicas do solo, com perda da produtividade das culturas e da qualidade do solo (Bayer e Mielniczuk, 1999; Vezzani, 2001). Neste caso, ocorre um decréscimo no conteúdo de C (perda de MOS) ao longo do tempo até atingir um novo estado estável que é, em geral, quantitativamente inferior ao valor original.

Por outro lado, em solos agrícolas, a redução de emissão de CO_2 é um sinônimo do aumento do estoque de C no solo, um processo usualmente referido como *seqüestro de C* (Paustian et al., 2000). A diferença líquida entre

o CO₂ fixado fotossinteticamente que “entra” no solo como resíduo vegetal e o CO₂ que é emitido a partir da decomposição destes resíduos determina o balanço líquido de C do ecossistema, permitindo que o solo funcione como fonte ou dreno para o CO₂ atmosférico. Entretanto, o potencial de seqüestro de C do solo depende, principalmente, do tipo de solo, das condições climáticas (temperatura e precipitação) e do sistema de manejo de solo adotado (Debarba, 2002; West e Marland, 2002).

A MOS é um componente bastante sensível às condições ambientais e às mudanças nas práticas de manejo (Silva et al., 2000), de modo que a manutenção ou recuperação dos teores de C, e conseqüentemente de MOS, pode ser alcançada pela utilização de métodos de preparo com pequeno, ou nenhum revolvimento e sistemas de cultura com alta adição de resíduos vegetais, resultando, respectivamente, em menores taxas de perda e maiores taxas de adição de C ao sistema solo (Bayer e Mielniczuk, 1999), fazendo com que este funcione como um dreno de C da atmosfera.

2.2. Modelos de simulação da dinâmica da matéria orgânica em ecossistemas tropicais e subtropicais

Os estudos da dinâmica da MOS nos trópicos aumentaram a partir do final da década de 1980, antes, portanto, havia pouca informação disponível sobre os processos biológicos em solos de ecossistemas tropicais e subtropicais (Parton et al., 1994).

A MOS tem grande importância em solos de clima tropical e subtropical, especialmente para o fornecimento de nutrientes, elevação da CTC, complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, estabilidade da estrutura, infiltração e retenção de água, aeração e atividade da biomassa microbiana, sendo fundamental para a manutenção da qualidade do solo e da sua capacidade produtiva (Bayer e Mielniczuk, 1999). Como já comentado anteriormente, a MOS tem grande influência no fluxo de gases do efeito estufa entre a superfície da Terra e a atmosfera. Além disso, as mudanças no uso e manejo do solo determinam o potencial da agricultura em contribuir para a mitigação global das emissões de CO₂ para a atmosfera (Bayer et al., 2000), haja visto que o estoque de C em solos tropicais representa 32% (506 Pg) do

total de C dos solos do mundo (60% do estoque global de C) ((Lal, 1997). Assim, a predição dos efeitos ambientais causados pela mudança de uso do solo sobre a dinâmica da MOS tem recebido atenção para a formulação de políticas ambientais e agrárias de médio e longo prazo (Smith et al., 1997a).

No entanto, as lentas alterações nos estoques de C e a complexidade de processos químicos e físicos que envolvem a sua dinâmica, associados aos curtos períodos experimentais, dificultam a visualização do seu comportamento a médio e longo prazo. Neste sentido, o ajuste de modelos dinâmicos, como o Century, auxilia na interpretação e compreensão do impacto das alterações ambientais sobre a MOS, podendo se constituir numa ferramenta importante para o planejamento e definição de sistemas de manejo mais adequados em longo prazo e, portanto, sustentáveis (Bayer et al., 2000; Fernandes, 2002).

Os modelos de simulação da dinâmica da MOS, em geral, são desenvolvidos com base em dados obtidos em ecossistemas de clima temperado, onde os quais estão disponíveis atualmente em grande número (Smith et al., 1997b; Parton et al., 1994), porém com uso limitado em estudos da MOS em solos tropicais e subtropicais, havendo necessidade de mais estudos a fim de determinar a magnitude e os coeficientes de conversão entre os compartimentos da MOS, para melhorar as estimativas nestes solos (Parfitt et al., 1997). Neste caso, apesar dos poucos dados disponíveis para estas regiões, algumas projeções se fazem necessárias mesmo sem que haja uma validação exata do modelo em uso para o ambiente tropical em estudo. Além disso, segundo Parton et al. (1987), os modelos não incluem os vários mecanismos de estabilização da matéria orgânica nos solos, e com isso usam o artifício de dividir a MOS em diferentes compartimentos, com tempos variáveis de permanência no solo, definindo a dinâmica em função dos fluxos entre eles. Esse tempo pode ser de um mês, em alguns compartimentos, ou superior a 1000 anos, em outros.

De modo geral, para simular o impacto de mudanças climáticas ou de uso do solo na MOS, devem ocorrer mudanças na umidade e temperatura do solo, na quantidade de C adicionada, na decomponibilidade do C adicionado, no tempo e local do C que ocorre esta adição, além da fauna do solo (Parfitt et al., 1997; Scholes, et al., 1997; Fernandes, 2002). Nos trópicos, a temperatura do solo, o regime de umidade do solo, a textura e a mineralogia de argila são

os principais determinantes da quantidade de MOS e, de acordo com Parton et al. (1987), o Century é um modelo de simulação que pode estimar adequadamente a dinâmica da MOS nestas condições, sendo que este modelo já foi testado e adaptado para simulações em diversos locais no mundo (Parton et al., 1994; Kelly et al., 1997; Smith et al., 1997a, b; Silveira et al., 2000; Leite et al., 2004a). No entanto, estudos realizados no Brasil com o Century em regiões tropicais (Silva e Pasqual, 1999) e subtropicais (Vezzani, 2001; Debarba, 2002; Fernandes, 2002; Oliveira, 2005; Lopes, 2006; Tornquist, 2007) indicaram que para que este modelo se torne mais eficiente em estimar a dinâmica da MOS sob estas condições climáticas há a necessidade de ajustes em alguns de seus coeficientes, especialmente naqueles relacionadas às taxas de conversão entre compartimentos da MOS.

Para que um modelo seja utilizado adequadamente, várias etapas devem ser cumpridas, dentre elas a calibração e a validação do modelo. A etapa de calibração consiste no ajuste em parâmetros do modelo buscando melhorar a concordância entre as suas estimativas e os dados de campo disponíveis. Por outro lado, a validação é a comparação entre os dados simulados (estimados por meio de modelos) com aqueles obtidos pela observação ou medidos no sistema real (Gomes e Varriale, 2004), dados esses que devem ser diversos aos empregados no desenvolvimento do modelo ou mesmo na sua calibração (Leal, 1996). Nesse sentido, deve-se selecionar o modelo que melhor reproduzir o sistema real ao longo de toda a simulação e não somente os dados pontuais utilizados para a calibração e ou validação. Para tanto, 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 e Pasqual, 1999). Mensurações do total de C do solo, tanto sob vegetação nativa como em áreas sob cultivo ou com alguma outra alteração antrópica, bem como de “pools” individuais (ex. biomassa microbiana), são necessárias no processo de calibração e validação de modelos.

2.3. Modelo Century

O Modelo de Matéria Orgânica do Solo Century (Century) vem sendo utilizado com sucesso no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos nas mais diversas regiões e biomas do mundo (Parton et al., 1987; Paustian et al., 1992; Metherell et al., 1994).

O Century é um modelo dinâmico de ecossistemas terrestres que foi desenvolvido em solos sob pastagens naturais, e, posteriormente, adaptado para solos de florestas e sob explorações agrícolas, passando a incluir o efeito do preparo de solo sobre as taxas de decomposição. Versões mais recentes do modelo incluem perdas de C e N por lixiviação, retiradas por colheitas e efeito de cultivo (Metherell et al., 1994; Kelly et al., 1997). O Century permite a modelagem da dinâmica do C, N, P, S, água, crescimento e produção de plantas em diversos biomas, tipo de solo e clima. A inclusão da temperatura e regime de água do solo, do efeito da textura na dinâmica da MOS e da rotina detalhada dos nutrientes N, P e S as plantas torna o Century aplicável em clima temperado e tropical (Parton et al., 1994).

O programa computacional propriamente dito (Century 4.0) consiste em uma versão DOS com arquivo executável na linguagem FORTRAN que necessita de um conjunto de arquivos de entrada com parâmetros e variáveis do modelo, bem como um arquivo de saída de dados (Figura 1). Dentre os arquivos, destacam-se os chamados arquivo local (SITE.100) e o arquivo dos cenários de manejo (*.SCH). No arquivo local, são indicadas todas as informações iniciais de localização geográfica, clima e solo da área a ser estudada. No arquivo do cenário de manejo são informadas todas as atividades de manejo realizadas nesta área, sendo estas organizadas de modo qualitativo, quantitativo e temporal o que possibilita dividir o cenário de manejo em blocos e reconstituir o histórico de manejo da área num único arquivo.

No arquivo *.SCH, podem ser listadas atividades que envolvem diferentes práticas de manejo de solo, tipos de florestas, remoção de floresta, tipos de culturas, fertilização mineral com N, P e S, irrigação, fertilização orgânica, queimada, colheita e pastejo, sendo que os parâmetros relacionados a estas atividades são definidos nos arquivos acessórios CULT.100,

TREE.100, TREM.100, CROP.100, FERT.100, IRRI.100, OMAD.100, FIRE.100, HARV.100 e GRAZ.100, respectivamente.

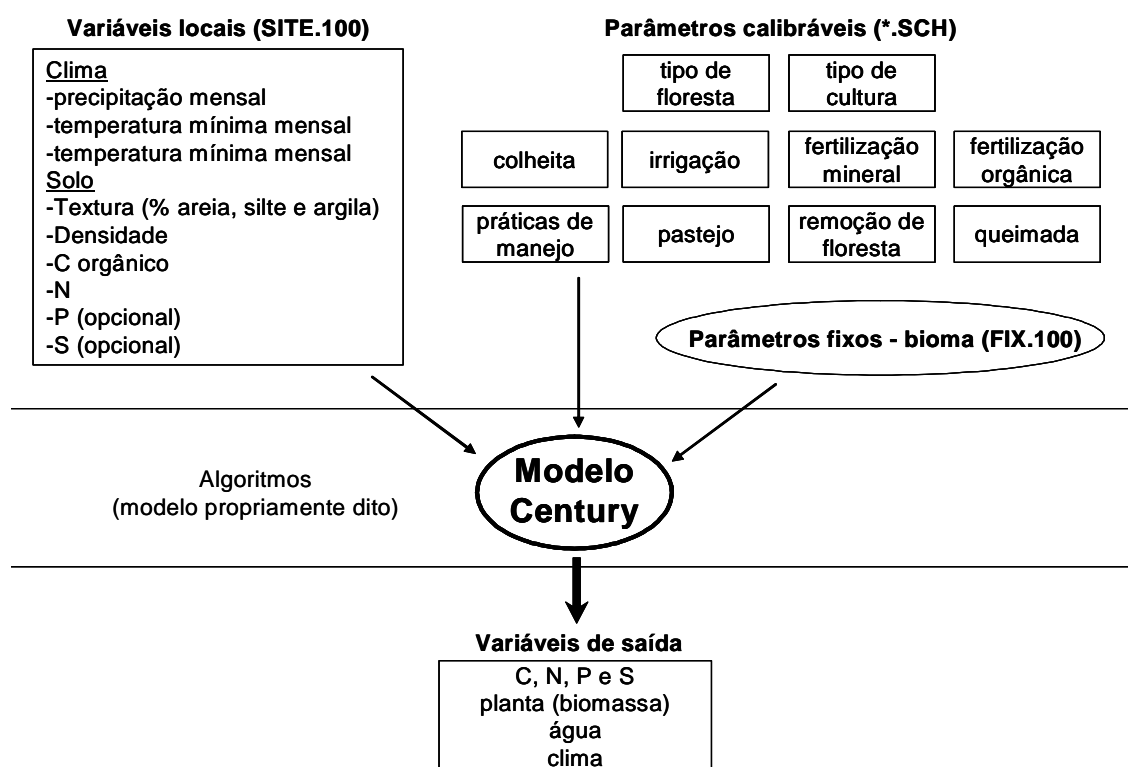


Figura 1. Resumo geral do Modelo Century (adaptado de Tornquist, 2007).

Existe ainda outro arquivo, o FIX.100, que contém parâmetros internos também chamados de “parâmetros fixos” e que são apropriados para o bioma Pradarias Norte-americanas. No entanto, estão disponíveis parametrizações alternativas para outros biomas (Florestas Tropicais, Florestas Temperadas, Desertos e Savanas), os quais devem ser escolhidos em função do bioma referente à região em que a área a ser simulada se localiza, pois contém alguns parâmetros essenciais do modelo que dificilmente são alterados, como, por exemplo, taxas de decomposição de compartimentos, coeficientes de equações diversas, frações de nutrientes (N, P e S) disponíveis para as plantas, relações C/N máximas e mínimas que controlam o fluxo de C e N nos diferentes compartimentos da MOS, frações de N perdidas por volatilização e lixiviação, entre outros.

2.3.1. Submodelo do carbono - compartimentos e fluxos

No modelo Century, o submodelo do C é constituído pelo sistema solo-planta, que está dividido em oito compartimentos principais, conforme Figura 2. A cobertura vegetal é separada em resíduo de superfície, que corresponde ao C da parte aérea das plantas, e de solo, correspondente ao C das raízes. Estas frações são subdivididas em dois tipos de compartimentos, conforme a relação lignina/nitrogênio (L/N), o metabólico e o estrutural, que correspondem às variáveis de saída STRUCC(1) e METABC(1) para os de superfície, e STRUCC(2) e METABC(2) para os de solo. O C do compartimento metabólico tem pronta degradação, especialmente aquele oriundo das raízes, que, por estar em maior contato com o solo, é facilmente atacado pelos microrganismos, enquanto o C metabólico da parte aérea será incorporado na biomassa microbiana superficial, SOM1C(1). Os compartimentos estruturais têm decomposição mais lenta (Metherell et al., 1994).

Na MOS, por sua vez, o C é separado em 3 compartimentos: C orgânico ativo, (SOM1C(2)), C orgânico lento (SOM2C) e C orgânico passivo (SOM3C), definidos pelo tempo de permanência no solo, o qual varia de um mês a 3 anos no compartimento ativo, de 20 a 30 anos no lento e de 400 a 2000 anos no passivo. De outra parte, o compartimento ativo pode ser associado às biomassas microbiana e de plantas e seus subprodutos ou exudatos de fácil degradação. Compostos de decomposição mais difícil que os anteriores, que estão fisicamente protegidos devido à interação das suas moléculas com minerais do solo, podem ser associados ao compartimento lento. E por último, compostos quimicamente recalcitrantes e que podem estar física ou coloidalmente protegidos, sendo então de elevada permanência no solo associam-se mais ao compartimento passivo (Parton et al., 1987; Metherell et al., 1994; Leal, 1996).

Na Figura 2 também podem ser observadas as entradas e saídas de C no sistema solo-planta consideradas pelo modelo Century, sendo as adições representadas pelo C da biomassa vegetal acima (AGLIVC) e abaixo do solo (BGLIVC) e, com o C perdido por erosão (SCLOSS), lixiviação (STREAM(5)) e o C removido pela colheita (CRMVST(1) e CGRAIN(1)) representando as principais saídas de C do sistema.

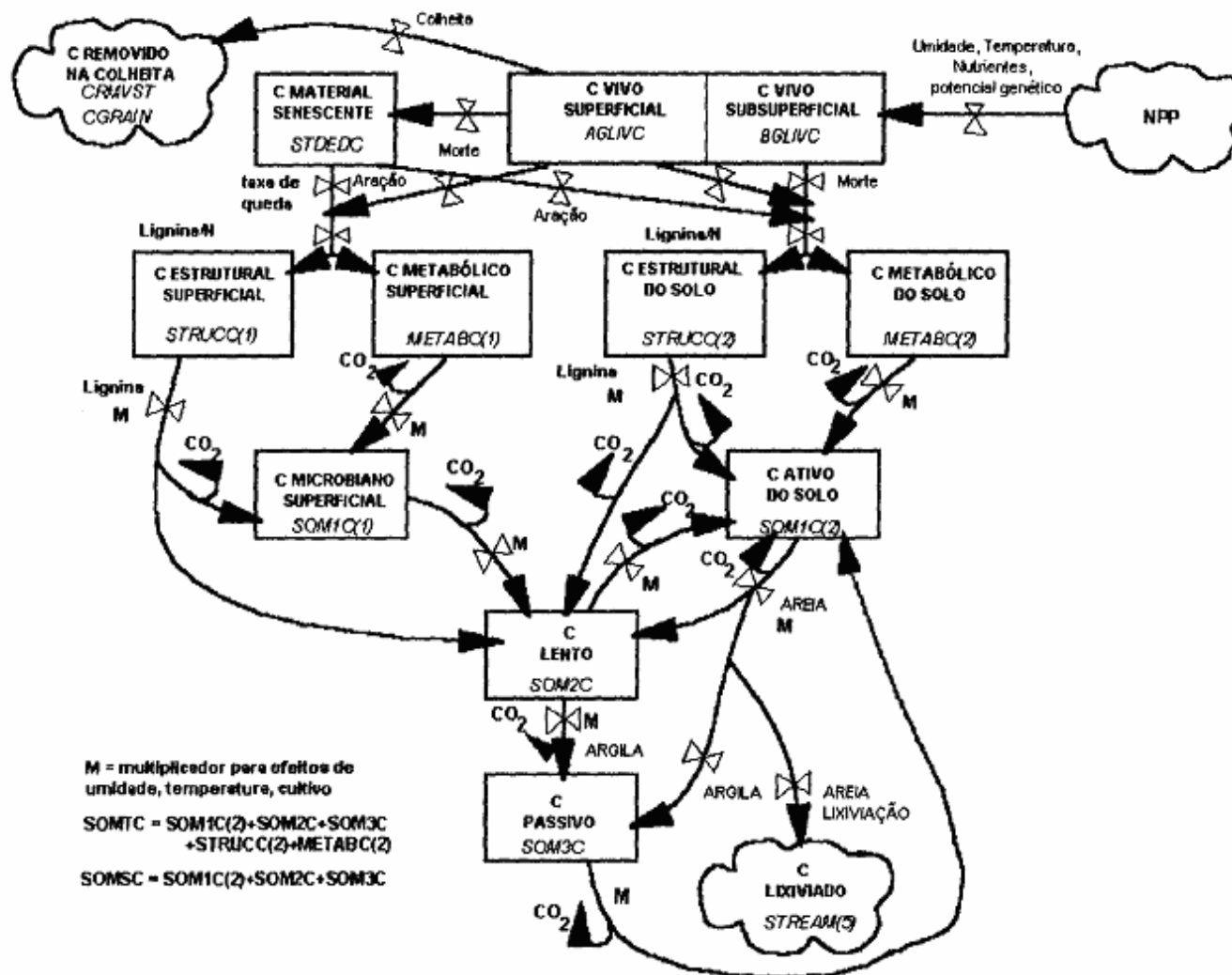


Figura 2. Compartimentos e fluxos de carbono no modelo Century 4.0, conforme Metherell et al. 1994.

2.4. Integração espaço-temporal: a modelagem dinâmica espacialmente explícita

A maioria dos modelos dinâmicos (simulam a dinâmica de nutrientes, por ex.) foi concebida para simulações pontuais, aplicáveis em parcelas experimentais ou pontos virtuais representativos de uma situação ambiental média. Isso porque variáveis locais, como temperatura, precipitação e atributos de solo, são normalmente obtidas em áreas de estudo bem delimitadas. Com isso, a espacialização de seus parâmetros e variáveis é limitada, já que os processos descritos em um ponto não são necessariamente os mesmos em outras escalas, especialmente quando o objetivo é a redução da escala em que a extrapolação de dados pontuais para uma área mais ampla constitui uma simplificação da realidade de campo (Tornquist, 2007).

Assim, estudos da dinâmica do COS em escala regional, nos quais é enfatizada a variabilidade espaço – temporal, requerem novas abordagens, sendo a *modelagem dinâmica espacialmente explícita* uma das alternativas. Neste caso, torna-se possível a aplicação da visão geral de estoque e dinâmica de nutrientes, bem como a simulação dos processos e interrelações em outras escalas, incorporando a variabilidade espacial. A análise espacial e temporal do uso e manejo dos solos requer uma abordagem que permita ao máximo a integração das informações reunidas, conferindo um caráter multidimensional, para o que as técnicas de geoprocessamento têm sido utilizadas com sucesso (McKeown et al., 1996; Ortiz et al., 1997; Coelho, 1999; Ardö et al., 2003; Norgaard, 2004).

O geoprocessamento é definido como a aplicação de métodos matemáticos e computacionais para o estudo de fenômenos geograficamente identificados (Moreira, 2005). Consiste assim, na implementação de um sistema de informações geográficas (SIG) em um ambiente digital (software) apropriado, que permita a manipulação e integração de diferentes *planos de informação*, tais como mapas políticos, vegetação, solos, geomorfologia, imagens de sensores remotos (aerofotos e imagens de satélites), bem como dados tabulados (censitários e outros). Além disso, as ferramentas de geoprocessamento (SIG) permitem o acoplamento de modelos pontuais como o Century a modelos da paisagem (mapas digitais e modelos digitais do

terreno). Futuramente modelos de análises espacializadas do ambiente poderão revelar aspectos que podem ser imperceptíveis quando se observa somente um ponto (Norgaard, 2004).

Conceitualmente existem dois métodos extremos para a integração espaço-temporal de modelos dinâmicos com SIG: um “acoplamento livre” e um “acoplamento ajustado” (Norgaard, 2004), conforme a Figura 3.

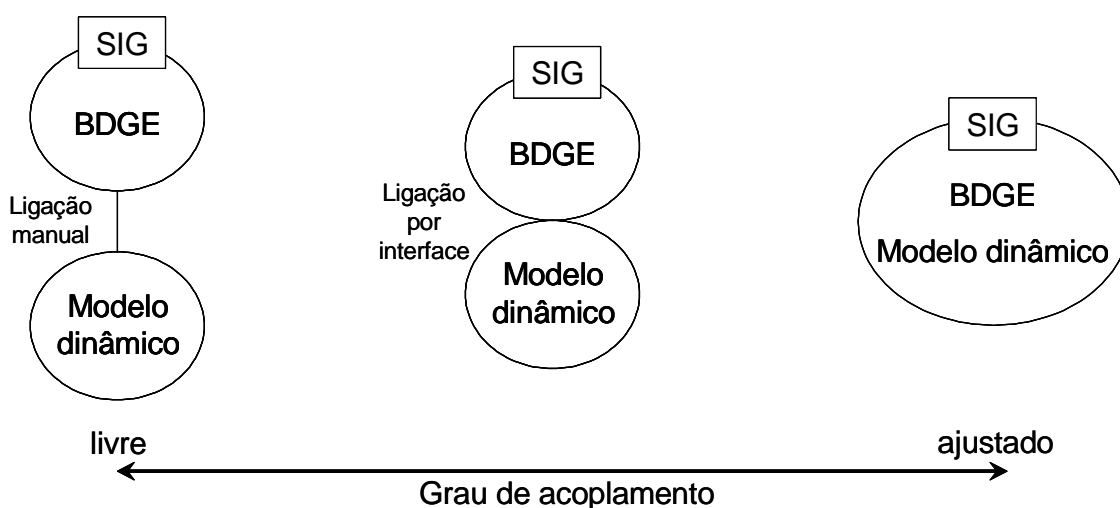


Figura 3. Formas e graus de acoplamento de SIG e modelos dinâmicos de simulação (adaptado de Norgaard, 2004 e Tornquist, 2007).

O acoplamento livre mantém a base de dados geoespaciais (BDGE) separada estruturalmente do modelo dinâmico. As simulações são executadas com um software específico do modelo dinâmico usado sendo que os dados gerados são extraídos manualmente ou por um aplicativo de extração (interface) e posteriormente inseridos na BDGE que será gerenciada em um SIG. O acoplamento ajustado integra completamente o modelo dinâmico e a BDGE em um ambiente SIG. A BDGE é gerenciada (adição, edição, deleção de dados analíticos) e as simulações são executadas no SIG usando a mesma plataforma ou interface (Norgaard, 2004).

O primeiro método é mais utilizado porque é simples, facilmente desenvolvido e aplicado, porém pode ser extremamente trabalhoso e demorado aumentar a base de dados e o número de simulações. Já o segundo é muito mais complicado de ser construído (programação) e verificado, pois em geral um SIG não suporta estruturalmente um modelo dinâmico e a linguagem utilizada na construção de um modelo dinâmico não suporta a modelagem espacial. Isso porque raramente um modelo é construído para interagir com

outros modelos e, além disso, são escritos em linguagens arbitrárias (dependendo do programador, instituição, etc). No entanto, a grande vantagem dessa abordagem é a possibilidade de se ter maior controle sobre a base de dados e as simulações, além da limitação para manipular os dados e as simulações recair sobre o equipamento (hardware) e não mais sobre o usuário como no acoplamento livre em que essa manipulação é feita manualmente (Norgaard, 2004).

No que se refere aos modelos de simulação da dinâmica da MOS, como o Century, RothC, etc, a formulação original tem sido a de parâmetros agregados com simulações pontuais. No entanto, apesar de serem raros, alguns estudos buscando aplicações espacialmente explícitas para simular alterações nos estoques de C associadas a diferentes usos do solo, sistemas de manejo de solos e mudanças climáticas foram realizados nos Estados Unidos (Donigian et al., 1995; McKeown et al, 1996) com acoplamento livre entre o modelo Century e uma BDGE de solos (o EPA, Agroecosystem Soil Carbon Database), e na Inglaterra com o Century associado a um SIG com acoplamento feito por uma interface chamada IGATE que automatiza a extração das variáveis de entrada da BDGE requeridas pelo Century, possibilitando múltiplas simulações, extração de variáveis de saída (Falloon et al., 1998).

No Brasil, especificamente no Rio Grande do Sul, o acoplamento livre do Century com SIG foi utilizado por Lopes (2006) e Lopes et al. (2008) em estudos da dinâmica da MOS em uma pequena microbacia hidrográfica (1,19 km²), e o acoplamento do Century com SIG através da interface i-Century (Interactive Century) foi utilizado por Tornquist (2007) em estudos de mesma natureza em dois municípios da região do Planalto (Ibirubá e XV de Novembro), abrangendo uma área de aproximadamente 835 km². O i-Century (CARD, 2008) consta de uma base de dados amigável e flexível (Microsoft Access[®]) e um software que executa o Century com as informações determinadas na base de dados, possibilitando trabalhos em escalas regionais e/ou nacionais que, tipicamente, requerem centenas ou milhares de simulações, resultando em grande quantidade de dados de entrada e saída a serem gerenciados. Entretanto, o i-Century não é uma versão do Century com distribuição espacial dos dados, e sim faz uma aproximação espacial na

avaliação do C, pois permite que múltiplos pontos sejam gerenciados com a mesma facilidade com que se gerencia a simulação em um único ponto (Norgaard, 2004).

2.5. A agricultura no Planalto Médio e região de Ijuí

No Rio Grande do Sul, a expansão da agricultura teve início em 1824 com a chegada de imigrantes europeus (incentivada pelo Estado brasileiro), que povoaram os vales dos rios afluentes do Guaíba e, posteriormente, as Encostas Inferior e Superior do Nordeste, ocupando solos às margens dos rios e sob florestas, dada sua elevada fertilidade natural. Com o crescimento populacional nestas áreas, o esgotamento da fertilidade natural dos solos, e conseqüente, perda do seu potencial produtivo, por volta de 1900, iniciou-se a ocupação de áreas sob florestas nas Regiões do Planalto Médio, Missões e Vale do Uruguai (Mielniczuk, 1999).

Na Região do Planalto Médio, onde se situa o município de Ijuí, assim como em outras regiões do RS, o processo de ocupação das áreas sob florestas se caracterizou, principalmente, por: a) formação de pequenas propriedades com famílias numerosas; b) com policultivo e criação de animais para subsistência; c) agricultura baseada na fertilidade natural do solo e uso da mão-de-obra familiar e; d) utilização de práticas agrícolas nos moldes europeus com intensa mobilização do solo (Brum, 1983; Siekierski e Lazzarotto, 1987). A intensa exploração dos solos provocou o rápido esgotamento da sua fertilidade natural com perda de matéria orgânica, tornando-os ácidos e improdutivos após alguns anos de cultivo.

A partir da década de 1950, iniciou-se no Rio Grande do Sul, nos campos e áreas sob cultivo (originalmente sob florestas), a agricultura mecanizada com uso de fertilizantes minerais, novas cultivares e equipamentos mecânicos para o preparo, semeadura e colheita. A adoção destas tecnologias possibilitou o uso agrícola de extensas áreas de campo nativo em muitos municípios das Regiões do Planalto Médio e Missões, até então utilizadas para pecuária extensiva (Schilling, 1961; Gomes, 1966; Siekierski e Lazzarotto, 1987).

Com isso, se estabeleceu um sistema empresarial de intensiva exploração agrícola, impulsionado, inicialmente, pela cultura do trigo e apresentando grande expansão em 1970 com a cultura da soja (Rückert, 2003). Porém, com graves problemas de conservação de solo, devido às práticas de manejo de solo trazidas de regiões temperadas, as quais se mostraram inadequadas às condições de ambiente subtropical, como o existente na região.

Como conseqüência deste processo, se estabeleceu um cenário de degradação generalizada das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com conseqüente perda do seu potencial produtivo. Os principais fatores responsáveis por esta degradação foram o intenso revolvimento do solo (uma ou duas vezes ao ano) e a queima sistemática dos resíduos culturais, deixando o solo descoberto durante parte do ano, tornando-o altamente suscetível ao processo erosivo. Cassol (1986) aponta a erosão provocada pela chuva, nas condições do RS, como a mais problemática dentre as diversas maneiras pelas quais a capacidade produtiva dos solos agrícolas pode ser reduzida.

As primeiras ações no sentido de conter a erosão foram iniciadas em 1950, coordenadas pelo Ministério da Agricultura e Secretaria Estadual de Agricultura centrando-se basicamente no terraceamento. Entretanto, a partir de 1970 com a expansão da cultura da soja, o aumento da mecanização com mobilização do solo e queima da palha do trigo, os terraços perderam sua eficiência no controle da erosão nos solos em avançado grau de degradação física (Cassol, 1986; Mielniczuk et al., 2003).

Somente quando foi constatada a necessidade de um sistema de produção agrícola adaptado às condições ambientais da região é que políticas públicas passaram a fomentar a pesquisa científica, com iniciativas no sentido de promover um processo interativo de reordenamento tecnológico no campo. A solução do problema exigia a mudança de uma agricultura extrativa e imediatista para uma agricultura conservacionista. E para tanto, dois grandes projetos buscaram reverter a situação da agricultura do RS com base na recuperação da fertilidade e conservação do solo, respectivamente a "Operação Tatu" e o "Projeto Integrado de Uso e Conservação do Solo" (PIUCS). A Operação Tatu foi implementada no final da década de 1960, objetivando recuperar a fertilidade dos solos através do uso racional de

fertilizantes e corretivos. Já o PIUCS teve início em 1979 abrangendo a área cultivada com trigo no inverno e soja no verão, tendo como objetivos: a) eliminar a queima da palha de trigo, praticada em mais de 80% das lavouras; b) reduzir a mobilização do solo com arado e grade, que eram usados em mais de 90% das lavouras; e c) introduzir o uso de culturas de cobertura de solo em áreas sob pousio no inverno, as quais representavam mais de 70% da área total cultivada (Wünsche et al., 1980; Mielniczuk et al., 2003).

Graças à grande aceitação destes programas pelos agricultores, resultados significativos começam a aparecer com a recuperação da fertilidade do solo, na década de 1960, e o controle da erosão por práticas mecânicas, como o terraceamento, na década de 1970. No entanto, a consagração da mudança para o enfoque conservacionista veio com estabelecimento do sistema de plantio direto (SPD ou PD) na década de 1980, com redução significativa das taxas de erosão, passando-se a tratar a matéria orgânica do solo (MOS) como componente fundamental da capacidade produtiva do solo, especialmente em condições de clima tropical e subtropical.

2.6. A colonização de Ijuí

As matas da região de Ijuí, assim como no Rio Grande do Sul, foram inicialmente colonizadas pelos povos indígenas, principalmente os Guaranis, porém não se sabe exatamente quando os índios iniciaram a ocupação destas áreas. Os Guaranis se estabeleciam próximo aos grandes rios, onde a caça e a pesca eram facilitadas e também alguns trabalhos agrícolas eram realizados pelas mulheres nestas áreas. Contudo, com a chegada dos jesuítas ao Rio Grande do Sul em 1626 (SCP, 2004), os indígenas passaram a ter uma nova forma de organização, ajudando na fundação dos Sete Povos das Missões (1687 a 1828), e sob o comando dos missionários extraíam erva-mate das matas de Ijuí.

Em 1801, os portugueses ocuparam toda a região (sendo os campos ocupados por estancieiros) expulsando os posseiros que ocupavam as terras, as quais seriam alocadas aos imigrantes europeus.

A fundação da “Colônia de Ijuhy” em 19 de outubro de 1890 marca o início da colonização de Ijuí. Um mês mais tarde chegavam a Porto Alegre os

primeiros imigrantes destinados a esta colônia, os quais somente chegaram oficialmente em Ijuí em 10 de janeiro de 1891. Os imigrantes são principalmente italianos, alemães, poloneses, suecos e letos, os quais foram recebidos em um “barracão” onde permaneciam alojadas as mulheres e crianças enquanto os homens recebiam, da Comissão de Terras, os lotes de aproximadamente 25 ha (ou uma colônia de mata), que deveriam ser pagos em cinco anos. Além disso, recebiam uma ajuda financeira para aquisição de ferramentas e sementes e contratados para abrir estradas vicinais identificadas como linhas (Siekierki e Lazzarotto, 1987). Na Figura 4 consta o mapa da distribuição dos lotes da Colônia de Ijuhy, datado de 1909.

A chamada Linha Base corta a Colônia de Ijuí em sentido norte-sul e as demais linhas eram identificadas de acordo com seu distanciamento e sua posição leste ou oeste da Linha Base, tendo-se assim, a 1 km a leste da Linha Base a chamada Linha 1 Leste, a 2 km a leste a Linha 2 Leste, e assim sucessivamente.

A maioria dos imigrantes recém chegados a Ijuí não trabalhava com agricultura no seu país de origem e suas experiências, excetuando-se a agrícola, não interessavam a Comissão de Terras que desejava que os imigrantes tornassem agricultáveis as terras do Vale do Rio Ijuí. Assim, os lotes foram distribuídos aos imigrantes que formavam grupos de acordo com sua etnia (Marques, 2002).

Dentre os grupos étnicos que colonizaram das áreas de matas de Ijuí, os poloneses estão entre os pioneiros e sua história tem sido documentada através de livros escritos pelos próprios imigrantes (como o Padre Antoni Cuber que fez parte do primeiro grupo de poloneses chegados em 1890) e atualmente pelos descendentes poloneses atuais moradores do município de Ijuí. Portanto, a reconstituição histórica da ocupação das áreas de matas torna-se mais fácil à medida que existem relatos históricos de como a ocupação, desmatamento e uso do solo se deu nestas áreas nos primórdios da colonização em Ijuí.

2.6.1. O Distrito Santana

Durante a distribuição dos lotes, foram destinados aos poloneses os lotes nas Linhas Base, 1 a 7 Leste, 6 a 11 Oeste, além da sede (em torno de

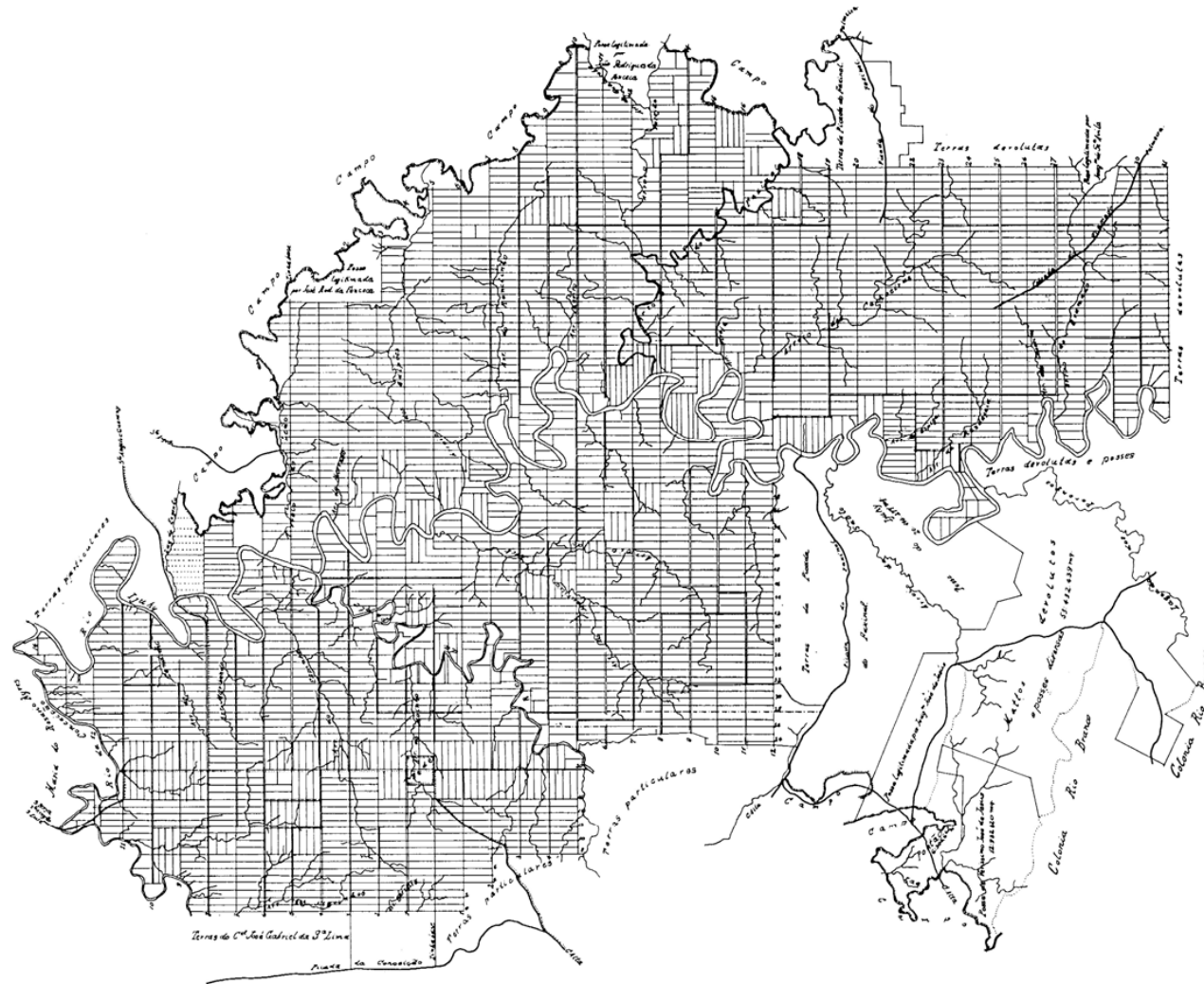


Figura 4. Mapa dos lotes da Colônia Ijuhy em 1909.

350 lotes). Dentro dos limites das chamadas Linhas, grupos de famílias foram ocupando as terras sendo a Linha 1 e Base as primeiras a serem colonizadas (Siekierki e Lazzarotto, 1987).

Em 1922 fundou-se o Povoado Santana, a partir da chamada Sociedade Polaca de Santa Anna da Linha 1 Leste. Neste momento a “Linha 1” passou a constituir-se no ponto central da localidade, hoje Distrito Santana (Lei nº 2.150, de 20/07/1986). O Distrito Santana (ou simplesmente Santana) está localizado 6 km ao norte da sede do município entre os rios Potiribú e Ijuí. É cortado pela RS 155, rodovia que liga Ijuí ao município de Três Passos.

3. HIPÓTESES

Com base no exposto anteriormente, foram formuladas as seguintes hipóteses de trabalho:

- A variação temporal dos estoques de carbono orgânico é determinada pelos diferentes tipos de solo, de usos e manejos a que o mesmo é submetido.
- É possível estimar as alterações nos estoques originais de C causadas pelo uso agrícola do solo, de forma espacial e temporal, pelo uso da modelagem dinâmica associada a técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto;

4. OBJETIVOS

Para testar as hipóteses formuladas, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- Estudar a evolução espacial e temporal dos sistemas de uso e manejo de solos para o Distrito Santana, em Ijuí, por simulações com o modelo Century, 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 (pré-colonização), nos solos do Distrito Santana, através de avaliações de campo e simulações com o modelo Century.
- Estimar as emissões de CO₂ pelos solos do Distrito Santana e o seu potencial de seqüestro de C relacionado à adoção de práticas conservacionistas de manejo.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo envolveu a análise espacial e temporal do estoque de carbono orgânico do solo (COS) e do balanço de CO₂, tendo a modelagem dinâmica espacialmente explícita como principal ferramenta, sendo que estimativas do modelo Century foram associadas ao uso de técnicas de geoprocessamento. Para tanto, foram utilizadas informações já existentes, tais como mapas políticos, vegetação, solos, geomorfologia, imagens de sensores remotos (aerofotos e imagens de satélites), bem como dados históricos e tabulados (censitários e outros), não espacializados, referentes à área de abrangência do projeto.

5.1. Delimitação espacial e características da área de estudo

Apesar de se ter disponível um levantamento de utilização dos solos de Ijuí e que engloba também os municípios de Bozano e Coronel Barros (Abrão e Azolin, 1970), a obtenção de informações confiáveis acerca do histórico de uso e manejo dos solos em toda a região de abrangência do mapa de solos é limitada. Então para que fosse possível um maior nível de detalhamento e maior controle sobre as fontes de informações utilizadas, optou-se por reduzir a área de estudo para o presente trabalho.

Assim, a área de estudo abrange 10.669 ha, correspondendo ao Distrito Santana, delimitada ao norte pelo Rio Ijuí e ao sul pelo Rio Potiribú, a oeste pela confluência destes rios e a leste pelo limite atual entre os municípios de Ijuí e Bozano (Figura 5).

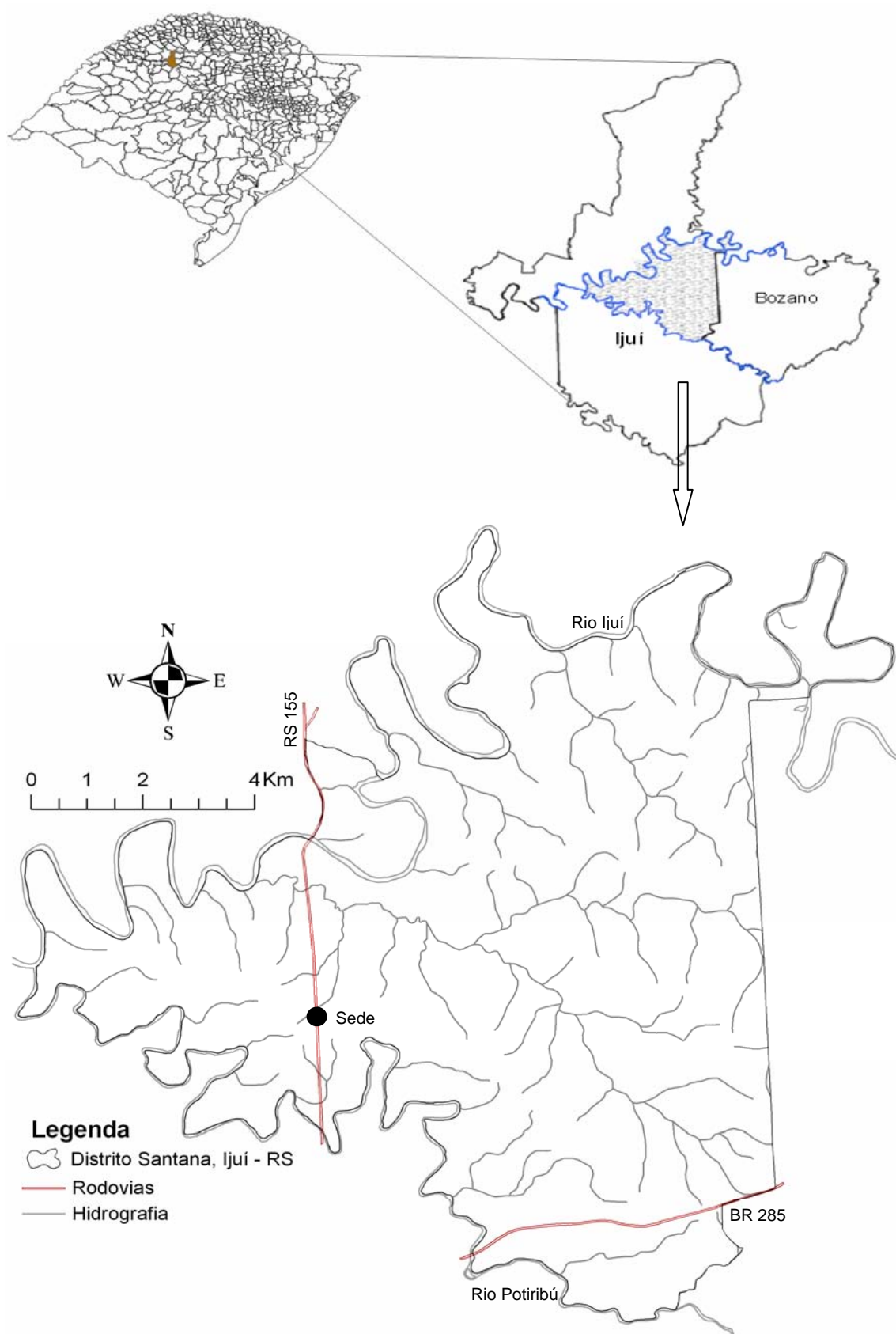


Figura 5. Localização do Distrito Santana no município de Ijuí no Estado do Rio Grande do Sul.

5.1.1. O ambiente natural do Distrito Santana

5.1.1.1. Vegetação

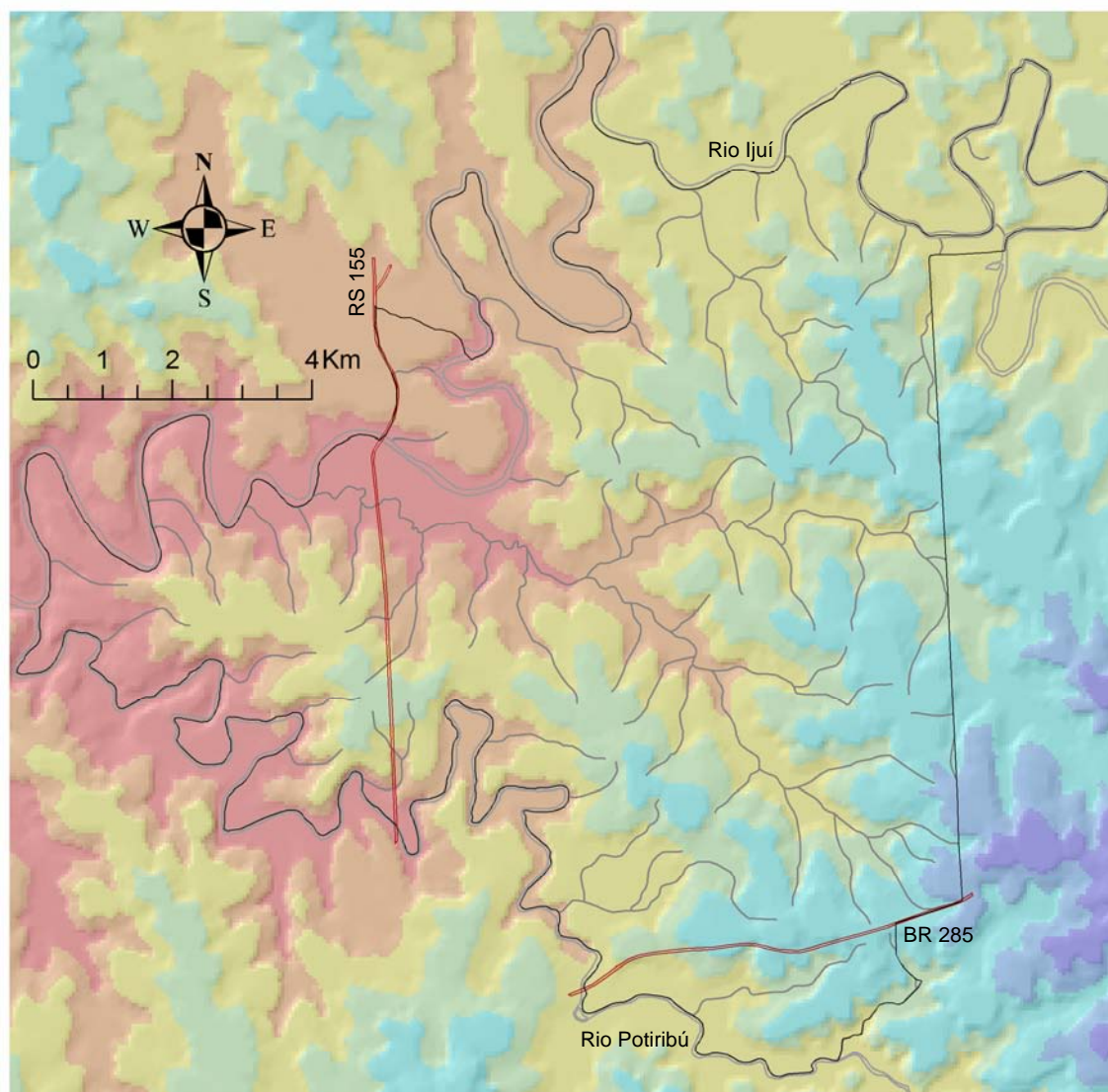
A vegetação original da região do Distrito Santana, é formada por floresta classificada como *Floresta Ombrófila Mista*, que originalmente recobria grande parte do Planalto Riograndense. As florestas dessa região apresentam dominância do pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*) no extrato superior, com ocorrência de outros gêneros comuns em outras formações florísticas do Rio Grande do Sul, como o angico (*Parapiptadenia sp.*), canjerana (*Cabralea sp.*), guajuvira (*Patagonula sp.*), louro (*Cordia sp.*), canela-preta (*Ocotea catharinensis*), erva-mate (*Ilex paraguariensis*), canafístula (*Senna multijuga*), cabriúva (*Myrocarpus frondosus*), grápia (*Apuleia leiocarpa*), além de frutíferas como pitangueira (*Eugenia uniflora*), esporão-de-galo (*Strychnos brasiliensis*), sete-capotes (*Campomanesia sp.*), araticum (*Rollinia silvatica*), guabiroba (*Campomanesia eugenioides*), cerejeira (*Eugenia involucrata*), bem como cipós e taquaras (Siekierki e Lazzarotto, 1987).

O censo agropecuário do Brasil realizado, referente a 1995-1996, baseado em enquetes, estabeleceu a área remanescente sob matas e florestas nativas de Ijuí em 7,4% e sob campos (pastagens nativas) em 8,9%, visto que estes também ocorrem no município, porém não no Distrito Santana.

5.1.1.2. Relevo

A geologia e geomorfologia da região de Ijuí são similares àquelas predominantes em grande parte do Brasil, com paisagens antigas, dissecadas e erodidas em maior intensidade na periferia dos planaltos. As feições mais comuns são colinas alongadas de topo convexo, com relevo suave ondulado (coxilhas), fazendo parte do Planalto Basáltico, que cobre quase todo o centro – norte do Rio Grande do Sul. Tais coxilhas são dissecadas por um sistema de drenagem retangular em forma de “U”. Em algumas áreas, como às margens dos rios, o relevo torna-se mais acidentado, com o aparecimento de pequenos afloramentos de rochas. O município possui uma boa rede hidrográfica,

constituída de vários rios. No Distrito Santana, os rios Ijuí e Potiribú são os principais (Figura 6).



Legenda

Distrito Santana, Ijuí - RS

Rodovias

Hidrografia

Modelo de elevação (m)

220 - 270

280 - 290

300 - 310

320 - 330

340 - 360

370 - 390

400 - 420

Figura 6. Mapa hipsométrico do Distrito Santana, Ijuí-RS, gerado a partir do modelo numérico do terreno, derivado por interpolação das curvas de nível espaçadas de 20 em 20 metros (Brasil, 1980).

No Distrito Santana tem-se ao sudeste áreas em posições mais elevadas na paisagem (no máximo 390 m de altitude), associadas às superfícies mais arredondadas e amplas com relevo mais suave, com declive variando de 5 a 8% e a oeste tem-se as áreas em posições menos elevadas, entre 220 e 270 m de altitude (Figura 6). No entanto, na maior parte da área o relevo é semelhante, porém nas elevações os comprimentos dos declives são menores e, portanto, a rede de drenagem é relativamente numerosa. Nos interflúvios e junto às nascentes dos rios e arroios, ocorrem depressões locais arredondadas ou elípticas como “anfiteatros”, normalmente com presença de vegetação de banhado (IBGE, 1986) e em alguns locais fortemente dissecados, o relevo é forte ondulado com declividade de até 15%. A paisagem que limita o Distrito Santana ao norte e ao sul é dissecada pelos rios Ijuí e Potiribú.

5.1.1.3. Solos

O estudo dos solos da região teve início na década de 1960, quando foi realizado o Levantamento de Reconhecimento de Solos do Rio Grande do Sul sendo a primeira etapa realizada na região do Planalto (Lemos et al., 1967; BRASIL, 1973). Posteriormente, o Levantamento e Utilização dos Solos do Município de Ijuí foi realizado por Abrão e Azolin (1970). Este último levantamento foi realizado quando os atuais municípios de Bozano e Coronel Barros ainda pertenciam a Ijuí. Por se tratar de uma área de grande potencial agrícola, foi uma das primeiras áreas do Rio Grande do Sul a ter seus solos levantados em nível de generalização através de um convênio entre a Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul e o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Abrão e Azolin, 1970).

A grande maioria dos solos desta região (município de Ijuí) é formada por rochas basálticas bastante intemperizadas, resultando em solos profundos, com textura argilosa, argila de carga variável e com mineralogia contendo caulinita e óxidos de ferro e manganês que conferem coloração vermelha escura. No Distrito Santana, somente ocorrem solos originados de basalto, encontrando-se os seguintes tipos de solos na região (Figura 7): Latossolo Vermelho distroférico típico (Unidade de Mapeamento Santo Ângelo),

Neossolo Regolítico eutrófico (Unidade de Mapeamento Charrua) e Chernossolo Argilúvico órtico (Unidade de Mapeamento Floresta). No restante da área ocorrem os sedimentos aluviais recentes, provenientes da erosão dos solos das áreas adjacentes, formando-se o Neossolo Flúvico (Unidade de Mapeamento Aluvião), que são solos jovens e não consolidados (Abrão e Azolin, 1970; EMBRAPA, 2006). A correspondência entre legendas original e atualizada pode ser observada no Apêndice 1.

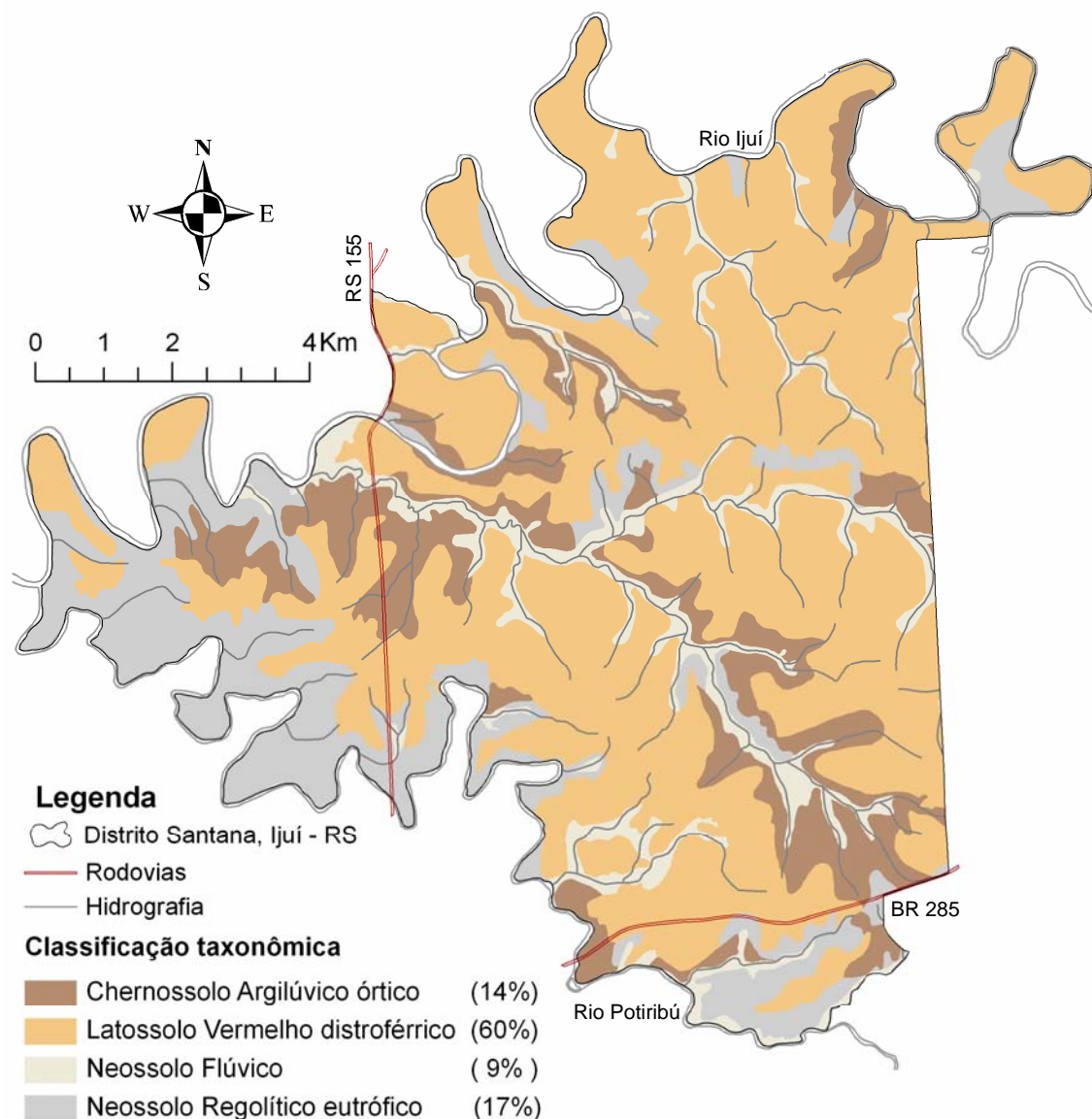


Figura 7. Mapa de solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, compilado de Abrão e Azolin (1970).

As classes de solo que diferem já no primeiro nível categórico, a partir daqui serão tratadas somente como Latossolos (Latossolo Vermelho

distroférico típico) e Chernossolos (Chernossolo Argilúvico órtico), enquanto os Neossolos incluirão o segundo nível categórico, sendo tratados como Neossolos Regolíticos (Neossolo Regolítico eutrófico) e Neossolos Flúvicos. Nas figuras e tabelas apresentadas neste estudo, as classes de solos serão identificadas até o terceiro nível categórico, quando possível.

5.2. Abrangência temporal

Neste estudo, será considerado o período compreendido entre o início da colonização da região, por volta de 1900, até a atualidade (2007), realizando-se ainda simulações de cenários futuros com base na adoção de diferentes sistemas de manejo do solo até o ano de 2050.

5.3. Evolução espacial das mudanças no uso do solo

5.3.1. Implementação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

O SIG de trabalho foi implementado em ambiente ArcGis (ESRI, 2003), para a integração e manipulação das informações relevantes para possibilitar a realizar as simulações com o modelo Century. Tais 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 (BDGE). Desta forma, foram criados os seguintes planos de informação, conforme sugerido por Tornquist (2007).

5.3.1.1. Base cartográfica (mapa-base)

Nesta etapa, foi obtida e digitalizada a carta topográfica em escala 1:50.000 correspondente à região de interesse: Folha Ijuí (Brasil, 1980). Posteriormente, a carta foi georeferenciada ao *datum* Córrego Alegre. Os planos vetoriais referentes à hidrografia e às curvas de nível foram obtidos junto à Secretaria Estadual do Meio Ambiente em Porto Alegre – RS.

5.3.1.2. Vegetação original

Inicialmente, foi realizado o reconhecimento da vegetação da região do Distrito Santana através de estudos, relatórios e mapas (Abrão e Azolin, 1970; IBGE, 1986; Debarba, 2002). Além disso, a localização e o estabelecimento dos limites das formas da vegetação original da região foram obtidos a partir dos registros aerofotogramétricos mais antigos disponíveis (aerofotos de 1956, com escala aproximada de 1:30.000, da Força Aérea Brasileira, disponíveis no Departamento de Solos - UFRGS). As aerofotos cobrindo a região em estudo foram digitalizadas em scanner de mesa e georeferenciadas ao mapa-base. A partir da identificação visual das feições da vegetação por fotointerpretação, construiu-se um mapa vetorial com polígonos representando a vegetação original em 1956.

5.3.1.3. Mudanças de uso e manejo de solos

A identificação espacializada das mudanças de uso e manejo de solos do Distrito Santana, para os anos de 1964 e 1975 foi realizada a partir de registros aerofotogramétricos disponíveis em escala 1:60.000 e 1:110.000 respectivamente, adotando-se o mesmo procedimento descrito no item 5.3.2. Para os anos de 1987 e 2007, a identificação espacializada das mudanças de uso e manejo do solo foi feita a partir da classificação da imagem do satélite LANDSAT-TM5 de 14 de março de 1987, com resolução espacial de 30 m, e da imagem ALOS-PRISM de 19 de abril de 2007, com resolução espacial de 2,85 m.

Durante o processo de vetorização e individualização dos polígonos referentes aos remanescentes da vegetação original em cada data avaliada (1956, 1964, 1975, 1987 e 2007), foi tomada como referência a imagem ALOS PRISM por ser de alta resolução (2,85 m) e a mais recente disponível, associada ao mapa de distribuição dos lotes no Distrito Santana (digitalizado e georeferenciado ao mapa base), datado de 1909 (Figura 4), em relação às aerofotos datadas de 1956. Tal procedimento foi adotado para minimizar os erros de posicionamento geográfico devido ao georeferenciamento das aerofotos, já que a imagem ALOS-PRISM possui menor erro associado ao

georeferenciamento. Os limites dos lotes auxiliaram na localização dos remanescentes de mata nativa nas diferentes datas, visto que as divisas de propriedades, na sua maioria, atualmente seguem os mesmos limites estabelecidos em 1909. Para a delimitação espacial da vegetação original nas datas intermediárias (1964, 1975 e 1987), tomou-se como base o mapa vetorial da vegetação de 1956, somente reduzindo-se os polígonos quando as aerofotos e imagem evidenciaram a remoção da mata. Assim, não foram consideradas áreas em que a vegetação nativa se regenerou após 1956 ou em que houve o reflorestamento. Quando ocorreu aumento da área vegetada por mata, os polígonos foram mantidos com tamanho igual ao da data anterior. Além disso, áreas sob vegetação nativa que ocupavam menos de 0,25 ha foram desconsideradas em todas as datas.

Cabe destacar que para a classificação da vegetação a partir das aerofotos e imagens de satélite não foram adotadas técnicas de classificação automatizadas, e sim feita por fotointerpretação (classificação visual). O mapa de evolução de uso agrícola do solo foi obtido pelo cruzamento dos planos de informação gerados para cada data, tendo-se assim individualizadas em um único mapa as lavouras iniciadas entre 1901 e 1956, entre 1957 e 1964, entre 1965 e 1975, entre 1976 e 1987 e entre 1988 e 2007.

5.3.1.4. Solos

Inicialmente, o mapa de solos da região de Ijuí, na escala 1:50.000, resultante do levantamento de solos de 1970 (Abrão e Azolin, 1970), obtido em formato analógico, foi digitalizado em scanner de rolo e a imagem digital obtida foi georeferenciada ao mapa-base na projeção UTM (zona 22S no *datum* Córrego Alegre), e posteriormente, vetorizado em ambiente SIG no software ArcView 3.2 (ESRI, 1999). Além disso, foram feitas correções mínimas dos delineamentos do mapa para adequação de polígonos correspondentes aos solos aluviais à rede de drenagem, tomando-se como referência o mapa original. A legenda foi atualizada para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), com base nos perfis modais descritos por Abrão e Azolin (1970). Finalmente, o mapa de solos do município de Ijuí foi recortado

através de ferramentas do geoprocessamento obtendo-se, assim, o mapa de solos do Distrito Santana individualizado em escala 1:50.000 (Figura 7).

5.3.1.5. Elementos da paisagem

Foi produzido um modelo numérico do terreno (MNT) em formato raster (Figura 6) com resolução espacial de 20 m, obtido pela interpolação das curvas de nível espaçadas verticalmente em 20 m e pontos cotados que constam na carta do exército utilizada como base cartográfica neste estudo (Folha Ijuí – escala 1:50.000, Brasil, 1980). A partir do MNT foi gerado um plano temático de declividade, sendo que ambos foram necessários para que a superfície fosse classificada quanto aos elementos da paisagem topos, encostas e áreas deposicionais (Figura 8), conforme sugerido por Tornquist (2007). Para tanto, foi utilizado o algoritmo TPI (Topographic Position Index), utilizado como uma extensão do ArcView 3.2 (Jennessent, 2008). Foi utilizado o padrão circular (*circle*) de busca nas vizinhanças, com raio de 600 m, adotando-se os seguintes critérios:

- topos: pixels com declividade entre 0 e < 8%;
- encostas: pixels com declividade > 8%;
- áreas deposicionais: pixels com declividade próxima à zero, que não sejam topos (separadas pela altitude).

5.4. Evolução dos estoques de COS em função do uso e manejo do solo

Nesta etapa, procurou-se caracterizar os estoques de COS e o histórico de uso e manejo do solo do Distrito Santana, além de caracterizar o solo quanto sua textura, com vistas à obtenção de informações necessárias para as simulações com o modelo Century. Para tanto, intensificaram-se as amostragens em áreas mantidas sob vegetação nativa até a atualidade e em lavouras cujo histórico de manejo fosse o mais detalhado possível, limitando-se à classe dos Latossolos, dada a sua ocorrência em 60% da área em estudo (Figura 7).

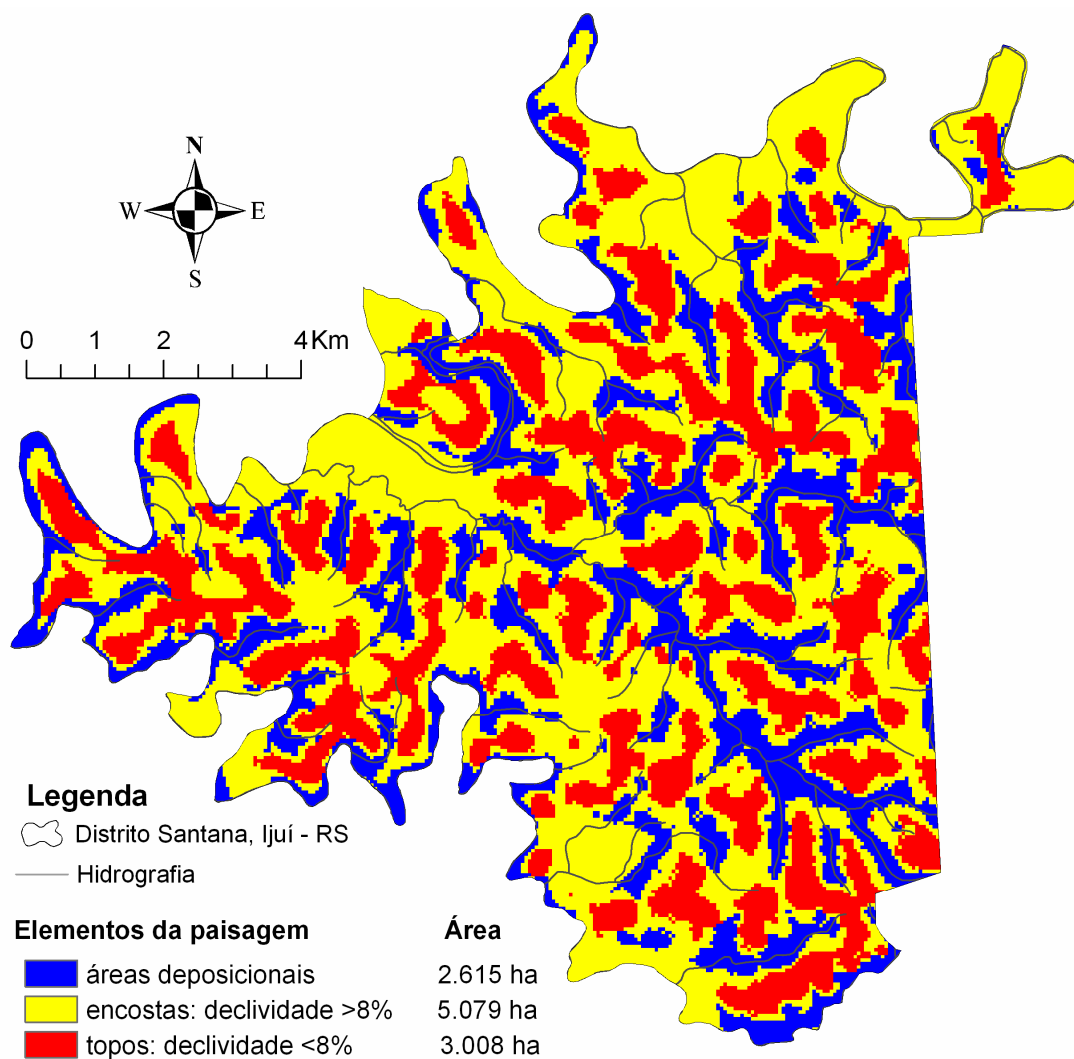


Figura 8. Elementos da paisagem derivado do modelo numérico do terreno, criado a partir das curvas de nível espaçadas de 20 em 20 m (Brasil, 1980), para o Distrito Santana, Ijuí-RS.

Para as demais classes de solo (Chernossolo, Neossolo Regolítico e Neossolo Flúvico), buscou-se a caracterização dos estoques de COS somente na condição original (mata nativa), sendo utilizados, para tanto, os dados apresentados por Abrão e Azolin (1970), referentes aos perfis modais amostrados para o levantamento de solos do município de Ijuí e a caracterização quanto à utilização agrícola destes. Neste caso, foram utilizados os dados referentes aos perfis amostrados sob vegetação nativa, ou em áreas cuja mata nativa havia sido removida a apenas 1 ano. Cabe salientar que nenhum dos 26 pontos amostrados para o levantamento de solos realizado por Abrão e Azolin (1970) foi coletado dentro da área de abrangência do presente

estudo. No entanto, considerou-se que a variação quanto à textura do solo e estoques de COS na vegetação nativa das diferentes classes de solo do Distrito Santana está dentro da variação observada na área de abrangência do levantamento de solos do município de Ijuí. Além disso, para cada classe de solo, apenas 1 perfil modal foi descrito e amostrado sob vegetação nativa, sendo estas as amostras tomadas como referência para o cálculo de estoques de COS originais no presente estudo.

5.4.1. Amostragem de solo

Conforme descrito anteriormente, a amostragem do solo realizada em 2007 no Distrito Santana limitou-se à coleta de amostras realizadas em lavouras e em áreas de vegetação nativa sob a classe dos Latossolos com declividade menor que 8% (topo), representativos do histórico de uso e manejo dos solos da região.

Para tanto, inicialmente foram reconstituídas no tempo, com base em relatos históricos (1900-1955), fotos aéreas (1956, 1964 e 1975) e imagens de satélite (1987 e 2007), as alterações no uso e manejo do solo na região em estudo, estabelecendo-se diferentes períodos de conversão de mata nativa em lavouras, conforme método descrito no item 5.3.3. Deste modo foi possível identificar lavouras iniciadas entre 1901 e 1930, entre 1931 e 1956, entre 1957 e 1964, entre 1965 e 1975, entre 1976 e 1987 e entre 1988 e 2007.

Posteriormente foram coletadas amostras em quatro áreas distribuídas no Distrito Santana (Figura 9), sendo sete pontos na Área 1 [mata (2 pontos) e lavouras iniciadas entre 1901 e 1930 (2 pontos), 1931 e 1956 (1 ponto) e 1976 e 1987 (2 pontos)], quatro pontos na Área 2, [mata (1 ponto) e lavouras iniciadas entre 1931 e 1956 (1 ponto), 1965 e 1975 (1 ponto) e 1976 e 1987 (1 ponto)], cinco pontos na Área 3, [mata (1 ponto) e lavouras iniciadas entre 1901 e 1930 (1 pontos), 1931 e 1956 (1 ponto), 1965 e 1975 (1 ponto) e 1976 e 1987 (1 ponto)] e quatro pontos na Área 4, [mata (2 pontos) e lavouras iniciadas entre 1931 e 1956 (2 pontos)], totalizando 20 pontos (mini-trincheiras) amostrados com duas repetições por ponto (com exceção das lavouras da área 2, onde tem-se uma repetição por ponto). A seleção das áreas foi feita a partir da discussão dos objetivos e necessidades do projeto com técnicos do

escritório da EMTER-RS de Ijuí e Bozano, bem como dos pesquisadores da área de solos da UNIJUÍ.

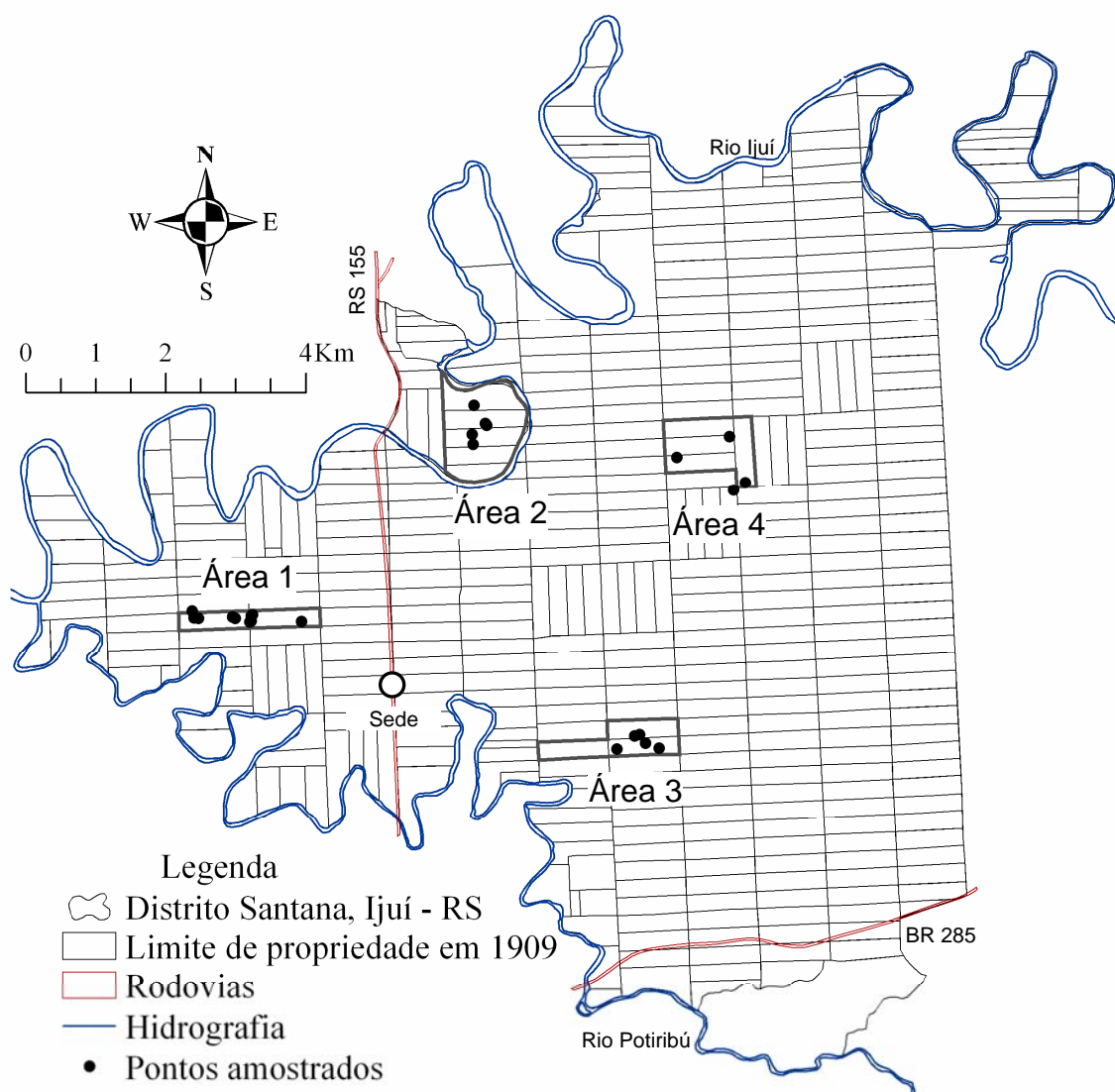


Figura 9. Localização das quatro áreas amostradas no Distrito Santana, Ijuí-RS, e distribuição espacial dos pontos amostrados em cada área.

5.4.1.1. Procedimentos de coleta de solo no campo

Foram abertas, com pá-de-corte, mini-trincheiras nas dimensões aproximadas de 40 cm de largura, 50 cm de comprimento e 35 cm de profundidade. Foram coletadas amostras nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm.

a) COS e granulometria

Após abertas, as mini-trincheiras foram subdivididas em duas no sentido da largura e o volume de solo referente a aproximadamente 20 cm de largura 25 cm de comprimento e 10 cm de profundidade (referente às camadas de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm de profundidade), foram coletadas com o auxílio de espátula, compondo uma amostra de aproximadamente 5 litros de solo. Este volume foi homogeneizado e uma subamostra (~1 litro), para cada camada amostrada, foi separada e acondicionada em saco plástico identificado para posterior análise em laboratório.

b) densidade do solo

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (8,5 cm Ø x 5 cm). Para tanto, utilizou-se os 20 cm de largura restantes na mini-trincheira aberta, onde foi inserido um anel de maneira a amostrar a parte central de cada uma das camadas amostradas (0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm de profundidade). O anel foi retirado do solo juntamente com a amostra contida no seu interior com o auxílio de espátula. Após a limpeza a amostra foi acondicionada em saco plástico identificado para posterior determinação da densidade do solo em laboratório.

5.4.1.2. Procedimentos de análises laboratoriais

a) COS

Os teores de C orgânico total do solo foram determinados por combustão seca (Nelson e Sommers, 1996) em analisador CH Shimadzu no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da UFRGS.

b) granulometria do solo

Inicialmente, as amostras foram secas ao ar e posteriormente desagregadas manualmente para que passassem em peneira com malha de 2 mm de abertura. A granulometria do solo foi determinada segundo o método da pipeta descrito em EMBRAPA (1997), com modificações. Todas as amostras de solo, independentemente do teor de matéria orgânica, foram submetidas ao pré-tratamento com peróxido de hidrogênio (H₂O₂), visando à eliminação da

matéria orgânica. A dispersão do solo foi feita com hidróxido de sódio (NaOH 1 M) com agitação em agitador horizontal por 16 horas. Para a realização de tais procedimentos foram utilizados os laboratórios de Física do Solo e Química do Solo da UFRGS.

c) densidade do solo

As amostras úmidas, retiradas do interior dos anéis de volume conhecido, foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 105°C até obtenção de peso constante. Em seguida as amostras foram pesadas para a determinação da massa de solo.

5.4.2. Cálculos dos estoques de COS

5.4.2.1. Mata nativa (condição original)

Os estoques de COS observados nas áreas sob mata nativa das diferentes classes de solos do Distrito Santana (amostras coletas em 2007 e dados extraídos do levantamento de solos realizado por Abrão e Azolin (1970)) foram considerados como equivalentes aos estoques existentes no solo no período de pré-colonização (até 1900), partindo-se do pressuposto que os estoques de COS encontram-se estáveis sob vegetação nativa. Os estoques de COS nestas áreas foram calculados com base na concentração de C da amostra, na densidade do solo e na profundidade da camada amostrada, conforme a equação abaixo:

$$E = C \times prof \times \rho \times 10 \quad (\text{Equação 1}).$$

Onde: E é o estoque de COS (Mg ha^{-1});

C é a concentração de C na amostra (kg Mg^{-1});

$prof$ é a espessura da camada (m); e

ρ é a densidade do solo (Mg m^{-3}).

Para as amostras coletadas sob Latossolo (em 2007), foi determinado um estoque de COS de referência (condição original) para cada uma das quatro áreas, o qual correspondeu à média de duas repetições nas Áreas 2 e 3, e nas Áreas 1 e 4 correspondeu à média de quatro repetições (dois pontos amostrados sob mata, com duas repetições por ponto).

Nas demais classes de solo, os estoques de COS de referência, considerando-se a camada de 0 a 20 cm de profundidade, foram obtidos utilizando-se os dados apresentados por Abrão e Azolin (1970), necessários para a utilização da Equação 1. No entanto, a densidade do solo foi estimada indiretamente, a partir da Equação 2, conforme descrito em Benites et al. (2007), baseando-se nos dados do levantamento de solos (Abrão e Azolin, 1970).

$$\rho = 1,56 - 0,0005(\text{argila}) - 0,01(C) + 0,0075(SB) \quad (\text{Equação 2}).$$

Onde: ρ é a densidade do solo (g cm^{-3})

argila é o teor de argila do solo (g kg^{-1});

C é a concentração de C na amostra (g kg^{-1}); e

SB é a soma de bases da amostra ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

5.4.2.1. Lavouras

Para calcular os estoques de COS das amostras oriundas de Latossolo sob lavouras, adotou-se o método descrito em Bayer (2003) e Tornquist (2007), que é baseado na massa equivalente à do solo sob vegetação nativa. Neste caso, a média das massas de solo das matas amostradas dentro de cada área foi tomada como referência, visto que nessas áreas a densidade do solo foi menor que em lavouras. Assim, descontou-se do estoque de COS calculado pela Equação 1 em cada lavoura, o estoque de COS referente à massa de solo que excedeu a massa de solo da mata nativa (referência). Dados referentes a concentração de COS e densidade do solo nas matas e lavouras amostrados constam no Apêndice 2.

5.4.3. Simulações pelo modelo Century

As informações reunidas referentes ao item 5.3 foram relacionadas temática e espacialmente, através da sobreposição de planos de informação em ambiente SIG, como descrito anteriormente, delimitando as chamadas unidades de simulação (US) (combinação solo - elementos da paisagem - evolução do uso agrícola do solo) que foram utilizadas como fonte de dados para as simulações com o modelo Century. Às US foram atribuídos os cenários

de manejo do solo reconstituídos com base no histórico de uso e manejo realizado na região em estudo.

5.4.3.1. Inicialização do modelo

A inicialização do Century consiste na inserção dos dados que descrevem o local a ser simulado, necessários para executar o modelo. No presente estudo, esta etapa foi realizada com dados locais de clima e solo. Os dados climáticos médios corresponderam à precipitação média anual de 1.720 mm, temperatura mínima média anual de 13,9 °C, temperatura máxima média anual de 25,9 °C. Os dados locais de solos correspondem à composição granulométrica e densidade do solo, sendo adotados dois procedimentos distintos nesse sentido.

Devido à ampla amostragem realizada em 2007 sob a classe dos Latossolos de topo, tanto em áreas sob vegetação nativa como em áreas sob lavouras iniciadas em diferentes épocas, as etapas de calibração e validação do modelo Century (descritas a seguir) valeram-se de tais dados (Tabela 1) para a inicialização do modelo.

Tabela 1. Composição granulométrica, densidade do solo e estoque de COS em condição de mata nativa nas quatro áreas amostradas sob Latossolo Vermelho distroférico de topo, equivalentes à camada de 0 a 20 cm, no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Área	Granulometria*			Densidade do solo	Estoque de COS
	Areia	Silte	Argila		
	-----g kg ⁻¹ -----			g cm ⁻³	Mg ha ⁻¹
1	135	277	588	0,90	52,5
2	176	191	633	0,81	43,7
3	96	101	803	0,92	57,9
4	103	234	663	0,79	43,3

* média dos pontos amostrados dentro de cada área (mata e lavoura).

Por outro lado, para a generalização das estimativas do Century para todas as classes de solos do Distrito Santana, o modelo foi inicializado com base nos dados apresentados na Tabela 2, que se referem às médias dos dados da Tabela 1 para os Latossolos e aos dados obtidos por Abrão e Azolin (1970) para as demais classes de solos em estudo.

Tabela 2. Composição granulométrica, densidade do solo e estoque de COS em condição de mata nativa nas diferentes classes de solo em estudo, equivalentes à camada de 0 a 20 cm, utilizados na inicialização do modelo Century.

Classe de solo	Granulometria			Densidade do solo g cm ⁻³	Estoque de COS Mg ha ⁻¹
	Areia	Silte	Argila		
	-----g kg ⁻¹ -----				
Latossolo Vermelho distroférico*	128	200	672	0,86	49,4
Chernossolo Argilúvico órtico**	194	152	654	1,17	49,4
Neossolo Regolítico eutrófico**	510	157	333	1,23	63,2
Neossolo Flúvico**	255	220	525	1,19	47,9

*média dos pontos amostrados em 2007 nas quatro áreas apresentados na Tabela 1;

** a granulometria foi obtida pela média dos dados apresentados por Abrão e Azolin (1970) dentro de cada classe de solo; a densidade do solo foi estimada conforme sugerido por Benites et al, (2007); o estoque de COS original foi calculado com base em dados apresentados por Abrão e Azolin (1970) correspondendo a um ponto dentro de cada classe de solo.

5.4.3.2. Cenários históricos e futuros de manejo de solo

Para a utilização do modelo Century na simulação da dinâmica do C nos solos do Distrito Santana foram reconstituídos os cenários históricos representativos das alterações nos sistemas de manejo do solo da região desde o início do uso agrícola (1901) até os dias atuais (2007), bem como estabelecidos cenários prospectivos (até 2050) onde se enfatizou o potencial de sistemas de culturas em adicionar C ao solo.

Devido à impossibilidade de reconstituição detalhada dos mais de 100 anos de agricultura da região, foi adotado um padrão médio de práticas de manejo utilizadas ao longo dos anos, considerando-se o histórico das áreas amostradas, enfatizando-se os principais aspectos que influenciaram na alteração dos estoques de COS. Para tanto, tomou-se como base os relatos dos produtores, dos técnicos da EMATER-RS de Ijuí e de Bozano, bem como dados históricos sobre as mudanças nas práticas de manejo utilizadas pelos agricultores em função da implantação da Operação Tatu, no final da década de 1960, e do PIUCS, iniciado em 1979 na região. Tais mudanças resultaram em melhoria da fertilidade do solo (pelo uso de fertilizantes e corretivos), redução das perdas de solo por erosão, depois da eliminação da queima da

palha do trigo e redução no revolvimento do solo, além de aumentar a adição de C ao solo pelo uso de plantas de cobertura nas rotações de culturas.

Os cenários de manejo do solo utilizados nas simulações constam na Tabela 3. Para o período colonial, houve necessidade de ajustes nas culturas adotadas nas simulações, visto que não existem, até o presente momento, estudos que visem à obtenção dos parâmetros exigidos pelo Century para toda a diversidade de culturas utilizadas na época não sendo possível, portanto, incluí-las nas simulações. Os cenários “Atual” e “Melhorado”, adotados a partir de 1995 em plantio direto, se diferenciam basicamente pela adoção, no “Melhorado”, da rotação de culturas trigo/soja e aveia/milho que apresenta maior potencial de adição de C ao solo em função da inclusão do milho e maior entrada de fertilizante nitrogenado no sistema. No cenário “Atual”, considerou-se o sistema de culturas adotado atualmente na região que corresponde a trigo/soja e aveia/soja. É importante salientar que no Distrito Santana existem lavouras que foram submetidas ao uso agrícola em épocas diferentes, pelo avanço do desmatamento para atender as necessidades dos produtores, mas que atualmente encontram-se submetidas a condições de uso e manejo dos solos semelhantes entre si.

As taxas de erosão nos topos (declividade <8%) e nas encostas (declividade >8%) foram baseadas em taxas utilizadas por Tornquist (2007) em estudo semelhante em solos do Planalto do RS, e as taxas de deposição foram definidas em 30% da soma das taxas de erosão dos topos e encostas (Tabela 3).

O modelo Century não trata explicitamente a deposição de sedimento, por isso foi utilizado um artifício sugerido por Pennock e Frick (2001) que consistiu na definição de uma taxa de erosão com sinal negativo nas US correspondentes as áreas deposicionais. Tal procedimento foi utilizado com êxito por Tornquist (2007). Este autor esclarece que o Century não simula a deposição de sedimentos oriundos dos topos e encostas, mas sim considera o acúmulo de “sedimentos” com estoques de COS calculados a partir dos próprios estoques, e para manter a massa de solo na camada de 0 a 20 cm (camada fixa para as simulações do Century), uma quantidade de COS contida na massa de solo é transferida para a camada abaixo de 20 cm. Tal processo é exatamente o oposto do que ocorre com a erosão, no modelo Century.

Tabela 3. Cenários de manejo utilizados nas simulações com o modelo Century (1901 a 2050), no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Cenário (período)		Descrição
I -	Colonial 1 (1901 – 1955)	2 anos de milho com pousio outono/inverno e 1 ano de milho/trigo; preparo do solo com tração animal; cultivares de baixo potencial de rendimento; produção baseada na fertilidade natural do solo; erosão _(topo) = 1,6 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ ; erosão _(encosta) = 2,0 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ ; deposição = -1,08 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ .
II -	Colonial 2 (1956 – 1970)	2 anos de milho com pousio outono/inverno e 1 ano de soja/trigo; preparo do solo com tração animal; cultivares de baixo potencial de rendimento; produção baseada na fertilidade natural do solo; erosão _(topo) = 3,0 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ ; erosão _(encosta) = 4,0 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ ; deposição = -2,20 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ .
III -	Preparo convencional (1971-1986)	Sucessão trigo/soja; queima da palha do trigo; preparo mecanizado do solo com arado e grade; 30 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ de N sintético aplicado no trigo; cultivares de médio potencial de rendimento; erosão _(topo) = 6,0 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ ; erosão _(encosta) = 8,0 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ ; deposição = -4,20 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ .
IV -	Preparo reduzido (1987-1994)	Trigo/soja e aveia/soja; sem queima da palha da cultura de inverno; preparo mecanizado do solo com escarificador e grade; 65 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ de N sintético aplicado no trigo e 40 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ aplicado na aveia; cultivares de médio potencial de rendimento; erosão _(topo) = 2,0 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ ; erosão _(encosta) = 3,0 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ ; deposição = -1,50 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ .
Vi -	Plantio direto “atual” (1995-2050) “Atual”	Trigo/soja e aveia/soja; sem queima da palha da cultura de inverno; dessecação da aveia; plantio direto; 65 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ de N sintético aplicado no trigo e 40 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ aplicado na aveia; cultivares de alto potencial de rendimento; erosão _(topo) = 0,6 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ ; erosão _(encosta) = 1,0 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ ; deposição = -0,48 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ .
Vii -	Plantio direto “melhorado” (1995-2050) “Melhorado”	Trigo/soja e aveia/milho; sem queima da palha da cultura de inverno; dessecação da aveia; plantio direto; 85 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ de N sintético aplicado no trigo, 40 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ na aveia e 115 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ no milho; cultivares de alto potencial de rendimento (maior que em Vi); erosão _(topo) = 0,6 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ ; erosão _(encosta) = 1,0 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ ; deposição = -0,48 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ .

Outro aspecto relevante com relação à deposição refere-se ao fator de enriquecimento para as perdas de C por erosão (ENRICH, parâmetro fixo do Century), cujo valor padrão é 2,0. Na condição padrão, o ENRICH multiplica por 2 a concentração de C presente no sedimento removido por erosão ou acumulado em áreas deposicionais por considerar que o sedimento removido contém uma fração rica em C, correspondente a camada superficial do solo. No presente estudo, o ENRICH foi mantido padrão para as simulações em topos e encostas, mas não em áreas deposicionais, onde foi reduzido para 1,0. Neste caso, considerou-se que o transporte dos sedimentos pela água da chuva é seletivo, de forma que nas áreas deposicionais permanecem os sedimentos mais grosseiros (de maior peso) que contêm o C passivo, enquanto os mais leves, que contêm maior conteúdo de C (compartimentos ativo e lento), são levados a distâncias maiores atingindo os cursos d'água.

5.4.3.3. Calibração do modelo

A calibração é fundamental em estudos de modelagem, pois visa estabelecer coincidências entre dados medidos (observados no campo) e os dados estimados pelo modelo por meio de ajustes de parâmetros internos do modelo (Gomes e Varriale, 2004). Para tanto, foram utilizados como referência os dados obtidos na Área 1 (Figura 9) para a mata original e lavoura iniciada entre 1901 e 1930 (mais antiga) a partir da amostragem de solo realizada em 2007, anteriormente descrita, considerando a média de quatro repetições.

Após a inserção dos dados locais de clima e solo (Tabela 1), o modelo Century foi executado por um período de 3000 anos (execução de equilíbrio), nas condições de floresta subtropical (criada a partir da opção do default "*Luquilo - floresta tropical*") buscando-se a estabilização de todas as suas variáveis de saída, verificando-se ao final desse período se os estoques de COS estimados pelo modelo correspondiam aos estoques originais observados na camada de 0 a 20 cm do solo desta área. Contudo, devido às adições de C pela mata serem desconhecidas, estas tiveram seus valores ajustados para que o COS estimado fosse o mais próximo possível do valor observado no solo sob mata (Tabela 1), partindo-se do pressuposto que na prática o COS tenha se mantido estável na condição natural. Isso foi possível pelo ajuste da máxima

produção bruta mensal da mata nativa em questão (PRDX(2)) associado a ajustes nos parâmetros fixos do modelo relacionados às relações C/N do material que entra nos compartimentos lento (VARAT2(1,1)) e passivo (VARAT3(1,1)) e perda de N por volatilização (VLOSSG), conforme sugerido por Oliveira (2005). Os valores utilizados para os parâmetros alterados constam no Apêndice 3 e os valores de PRDX(2) utilizado no presente estudo constam no Apêndice 4.

Para ajustar o modelo nas condições de solos cultivados, foram tomadas como referência as adições de C pela parte aérea das culturas comerciais de trigo, milho e soja calculadas por Debarba (2002) com base no rendimento médio de grãos, obtido nos anuários agrícolas do IBGE para o município de Santo Ângelo entre 1950 e 1995, e índices de colheita (IC) específicos para cada cultura, acrescentando-se ainda 30% de C correspondente às raízes. Desta forma, determinou-se que as culturas do trigo, milho e soja adicionam, respectivamente, em média 0,92, 1,36 e 1,17 Mg ha⁻¹ de C ao solo anualmente. Para atingir estes valores, foi feita a alteração do potencial máximo mensal de produção de C pela parte aérea da cultura em questão (PRDX(1)). Com o objetivo de ajustar o estoque de COS simulado ao observado em 2007 nas lavouras iniciadas entre 1901 e 1930, o manejo do solo foi mantido o mais próximo possível daquele historicamente realizado na área, fazendo-se estimativas até o ano de 2050, mantendo-se, a partir de 1995, o manejo de solo como tem sido realizado atualmente, correspondendo ao cenário “Atual” (Tabela 3). Também foi utilizado o “efeito adicional de cultivo” por dois meses seguidos após o revolvimento do solo no período de manejo de solo que envolveu preparo convencional mecanizado (1971 a 1986), prolongando-se, desta forma, o efeito do preparo sobre as taxas de decomposição da MOS (Leite et al., 2004a; Oliveira, 2005). Os arquivos com seus respectivos parâmetros e variáveis utilizados nas simulações constam nos Apêndices 5 a 13 e um exemplo da organização dos cenários de manejo adotados no arquivo “*.SCH”, referentes ao cenário “Atual” pode ser observado no Apêndice 14.

5.4.3.4. Validação do modelo

Nesta etapa, as estimativas do modelo devem ser comparadas com dados observados diversos daqueles usados na construção e calibração deste modelo (Leal, 1996, Gomes e Varriale, 2004). Nesse sentido, após o Century ter sido calibrado para a condição de conversão de mata para lavoura em 1901 (lavoura mais antiga) na Área 1, foram feitas simulações para os demais pontos amostrados nas 4 áreas, afim de avaliar se os ajustes realizados no modelo são válidos para as demais situações observadas na região. Para tanto, o modelo foi executado para as demais lavouras amostradas da Área 1, alterando-se somente o ano de início do uso agrícola do solo de acordo com o histórico de cada lavoura. Já para cada uma das demais Áreas (2, 3 e 4), inicialmente o modelo foi executado por um período de 3000 anos (execução de equilíbrio) levando em conta as diferenças granulométricas e de densidade do solo de cada área (parâmetros locais de solo), buscando-se o ajuste entre os estoques de COS estimados e observados na camada de 0 a 20 cm das matas destas áreas (Tabela 1) a partir da variação no seu PRDX(2) (Apêndice 4). No entanto, sem qualquer ajuste nos demais parâmetros do modelo ao longo de todas as simulações durante o período de cultivo, alterando-se somente o ano de conversão de mata nativa em lavoura de acordo com o histórico de uso de cada lavoura simulada nas diferentes áreas em estudo.

Nas condições de cultivo, em todas as simulações, os cenários de manejo do solo foram mantidos idênticos àqueles utilizados na etapa de calibração (Tabela 3), alterando-se apenas a data de início do uso agrícola do solo. Ao final das simulações, o COS estimado pelo modelo Century para o ano de 2007 foi comparado aos estoques de COS obtidos na amostragem de campo nas lavouras com datas de início de uso agrícola correspondentes.

O acompanhamento do desempenho do modelo nas simulações foi feito a partir das variáveis de saída SOMTC, AGLIVC, BGLIVC e CGRAIN que correspondem respectivamente ao carbono orgânico do solo, C na parte aérea das culturas, C nas raízes das culturas e C alocado nos grãos do milho, trigo e soja. As adições de C ao solo, estimadas pelo Century, foram obtidas pela soma das variáveis AGLIVC e BGLIVC descontando-se o C retirado no grão por ocasião da colheita (CGRAIN).

A acurácia das simulações, após os ajustes realizados na calibração, em relação aos dados observados, foi testada com base na raiz quadrada média do erro do modelo (RMSE – Root mean square error of model) a partir de análise estatística proposta por Smith et al. (1997b). Foram excluídos da análise estatística os dados referentes aos pontos utilizados na calibração (mata e lavouras iniciadas entre 1901 e 1930 da Área 1) e as matas das Áreas 2, 3 e 4, cujos valores simulados foram obtidos a partir dos ajustes anteriormente descritos.

É importante salientar que, para fins da modelagem, os pontos com mesmo histórico de uso, dentro de cada área, tiveram os resultados das análises descritas no item 5.4.1.2 agrupados, sendo representados, portanto, pela média de quatro repetições. Além disso, não há certeza absoluta quanto ao ano em que áreas sob mata foram convertidas em lavouras, por isso considerou-se, nas simulações, que o início do uso agrícola ocorreu no primeiro ano de cada período determinado, ou seja, em 1901, 1931, 1957, 1965, 1976 e 1988, conforme o caso.

5.4.3.5. Generalização das estimativas do modelo Century

Nesta etapa, o modelo já calibrado para as condições de Latossolos de topo, conforme descrito anteriormente, foi executado para as diferentes US do Distrito Santana oriundas da combinação solo - elemento da paisagem - ano de início da agricultura, que correspondem a 4 classes de solos, 3 elementos da paisagem (topo, encosta e áreas deposicionais) e 5 épocas de início do uso agrícola dos solos (1901, 1957, 1965, 1976 e 1988), totalizando 54 US, já excluídas as unidades inexistentes (Neossolos Flúvicos de topo e encosta), que considerando-se a adoção de dois cenários diferenciados a partir de 1995, o cenário “Atual” e o “Melhorado” (Tabela 3), efetivaram 108 arquivos a serem simulados. Em função de que as informações espacializadas disponíveis sobre a evolução de uso dos solos do Distrito Santana datam de 1956 (a mais antiga disponível), não foi possível estabelecer um período intermediário de início do uso agrícola dos solos entre 1901 e 1956, conforme foi realizado nas estimativas das quatro áreas amostradas, onde as entrevistas com os

moradores mais antigos possibilitaram distinguir lavouras iniciadas entre 1901 e 1930 das iniciadas entre 1931 e 1956.

Foram criadas quatro opções de “floresta subtropical” para representar a mata nativa de cada classe de solo simulada a partir da opção do default “*Luquilo - floresta tropical*”. O modelo foi inicializado com os dados locais de clima da região e de solos listados na Tabela 2. Os parâmetros PRDX(2) (produção potencial de biomassa) da cada mata nativa (Apêndice 4) foram ajustados para que a variável de saída SOMTC (carbono orgânico do solo) estabilizasse, após o modelo ser executado por 3000 anos, coincidindo com os estoques de COS observados no solo sob vegetação nativa respectiva de cada classe de solo (Tabela 2). Após o PRDX(2) das matas terem sido ajustados para cada classe de solo na execução de equilíbrio, procedeu-se as simulações correspondentes as 54 US nas condições de solos cultivados com os cenários de manejo históricos (de 1901 até 2007), bem como as estimativas futuras (de 2008 até 2050). Para tanto foram utilizados os cenários de manejo do solo listados na Tabela 3.

É importante ressaltar que, nesta etapa, os parâmetros dos arquivos CULT.100 (Apêndice 5), CROP.100 (Apêndice 6), FERT.100 (Apêndice 7), HARV.100 (Apêndice 8), FIRE.100 (Apêndice 9), TREM.100 (Apêndice 10) e FIX.100 (Apêndice 11) do modelo Century foram mantidos idênticos aos adotados na etapa de calibração (item 5.4.3.3), independentemente de ser executado para condições de solo e posição na paisagem diferentes daquela para a qual o modelo foi calibrado (Latossolo de topo), apenas havendo diferenças quanto ao PRDX(2) da mata nativa (TREE.100, Apêndice 13) e condições de solo específicas de cada classe (SITE.100, Apêndice 12) (Tabela 2), bem como nas taxas de erosão e deposição nas encostas e áreas deposicionais que diferem dos topos (Tabela 3). Isso porque se considerou que os ajustes propostos para o Latossolo de topo, durante a calibração, são válidos para as demais classes de solo que ocorrem no Distrito Santana, visto que todas foram submetidas a condições de uso e manejo semelhantes entre si. Exemplos de arquivos do modelo referentes aos cenários de manejo (*.SCH) adotados constam nos Apêndices 14 e 15.

5.4.3.6. Integração das estimativas do modelo Century com a Base de Dados Geoespaciais

Para atingir o objetivo de uma modelagem espacialmente explícita da dinâmica do COS, foi utilizado o acoplamento livre, descrito por Norgaard (2004). Isso por que o número de simulações realizadas foi relativamente pequeno (54 unidades de simulação), permitindo controle eficiente sobre o banco de dados e as simulações, apesar de exigir mais tempo para a extração de variáveis de saída do Century em relação ao acoplamento ajustado (Norgaard, 2004; Tornquist, 2007).

O plano temático em formato vetorial, com polígonos representando espacialmente os limites das diferentes US, foi obtido por cruzamentos realizados em sequência entre os planos de informação vetoriais de solos, elementos da paisagem e evolução de uso agrícola do solo (uso em 1900, 1956, 1964, 1975, 1987 e 2007), todos em ambiente ArcGis 9 (ESRI, 2003), conforme esquema apresentado na Figura 10.

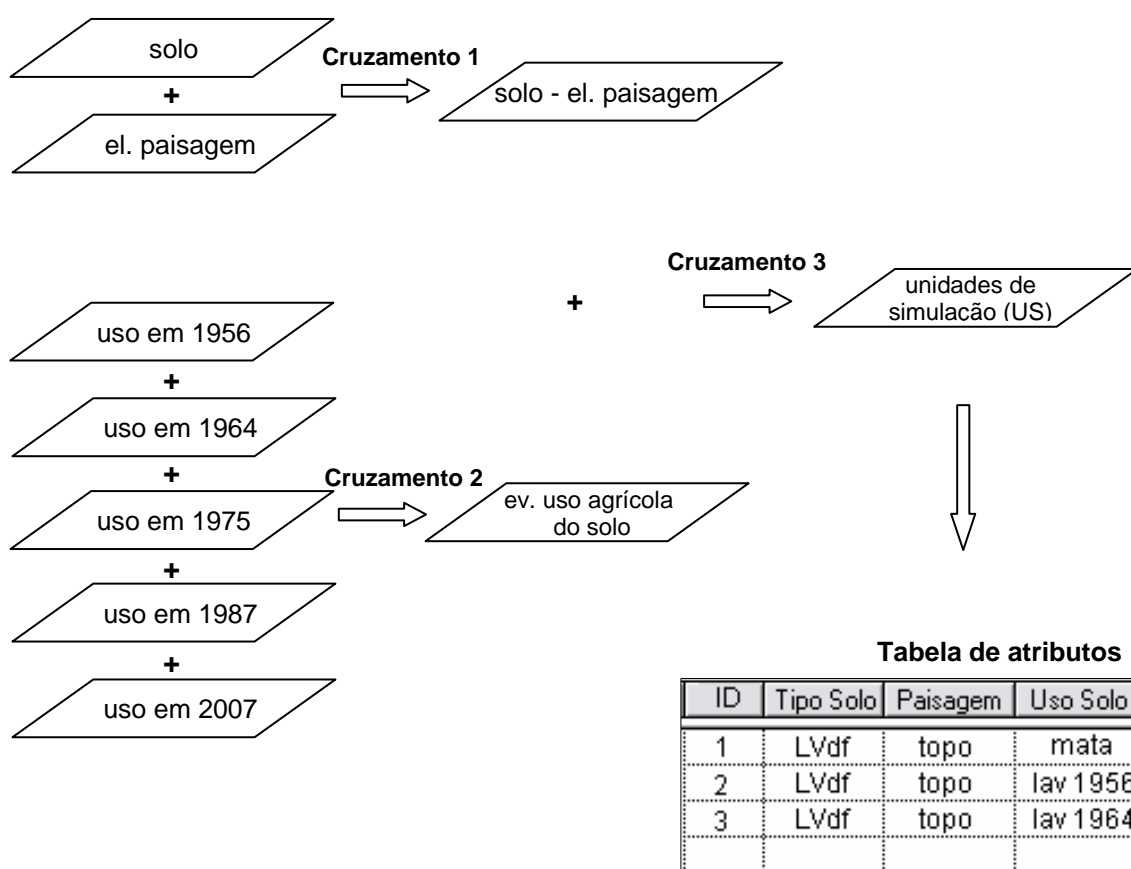


Figura 10. Esquema resumido do cruzamento dos planos de informações vetoriais para a delimitação das unidades de simulação.

No primeiro cruzamento, as informações referentes à distribuição espacial dos topos, encostas e áreas deposicionais foram associadas às classes de solo. O plano vetorial gerado foi cruzado com o plano vetorial contendo a evolução de uso agrícola dos solos (oriundo do cruzamento 2, apresentado na Figura 10). Ao final deste processo foi obtida a delimitação espacial das diferentes US, cuja tabela de atributos contém, para cada polígono do mapa de US, informações de tipo de solo, posição na paisagem e período em que a mata nativa foi convertida em lavoura. As US assim delimitadas serviram de base para as simulações com o modelo Century, conforme descrito anteriormente.

As simulações pelo modelo Century foram operacionalizadas com o auxílio da interface i-Century (Interactive Century), conforme realizado por Tornquist (2007). Esta interface foi desenvolvida por Todd Campbell da Universidade do Estado de Iowa, nos Estados Unidos, e armazena variáveis e parâmetros do Century em banco de dados MS Access[®].

A utilização do i-Century, em relação à forma usual de operação do modelo Century (em ambiente DOS), permitiu maior controle das simulações, reduziu o tempo gasto para organizar e montar os arquivos necessários para as 108 simulações realizadas nesta etapa do presente estudo. Além disso, esta interface permite a visualização das estimativas do Century em janelas gráficas, facilitando assim a inspeção das simulações com base nas saídas do modelo, possibilitando ainda a comparação das estimativas realizadas para diferentes US em um mesmo gráfico e de forma bastante ágil. Maiores informações sobre o uso do i-Century podem ser obtidas em CARD (2008).

Após o Century ter sido executado (através do i-Century) para todas as US, os dados referentes às variáveis de saída de interesse para o presente estudo foram extraídos do MS Access[®] e armazenados em planilhas do MS Excel[®], onde foram organizados e sintetizados de modo que somente constituíssem tabelas impressas as estimativas referentes aos anos de 1955, 1970, 1986, 1994, 2007 e 2050 no cenário “Atual” e 2007 e 2050 no cenário “Melhorado”, que correspondem ao último ano de adoção de cada cenário de manejo em estudo, e o ano de 1900 que representou a condição original do solo. Tais dados foram inseridos manualmente na tabela de atributos associada às US no SIG, passando então a fazer parte do BDGE, configurando o

acoplamento livre entre as estimativas do Century e o SIG. Com a BDGE completa, foi possível a visualização das estimativas do Century na forma de mapas temáticos, bem como a realização de cálculos e operações comuns em ambiente SIG.

Com as variáveis de saída selecionadas e utilizadas como referência nesta etapa de generalização das estimativas do Century para o Distrito Santana, e que serviram de base para alimentar a BDGE, buscou-se avaliar como se deu a alteração nos estoques de COS e nas quantidades de C adicionadas e perdidas do solo ao longo dos anos, em função da conversão de mata nativa em lavouras e da adoção de diferentes cenários de manejo solo, que, em última análise, determinam o potencial de emissão ou seqüestro de CO₂ atmosférico das diferentes US. Para tanto, as variáveis de saída analisadas foram:

- SOMTC: estoque de carbono orgânico do solo, COS (inclui os compartimentos estrutural e metabólico do solo além do ativo, lento e passivo) (Figura 2);
- CINPUT: quantidade de C adicionado ao solo anualmente;
- RESP(1): quantidade de C perdido anualmente a partir da respiração microbiana durante a decomposição dos compartimentos da MOS;
- SCLOSA: quantidade de C perdido anualmente associado com o solo removido por erosão. No caso das áreas deposicionais esta variável representa o total de C associado com o solo acumulado na superfície;
- WOOD1C: quantidade de C nos galhos finos mortos;
- WOOD2C: quantidade de C na madeira grossa morta;
- WOOD3C: quantidade de C nas raízes mortas.

O balanço de C em função do manejo dos solos, após o início da agricultura, foi estimado pela diferença entre a quantidade de C adicionada (CINPUT) e a quantidade de C perdida pela respiração microbiana (RESP(1)) e por erosão (SCLOSA) em cada período de manejo, assumindo-se que 20% do C removido por erosão ou acumulado nas áreas deposicionais foi mineralizado pela biota do solo e efetivamente perdido para a atmosfera (Equação 3).

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

Para expressar os resultados do balanço de C em termos balanço de CO₂, as estimativas obtidas pela aplicação da Equação 3 foram multiplicadas por 3,67, que corresponde a razão molar entre CO₂ e C (44/12=3,67), conforme Equação 4.

$$\text{Balanço de CO}_2 = \text{Balanço de C} \times 3,67 \quad \text{Equação 4.}$$

Os resultados obtidos a partir da Equação 4 representam o balanço entre as quantidades de C retida no solo (seqüestrada) e emitidas para a atmosfera sob a forma de CO₂ em função do manejo a que o solo foi submetido ao longo dos anos. Para incluir, neste cálculo, a quantidade de CO₂ emitida para a atmosfera devido à queima do material remanescente da mata nativa (TREM FIRE no Apêndice 10) após o corte de 90% das árvores e remoção da madeira (TREM CLEAR no Apêndice 10), quando da conversão das áreas sob vegetação nativa em lavoura, foi adotado o procedimento proposto por Debarba (2002). Neste caso, considerou-se emitidas como CO₂ as quantidades de C contidas nos galhos finos mortos (WOOD1C), na madeira grossa morta (WOOD2C) e nas raízes mortas (WOOD3C) no mês anterior ao da queimada, que, no caso do presente estudo, correspondeu ao mês de outubro, visto que a derrubada e remoção da madeira foi realizada em julho e a queimada ocorreu em novembro (Apêndices 14 e 15). Assim, a quantidade de CO₂ emitida devido à queima da mata foi estimada pela soma das estimativas referentes às variáveis WOOD1C, WOOD2C e WOOD3C multiplicada por 3,67, conforme Equação 5.

$$\text{CO}_2 \text{ da queimada} = (\text{WOOD1C} + \text{WOOD2C} + \text{WOOD3C}) \times 3,67 \quad \text{Equação 5.}$$

A soma dos resultados das Equações 4 e 5 representou balanço ambiental de CO₂ das diferentes US, visto que considerou a emissão de CO₂ devida à conversão da mata em lavoura com uso da queimada e o potencial de emissão ou seqüestro de CO₂ atmosférico em função da adoção de diferentes sistemas de manejo do solo (balanço de CO₂ relativo ao manejo do solo).

Os estoques de COS, bem como o balanço de CO₂ totais regionais foram obtidos multiplicando-se os resultados estimados em Mg ha⁻¹ pela área

ocupada pelas diferentes US, e a soma das US dentro de cada classe de solo foi analisada no presente estudo.

O fluxo de C nos compartimentos da floresta nativa, segundo o modelo Century, consta no Apêndice 16.

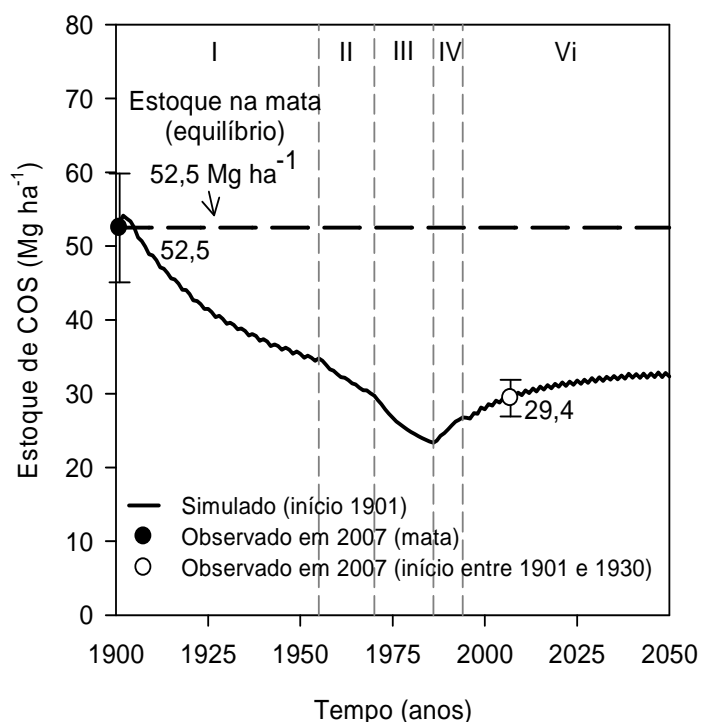
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Calibração e validação do Modelo Century

6.1.1. Calibração do modelo

A etapa de calibração foi realizada com base em adições de C pelas culturas de trigo, milho e soja calculadas por Debarba (2002) e estoques de COS medidos em 2007 na camada de 0 a 20 cm no solo sob mata e nas lavouras mais antigas da Área 1, cujo início do uso se deu entre 1901 e 1930. A partir dos ajustes realizados durante esta etapa, pode-se observar a evolução dos estoques de COS estimados pelo Century considerando os diferentes cenários de manejo de solo que vêm sendo adotados ao longo dos anos desde o início da ocupação agrícola dos solos, originalmente sob floresta, do Distrito Santana (1901) até os dias atuais, no Latossolo de topo, conforme a Figura 11.

As adições de C pelas culturas estimadas pelo modelo Century (Tabela 4) variaram de acordo com os cenários de manejo de solo adotados (Tabela 3). 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 ($2,13 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi estimada no período de preparo convencional (PC), o que pode ser atribuído ao cultivo da sucessão trigo/soja associado a queima da palha do trigo, que limitou a adição de C ao solo. A maior adição total de C estimada ocorreu no plantio direto (PD), com $3,35 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ com a sucessão de culturas trigo/soja e aveia/soja, no cenário “Atual” desde 1995.



Cenários de manejo do solo

I	Agricultura colonial 1	(1901 a 1955)
II	Agricultura colonial 2	(1956 a 1970)
III	Preparo convencional	(1971 a 1986)
IV	Preparo reduzido	(1987 a 1994)
Vi	Plantio direto "atual"	(1995 a 2050)

Figura 11. Calibração do modelo Century pela simulação, na Área 1 (Distrito Santana, Ijuí-RS), da conversão de mata nativa em lavoura em 1901 seguida por 106 anos de cultivo do solo (1901 a 2007), considerando os diferentes cenários de manejos do solo adotados ao longo dos anos e estoques de carbono orgânico do solo (COS) medidos em 2007 (observados) na camada de 0 a 20 cm associados ao desvio padrão em relação a média.

Resultados semelhantes foram obtidos por Debarba (2002) em simulações com Century em Latossolos do RS, originalmente sob floresta, submetidos ao uso agrícola com cenários de manejo de solo compatíveis com os da Tabela 3. Segundo o autor, o Century estimou adições médias de C ao solo de $2,6 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ no período colonial, $2,7 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ no período de PC, $3,2 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ no período de preparo reduzido (PR) e até $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ no período de PD, quando considera adoção de rotação de culturas com trigo/soja e aveia/milho, evidenciando o potencial de adição de C ao solo quando se inclui o milho na rotação.

Tabela 4. Adição média de carbono pelas culturas estimada pelo modelo Century para os diferentes cenários de manejo de solo adotados durante a calibração do modelo.

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 – agricultura colonial 1	1901 a 1955	1,41	1,56	0,68	-	-	2,67
II – agricultura colonial 2	1956 a 1970	0,90	1,36	0,84	0,63	-	2,29
III – preparo convencional	1971 a 1986	-	-	1,22	0,91	-	2,13
IV – preparo reduzido	1987 a 1994	-	-	1,22	0,85	1,46	2,92
Vi – plantio direto “Atual”	1995 a 2050	-	-	0,82	1,24	1,71	3,35

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.

6.1.2. Validação do modelo

Após a calibração do Century, este foi executado para as demais lavouras da Área 1 e para lavouras iniciadas em diferentes épocas das Áreas 2, 3 e 4 de modo a validar os ajustes propostos. Os resultados obtidos constam na Tabela 5.

Tabela 5. Estoques de carbono orgânico observados e estimados pelo modelo Century para o ano de 2007 na camada de 0 a 20 cm em Latossolo Vermelho distroférico de topo nas lavouras iniciadas em diferentes épocas, no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Área	Início do uso agrícola	Estoque de COS	
		Observado	Estimado
----- Mg ha ⁻¹ -----			
1	entre 1931 e 1956	32,5	31,6
	entre 1976 e 1987	38,7	38,3
2	entre 1931 e 1956	28,2	28,4
	entre 1965 e 1975	27,8	30,9
	entre 1976 e 1987	32,6	34,1
3	entre 1901 e 1930	34,8	34,7
	entre 1931 e 1956	36,6	36,7
	entre 1965 e 1975	34,6	40,0
4	entre 1976 e 1987	40,4	44,3
	entre 1931 e 1956	26,6	29,2
RMSE		7,6 ns	
RMSE (95% limite de confiança)		13,8	

ns = não significativo

Os estoques observados em 2007 (Tabela 5) evidenciam que as mudanças no uso do solo levaram a redução no conteúdo de C do mesmo ao longo dos anos em relação à condição original (Tabela 1). As lavouras mais antigas (mais de 50 anos de uso agrícola) tiveram seus estoques reduzidos em torno de 40% em relação à condição original. Já lavouras mais recentes, com menos de 30 anos de uso agrícola, evidenciaram perdas menores, no entanto estas foram da ordem de 25% se comparadas ao estoque das matas. Isso porque o teor de MOS e, conseqüentemente, o de COS, é muito sensível às práticas de manejo adotadas, principalmente em regiões tropicais e

subtropicais, onde, segundo Mielniczuk (1999), mais de 50% da MOS previamente acumulada é perdida nos primeiros anos de cultivo por diversos processos, entre os eles a decomposição microbiana e a erosão.

Com relação aos estoques de COS estimados pelo modelo Century para o ano de 2007 na camada de 0 a 20 cm, cabe destacar que o modelo foi ajustado com base nos estoques médios observados na mata ($52,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) e na lavoura iniciada entre 1901 a 1930 ($29,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) que é a mais antiga da Área1 (calibração do modelo). No entanto, para as demais simulações não foram feitos ajustes no modelo, alterando-se unicamente o ano em que teve início o uso agrícola, passando de 1901 para 1931, 1965 e 1976, conforme o histórico de uso das lavouras em cada área estudada. Assim, as estimativas do modelo estão condizentes com os resultados observados no campo, havendo variação de no máximo $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ (17%) entre os estoques de COS estimados pelo Century e os observados (Tabela 5), que ocorreu na Área 3 para lavouras cujo início do uso agrícola se deu entre 1965 e 1975. Nas demais lavouras esta diferença não ultrapassou $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Apesar das diferenças existentes entre os valores estimados e medidos em 2007 nas áreas cultivadas (Tabela 5), estas não foram estatisticamente significativas, visto que a raiz quadrada do erro do modelo, RMSE (Root mean square error of model), foi de 7,6, ficando abaixo do limite de confiança (95%) dos valores medidos, que foi de 13,8. Tal resultado indica que as estimativas do Century descreveram adequadamente as tendências observadas no campo para as 10 (dez) lavouras utilizadas na validação e as diferenças obtidas entre os valores medidos e estimados pelo modelo são menores que o erro inerente aos valores medidos.

No entanto, é importante salientar que para um modelo de simulação ser considerado válido, ele deve reproduzir não só a resposta final de um sistema, mas deve também reproduzir todo o comportamento deste sistema ao longo do tempo (Leal, 1996). No presente estudo, isso pode ser feito levando-se em conta a evolução dos estoques de COS ao longo dos anos estimados pelo Century, considerando os diferentes períodos de mudanças no uso e manejo do solo, conforme mostrado nas Figuras 12 e 13. As Figuras 12a e 12b correspondem às lavouras da Área 1 que não foram utilizadas na calibração do Century, as Figuras 12c, 12d e 12e correspondem às lavouras iniciadas em

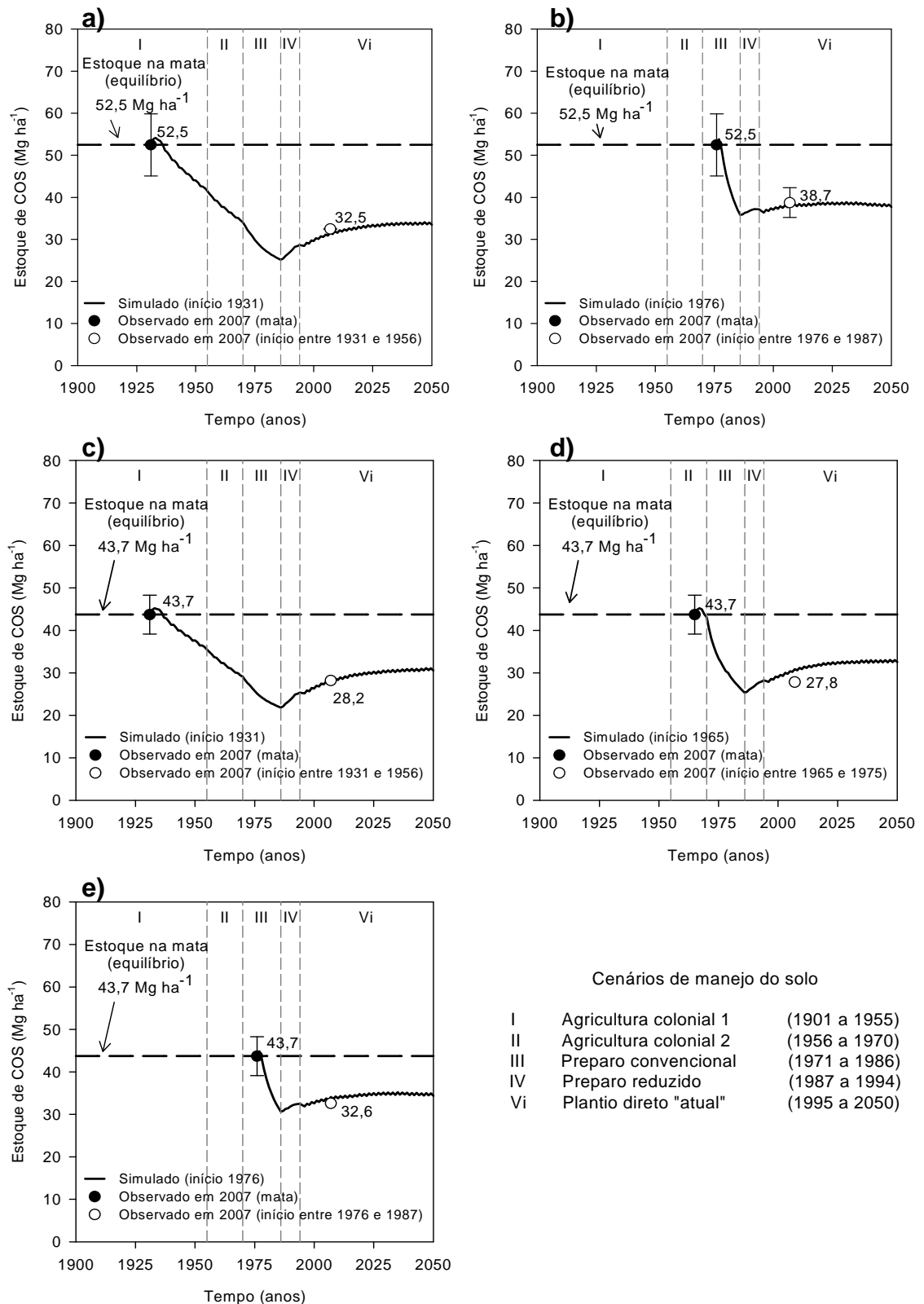


Figura 12. Validação do modelo Century pela simulação da conversão de mata nativa em lavoura considerando os diferentes cenários de manejos do solo adotados com início do uso agrícola em 1931 (a) e 1976 (b) na Área 1 e em 1931 (c), 1965 (d) e 1976 (e) na Área 2 (Distrito Santana, Ijuí-RS), além dos estoques de carbono orgânico do solo (COS) medidos em 2007 (observados) na camada de 0 a

20 cm associados ao desvio padrão em relação à média, quando disponível.

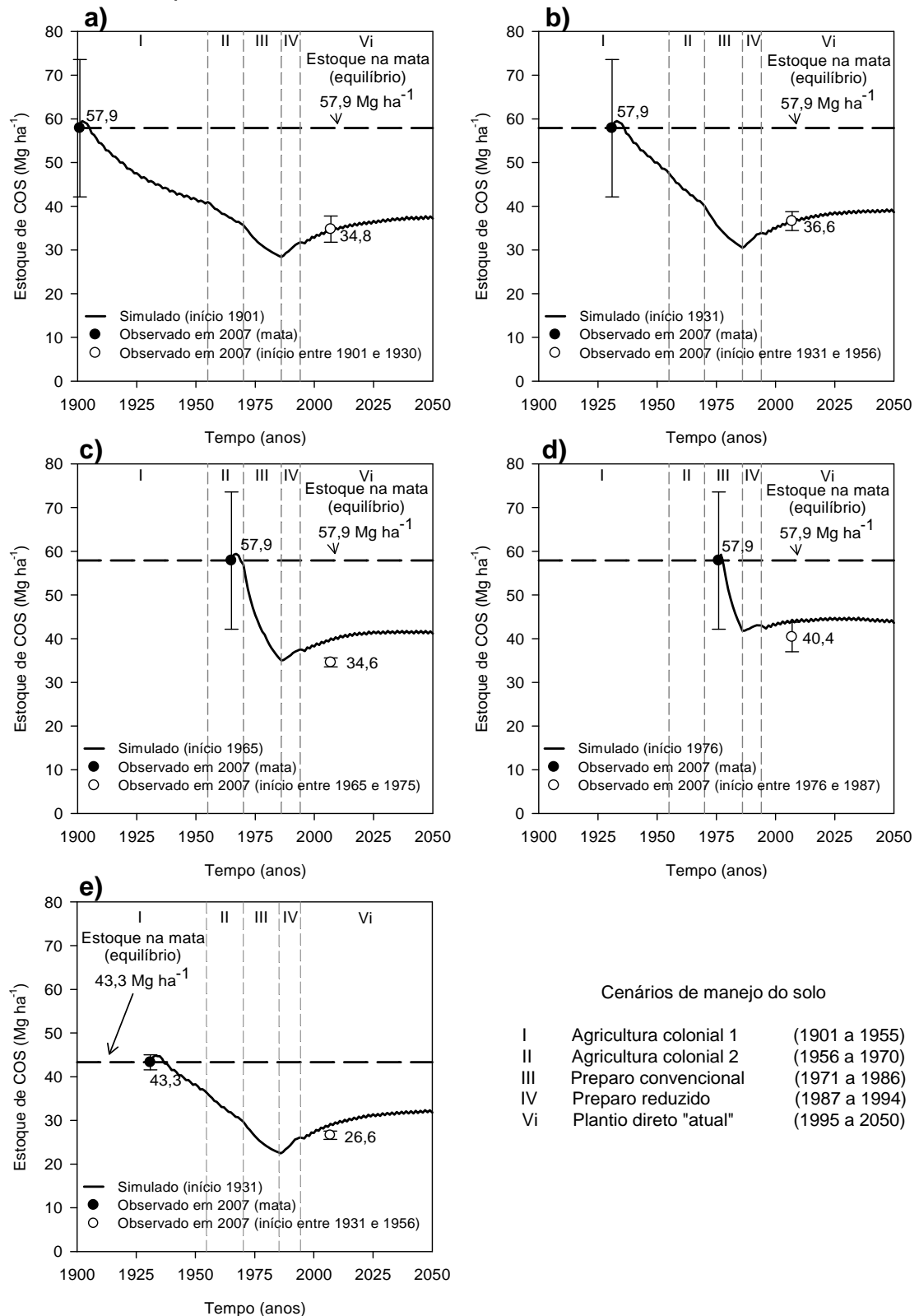


Figura 13. Validação do modelo Century pela simulação da conversão de mata nativa em lavoura considerando os diferentes cenários de manejos do solo adotados ao longo dos anos com início do uso agrícola em 1901 (a), 1931 (b), 1965 (c) e 1976 (d) na Área 3 e em 1931 (e) na Área 4 (Distrito Santana, Ijuí-RS), além dos estoques

de carbono orgânico do solo (COS) medidos em 2007 (observados) na camada de 0 a 20 cm associados ao desvio padrão em relação à média.

diferentes épocas da Área 2, as Figuras 13a, 13b, 13c e 13d correspondem às lavouras da Área 3 e a Figura 13e às lavouras da Área 4.

Segundo as estimativas do modelo Century, houve perda de COS já nos primeiros anos de uso do solo, ainda no período de agricultura colonial. Este processo de perda foi intensificado pelo preparo convencional do solo (PC) no período de 1971 a 1986, sendo este o período de maior degradação do solo, evidenciado pela perda de mais de 50% do COS até 1986, nas lavouras com mais de 50 anos de uso agrícola.

Por outro lado, a partir da adoção de métodos de preparo de solo mais conservacionistas, que revolvem minimamente o solo, como o PR e o PD, e sistemas de culturas que proporcionaram maior adição de resíduos vegetais ao solo, com inclusão do cultivo da aveia, e a manutenção destes resíduos na superfície do solo pela extinção da queima da palha do trigo, comum no PC, as perdas foram controladas. A partir daí houve tendência de acúmulo de C no solo ao longo dos anos, adotando-se o cenário “Atual”, que corresponde às práticas de manejo mais próximas possíveis daquelas efetivamente realizadas na região em estudo, porém não sendo possível atingir os estoques originais até 2050. Entretanto, se este cenário fosse substituído por cenários que preconizassem o cultivo de milho como parte do sistema de culturas, possibilitando rotação entre soja/trigo e milho/aveia, com maior aporte de biomassa vegetal ao solo (adição de 5,0 a 6,0 Mg ha⁻¹ano⁻¹ de C), conforme proposto por Tornquist (2007), seria possível, segundo estimativas do Century em Latossolos de Ibirubá, RS, chegar em 2050 com estoques de COS cerca de 10% acima do original (46,5 Mg ha⁻¹ na mata) em áreas cuja conversão da mata em lavouras se deu em 1900.

Resultados semelhantes foram obtidos por Debarba (2002), onde simulações com o modelo Century considerando solos da mesma classe de solo deste estudo (Latossolo Vermelho distroférico) submetidos a diferentes cenários de manejo evidenciaram redução no estoque original de COS (65,3 Mg ha⁻¹) em 24 Mg ha⁻¹ desde 1900, quando a floresta foi convertida em lavoura, até 1980 (final do período de preparo convencional). Além disso, o Century estimou que o solo estocaria 60 Mg ha⁻¹ de C (8% abaixo do estoque

original) em 2050 se fossem adotados cenários que incluíssem rotação de culturas com maior aporte de resíduos e métodos conservacionistas de manejo, PR a partir de 1981 e PD a partir de 1991.

6.2. Generalização das estimativas do modelo Century

Para a espacialização dos estoques de COS estimados pelo modelo Century para os solos do Distrito Santana, foi necessário determinar como se deu a evolução de uso agrícola dos solos desta região e executar o modelo para as diferentes unidades de simulação identificadas na área (solo+evolução de uso+elementos da paisagem).

6.2.1. Evolução do uso agrícola do solo

A classificação das aerofotos de 1956, 1965 e 1975, bem como das imagens dos satélites LANDSAT de 1987 e ALOS-PRISM de 2007, possibilitaram a construção de um modelo espacializado de evolução de uso agrícola do solo do Distrito Santana. As Figuras 14, 15 e 16, deixam evidente a redução drástica da cobertura vegetal original (mata) desde o início da colonização desta região (1900) até os dias atuais (2007).

O processo de ocupação e desmatamento em áreas sob floresta, nesta região (Figura 14a), teve início pela divisão da área em lotes ou colônias de ~25 ha (Figura 9) e a sua distribuição aos imigrantes europeus que estabeleceram suas residências em áreas de mais fácil acesso nas propriedades (trilhas e estradas) e o mais próximo possível da rede de drenagem. A partir daí inicia-se o desmatamento e, à medida que as famílias se tornavam mais numerosas aumentando a necessidade de produzir mais alimentos, aumentava também a disponibilidade de mão-de-obra para ampliar as áreas desmatadas. Sendo assim, as primeiras áreas a serem submetidas ao uso agrícola situam-se nos arredores das residências.

Dentre os diferentes intervalos de tempo em estudo, foi no período de 1901 a 1956 (Figura 14b) que ocorreu o maior desmatamento, com 8.792 ha sendo incorporados ao uso agrícola, correspondendo a 82% (8.792 ha) do total da área. Neste período ocorreu a maior taxa de expansão da agricultura nesta área, com uma média de 160 ha sendo desmatados anualmente.

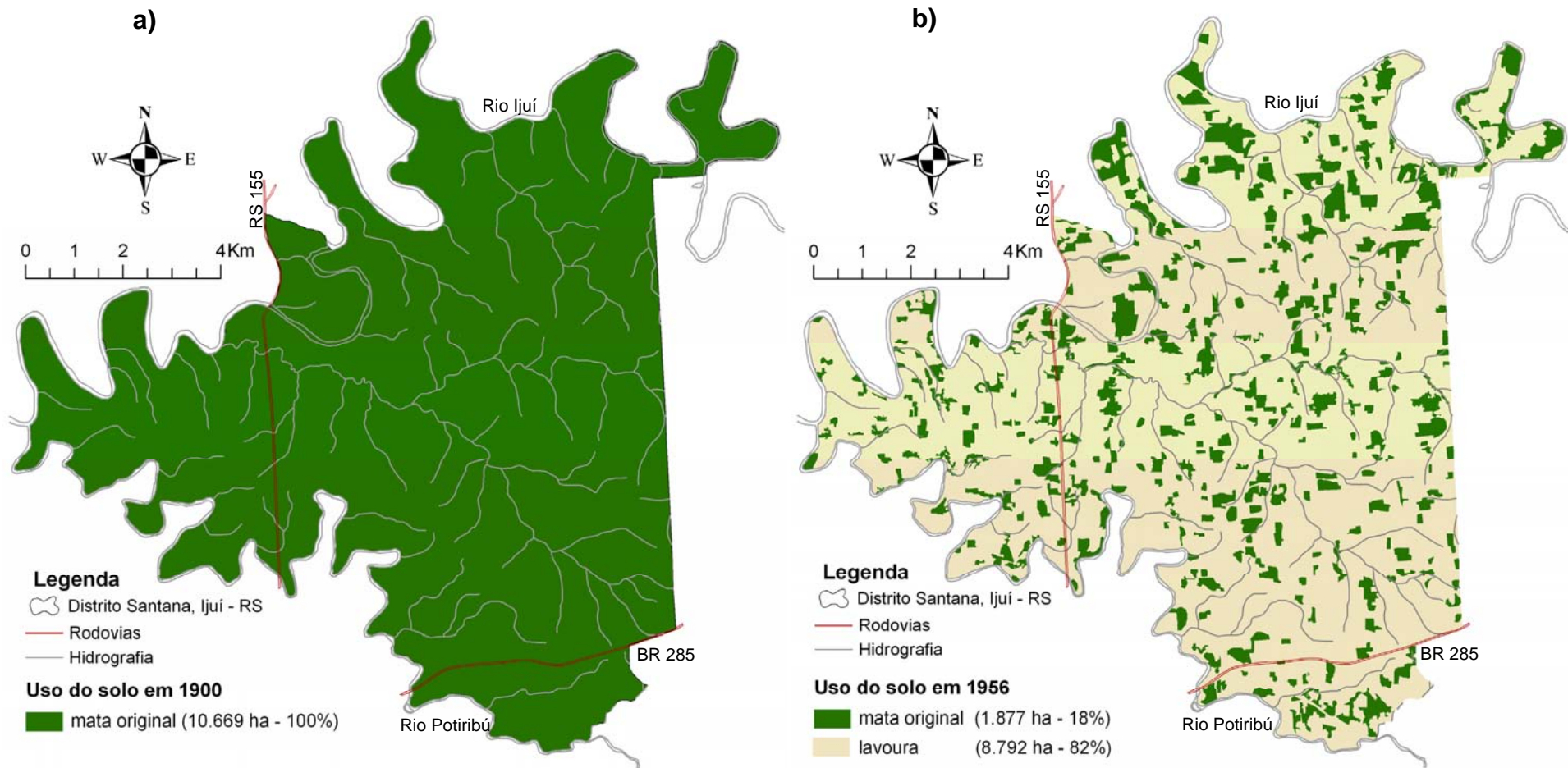


Figura 14. Mapas de uso agrícola do solo no Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1900 (a) e 1956 (b) obtidos a partir de fotointerpretação de fotos aéreas.

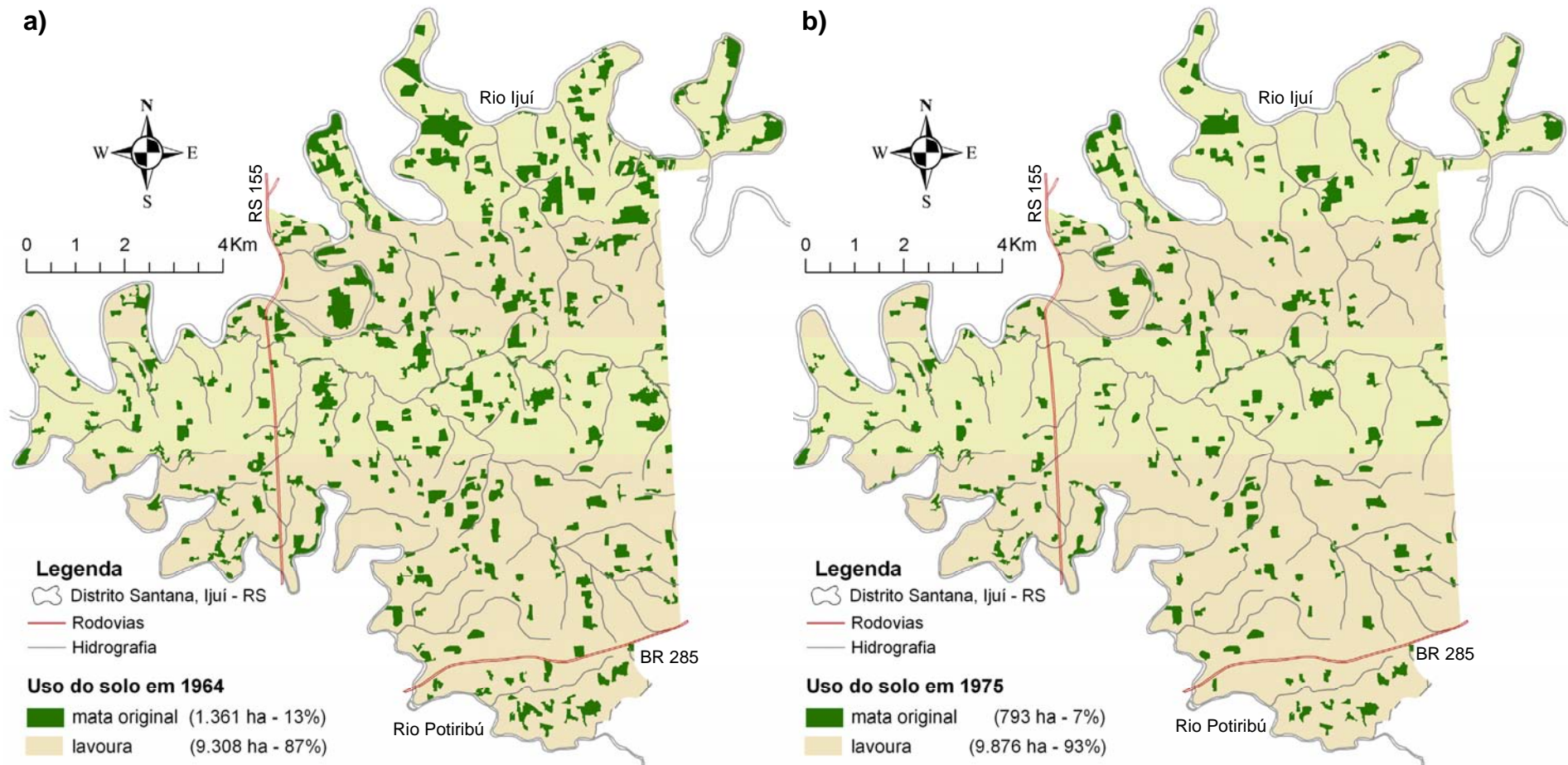


Figura 15. Mapas de uso agrícola do solo no Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1964 (a) e 1975 (b), obtidos a partir de fotointerpretação de fotos aéreas.

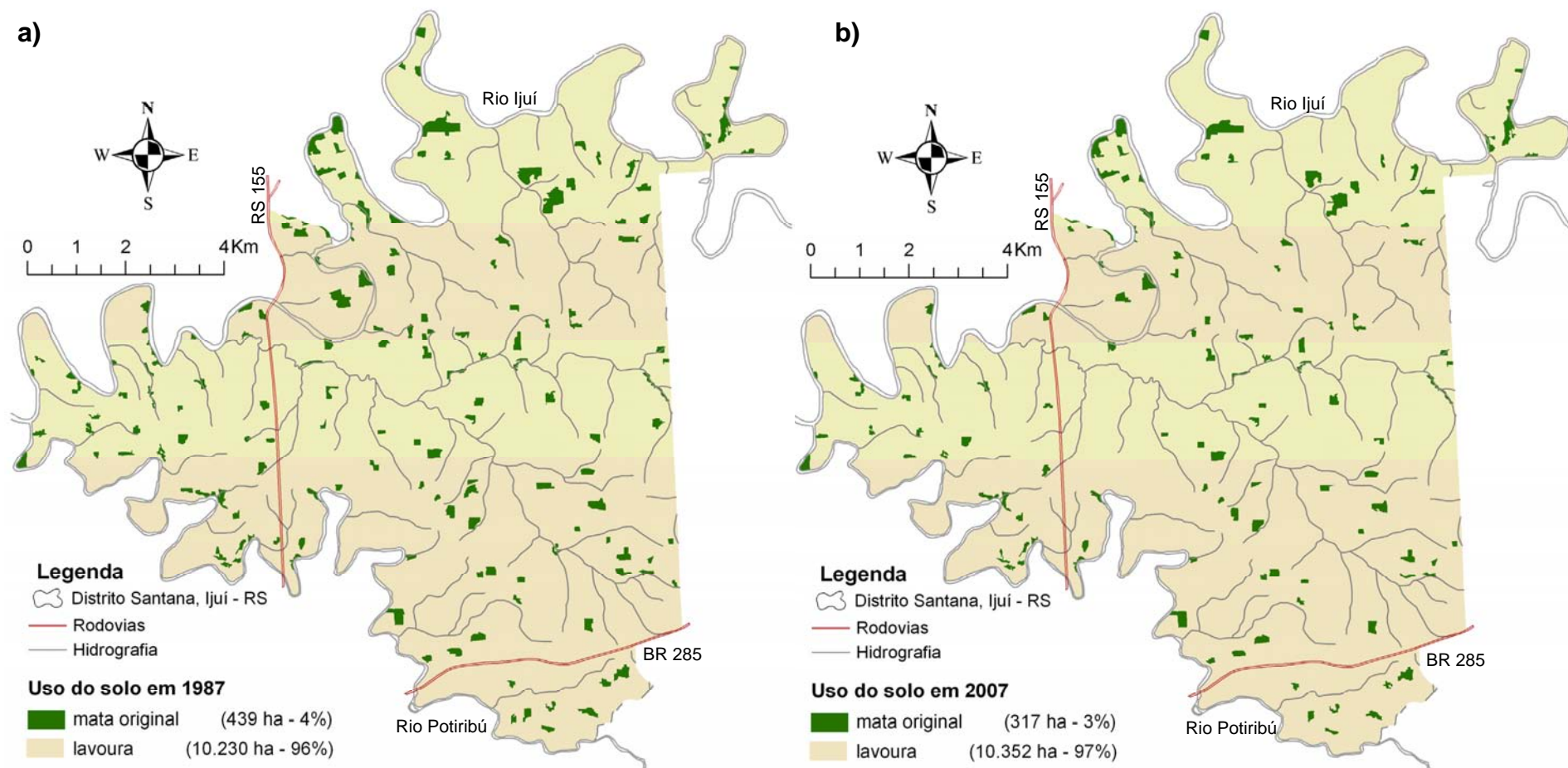


Figura 16. Mapas de uso agrícola do solo no Distrito Santana, Ijuí-RS, obtidos a partir de fointerpretação de imagens do satélite LANDSAT em 1987 (a) e do satélite ALOS-PRISM em 2007 (b).

Conforme já comentado anteriormente, a partir de 1950 iniciou-se no RS, nas áreas sob cultivo (originalmente sob florestas), a agricultura mecanizada, com uso de fertilizantes minerais, novas cultivares e equipamentos mecânicos para o preparo, semeadura e colheita, o que foi impulsionado pela expansão econômica das culturas do trigo e da soja (Schilling, 1961; Mielniczuk, 1999; Mielniczuk et al., 2003; Rückert, 2003). Especificamente na área em estudo, esse processo iniciou-se mais tarde já na década em 1970, coincidindo com o início da exploração econômica da soja neste Estado.

Considerando que na área, atualmente 317 ha (3%) permanecem sob vegetação nativa (Figura 16b), 83% (1560 ha) da floresta remanescente em 1956 (1877 ha) foi convertida em lavouras no período de 1957 a 2007. Entre 1957 e 1964 foram incorporados ao uso agrícola 516 ha, correspondendo a uma taxa de expansão de 74 ha ano^{-1} . No entanto, com o início da agricultura mecanizada e cultivo da soja em 1971, áreas que ainda estavam sob floresta até 1964 (Figura 15a) passam a despertar interesse econômico havendo, assim, um aumento de 6% (568 ha) no desmatamento no período de 1965 a 1975 (Figura 16b) e em mais 3% (354 ha) de 1976 a 1987 (Figura 16a). Esses aumentos na incorporação de áreas sob vegetação nativa na agricultura se refletiram em taxas de expansão agrícola de 57 ha ano^{-1} de 1965 a 1975 e de 32 ha ano^{-1} de 1976 a 1987. Nos últimos 19 anos (1988 a 2007) mais 122 ha de mata nativa foram desmatados na área em estudo.

A distribuição espacial da evolução do uso agrícola do solo consta na Figura 17. Cabe salientar que, apesar de ser conhecido o fato da maior expansão da agricultura no Planalto Riograndense (incluindo Ijuí) ter ocorrido nas décadas de 1920 e 1930, e depois de 1970 pela mecanização e cultivo da soja, não foi possível identificar como se deu o padrão de desmatamento e uso agrícola do solo no Distrito Santana de forma espacializada no período de 1900 até 1955, visto que não existem registros (levantamentos de uso do solo, aerofotos, mapas ou croquis) disponíveis anteriores a 1956. Tais dificuldades também foram enfrentadas em outros estudos desta natureza realizados por Debarba (2002) e Tornquist (2007) na região do Planalto do RS.

É importante destacar que a estimativa realizada a partir de produtos do sensoriamento remoto (fotos aéreas e imagens de satélites) não buscou

distinguir áreas com mata nativa remanescente daquelas reflorestadas ao longo dos anos (geralmente com erva mate) anteriores a 1956, considerando-se que em 1956 a mata identificada nas aerofotos era nativa. No entanto, a partir de 1957 somente as áreas de mata nativa já identificadas (em 1956) foram analisadas sendo reduzidas ou mantidas idênticas a data anterior, conforme o caso. Áreas desmatadas que retornaram à condição original, foram consideradas como lavoura durante todo o período após o desmatamento. Deste modo, atualmente a área efetivamente coberta por mata no Distrito Santana deve ser maior que 3%. Estimativas do IBGE para 1995 e 1996 indicam 7,4% de matas e florestas nativas no município.

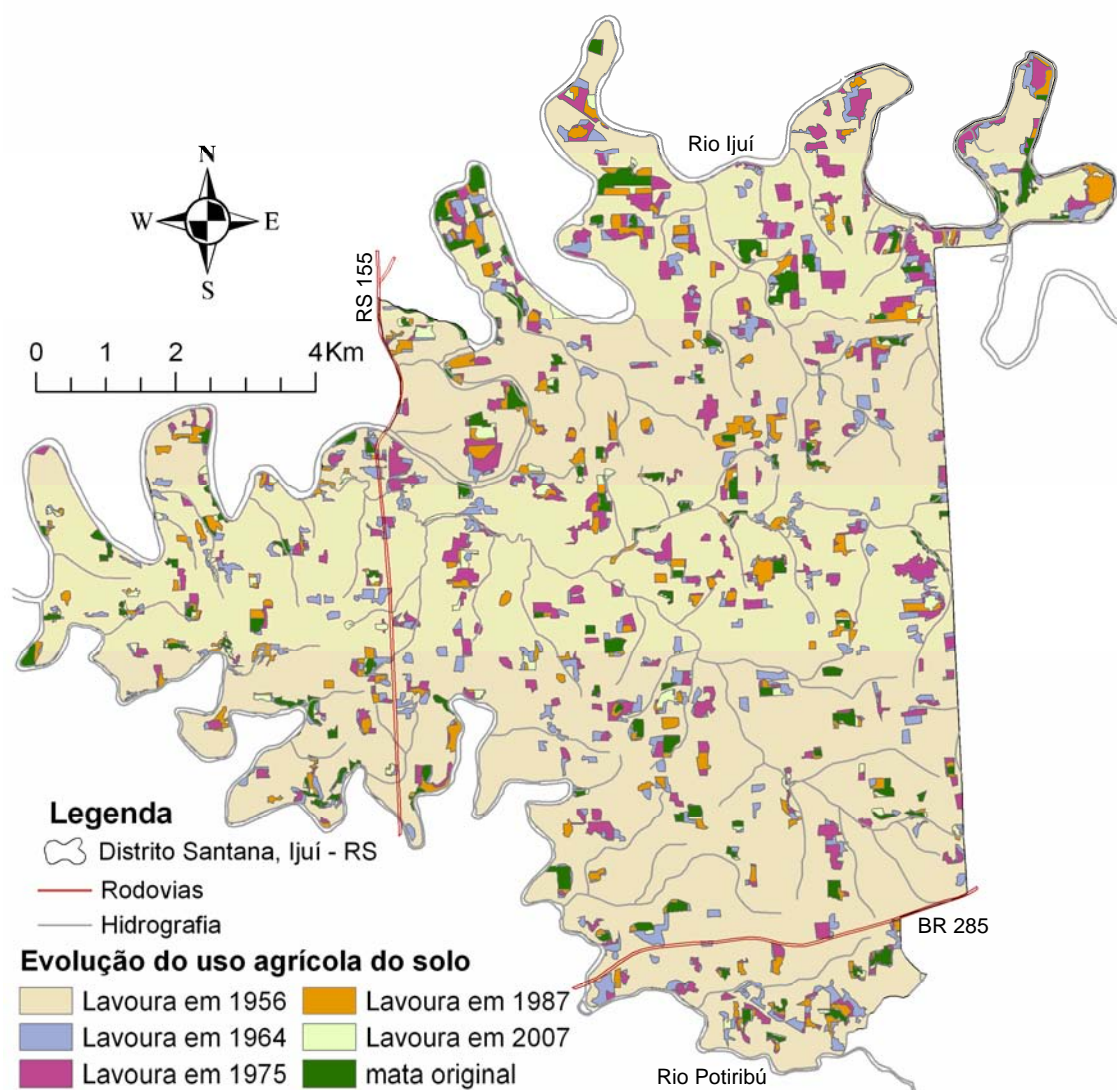


Figura 17. Mapa de evolução de uso agrícola do solo no Distrito Santana, Ijuí-RS, de 1900 (condição original) a 2007.

6.2.2. Estoques de COS estimados pelo modelo Century

Para as simulações, foram consideradas as unidades de simulação (US) estabelecidas com base na combinação de classes de solo, elementos da paisagem e ano de início do uso agrícola do solo (com base na evolução de uso agrícola do solo) do Distrito Santana (54 US). Às US foram atribuídos os cenários de manejo do solo conforme a Tabela 3, considerando-se a adoção de dois cenários diferenciados a partir de 1995, onde se enfatizou o efeito da adoção de cenários conservacionistas de preparo associados a sistemas de culturas com maior potencial de adicionar C ao solo via biomassa, representado pelo cenário “Melhorado”, em relação ao sistema de culturas adotado atualmente na região, representado pelo cenário “Atual” (Tabela 3).

O modelo Century, já calibrado e validado para a condição de Latossolo de topo em lavouras iniciadas em diferentes épocas, foi executado para todas as unidades de simulação sem qualquer novo ajuste, buscando-se refletir os estoques de COS observados sob vegetação nativa ao final da execução de equilíbrio (3000 anos), levando-se em conta as diferenças granulométricas e de densidade do solo de cada classe de solo (Tabela 2). Os estoques de COS observados na amostragem da mata nativa em 2007 sob Latossolo e estimados para as demais classes de solo a partir do levantamento realizado por Abrão e Azolin (1970) na camada de 0 a 20 cm, foram assumidos como estoques estáveis, equivalentes à condição original anterior à ocupação agrícola destas áreas (1900). Além disso, considerou-se que os atuais remanescentes de vegetação nativa são similares entre si e, portanto, os estoques de COS observados foram atribuídos às demais áreas sob mata nativa, levando em conta apenas as diferenças de classes de solos.

Nesse sentido, é importante destacar que o presente estudo não objetivou quantificar exatamente o conteúdo de C dos solos da região, visto que isso exigiria um número expressivo de amostras de solo coletadas de forma a contemplar as diferentes posições na paisagem, vegetação nativa original e em lavouras iniciadas em diferentes épocas das quatro classes de solos distribuídas na área, fatores que são determinantes da variabilidade em relação à dinâmica da MOS e estoques de COS. Assim tais estimativas devem

ser analisadas com cuidado para não se incorrer em erros de interpretação quanto à magnitude das alterações nos estoques de COS.

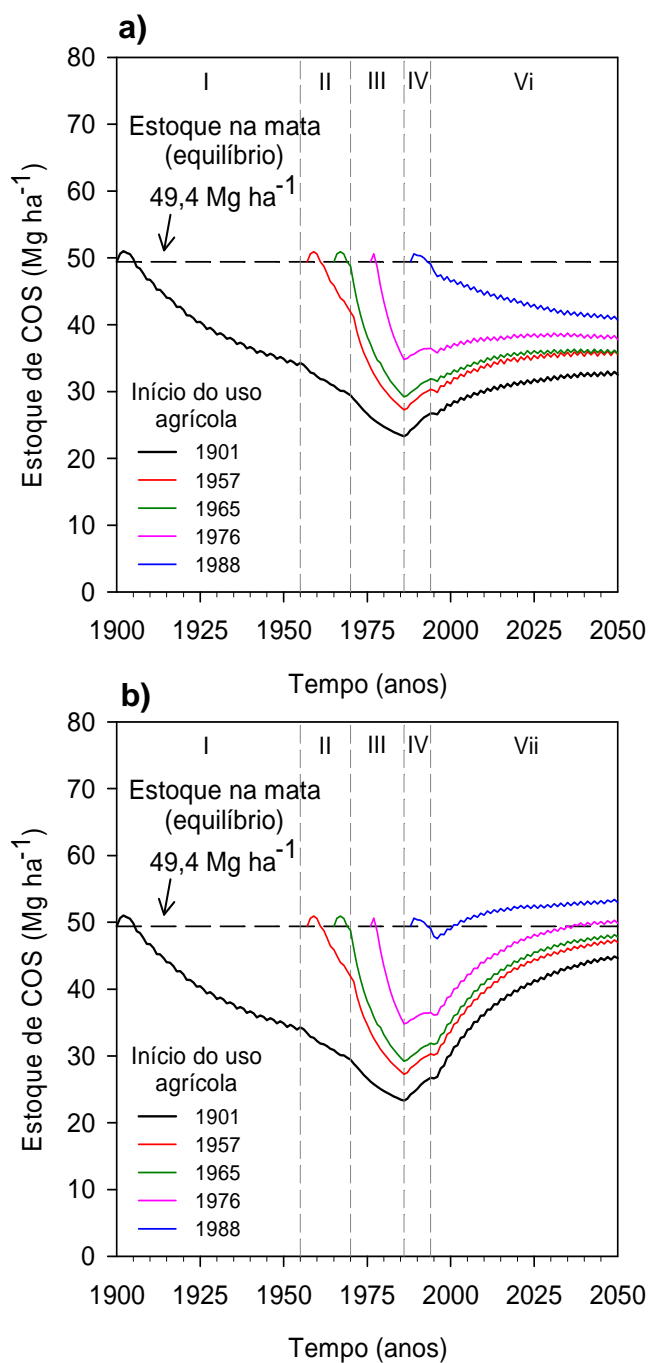
6.2.2.1. Simulações considerando diferentes épocas de início do uso agrícola do solo

Inicialmente foram considerados os topos nas diferentes combinações de classe de solo e ano de início do uso agrícola do mesmo, exceção apenas para o Neossolo Flúvico, que somente ocorre em condições deposicionais.

Os resultados das estimativas do modelo Century para o Latossolo de topo nas lavouras iniciadas em 1901, 1957, 1965, 1976 e 1988 constam na Figura 18, onde se pode observar que, independentemente do ano em que a mata foi convertida em lavoura, houve redução dos estoques de COS já nos primeiros anos de cultivo. Tal tendência reflete o esperado devido aos resultados obtidos anteriormente na validação do modelo Century (Figuras 12 e 13).

Nas lavouras mais antigas, submetidas ao uso agrícola em 1901, o Century estimou decréscimo de 53% (de $49,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ para $23,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) do estoque original de COS até o final do período de PC, em 1986. A adoção dos sistemas de manejo conservacionistas, PR em 1987 e PD em 1995, proporcionou a reversão deste processo, passando haver acúmulo C no solo ao longo dos anos. No entanto, tais acúmulos não garantem recuperação dos estoques de COS até a condição inicial, estando 40% abaixo disso em 2007 e 34% em 2050 se for mantido o cenário “Atual” de manejo do solo (Figura 18a). Por outro lado, se tivesse sido adotado o cenário “Melhorado” desde 1995, cuja adição de C ao solo é superior ao “Atual” pela inclusão do milho na rotação de culturas, estima-se que em 2007 o estoque de COS seria de $35,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ (29% abaixo do original) e em 2050 seria de $44,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, cerca de 10% abaixo do original (Figura 18b). Para as lavouras iniciadas nos anos posteriores em estudo estimaram-se perdas sucessivamente menores e acúmulos maiores, porém mantendo-se o cenário “Atual”, mesmo em lavouras iniciadas em 1988, já no período conservacionista de manejo (PR), não seria possível atingir os estoques originais, estimando-se para 2050 estoques equivalentes a 35,5, 35,7, 37,7 e $40,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ respectivamente para os anos de início do uso 1957,

1965, 1976 e 1988. Já a adoção do cenário “Melhorado” levaria tais lavouras a estoques de COS de 47,0, 47,8, 49,9 e 52,9 Mg ha^{-1} , respectivamente.



Cenários de manejo do solo

I	Agricultura colonial 1	(1901 a 1955)
II	Agricultura colonial 2	(1956 a 1970)
III	Preparo convencional	(1971 a 1986)
IV	Preparo reduzido	(1987 a 1994)
Vi	Plantio direto "atual"	(1995 a 2050)
Vii	Plantio direto "melhorado"	(1995 a 2050)

Figura 18. Evolução dos estoques de COS em diferentes épocas de início do uso agrícola estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Latossolo Vermelho distroférrico de topo nos cenários “Atual” (a) e “Melhorado” (b), no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Tendências semelhantes foram estimadas para o Chernossolo de topo onde lavouras mais antigas (iniciadas em 1901) evidenciaram perdas de 51% do seu estoque original até 1986 e recuperação parcial deste até 2007 (61% do original) e 2050 (66% do original) no cenário “Atual” (Figura 19a). A partir da adoção do PR e PD no cenário “Melhorado” (Figura 19b), o Century estimou para 2050 estoques de COS equivalentes a 90% do inicial em 1900. Nos demais anos de início do uso considerados, mesmo em lavouras mais recentes (início em 1976 e 1988) os estoques de COS em 2050 permaneceram cerca de 20% menores que os originais no cenário “Atual” e somente lavouras iniciadas em 1988 no cenário “Melhorado” superariam o estoque inicial de COS passando de 49,4 Mg ha⁻¹ em 1900 para 51,9 Mg ha⁻¹ em 2050.

O estoque original de COS do Neossolo Regolítico superou em até 15 Mg ha⁻¹ (Tabela 2) os estoques das demais classes de solo, no entanto foi também, o solo em que foram estimadas as maiores perdas do COS em função do uso agrícola a que foi submetido.

Em lavouras iniciadas em 1901 no Neossolo Regolítico de topo o Century estimou perda de 67% (63,2 para 20,9 Mg ha⁻¹) do COS estocado na camada de 0 a 20 cm sob vegetação nativa até 1986, e a adoção de práticas conservacionistas de preparo de solo garantiram o controle destas perdas. Porém os acúmulos de COS foram pequenos a partir de 1987, chegando a 2007 com 59% (26,2 Mg ha⁻¹) abaixo da condição original e em 2050 com 27,4 Mg ha⁻¹ (ainda 57% menor que o original) considerando o cenário “Atual” (Figura 20a). No cenário “Melhorado”, o Century estimou para 2007 estoques de 30,7 Mg ha⁻¹ de COS chegando a 37,2 Mg ha⁻¹ em 2050, ficando 51% e 41% abaixo do original respectivamente (Figura 20b). Nos outros anos de início do uso agrícola que foram considerados neste estudo, as perdas até 1986, apesar de menores que nas lavouras mais antigas, ainda representam mais de 45% do estoque original. Nestas lavouras estimou-se que a adoção do PR seguido pelo PD permitiu recuperar 4,6 Mg ha⁻¹ de COS de 1987 até 2007 em lavouras iniciadas em 1957, 3,6 Mg ha⁻¹ de COS quando o início do uso se deu em 1965, não havendo acúmulo de C neste período (1987 a 2007) em lavouras iniciadas em 1976 considerando o cenário “Atual”. No cenário “Melhorado” seria possível estocar no máximo 44,9 Mg ha⁻¹ de COS até 2050 em lavouras iniciadas em 1988, 71% do estoque original.

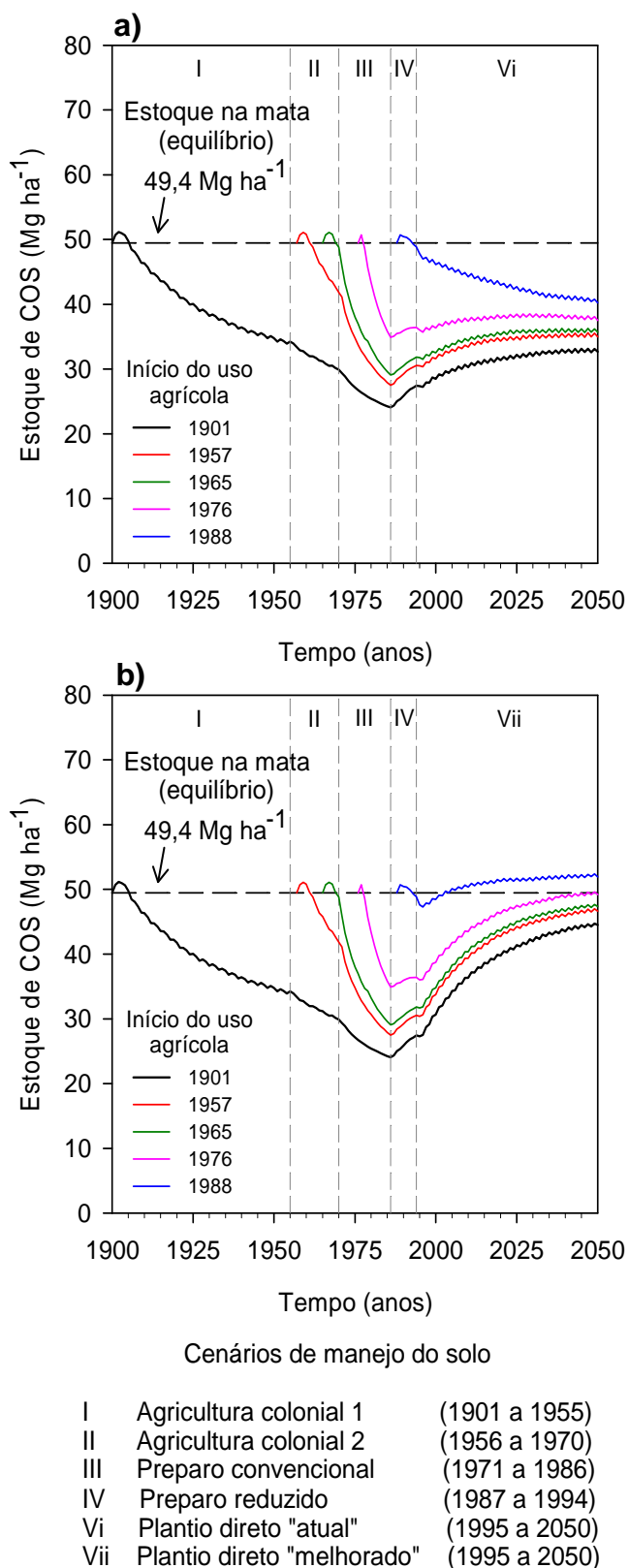


Figura 19. Evolução dos estoques de COS em diferentes épocas de início do uso agrícola estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Chernossolo Argilúvico órtico de topo nos cenários "Atual" (a) e "Melhorado" (b), no Distrito Santana, Ijuí-RS.

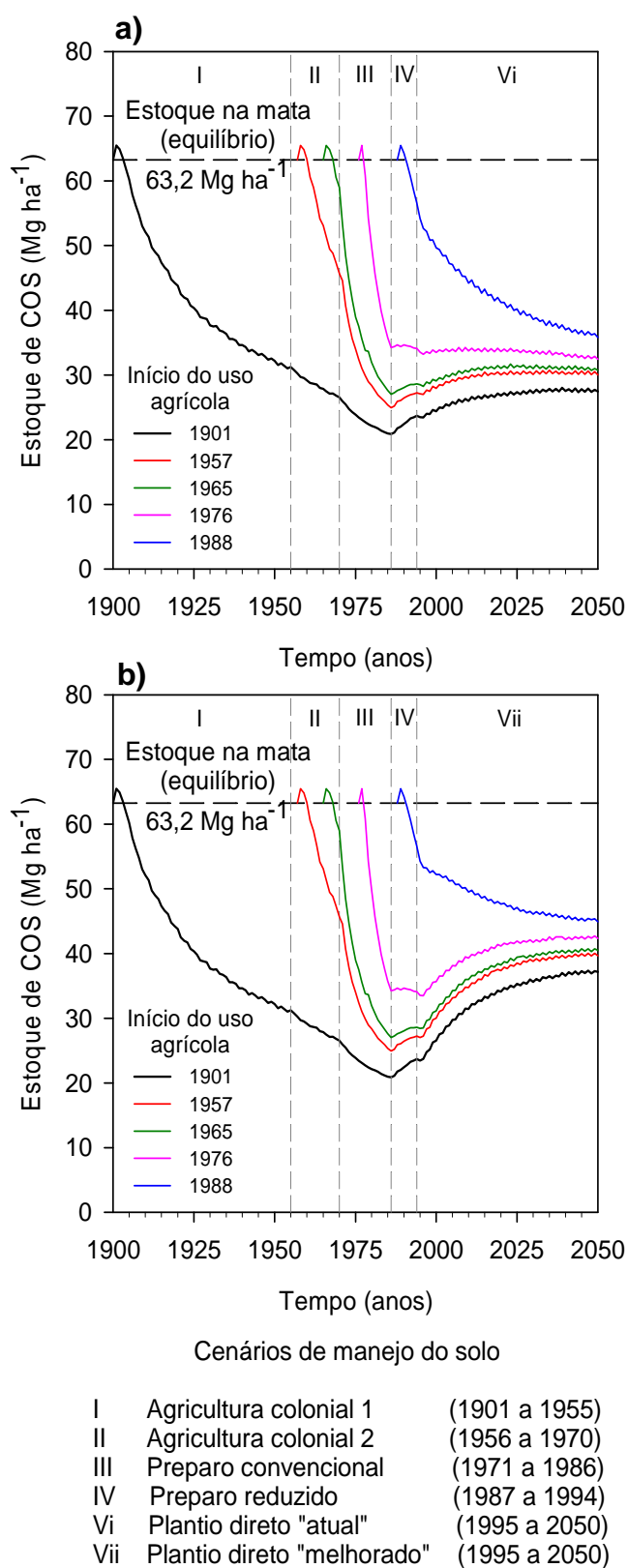


Figura 20. Evolução dos estoques de COS em diferentes épocas de início do uso agrícola estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Neossolo Regolítico eutrófico de topo nos cenários "Atual" (a) e "Melhorado" (b), no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Segundo o levantamento de solos do município de Ijuí realizado por Abrão e Azolin (1970), os Neossolos Regolíticos eutróficos encontrados na região são solos rasos (20 a 40 cm de espessura), bem drenados, arenosos, com presença de pedras e afloramentos rochosos na superfície, características que associadas ao relevo onde ocorrem na sua maioria (ondulado a fortemente ondulado) tornam tais solos bastante suscetíveis à erosão. Além disso, por serem solos pouco desenvolvidos, apresentam teores altos de nutrientes, são levemente ácidos e sem problemas com alumínio, considerados solos com fertilidade natural elevada. Assim, durante o processo de ocupação agrícola dos solos do Distrito Santana, como em outras regiões do Planalto Riograndense, baseado na agricultura colonial e calcada na fertilidade natural dos solos para produzir alimentos, estas áreas foram desmatadas continuamente dando lugar a uma agricultura intensiva de subsistência até 1970 e, posteriormente, passaram a ser cultivadas de forma mecanizada, o que certamente levou à grandes alterações nos seus estoques de COS.

Com relação aos Neossolos Flúvicos, a dinâmica de alteração dos estoques de COS pelo uso agrícola foi diferenciada dos Neossolos Regolíticos. Em razão de ocorrerem em relevo plano e próximo à drenagem, são áreas deposicionais sujeitas à inundações temporárias que reduzem a atividade microbiana. Por esses motivos, de modo geral as perdas de COS são menores e os acúmulos são maiores.

O Century estimou que, nas lavouras iniciadas em 1901, houve perda de 45% (de 47,9 Mg ha⁻¹ até 26,4 Mg ha⁻¹) do estoque original de COS até 1986. A partir da adoção do PR em 1987 e PD em 1995, no cenário “Atual”, foi possível estocar 32,9 Mg ha⁻¹ (69% do original) até 2007 e chegaria a 34,9 Mg ha⁻¹ (73% do original) de COS até 2050 (Figura 21a). O cenário “Melhorado” propiciaria maior acúmulo de C no solo estocando 37,9 Mg ha⁻¹ (79% do original) em 2007 e 46,6 Mg ha⁻¹ em 2050, correspondendo a 3% abaixo do estoque inicial de COS (Figura 21b). Lavouras iniciadas em 1957, 1965, 1976 e 1988, no cenário “Atual”, estocariam respectivamente 35,7, 35,9, 36,5 e 37,6 Mg ha⁻¹ de COS em 2050, e no cenário “Melhorado” estocariam 47,2, 47,4, 48,1 e 50,3 Mg ha⁻¹ quando iniciadas respectivamente nestes mesmos anos.

Nas áreas de encostas e deposição, as tendências estimadas pelo modelo Century para as alterações nos estoques de COS são semelhantes às

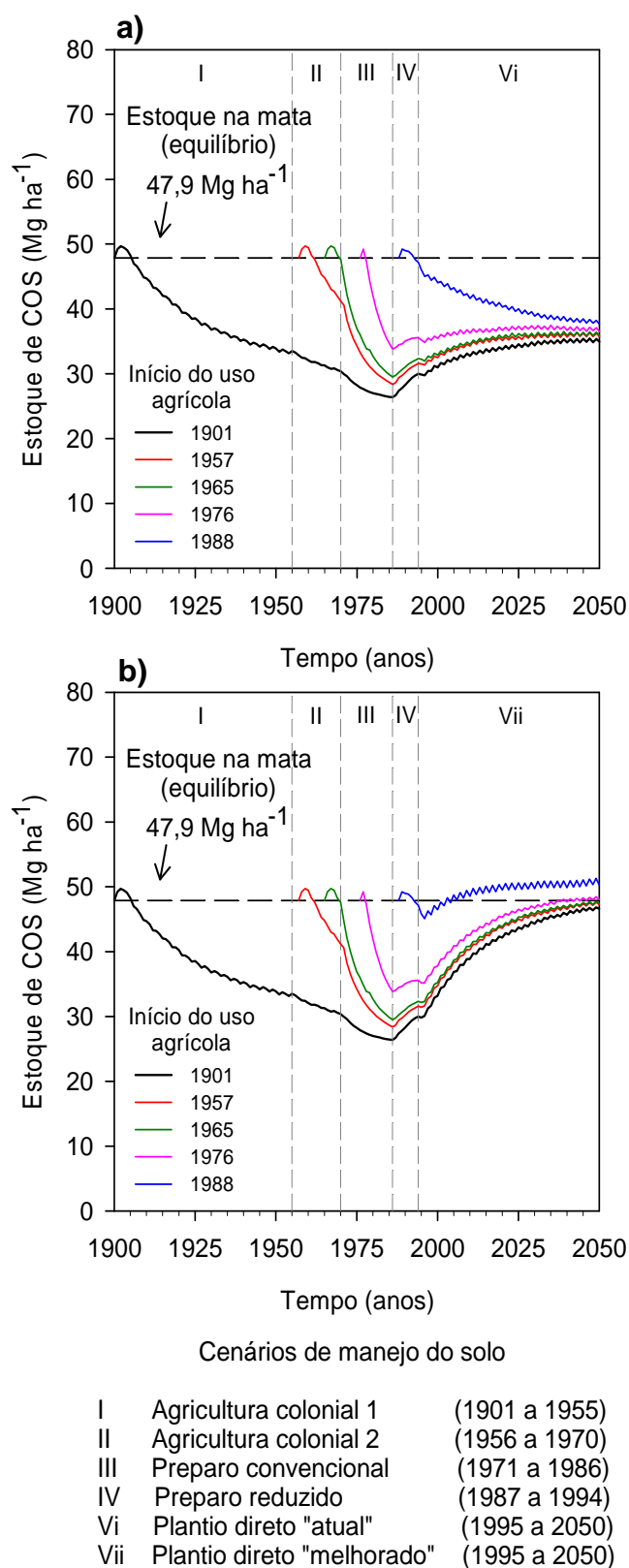


Figura 21. Evolução dos estoques de COS em diferentes épocas de início do uso agrícola estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Neossolo Flúvico deposicionais nos cenários "Atual" (a) e "Melhorado" (b), no Distrito Santana, Ijuí-RS.

estimadas nos topos em todas as combinações de classes de solo e ano de início do uso agrícola do mesmo. Comparativamente aos topos, os estoques são menores nas encostas e maiores nas áreas deposicionais para o mesmo tipo de solo e ano de conversão da mata em lavoura.

Considerando-se a mesma classe de solo e posição na paisagem, a variação nas estimativas do Century entre as áreas submetidas ao uso agrícola em anos distintos, manteve sempre a mesma tendência, com valores extremos ocorrendo em lavouras mais antigas (início em 1901) e em lavouras mais recentes (início em 1988). Por este motivo, a partir daqui foram analisadas, principalmente, as estimativas para lavouras iniciadas em 1901 em relação àquelas iniciadas em 1988, visto que nas lavouras cujo início do uso ocorreu nos períodos intermediários (1957, 1965 e 1976) as estimativas ficaram dentro desta variação. No entanto, é importante salientar que, nas etapas de espacialização das estimativas do Century e cálculos dos totais regionais (apresentados posteriormente), foram consideradas todas as situações relativas ao início do uso agrícola do solo.

Nas Tabelas 6 e 7 são mostrados, em lavouras iniciadas em 1901 (mais antigas) e 1988 (mais recentes) respectivamente, como se deu a alteração dos estoques de COS ao longo dos anos nas diferentes classes de solo e posições na paisagem, considerando as diferenças entre os estoques no final de cada período de adoção dos diferentes cenários de manejo em relação à condição original (1900).

Em síntese, nas lavouras mais antigas, independentemente da classe de solo e posição na paisagem, houve redução dos estoques de COS ao longo dos anos. Mesmo nas áreas deposicionais, onde o acúmulo de C é favorecido pela ausência de erosão e pela deposição de material oriundo de áreas erodidas (topos e encostas), não houve recuperação dos estoques de COS para atingir a condição original até 2050 no cenário “Atual”, apesar de que a adoção de práticas conservacionistas de manejo garantiram reversão do processo de perda dos estoques de COS e a recuperação de parte do estoque perdido até 1986 (Tabela 6). A mesma tendência ocorreria se fosse adotado o cenário “Melhorado”, porém devido às maiores adições de C ao solo via biomassa vegetal, o acúmulo de COS seria maior, possibilitando recuperar cerca de 16 Mg ha^{-1} de COS no Neossolo Regolítico de 1986 até 2050 e cerca

Tabela 6. Perda (-) ou ganho (+) de COS em relação ao estoque original (1900) estimado pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1901 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem, no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Unidades de Simulação	Estoque	Perda (-) ou ganho (+) de C							
	COS					"Atual"		"Melhorado"	
	1900	1955	1970	1986	1994	2007	2050	2007	2050
-----Mg ha ⁻¹ -----									
<u>Latossolo Vermelho distroférico</u>									
topo		-15,1	-20,0	-26,1	-22,7	-19,6	-16,9	-14,3	-4,8
encosta	49,4	-15,8	-21,6	-27,5	-24,2	-21,2	-19,2	-16,0	-6,6
deposicional		-11,6	-14,2	-18,3	-14,5	-11,4	-9,0	-6,1	+3,7
<u>Chernossolo Argilúvico órtico</u>									
topo		-15,2	-19,5	-25,4	-22,0	-19,1	-16,8	-14,1	-4,9
encosta	49,4	-15,7	-20,3	-26,5	-23,2	-20,3	-18,1	-15,3	-6,4
deposicional		-12,3	-15,2	-19,6	-16,0	-13,0	-10,7	-7,9	+1,4
<u>Neossolo Regolítico eutrófico</u>									
topo		-32,0	-36,7	-42,4	-39,5	-37,1	-35,8	-32,5	-26,1
encosta	63,2	-32,5	-37,4	-43,3	-40,6	-38,2	-36,9	-33,6	-27,3
deposicional		-29,4	-33,0	-37,3	-34,3	-31,8	-30,7	-27,2	-20,7
<u>Neossolo Flúvico</u>									
deposicional	47,9	-14,4	-17,5	-21,5	-17,9	-15,0	-12,9	-9,9	-1,3

Tabela 7. Perda (-) ou ganho (+) de COS em relação ao estoque original (1900) estimado pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1988 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem, no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Unidades de Simulação	Estoque	Perda (-) ou ganho (+) de C							
	COS 1900					"Atual"		"Melhorado"	
		1955	1970	1986	1994	2007	2050	2007	2050
----- Mg ha ⁻¹ -----									
<u>Latossolo Vermelho distroférico</u>									
topo					-0,3	-3,8	-8,8	+1,6	+3,5
encosta	49,4	-	-	-	-0,6	-4,2	-9,8	+0,7	+2,6
deposicional					+0,4	-2,8	-7,1	+2,7	+5,7
<u>Chernossolo Argilúvico órtico</u>									
topo					-0,6	-4,1	-9,2	+0,9	+2,5
encosta	49,4	-	-	-	-0,8	-4,5	-10,0	+0,6	+1,8
deposicional					-0,1	-3,5	-8,1	+1,8	+4,1
<u>Neossolo Regolítico eutrófico</u>									
topo					-6,6	-16,9	-27,4	-12,5	-18,3
encosta	63,2	-	-	-	-6,8	-17,5	-28,4	-12,8	-18,9
deposicional					-6,0	-16,5	-26,8	-11,7	-17,0
<u>Neossolo Flúvico</u>									
deposicional	47,9	-	-	-	-0,7	-4,9	-10,2	+1,2	+2,4

de 20 Mg ha⁻¹ nos demais solos, enquanto no cenário “Atual” esse aumento foi estimado em cerca de 6 Mg ha⁻¹ no Neossolo Regolítico e de cerca de 9 Mg ha⁻¹ nas demais condições. Somente nas áreas deposicionais do Latossolo e do Chernossolo, se fosse adotado o cenário “Melhorado” a partir de 1995, haveria a possibilidade de superação do estoque de COS original em 3,7 (7%) e 1,4 (3%) Mg ha⁻¹, respectivamente, até 2050.

Na região de Ibirubá-RS, o Century estimou nos topos, acúmulos de C no solo superiores à condição original somente em Latossolos de textura muito argilosa e de textura média no cenário “Atual”, os quais superariam os estoques originais (1900) em até 11% em 2050 (Tornquist, 2007). No entanto, Latossolos de textura argilosa, Neossolos Regolíticos e Flúvicos apresentaram comportamento semelhante aos obtidos no presente estudo com estoques de COS estimados para 2050 até 36% inferiores aos originais, apesar de que o cenário “Atual” considerado por Tornquist (2007) incluiu milho na rotação de culturas (trigo/soja e aveia/milho) a partir de 1993 e as práticas conservacionistas foram adotadas a partir de 1981 (inicialmente com o PR e em 1993 iniciou-se o PD).

Nas lavouras mais recentes (iniciadas em 1988), mesmo que submetidas desde o início já em condições de manejo conservacionista, o Century estimou, no cenário “Atual”, perdas de COS de até 26,8 Mg ha⁻¹ no Neossolo Regolítico e de 7,1 até 10,2 Mg ha⁻¹ nas outras classes de solos considerando as áreas de deposição (Tabela 7), sendo perdido cerca de 9 Mg ha⁻¹ dos estoques de COS nos topos e 10 Mg ha⁻¹ nas encostas do Latossolo e Chernossolo, chegando a 28,4 Mg ha⁻¹ nas encostas do Neossolo Regolítico. Por outro lado, a associação de técnicas conservacionistas de preparo do solo com sistemas de culturas de maior aporte de resíduos ao solo, representada pelo cenário “Melhorado”, garantiria estoques de COS, na camada de 0 a 20 cm, superiores aos originais (1900) já em 2007 nos solos em todas as posições da paisagem, com exceção apenas do Neossolo Regolítico onde não seria possível atingir os estoques originais até 2050. Segundo as estimativas do Century, até 2050 no cenário “Melhorado”, os Latossolos estocariam de 2,6 Mg ha⁻¹ de COS nas encostas até 5,7 Mg ha⁻¹ nas áreas deposicionais acima do original (49,4 Mg ha⁻¹), os Chernossolos superariam o estoque original de COS (49,4 Mg ha⁻¹) em 1,8 Mg ha⁻¹ nas encostas, 3,5 Mg ha⁻¹ nos topos e 4,1 Mg ha⁻¹

¹ na deposicional, enquanto os Neossolos Flúvicos, somente deposicionais, chegariam em 2050 estocando 2,4 Mg ha⁻¹ acima do estoque inicial (47,9 Mg ha⁻¹). Já o Neossolo Regolítico apresentaria perdas de até 18,9 Mg ha⁻¹ do COS em relação ao original (63,2 Mg ha⁻¹) até 2050 (Tabela 7).

6.2.2.2. Simulações considerando diferentes elementos da paisagem

Em termos de modelagem da dinâmica da MOS, em especial ao que se refere ao modelo Century, é importante destacar que este não é um modelo de erosão, sendo que suas estimativas são pontuais, enquanto o processo de erosão ocorre de forma espacializada na paisagem. Deste modo, os resultados apresentados neste estudo devem ser analisados com cuidado devido à precariedade com que alguns aspectos relativos à alteração dos estoques de COS pela erosão e deposição são tratados no modelo. Tais aspectos contribuem para as incertezas associadas às estimativas das alterações nos estoques de COS causadas pelo uso agrícola dos solos, porém não invalidam os resultados obtidos, já que não se tem a pretensão de gerar valores exatos para a quantidade de C estocada nos solos do Distrito Santana, como comentado anteriormente. Entretanto é necessário conhecer tais limitações, buscando-se amenizá-las para a obtenção de estimativas condizentes com a realidade.

Em condições de campo, a erosão determina remoção de uma dada quantidade de solo de um local e sua deposição em outro(s). Assim as áreas erodidas apresentam redução na espessura da camada superficial original do solo, enquanto nas áreas deposicionais ocorre o oposto. Por outro lado, o Century simula a dinâmica da MOS para a profundidade de 0 a 20 cm e, para compensar a redução causada pela erosão, o modelo incorpora uma camada abaixo de 20 cm de espessura igual à perda da superfície, mas com menor concentração de C que a camada superficial perdida, mantendo fixa a profundidade de 0 a 20 m ao longo de toda a simulação. Além disso, quando uma determinada perda anual de solo por erosão é prevista pela adoção de um dado cenário de manejo, o modelo estima a perda do COS em função da sua

concentração no solo e de uma taxa de enriquecimento no sedimento perdido igual a 2,0 (valor padrão do modelo para o parâmetro).

Neste caso, segundo Debarba (2002), pode ocorrer a subestimativa da quantidade de COS realmente perdida, devendo-se desconsiderar a camada abaixo de 20 cm incorporada nesse processo. No entanto, Tornquist (2007) acrescenta que o Century estimou que estoques subsuperficiais repuseram entre 50 e 70% do COS perdido por erosão, porém os resultados analíticos obtidos em lavouras para a camada de 20 a 30 cm representam 30 a 40% do COS da camada de 0 a 20 cm, indicando que o Century estaria superestimando a contribuição da camada abaixo de 20 cm de profundidade.

Além disso, a deposição considerada no presente estudo, conforme proposto por Pennock e Frick (2001), não resulta da modelagem do transporte e acúmulo de sedimentos de áreas adjacentes erodidas, sendo um artifício adotado pelos autores para que fosse possível estimar, ainda que de forma simplificada, a redistribuição do C na paisagem, considerando o processo deposicional e não somente a erosão como prevê a versão 4.0 do modelo Century. Tal procedimento foi utilizado com sucesso por Tornquist (2007).

No presente estudo, as diferenças entre os elementos da paisagem, topo, encosta e superfície deposicional referem-se unicamente à variação das taxas de erosão (topos e encostas) e deposição (superfície deposicional) e dentro de cada elemento da paisagem as tais taxas diferem quanto ao cenário de manejo adotado (Tabela 3), mas não variam entre as classes de solo. Além disso, considerou-se que do total de sedimentos depositados nas superfícies deposicionais, 30% efetivamente permaneceu nestas áreas, sendo utilizado um fator de enriquecimento (ENRICH) igual a 1,0, conforme proposto por Pennock e Frick (2001), enquanto nos topos e encostas este fator foi mantido padrão (igual a 2,0). No Century, a concentração de COS no solo perdido por erosão é calculada multiplicando-se a concentração de COS presente na camada simulada (0 a 20 cm) pelo fator de enriquecimento. Assim adotar-se valor 1,0 para o fator de enriquecimento significa dizer que a concentração de COS no sedimento é igual a do solo que o gerou.

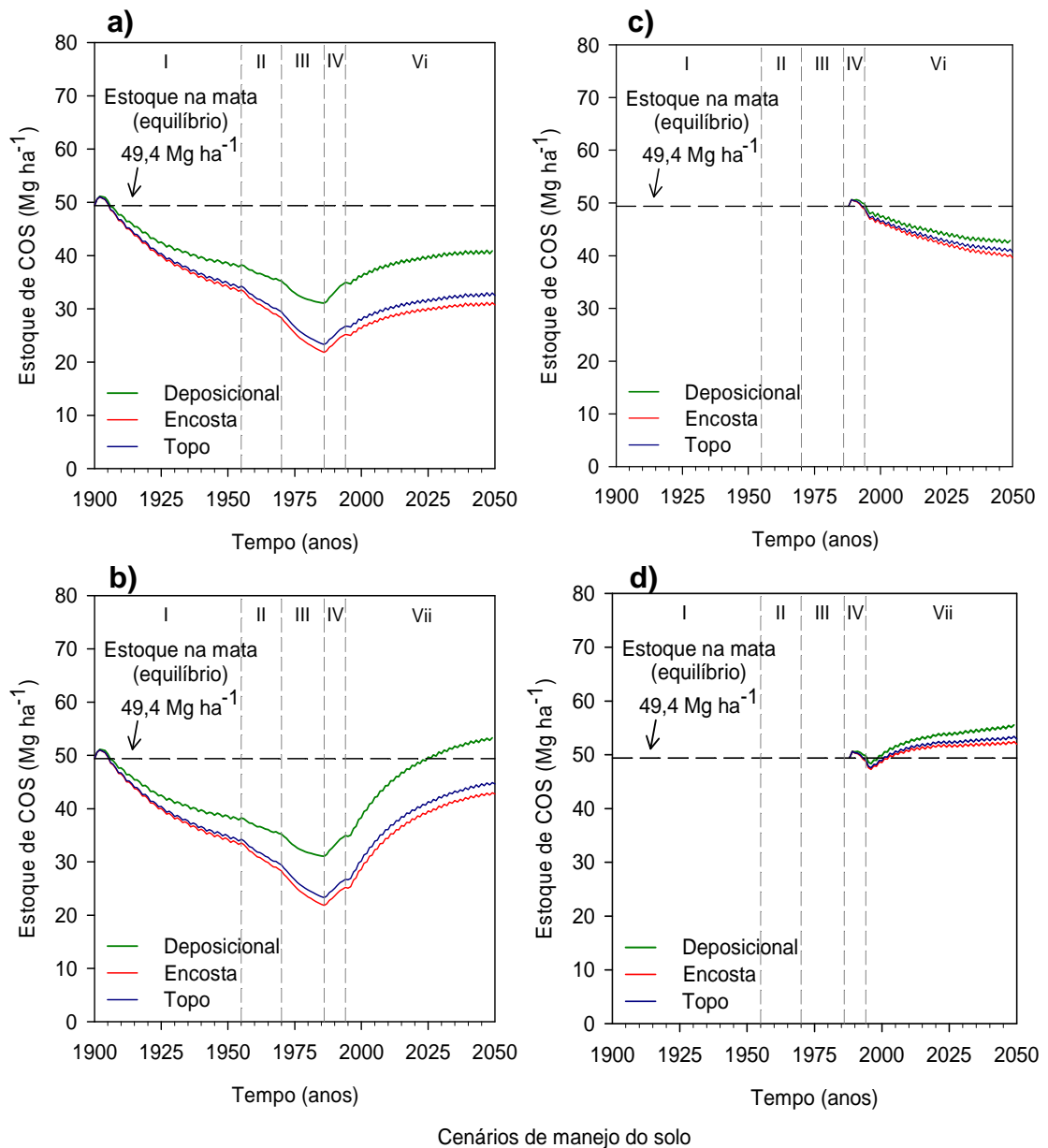
Este procedimento foi adotado para as superfícies deposicionais, pois se considerou que durante o processo de transporte do sedimento juntamente com a água as frações mais ricas/concentradas em C, correspondentes a

fração particulada da MOS, são perdidas (carregadas com a água) preferencialmente. Neste caso, a fração que permanece efetivamente nas áreas deposicionais corresponde, na sua maioria, à fração pesada da MOS que está mais fortemente ligada à fração mineral do solo. De outra parte, Pennock e Frick (2001) sugerem o uso de fator de enriquecimento igual a 1,0 quando o revolvimento do solo domina o processo de transporte de sedimentos. Segundo ampla revisão bibliográfica sobre transporte de sedimentos e perda de C em microbacias, realizada por Melo (2006), estudos mostram que, em microbacias sob uso agrícola, o carbono particulado está associado ao sedimento gerado, e sua perda pode corresponder de 30 até 80% do total de C removido pelo processo de erosão hídrica, quantidades estas que foram detectadas nos cursos hídricos.

Como as simulações nos diferentes elementos da paisagem nas lavouras iniciadas em diferentes épocas evidenciaram tendências similares, foram analisadas somente as simulações considerando lavouras iniciadas em 1901 e 1988 em todas as classes de solo e posições na paisagem (Figuras 22, 23, 24 e 25). Nos demais anos de início do uso agrícola dos solos (1957, 1965 e 1976) os estoques de COS foram intermediários ficando dentro da variação estimada nas lavouras mais antigas (início em 1901) e as mais recentes (início em 1988), conforme pode ser observado nas Figuras 18, 19, 20 e 21.

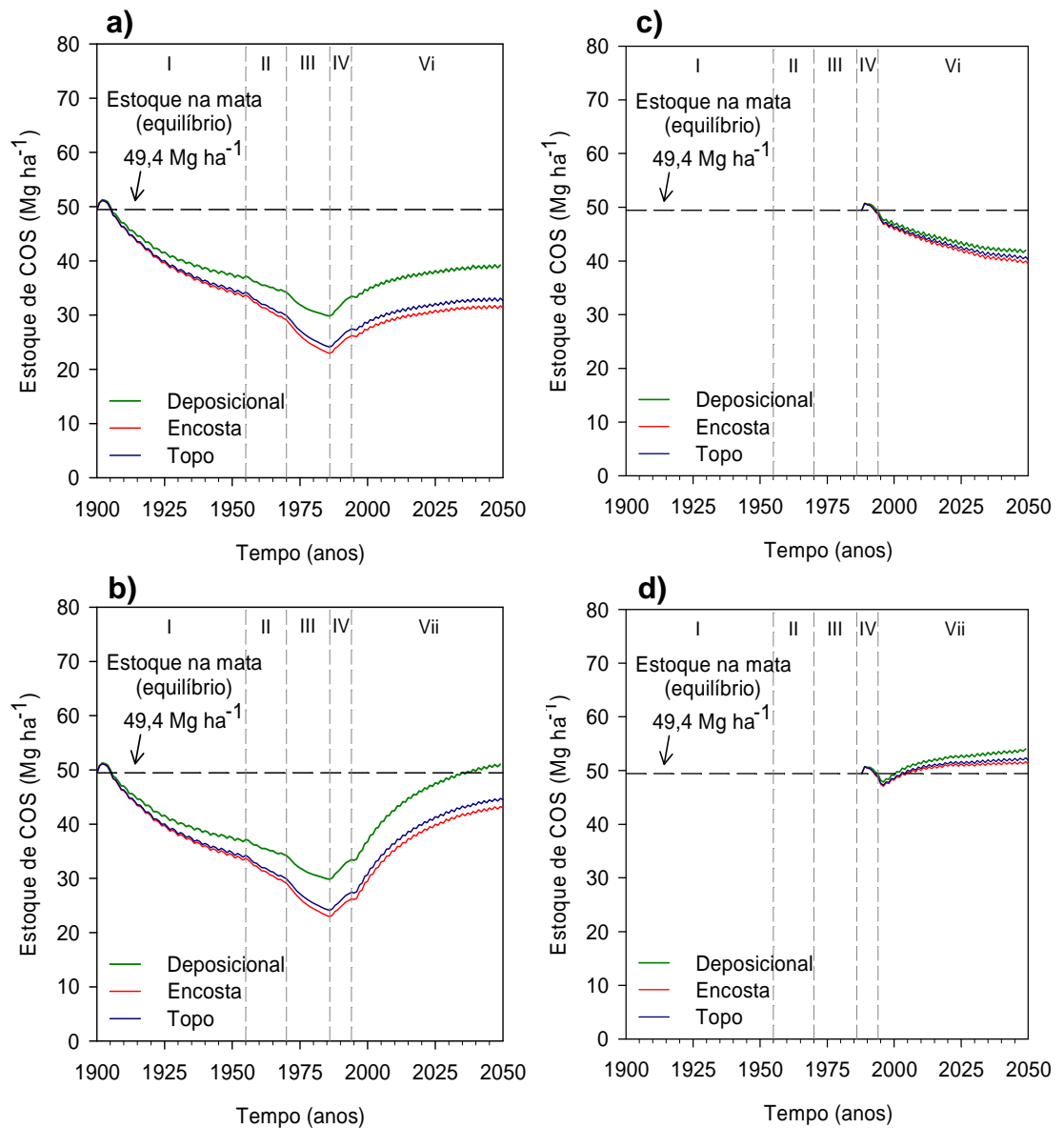
De modo geral, as diferenças entre os estoques de COS dos três elementos da paisagem em estudo foram maiores entre topos e superfícies deposicionais que entre topos e encostas, conforme pode ser observado nas Tabelas 6 e 7. Nas lavouras iniciadas em 1901, as diferenças entre o conteúdo de C nos topos e áreas de deposição foram maiores que as diferenças estimadas entre esses elementos da paisagem em lavouras cujo uso agrícola é mais recente (desde 1988).

O Century estimou nas lavouras mais antigas sob Latossolo que as áreas deposicionais apresentaram estoques de COS 33% maiores que os topos em 1986 e 24% em 2050 e as encostas apresentaram estoques 6% menores que os topos em 1986 e 5% menores em 2050, considerando o cenário "Atual" (Figura 22a), havendo redução destas diferenças para 19% entre topo e deposição e para 4% entre topo e encosta quando se considera o cenário "Melhorado" (Figura 22b). No Chernossolo as tendências foram



Cenários de manejo do solo		
I	Agricultura colonial 1	(1901 a 1955)
II	Agricultura colonial 2	(1956 a 1970)
III	Preparo convencional	(1971 a 1986)
IV	Preparo reduzido	(1987 a 1994)
VI	Plantio direto "atual"	(1995 a 2050)
VII	Plantio direto "melhorado"	(1995 a 2050)

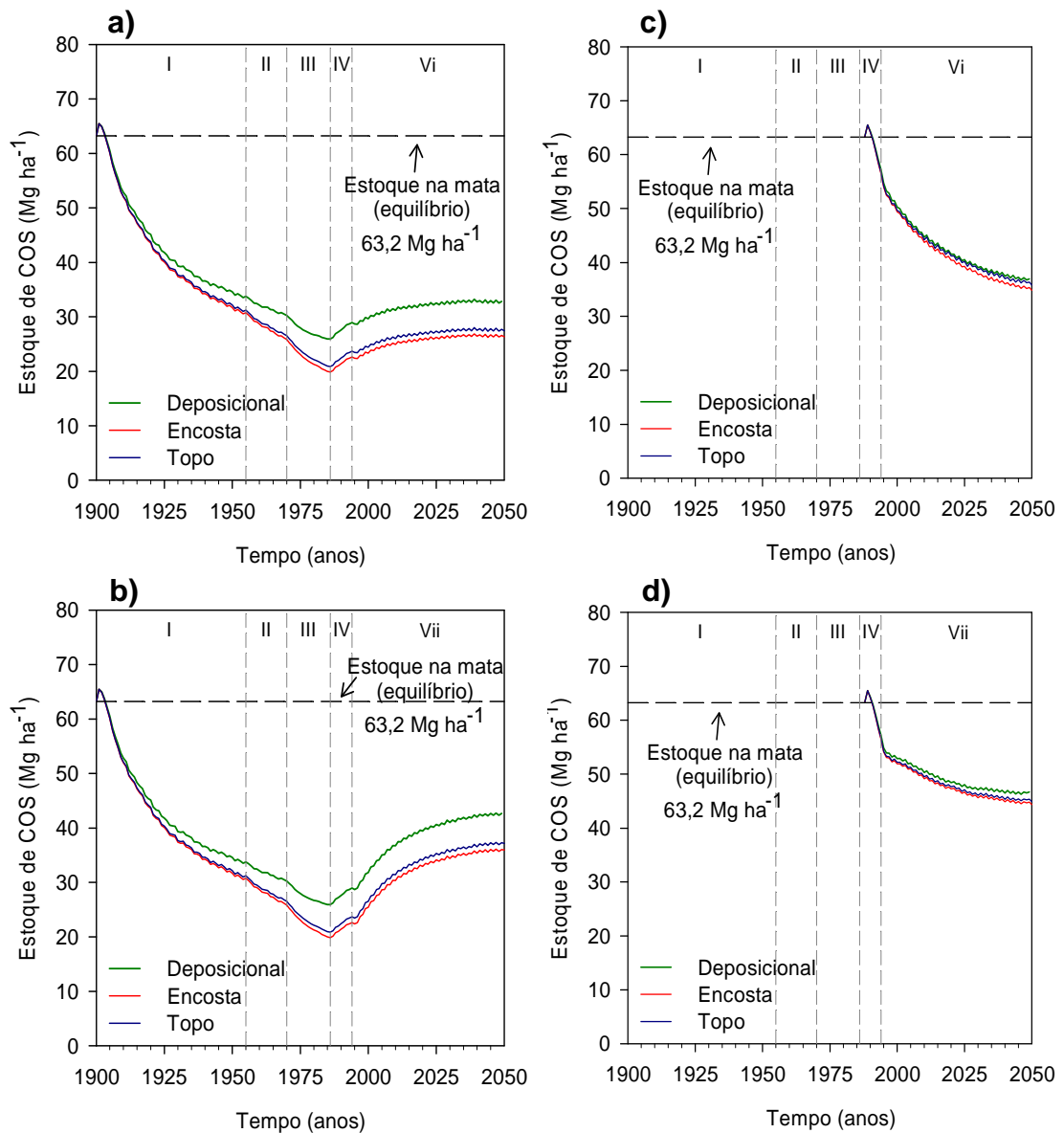
Figura 22. Evolução dos estoques de COS em diferentes elementos da paisagem estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Latossolo Vermelho distroférrico em lavouras iniciadas em 1901 nos cenários "Atual" (a) e "Melhorado" (b) e em lavouras iniciadas em 1988 nos cenários "Atual" (c) e "Melhorado" (d), no Distrito Santana, Ijuí-RS.



Cenários de manejo do solo

I	Agricultura colonial 1	(1901 a 1955)
II	Agricultura colonial 2	(1956 a 1970)
III	Preparo convencional	(1971 a 1986)
IV	Preparo reduzido	(1987 a 1994)
VI	Plantio direto "atual"	(1995 a 2050)
VII	Plantio direto "melhorado"	(1995 a 2050)

Figura 23. Evolução dos estoques de COS em diferentes elementos da paisagem estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Chernossolo Argilúvico órtico em lavouras iniciadas em 1901 nos cenários "Atual" (a) e "Melhorado" (b) e em lavouras iniciadas em 1988 nos cenários "Atual" (c) e "Melhorado" (d), no Distrito Santana, Ijuí-RS.



Cenários de manejo do solo

I	Agricultura colonial 1	(1901 a 1955)
II	Agricultura colonial 2	(1956 a 1970)
III	Preparo convencional	(1971 a 1986)
IV	Preparo reduzido	(1987 a 1994)
VI	Plantio direto "atual"	(1995 a 2050)
VII	Plantio direto "melhorado"	(1995 a 2050)

Figura 24. Evolução dos estoques de COS em diferentes elementos da paisagem estimada pelo modelo Century na camada de 0 a 20 cm em Neossolo Regolítico eutrófico em lavouras iniciadas em 1901 nos cenários "Atual" (a) e "Melhorado" (b) e em lavouras iniciadas em 1988 nos cenários "Atual" (c) e "Melhorado" (d), no Distrito Santana, Ijuí-RS.

semelhantes, sendo que para as encostas estimaram-se estoques 5% menores que os dos topos e as superfícies deposicionais possuiriam estoques de COS 24% maiores que nos topos em 1986. Já em 2050, essas diferenças em relação os topos cairiam para 4% e 19%, respectivamente para encostas e superfícies deposicionais, tanto no cenário “Atual” (Figuras 23a) como no “Melhorado” (Figuras 23b). No Neossolo Regolítico, apesar de serem estimadas as maiores perdas de COS em relação ao estoque original causadas pelo uso agrícola, as tendências entre os elementos da paisagem foram semelhantes às demais classes de solos, sendo que encostas apresentaram estoques 5% menores que os topos em 1986, 4% em 2050 no cenário “Atual” (Figura 24a) e 3% no cenário “Melhorado” (Figura 24b), enquanto áreas deposicionais superam o topo em 24% em 1986, 19% em 2050 no cenário “Atual” e 14% no “Melhorado”.

Tais tendências evidenciam que à medida que aumentam os acúmulos de C no solo causados pela adoção de práticas de manejo com mínimo revolvimento e sistemas de culturas com maior aporte de resíduos, como o PR e PD, as diferenças entre os estoques de COS nas diferentes posições da paisagem diminuem, o que pode ser comprovado observando-se as Figuras 22c e d, 23c e d, e 24c e d que correspondem às lavouras submetidas ao uso agrícola mais recentemente, em 1988, durante o período de preparo reduzido. Nestas condições, o Century estimou que os estoques de COS dos topos superam as encostas em no máximo 3%, e as superfícies deposicionais superaram os topos em no máximo 4% até 2050, tanto no cenário “Atual” como no “Melhorado”.

Apesar de as taxas de erosão e deposição atribuídas serem iguais para as diferentes classes de solo, variando somente entre os elementos na paisagem e cenários de manejo (Tabela 3), a quantidade de C efetivamente perdida ou acumulada, respectivamente pelos processos de erosão e deposição, foram diferentes entre as classes de solos considerando o mesmo elemento da paisagem, conforme pode ser observado na Tabela 8 para lavouras iniciadas em 1901 e na Tabela 9 para lavouras iniciadas em 1988.

As maiores perdas de COS por erosão e acúmulos por deposição ocorreram nas lavouras mais antigas (Tabela 8) sob Latossolo, sendo estimada a perda cumulativa de $8,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ de COS nos topos até 1986, chegando a um

Tabela 8. Erosão (-) ou deposição (+) cumulativa de COS na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1901 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem estimada pelo modelo Century pela variável de saída SCLOSA, no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Unidades de Simulação	Erosão (-) ou deposição (+) de C							
	1955	1970	1986	1994	"Atual"		"Melhorado"	
					2007	2050	2007	2050
----- Mg ha ⁻¹ -----								
<u>Latossolo Vermelho distroférico</u>								
topo	-4,1	-6,0	-8,9	-9,3	-9,6	-10,4	-9,6	-10,9
encosta	-5,0	-7,5	-11,2	-11,8	-12,2	-13,8	-12,3	-14,3
deposicional	+1,4	+2,1	+3,4	+3,6	+3,8	+4,2	+3,8	+4,4
<u>Chernossolo Argilúvico órtico</u>								
topo	-3,0	-4,4	-6,6	-6,9	-7,1	-7,7	-7,1	-8,0
encosta	-3,7	-5,6	-8,3	-8,8	-9,1	-10,3	-9,2	-10,7
deposicional	+1,0	+1,5	+2,4	+2,6	+2,7	+3,0	+2,7	+3,1
<u>Neossolo Regolítico eutrófico</u>								
topo	-2,9	-4,2	-6,0	-6,3	-6,4	-6,9	-6,4	-7,2
encosta	-3,6	-5,2	-7,6	-8,0	-8,2	-9,2	-8,3	-9,4
deposicional	+1,0	+1,5	+2,2	+2,3	+2,4	+2,6	+2,4	+2,8
<u>Neossolo Flúvico</u>								
deposicional	+0,9	+1,4	+2,2	+2,3	+2,4	+2,6	+2,4	+2,8

Tabela 9. Erosão (-) ou deposição (+) cumulativa de COS na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1988 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem estimada pelo modelo Century pela variável de saída SCLOSA, no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Unidades de Simulação	Erosão (-) ou deposição (+) de C							
					"Atual"		"Melhorado"	
	1955	1970	1986	1994	2007	2050	2007	2050
----- Mg ha ⁻¹ -----								
<u>Latossolo Vermelho distroférico</u>								
topo				-0,6	-0,9	-2,1	-1,0	-2,6
encosta	-	-	-	-0,9	-1,6	-3,7	-1,7	-4,3
deposicional				+0,2	+0,4	+0,8	+0,4	+1,0
<u>Chernossolo Argilúvico órtico</u>								
topo				-0,4	-0,7	-1,5	-0,7	-1,9
encosta	-	-	-	-0,7	-1,2	-2,7	-1,2	-3,1
deposicional				+0,2	+0,3	+0,6	+0,3	+0,8
<u>Neossolo Regolítico eutrófico</u>								
topo				-0,5	-0,8	-1,5	-0,8	-1,8
encosta	-	-	-	-0,8	-1,3	-2,7	-1,3	-3,0
deposicional				+0,2	+0,3	+0,6	+0,3	+0,7
<u>Neossolo Flúvico</u>								
deposicional	-	-	-	+0,1	+0,2	+0,6	+0,3	+0,7

total cumulativo de 10,4 Mg ha⁻¹ em 2050 no cenário “Atual” e 10,9 Mg ha⁻¹ no cenário “Melhorado”. Nas encostas foram estimadas perdas de 11,2 Mg ha⁻¹ de COS até 1986, somando um total até 2050 de 13,8 Mg ha⁻¹ no cenário “Atual” e 14,3 Mg ha⁻¹ no cenário “Melhorado”. Por outro lado, o acúmulo propiciado pela deposição de sedimentos foi de 3,4 Mg ha⁻¹ de COS até 1986, atingindo 4,2 Mg ha⁻¹ em 2050 no cenário “Atual” e 4,4 Mg ha⁻¹ no “Melhorado”.

O Chernossolo e o Neossolo Regolítico apresentaram perdas e ganhos cumulativos de COS semelhantes, com topos perdendo cerca de 6,0 Mg ha⁻¹ e encostas perdendo cerca de 8,0 Mg ha⁻¹, enquanto as áreas deposicionais acumularam pouco mais de 2,0 Mg ha⁻¹ até 1986. O modelo Century estimou para 2050 que as perdas de COS chegariam a 7,0 Mg ha⁻¹ nos topos, 10,0 Mg ha⁻¹ nas encostas e acumulariam 3,0 Mg ha⁻¹ de COS nas superfícies deposicionais, tanto no cenário “Atual” como no “Melhorado” (Tabela 8). No Neossolo Flúvico, somente deposicional, estimou-se acúmulo de 0,6 e 0,7 Mg ha⁻¹ de COS até 2050 nos cenários “Atual” e “Melhorado”, respectivamente.

Tais resultados evidenciam a importância da adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo, pois quando se comparam as perdas por erosão estimadas nas lavouras iniciadas em 1901 em todas as classes de solos (Tabela 8), mais de 80% do COS perdido até 2050 corresponde as perdas por erosão causadas pela adoção de práticas de manejo de solo inadequadas até 1986, sendo que cerca de 33% deste valor refere-se aos 15 anos de preparo convencional do solo (1971 a 1986). Isso porque o revolvimento intensivo do solo, associado aos períodos em que o solo permanecia descoberto e com a remoção dos resíduos da cultura do trigo pelas queimadas, tornavam o solo altamente suscetível à erosão (Cassol, 1986; Mielniczuk, 1999). Como era de se esperar, acúmulos de mesmas proporções foram estimados para as superfícies deposicionais com mais de 80% do total de COS acumulado até 2050 correspondendo ao período anterior a 1986.

Nas lavouras mais recentes, iniciadas em 1988 (Tabela 9) já em condições conservacionistas, é possível confirmar a eficácia do PR e do PD na redução e controle das perdas de COS por erosão. As maiores perdas estimadas pelo modelo Century ocorreram no Latossolo, correspondendo a um total, nos topos, de 2,1 Mg ha⁻¹ de COS perdido até 2050 no cenário “Atual” e de 2,6 Mg ha⁻¹ no cenário “Melhorado” e nas encostas chegando a 3,4 Mg ha⁻¹

e $4,3 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente no cenário “Atual” e “Melhorado”. Nesta classe de solo também são estimados os maiores acúmulos de COS por deposição, chegando a $0,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ de COS depositadas até 2050 no cenário “Atual” e $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ no cenário “Melhorado”. Nas demais classes de solos, as perdas de COS por erosão até 2050 foram inferiores a $1,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ nos topos e $3,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ nas encostas, enquanto os acúmulos de COS por deposição não ultrapassam $0,8 \text{ Mg ha}^{-1}$.

As estimativas das quantidades de COS perdido ou acumulado a partir dos processos de erosão e deposição são relevantes não só para evidenciar o potencial de perda ou acúmulo de COS por diferentes classes de solos quando submetidas a determinadas condições de manejo de solo, mas também porque permite a separação das perdas de C causadas pelo processo erosivo daquelas causadas pela decomposição microbológica. Isso porque do total de COS perdido do solo ao longo dos anos, devido ao uso agrícola do mesmo, em relação aos estoques originais, parte deve-se ao processo erosivo e parte à respiração basal dos microorganismos do solo durante a mineralização da MOS com liberação de CO_2 para a atmosfera. A partir destas informações torna-se possível estimar a perda ou ganho líquido de COS ao considerarem-se os processos de adição de C ao solo pelas culturas e a decomposição microbiana (mineralização da MOS) (Debarba, 2002).

6.2.2.3. Distribuição espacial dos estoques de COS

A integração das informações obtidas de evolução de uso agrícola dos solos do Distrito Santana com as estimativas do modelo Century para as diferentes unidades de simulação (solo-elemento da paisagem-evolução de uso do solo), pela utilização de ferramentas de geoprocessamento, permite visualizar de forma espacializada os impactos das mudanças no uso e manejo do solo sobre os estoques de COS ao longo do tempo. Isso porque tal integração possibilitou a geração de mapas que facilitam a análise conjunta de aspectos como tipo de solo, mudanças no uso, atuação dos processos erosivos e deposicionais e adoção de diferentes sistemas de manejo, determinantes dos estoques de COS históricos (desde 1900) e atuais (2007), sendo possível

ainda fazer estimativas futuras (até 2050) relacionadas à manutenção ou substituição dos cenários atuais de uso e manejo.

A observação dos mapas de estoques de COS na camada de 0 a 20 cm (Figuras 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 e 33) permite a identificação rápida de áreas mais afetadas, cujos estoques sofreram maiores impactos. Cabe destacar que foi adotada uma única legenda para todos os mapas, cuja variação nos estoques de COS (1900 a 2050) está contemplada em cinco classes associadas a uma escala de cores. Tal procedimento visou facilitar a interpretação conjunta dos mapas, no entanto a variabilidade dentro de cada período em estudo foi mascarada em alguns casos devido à abrangência da legenda não permitir a distinção de pequenas variações entre estoques, como ocorreu entre topo e encosta, por exemplo, que na maioria dos casos apresentam diferenças menores que 5 Mg ha^{-1} , independentemente do tipo de solo ou tempo de uso agrícola (Figuras 22, 23 e 24). Isso também ocorreu com o mapa de estoques originais (Figura 25) que apesar de diferirem entre as classes de solo (Tabela 6), foram agrupados em duas classes espacialmente distribuídas no mapa, separando-se, assim os Neossolos Regolíticos (cujo estoque original foi de $63,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) dos demais tipos de solo.

Os primeiros 54 anos de uso agrícola do solo (1901 a 1955), com agricultura colonial, causaram redução dos estoques de COS de forma generalizada em toda a área (Figura 26), perdas estas que se tornam maiores no período seguinte (de 1956 a 1970) pela intensificação do uso do solo ainda no período colonial de cultivo, especialmente nos topos e encostas (Figura 27). Cabe destacar que desde 1901 até 1970 o cultivo baseava-se na fertilidade natural do solo. À medida que os cultivos foram sendo realizados os solos foram sendo exauridos, perdendo seu potencial produtivo, o que limitou a adição de C causando redução nos seus estoques de COS (Siqueira et al., 2008).

Analisando-se os dados apresentados por Abrão e Azolin (1970) referentes ao levantamento de solos do município de Ijuí, cujo mapa de solos serviu de base para o presente estudo, constatou-se que lavouras com cultivos anuais, conduzidas sobre Latossolos e que foram amostradas, apresentaram estoques médios de COS de $25,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, equivalentes à massa da camada de 0 a 20 cm da mata nativa, sendo que uma das amostras foi coletada

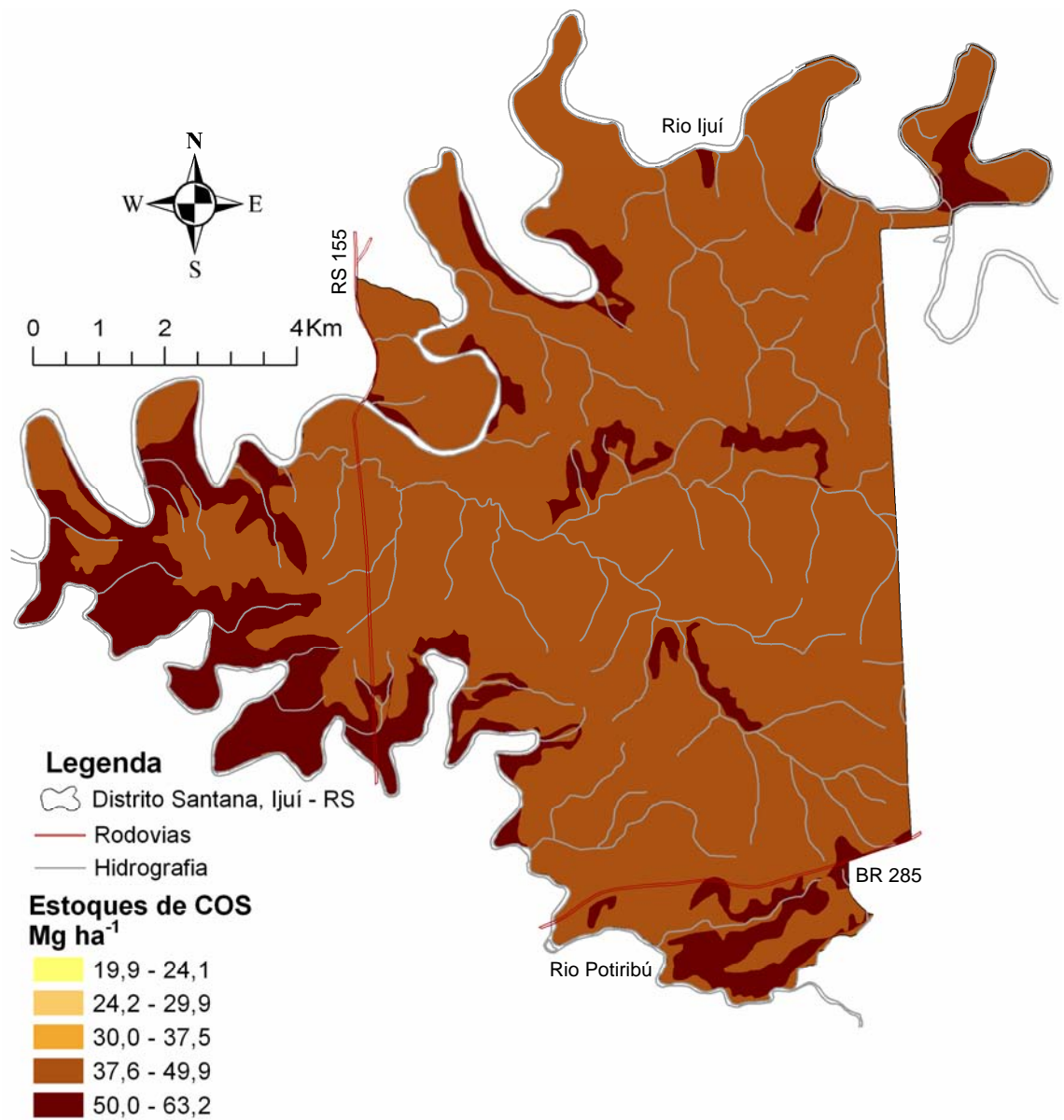


Figura 25. Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1900 (condição original) na camada de 0 a 20 cm.

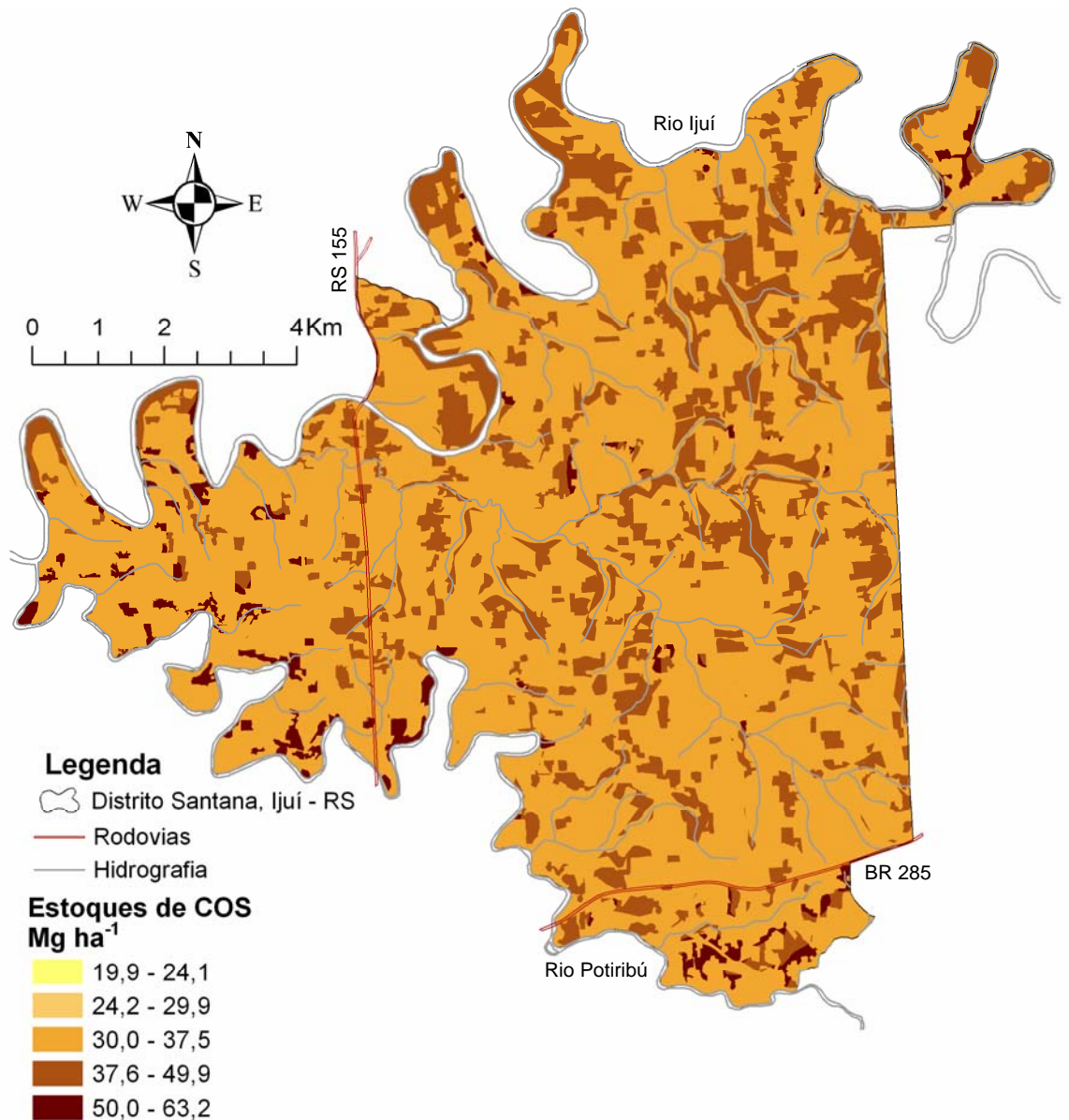


Figura 26. Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1955 (final do período de agricultura colonial 1). Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente à camada de 0 a 20 cm da mata original.

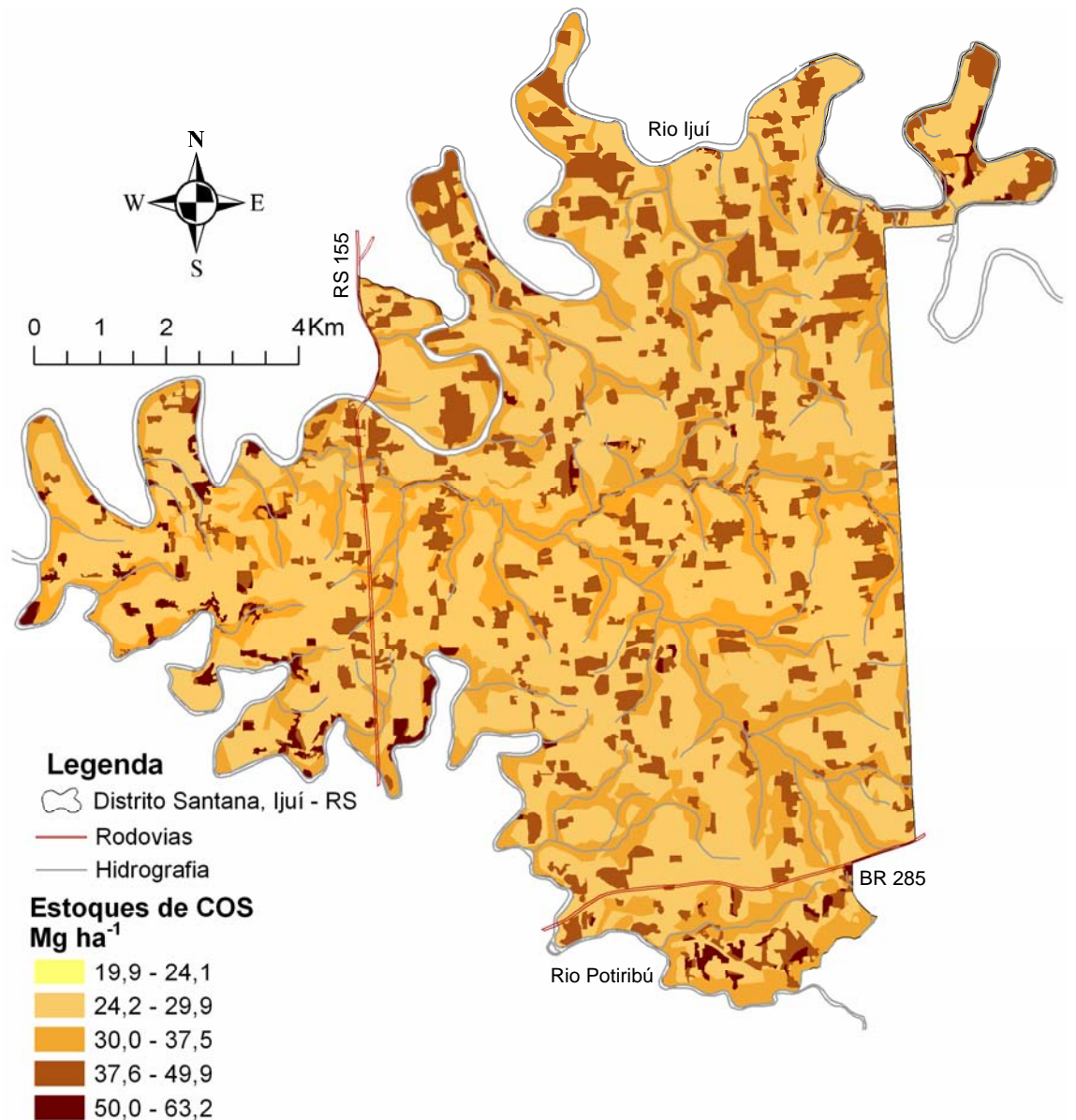


Figura 27. Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1970 (final do período de agricultura colonial 2). Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente à camada de 0 a 20 cm da mata original.

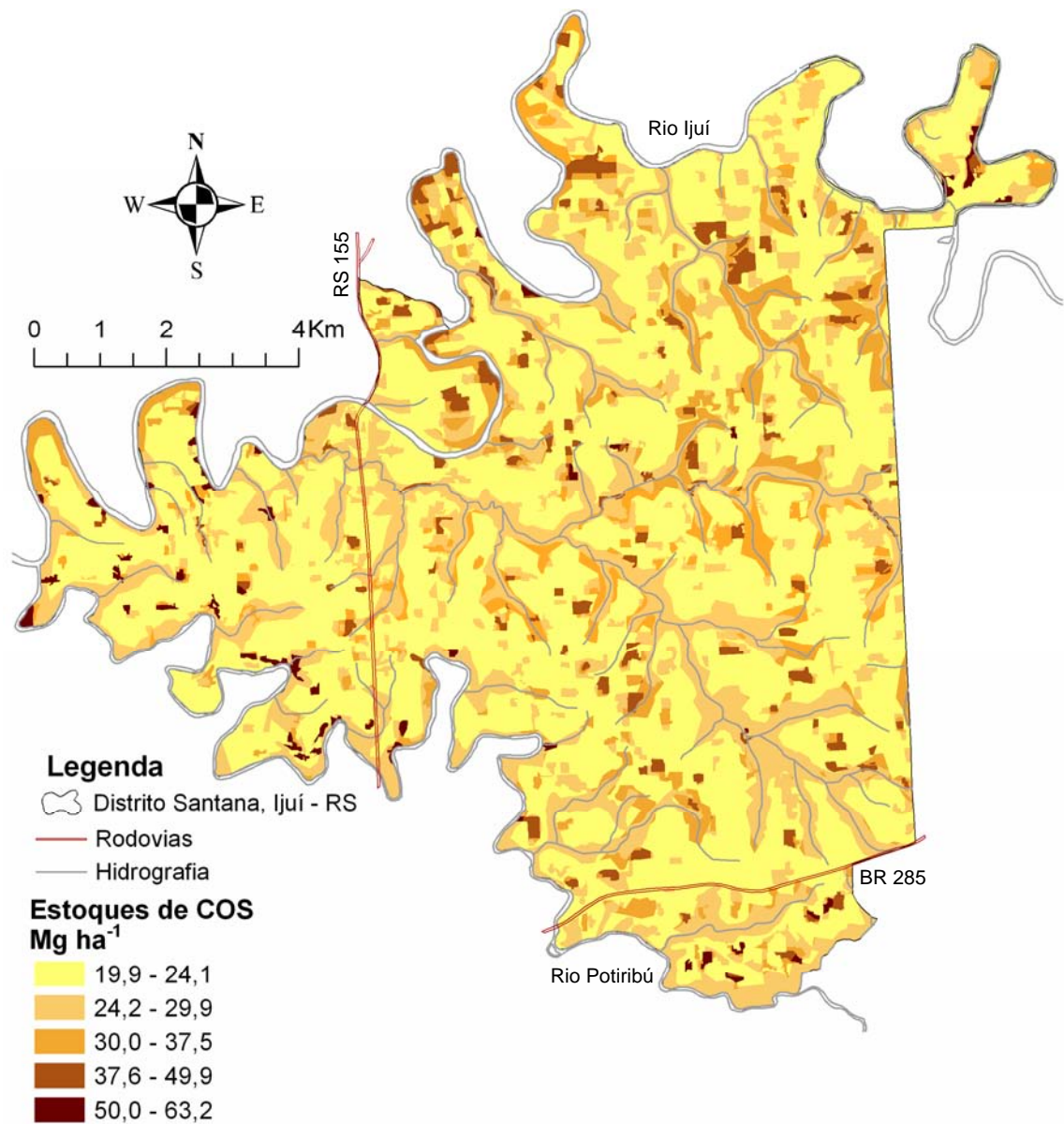


Figura 28. Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1986 (final do período de preparo convencional). Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente à camada de 0 a 20 cm da mata original.

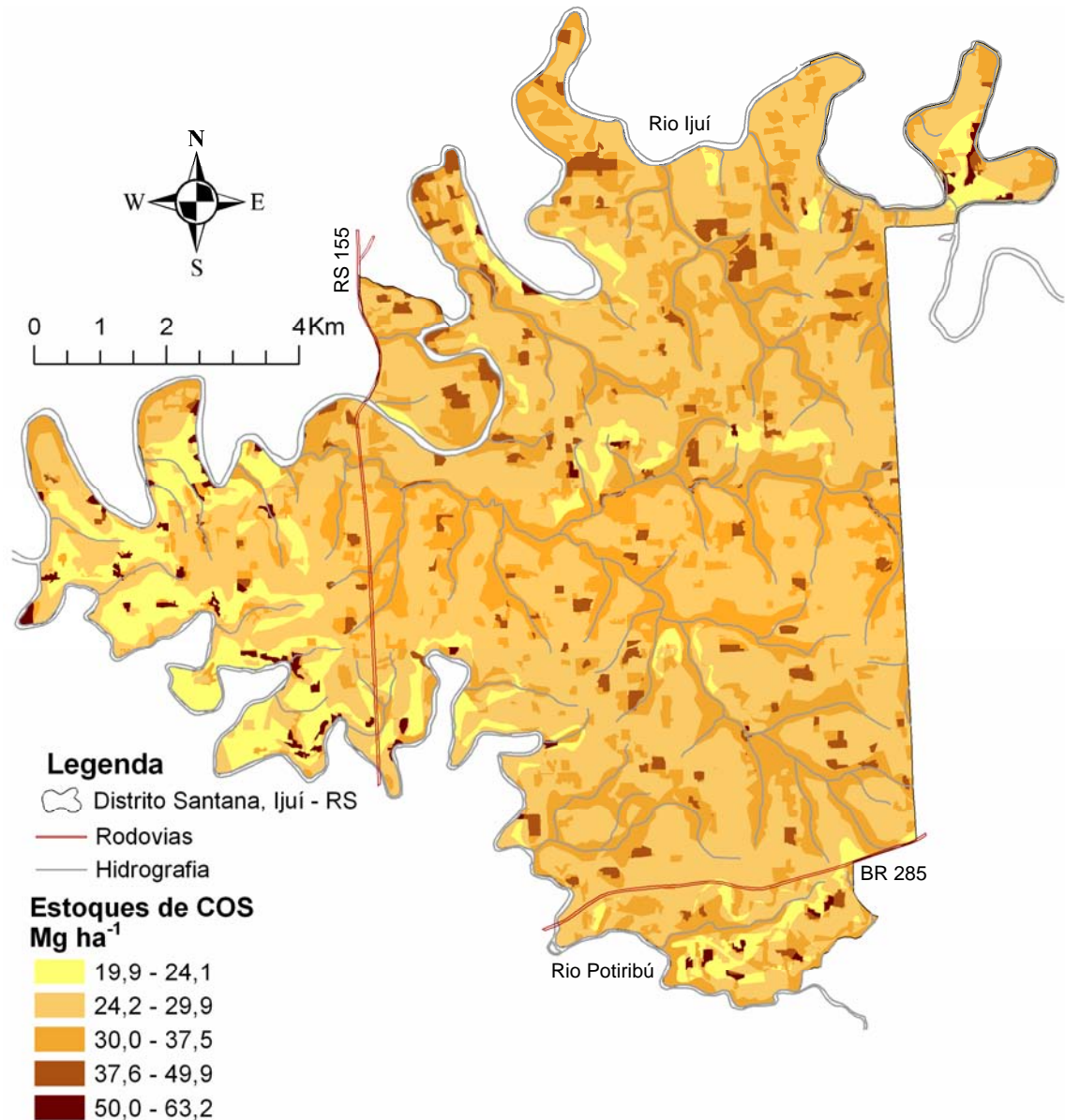


Figura 29. Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1994 (final do período de preparo reduzido). Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente à camada de 0 a 20 cm da mata original.

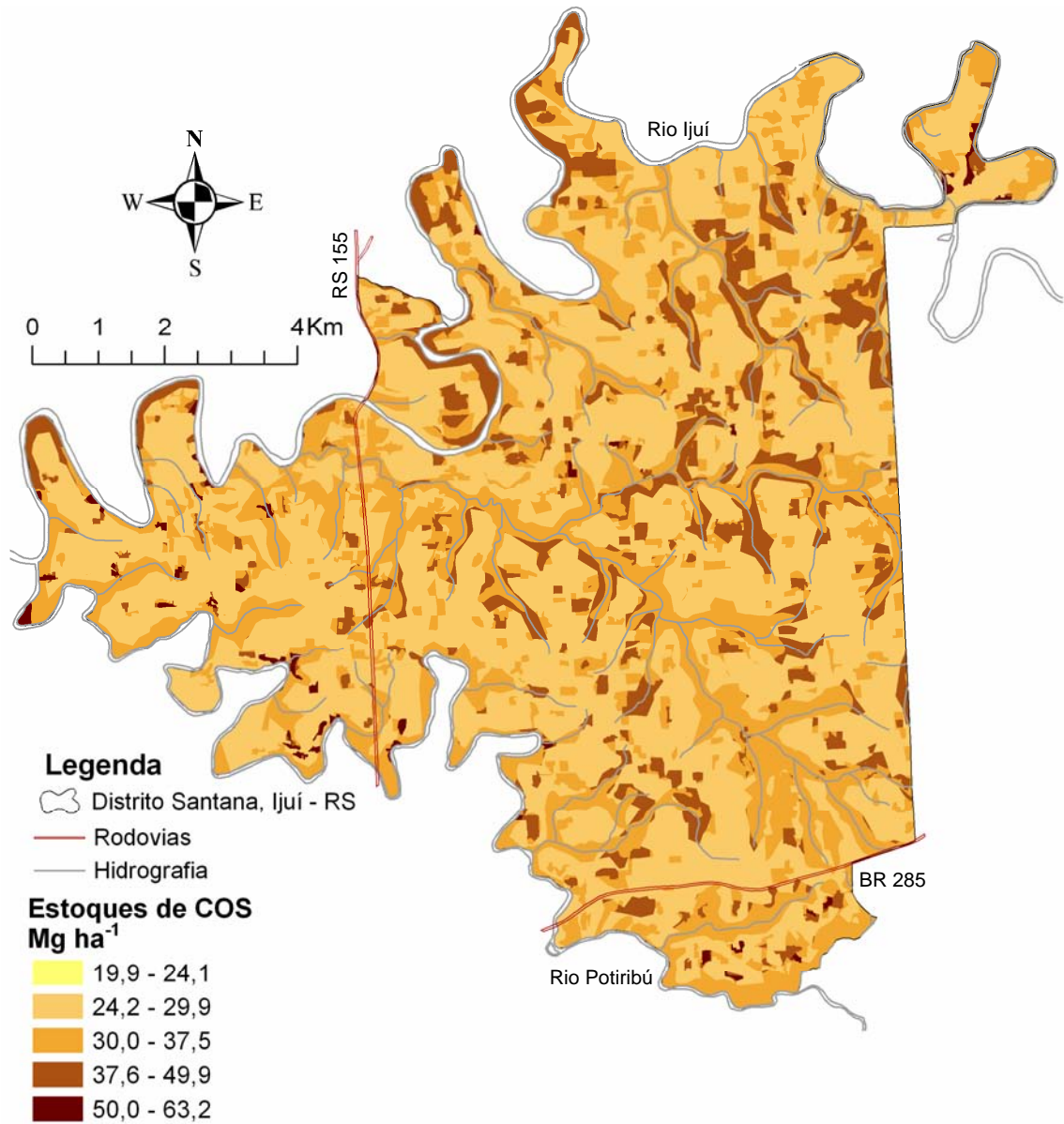


Figura 30. Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2007 com adoção do no cenário “Atual” a partir de 1995. Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente à camada de 0 a 20 cm da mata original.

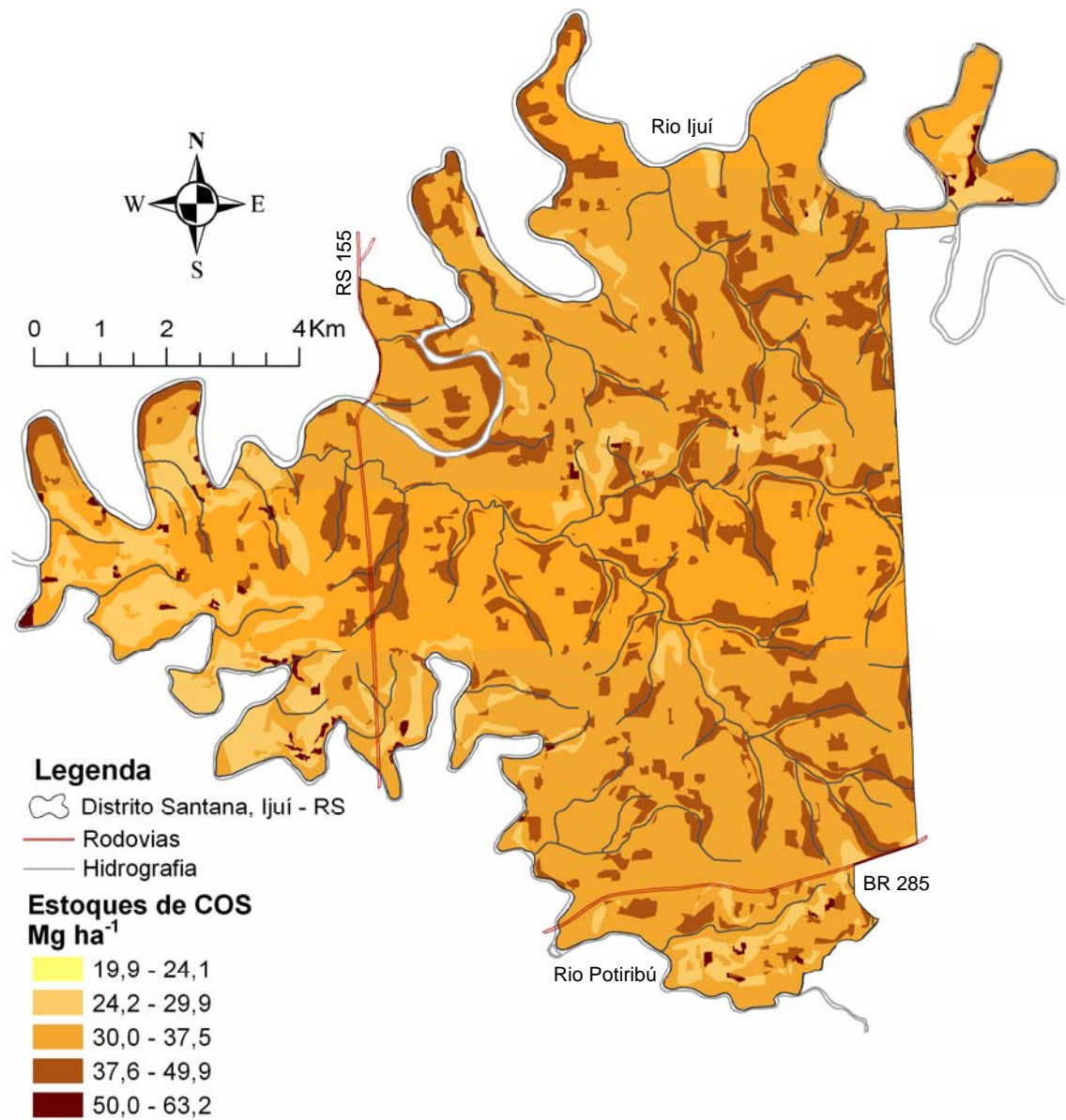


Figura 31. Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2050 com adoção do no cenário “Atual” a partir de 1995. Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente à camada de 0 a 20 cm da mata original.

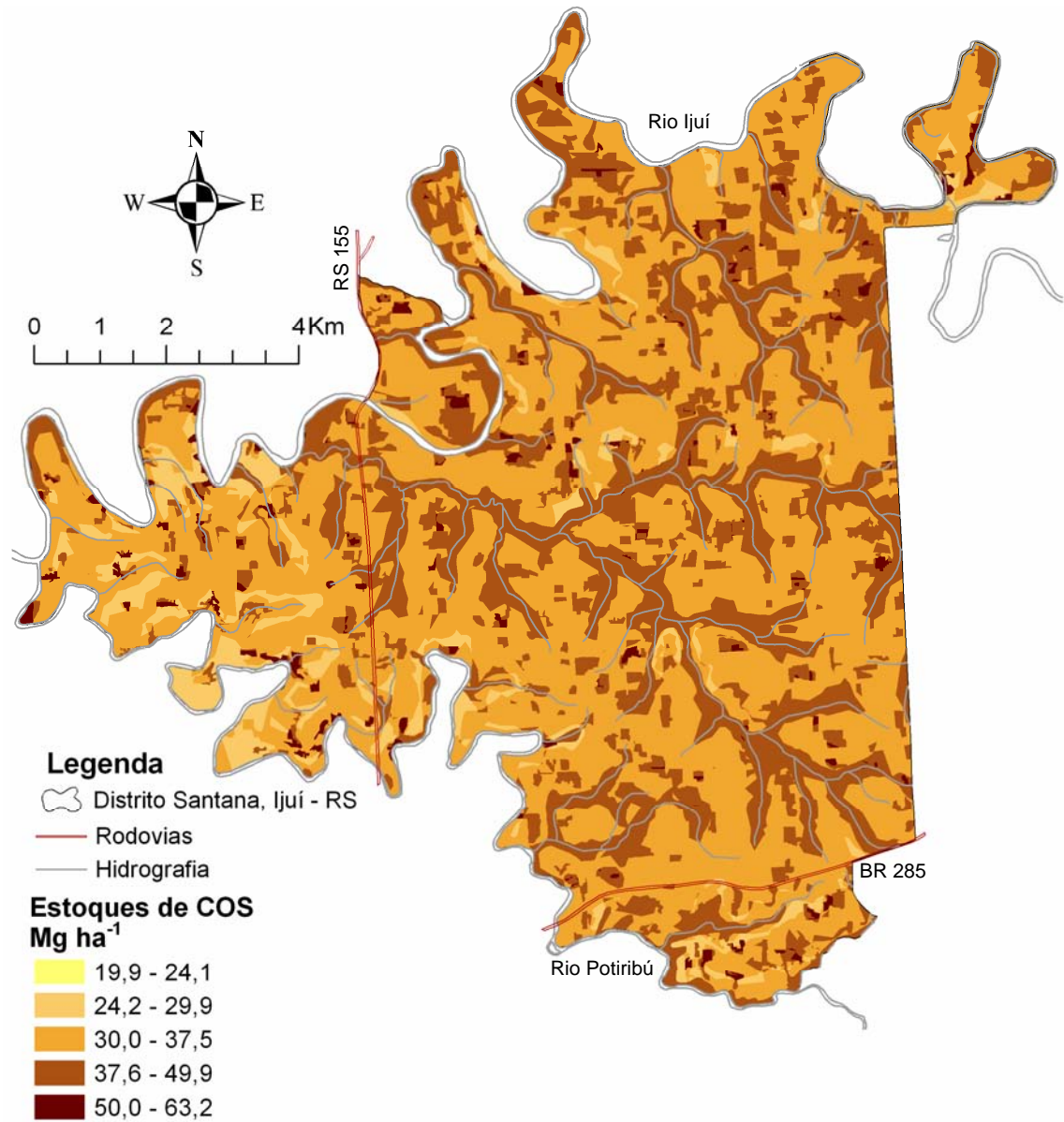


Figura 32. Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2007 com adoção do no cenário “Melhorado” a partir de 1995. Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente à camada de 0 a 20 cm da mata original.

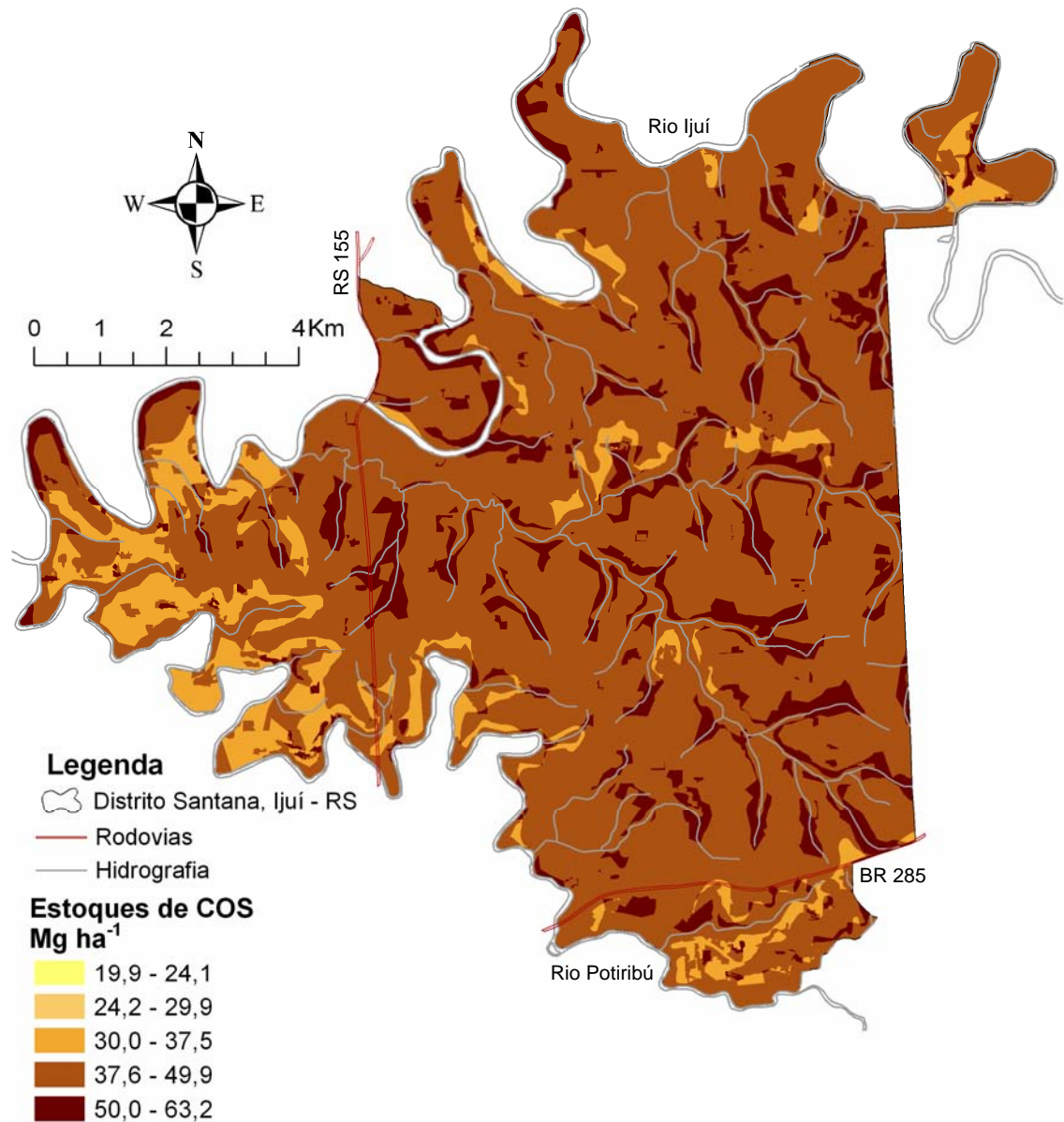


Figura 33. Distribuição dos estoques de COS nos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2050 com adoção do no cenário “Melhorado” a partir de 1995. Estoques de COS nas lavouras em massa equivalente à camada de 0 a 20 cm da mata original.

a dois quilômetros (2 km) ao norte do cruzamento da RS 155 e o Rio Ijuí (Distrito Chorão), portanto próximo da área de estudo, e apresentou estoque de COS de 23,15 Mg ha⁻¹. Cabe salientar que as amostragens de solo realizadas por estes autores foram anteriores a 1970 (ano da publicação dos resultados), porém não trazem informações exatas a respeito do ano em que as lavouras amostradas foram submetidas ao uso agrícola, mas a presença de áreas em pousio e com capim barba-de-bode indicam que não eram lavouras recentes. Tais resultados demonstram que as estimativas do modelo Century estão condizentes com a realidade.

Lopes et al. (2008), utilizando o modelo Century, estimaram em associação Neossolo Regolítico distrófico (60%) e Cambissolo Háptico (40%), em condições de declividade superior a 10% de uma microbacia rural do RS, estoque de COS de 33,0 Mg ha⁻¹ na camada de 0 a 20 cm depois de submetido ao cultivo por 20 anos (1985 a 2005) com fumo em cultivo colonial (preparo do solo com tração animal), chegando a 23,8 Mg ha⁻¹ em lavouras iniciadas em 1925 (40 anos de cultivo). Segundo estes autores, o Century estimou adequadamente a dinâmica do COS na microbacia estudada.

No Distrito Santana, a partir de 1971, a transição do período de agricultura colonial para a agricultura mecanizada, com uso de fertilizantes químicos e adoção do preparo convencional do solo por aração e gradagem, associado aos cultivos sucessivos de trigo e soja e queima da palha do trigo, intensificou as perdas de C do solo até 1986, conforme já comentado anteriormente. Vale lembrar que, durante este período (1971 a 1986), as taxas de perda de solo por erosão, bem como as taxas de deposição, foram as maiores dentre todas, com topos e encostas perdendo 6,0 e 8,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de solo, respectivamente, e áreas deposicionais acumulando 4,2 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de solo (30% da soma das perdas por erosão no topo e encosta) (Tabela 3), de modo a determinar perdas ou acúmulos diferenciados de C conforme apresentado nas Figuras 22, 23 e 24 e Tabelas 8 e 9. Na Figura 28 é possível observar a ocorrência das cinco diferentes classes de variação nos estoques de COS baseadas na legenda adotada, sendo que na maior parte da área os estoques variaram de 19,9 até 24,1 Mg ha⁻¹.

Em 1987, iniciou-se a reversão deste processo de perda de COS em toda a área do Distrito Santana, e o solo passou a recuperar seus estoques de

C. Isso se deveu, principalmente, à redução do revolvimento do solo proporcionado pelo preparo reduzido, juntamente com a eliminação da queima da palha da cultura de inverno, técnicas estas que possibilitaram ao mesmo tempo diminuir o efeito decompositor da microbiota do solo sobre os estoques de COS e reduzir as perdas de COS associado ao solo removido pela erosão, o que possibilitou o manejo adequado da MOS em relação ao período anterior a 1986 e, conseqüentemente, conferindo maior qualidade ao solo (Vezzani et al., 2008). No entanto, áreas onde ocorrem os Neossolos Regolíticos apresentaram estoques menores que $24,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ até 1994 (Figura 29).

A adoção do plantio direto em 1995 no cenário “Atual” até 2007 (Figura 30) possibilitou que as áreas sob Neossolo Regolítico tivessem seus estoques elevados a níveis compatíveis aos dos demais tipos solos e algumas áreas deposicionais superassem a condição original. Caso esse cenário de manejo seja mantido até 2050, estimou-se que na maior parte da área os estoques variarão entre $30,0$ e $37,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ na camada de 0 a 20 cm, mas os estoques dos Neossolos Regolíticos tenderão a estabilizar em valores menores, entre $24,2$ e $29,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Figura 31). Aumentos maiores seriam possíveis pela adoção do cenário “Melhorado” a partir de 1995, que proporcionaria maior taxa de adição de C pelas culturas, estimando-se já para 2007 (Figura 32) estoques superiores a $30,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ na maior parte da área, sendo que áreas deposicionais estocariam entre $37,6$ e $49,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ de COS. Além disso, a maior parte da área teria seus estoques de COS na camada de 0 a 20 cm elevados até valores próximos ou iguais aos originais até 2050 (Figura 33). Exceção apenas dos Neossolos Regolíticos que, apesar de evidenciarem acúmulo de COS em relação a 1986, não teriam condições de recuperar seus estoques originais, mesmo no cenário “Melhorado”, estimando-se estoques entre $30,0$ e $37,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ até 2050.

Siqueira et al. (2008) relatam que perdas maiores nos estoques de COS, causadas pelo uso antrópico, geralmente são observadas em solos cujos estoques originais são maiores. Nestes solos, há maior dificuldade em recuperar a condição original, devendo-se para tanto manter um fluxo elevado de adição de C ao solo.

6.2.2.4. Estoques totais regionais de COS

A variação das quantidades de COS estocadas em função das mudanças no uso e manejo do solo ao longo dos anos associada com a distribuição espacial destes estoques, através da modelagem espacialmente explícita e técnicas de geoprocessamento, permitiu estimar os estoques totais de COS na camada de 0 a 20 cm nos solos do Distrito Santana (Ijuí-RS) e os resultados obtidos constam na Tabela 10.

Até 1900, os solos da área em estudo estocaram um total de $550,9 \times 10^3$ Mg de COS, sendo o Latossolo o responsável por 57% ($314,1 \times 10^3$ Mg) deste valor, o que é proporcional à área ocupada por esta classe de solo (60%) (Figura 7). Os Neossolos Regolíticos, cuja ocorrência se dá em 17% da área, representavam 21% ($115,9 \times 10^3$ Mg) do estoque total de COS em 1900, enquanto os estoques originais dos Chernossolos correspondiam a 13% ($72,6 \times 10^3$ Mg) e dos Neossolos Flúvicos a 9% ($48,3 \times 10^3$ Mg) do total. Estas proporções percentuais de contribuição de cada tipo de solo em relação ao estoque total foram pouco alteradas com o passar do tempo de uso agrícola dos solos, no entanto os valores absolutos de estoque em cada classe foram bastante afetados pelas mudanças no uso e manejo dos solos, como já era de se esperar, tendo em vista os resultados apresentados anteriormente.

O cultivo do solo a partir de 1901 determinou redução em 28,1% ($155,1 \times 10^3$ Mg) nos estoques totais de COS na camada de 0 a 20 cm até 1955 e de mais 11,1% ($44,1 \times 10^3$ Mg) até 1970, totalizando a perda de $199,2 \times 10^3$ Mg durante o período de agricultura colonial (1901 a 1970). No período em que o solo foi cultivado em preparo convencional (1971 a 1986), as perdas de COS foram ampliadas em mais 21,3%, estimando-se que em 1986 os solos apresentavam o menor estoque total de COS na camada de 0 a 20 cm do Distrito Santana desde 1900, $276,8 \times 10^3$ Mg (49,7% abaixo do original). A mudança no sistema de manejo utilizado, passando do PC para cenários conservacionistas a partir de 1987, proporcionou inicialmente a redução das perdas de C seguida por acúmulo de C no solo e conseqüente aumento dos estoques totais de COS ao longo dos anos de adoção destes cenários, estimando-se acréscimo em 11,8% no estoque total em 1994 em relação ao

Tabela 10. Estoques totais de COS e sua variação de 1900 a 2050 nas diferentes classes de solo do Distrito Santana, Ijuí-RS, em função dos cenários de manejo adotados considerando a massa equivalente de solo na camada de 0 a 20 cm da mata.

Classe de solo	Estoques totais de COS								
						"Atual"		"Melhorado"	
	1900	1955	1970	1986	1994	2007	2050	2007	2050
	----- 10 ³ Mg -----								
Latosolo Vermelho distroférico	314,1	239,0	212,7	164,0	184,0	201,5	215,0	233,7	289,9
Chernossolo Argilúvico órtico	72,6	54,0	48,4	39,1	43,9	47,9	51,0	55,2	68,1
Neossolo Regolítico eutrófico	115,9	67,8	59,4	46,3	50,8	54,7	56,2	62,7	73,4
Neossolo Flúvico	48,3	35,0	31,9	27,4	30,9	33,7	35,6	38,7	47,1
Total	550,9	395,8	351,7	276,8	309,6	337,7	357,8	390,3	478,5
Diferença em relação ao original		-28,1%	-36,2%	-49,7%	-43,8%	-38,7%	-35,1%	-29,1%	-13,2%
Diferença em relação à data anterior		-28,1%	-11,1%	-21,3%	+11,8%	+9,1%	+6,0%	+9,7%	+22,6%

período anterior, sendo que com a adoção do PD no cenário “Atual” de 1995 até 2050, estimou-se que em 2007 o estoque total de COS do Distrito Santana aumentou em 22% em relação a 1986, mas permaneceu 38,7% abaixo do original, tendência que se mantém até 2050. Por outro lado, se a partir de 1995 fosse adotado o cenário “Melhorado”, o estoque total da área seria de 478,5 x 10³ Mg em 2050 (13,2 % abaixo do original) havendo aumento em 73% nos estoques de COS em relação a 1986.

É importante salientar que, mesmo com a adoção do cenário “Melhorado” a partir de 1995, cujo aporte anual de C ao solo é maior que no cenário “Atual” pela inclusão de milho na rotação de culturas (trigo/soja e aveia/milho), não seria possível, até 2050, recuperar os estoques totais de COS perdidos até 1986 (85 anos) devido ao uso de métodos inadequados de manejo do solo. Além disso, alguns tipos de uso do solo não foram considerados neste estudo, como o reflorestamento, regeneração da vegetação nativa e poteiros, bem com implantação de pastagens e viveiros em áreas cultivadas e, portanto, a contribuição destes cenários para a variação dos estoques de COS regionais não foi incluída nas estimativas apresentadas neste estudo.

6.2.3. Balanço de emissão e seqüestro de CO₂ estimado pelo modelo Century

A quantidade total de COS estocada no solo resulta da dinâmica das adições e perdas de C ao longo do tempo (Dalal e Mayer, 1986; Bayer e Mielniczuk, 2008; Costa et al. 2008a e b). Nesse sentido, torna-se necessário conhecer as quantidades de C adicionadas pelas culturas, responsáveis pela entrada de C via fotossíntese (na forma de CO₂), e as quantidades de C perdidas como CO₂ durante o processo de mineralização da MOS a partir da respiração dos microorganismos do solo bem como a contribuição da decomposição da matéria orgânica removida por erosão na emissão de CO₂ para a atmosfera (Mielniczuk et al., 2003), que são responsáveis pelas saídas de C do solo devidas ao uso agrícola.

No Century, a adição de C ao solo pode ser estimada de forma direta ou indireta. A estimativa de forma direta é feita pela variável de saída CINPUT,

que representa o total de C adicionado ao solo anualmente. Indiretamente pode-se estimar a adição de C pelas culturas, calculando-se as quantidades de C adicionadas ao solo anualmente pela soma das quantidades de C alocado nas raízes e na parte aérea das culturas e, subtraindo deste valor o C exportado nos grãos por ocasião da colheita, sendo estas quantidades de C estimadas pelo modelo Century através das variáveis de saída, BGLIVC, AGLIVC e CGRAIN, respectivamente, conforme realizado na etapa de calibração e validação do modelo. Este valor calculado é inferior ao obtido pela variável CINPUT, pois somente considera somente o C oriundo da vegetação (parte aérea e raízes) enquanto a variável CINPUT é acumulador anual que representada pelas entradas de C dos compartimentos estruturais e metabólicos de superfície e do solo (Figura 2) com uma periodicidade mensal. Contudo, o CINPUT inclui o C que entra nos compartimentos estruturais e metabólicos de superfície e de solo através da adição de resíduos orgânicos ao solo (esterco animal por ex., OMAD.100), além de eventos culturais (CULT.100), que afetam o material vegetal senescente, a parte aérea viva e raízes vivas das plantas, e o material que retorna ao solo após eventos de pastejo (GRAZ.100) e colheita (HARV.100) que afetam folhas e raízes. Tais definições não constam no manual do Century, sendo assim, as informações foram obtidas por comunicação pessoal com uma das desenvolvedoras do modelo, Cindy Keough do NREL (Natural Resource Ecology Laboratory), da Universidade do Estado de Colorado, EUA.

A quantidade de C perdida a partir da respiração microbiana durante a decomposição dos compartimentos da MOS é estimada pelo modelo Century a partir da variável de saída RESP(1), enquanto a perda de C associada com o solo removido por erosão é estimada pela variável SCLOSA (já apresentada anteriormente), devendo-se, no entanto, fazer as devidas considerações quanto à proporção de contribuição das perdas por erosão na emissão de CO₂.

Nesse contexto, no balanço de C, que será apresentado posteriormente, considerou-se as variáveis de saída CINPUT (adição de C), RESP(1) (C da respiração microbiana) e SCLOSA (C na erosão/deposição), assumindo-se que 20% do C removido por erosão ou acumulado nas áreas deposicionais foi mineralizado pela biota do solo e efetivamente perdido como CO₂ (Equação 3), conforme sugerido por Debarba (2002). Nesta análise, é importante conhecer o

tamanho dos fluxos de C adicionado e perdido devido ao uso agrícola do solo, visto que pode-se atuar no sentido de alterar as taxas anuais de adição e perda de C através de mudanças no manejo do solo, mas para isso é importante quantificar o potencial de diferentes sistemas de preparo do solo e de culturas em alterar os fluxos de C no solo (Vezzani, 2001; Costa et al., 2006).

Nas Tabelas 11 e 12, constam as quantidades de C adicionadas pelas culturas nos cenários de manejo adotados considerando lavouras iniciadas respectivamente em 1901 e 1988 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem. Considerando-se o mesmo cenário de manejo e tipo de solo, a quantidade de C adicionada é pouco variável entre topo, encosta e áreas deposicionais, havendo tendência de maior adição em lavouras cujo uso agrícola é mais recente.

Em lavouras iniciadas em 1901, o Century estimou, no Latossolo, as menores adições, sendo que o total médio (topo, encosta e deposição) de C adicionado até 2050 foi de 450,0 Mg ha⁻¹ no cenário “Atual” e de 567,0 Mg ha⁻¹ no mesmo período com adoção do cenário “Melhorado”. No Chernossolo e Neossolo Flúvico as estimativas até 2050 no cenário “Atual” foram de 459,0 Mg ha⁻¹ e 465,0 Mg ha⁻¹, respectivamente, e de 576,0 Mg ha⁻¹ e 585,0 Mg ha⁻¹ no cenário “Melhorado”. As maiores adições de C ocorreram no Neossolo Regolítico, cujo total médio de C adicionado até 2050 foi de 501,0 Mg ha⁻¹ no cenário “Atual” chegando a 624,0 Mg ha⁻¹ no cenário “Melhorado”. Tal resultado se deve, possivelmente, ao fato de que no Neossolo Regolítico apresentou o maior estoque de COS na camada de 0 a 20 cm da mata nativa (63,2 Mg ha⁻¹) e, quando o solo foi submetido ao cultivo, houve a rápida mineralização da MOS com liberação de nutrientes para as culturas, propiciando maior acúmulo de C na biomassa vegetal, além disso, este tipo de solo possui alta fertilidade natural que juntamente com a elevada decomposição do COS causada pelo cultivo garantiram maior adição de C ao solo, especialmente durante o período de agricultura colonial.

Nas lavouras mais recentes, a variação do total médio de C adicionado pelas culturas em 62 anos de agricultura (de 1988 até 2050) foi de 207,0 Mg ha⁻¹ no Latossolo até 228,0 Mg ha⁻¹ no Neossolo Regolítico, considerando o cenário “Atual” e variou de 328,0 até 356,0 Mg ha⁻¹, respectivamente, nas mesmas classes de solo, quando se considerou o cenário “Melhorado”.

Tabela 11. Adição de C acumulada por período em função dos cenários de manejo na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1901 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem estimada pelo modelo Century pela variável de saída CINPUT, no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Unidades de Simulação	Adição de C							
	1955	1970	1986	1994	"Atual"		"Melhorado"	
					2007	2050	2007	2050
----- Mg ha ⁻¹ -----								
<u>Latossolo Vermelho distroférico</u>								
topo	170,7	31,2	43,7	23,9	40,7	137,0	64,3	230,6
encosta	170,0	30,8	43,3	23,7	40,5	136,4	64,1	230,0
deposicional	174,0	32,6	45,7	24,8	41,5	138,7	65,1	233,4
<u>Chernossolo Argilúvico órtico</u>								
topo	174,2	32,5	45,7	24,2	40,8	138,7	64,4	232,0
encosta	173,7	32,6	45,4	24,1	40,5	138,1	64,1	231,4
deposicional	176,9	33,8	47,5	25,1	41,8	140,4	64,9	234,7
<u>Neossolo Regolítico eutrófico</u>								
topo	210,2	33,5	46,7	24,8	41,6	141,2	66,5	239,2
encosta	209,6	33,8	46,4	24,6	41,5	140,7	66,4	238,6
deposicional	213,0	35,4	48,4	25,3	42,3	143,1	67,3	241,4
<u>Neossolo Flúvico</u>								
deposicional	179,5	32,6	45,5	25,1	41,8	140,8	65,7	237,0

Tabela 12. Adição de C acumulada por período em função dos cenários de manejo na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1988 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem estimada pelo modelo Century pela variável de saída CINPUT, no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Unidades de Simulação	Adição de C							
	1955	1970	1986	1994	"Atual"		"Melhorado"	
					2007	2050	2007	2050
----- Mg ha ⁻¹ -----								
<u>Latossolo Vermelho distroférico</u>								
topo				18,4	43,4	145,4	68,0	241,0
encosta	-	-	-	18,4	43,3	144,9	67,9	240,6
deposicional				18,4	43,6	146,4	68,2	242,1
<u>Chernossolo Argilúvico órtico</u>								
topo				18,7	44,0	147,5	69,1	244,4
encosta	-	-	-	18,7	44,0	147	68,9	244,0
deposicional				18,7	44,3	148,2	69,2	245,3
<u>Neossolo Regolítico eutrófico</u>								
topo				22,7	50,2	155,4	76,3	257,0
encosta	-	-	-	22,7	50,1	154,2	76,2	256,7
deposicional				22,7	50,4	155,3	76,4	257,9
<u>Neossolo Flúvico</u>								
deposicional	-	-	-	19,1	44,8	148,1	70,1	246,9

Analisando-se estes resultados em bases anuais nas lavouras iniciadas em 1901, no período colonial (1901 a 1970), estimaram-se no Neossolo Regolítico as maiores adições médias de C sendo de $3,6 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, enquanto nas demais classes de solo foram adicionadas $3,0 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ em média. No período seguinte, de 1971 a 1986 em preparo convencional, as adições médias foram de $3,0 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ em todas as classes de solo, passando para $3,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a partir da adoção dos cenários conservacionistas em 1987 e com o cenário “Atual” a partir de 1995 até 2050. A adoção do cenário “Melhorado” a partir de 1995 proporcionaria, nas diferentes classes de solo, adições anuais de C em torno de $5,5 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ nas mais antigas (Tabela 11) e de $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ em lavouras mais recentes (Tabela 12), considerando os elementos da paisagem e início do uso agrícola do solo. Tais adições estão condizentes com as estimativas apresentadas por Tornquist (2007) para cenários semelhantes adotados na região de Ibirubá, no Planalto Riograndense.

Na Tabela 13, são apresentadas as quantidades de C liberadas durante a decomposição da MOS pela atuação da microbiota do solo (RESP(1)) em lavouras iniciadas em 1901 nas diferentes classes de solo e posição na paisagem, considerando os diferentes cenários de manejo do solo adotados. Na Tabela 14 constam os resultados relativos às lavouras iniciadas em 1988. Em síntese, a quantidade de C emitida para a atmosfera (como CO_2) foi proporcional à quantidade de C adicionada, evidenciando a dependência da atividade da microbiota em relação à fonte de C disponível para ser consumida, conforme também observado por Vezzani (2001). Além disso, assim como ocorreu com a adição de C, as emissões de C não variaram grandemente entre topo, encosta e áreas deposicionais, considerando mesmo tipo de solo e ano da conversão da mata nativa em lavoura (Tabelas 13 e 14). Sendo assim, os resultados foram analisados em termos de tendências gerais.

Maiores quantidades médias totais de C foram emitidas de lavouras estabelecidas em Neossolo Regolítico, onde em 149 anos (1901 a 2050) de cultivo, estimou-se liberação de $553,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ no cenário “Atual” e um total de $665,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ seria liberado sob a forma de CO_2 se fosse adotado o cenário “Melhorado” a partir de 1995. Em lavouras mais recentes (desde 1988), as maiores emissões também estão associadas ao Neossolo Regolítico,

Tabela 13. Emissão de C acumulada por período em função dos cenários de manejo na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1901 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem estimada pelo modelo Century pela variável de saída RESP(1), no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Unidades de Simulação	Emissão de C							
	1955	1970	1986	1994	"Atual"		"Melhorado"	
					2007	2050	2007	2050
----- Mg ha ⁻¹ -----								
<u>Latossolo Vermelho distroférico</u>								
topo	194,4	34,3	46,9	19,5	36,7	133,1	52,9	220,4
encosta	193,4	33,8	45,9	19,3	36,3	132,1	52,7	219,3
deposicional	199,2	36,6	51,0	20,7	37,8	136,4	54,0	224,9
<u>Chernossolo Argilúvico órtico</u>								
topo	199,6	35,6	49,3	20,0	36,9	135,4	53,5	222,4
encosta	198,9	35,6	48,7	19,8	36,5	134,4	53,2	221,4
deposicional	203,4	37,5	52,6	21,2	38,1	137,9	54,2	226,2
<u>Neossolo Regolítico eutrófico</u>								
topo	263,5	37,3	50,3	21,1	38,1	138,9	56,2	232,3
encosta	262,7	37,3	49,8	21,0	37,8	138,0	56,0	231,4
deposicional	267,8	39,5	53,2	21,9	38,9	141,7	57,3	235,4
<u>Neossolo Flúvico</u>								
deposicional	209,0	36,4	50,2	21,0	38,3	138,6	55,1	229,2

Tabela 14. Emissão de C acumulada por período em função dos cenários de manejo na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1988 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem estimada pelo modelo Century pela variável de saída RESP(1), no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Unidades de Simulação	Emissão de C							
	1955	1970	1986	1994	"Atual"		"Melhorado"	
					2007	2050	2007	2050
----- Mg ha ⁻¹ -----								
<u>Latossolo Vermelho distroférico</u>								
topo				26,1	49,2	150,6	66,5	239,8
encosta	-	-	-	26,1	49,0	149,6	66,3	238,8
deposicional				26,1	49,9	152,5	67,1	242,0
<u>Chernossolo Argilúvico órtico</u>								
topo				27,3	50,1	153,1	68,2	243,9
encosta	-	-	-	27,3	49,9	152,4	68,0	243,1
deposicional				27,3	50,8	154,4	68,6	245,6
<u>Neossolo Regolítico eutrófico</u>								
topo				44,5	65,8	168,0	85,7	264,9
encosta	-	-	-	44,4	65,9	166,2	85,6	264,2
deposicional				44,6	66,8	168,1	86,1	266,5
<u>Neossolo Flúvico</u>								
deposicional	-	-	-	29,1	52,3	155,0	70,5	248,3

estimando-se entre 1988 e 2050 emissões de 278,0 Mg ha⁻¹ no cenário “Atual” e de 395,0 Mg ha⁻¹ no “Melhorado” (Tabela 14). Nas demais classes de solo, as emissões médias totais de C desde 1901 até 2050 (Tabela 13) seriam de 469,0, 480,0 e 493,0 Mg ha⁻¹ no cenário “Atual”, respectivamente no Latossolo, Chernossolo e Neossolo Flúvico, e no cenário “Melhorado” seriam emitidos 573,0, 584,0 e 601,0 Mg ha⁻¹ de C, considerando as mesmas classes de solo, respectivamente. A mesma tendência é estimada em lavouras iniciadas em 1988, cuja variação média das emissões de C foi de 226,0 a 236,0 Mg ha⁻¹ caso seja mantido o cenário “Atual” até 2050 e entre 333,0 e 348,0 Mg ha⁻¹ de C que seriam liberadas para a atmosfera pela adoção do cenário “Melhorado”.

Quando são analisadas as quantidades de C adicionadas (Tabela 11) em relação às emitidas (Tabela 13), desde o início de uso agrícola do solo até 1986, nota-se que as emissões de C foram sempre superiores às adições. Entretanto, a partir de 1987 a redução na intensidade de revolvimento do solo e aumento do aporte de C via biomassa vegetal, propiciada pela adoção de cenários conservacionistas de manejo do solo, determinou inversão da relação entre adição e emissão de C e, então, passou a haver acúmulo de C no solo, o que determinou, em última análise, o aumento nos estoques de COS durante esse período (Tabela 6). Essas relações entre adição e liberação de C do solo podem ser mais bem compreendidas quando analisadas em termos de diferenças líquidas (adição - liberação), correspondendo ao balanço de C, conforme sugerido em diversos estudos (Vezzani, 2001; Costa et al., 2006; Costa et al. 2008b).

A interpretação adequada dos resultados do balanço de C é dependente do entendimento da dinâmica do C no sistema solo-planta-atmosfera. Isso porque os estoques de COS são determinados pelo balanço anual entre a adição de C ao solo pelas plantas através da fotossíntese (transformando o CO₂ atmosférico em compostos orgânicos) e a perda de C orgânico devido a sua oxidação a CO₂ pelos microrganismos do solo e conseqüente liberação para a atmosfera (IPCC, 2001; Costa et al., 2006).

Solos sob vegetação nativa apresentam fluxos iguais de adição e emissão de CO₂, o que resulta em estoques de COS estáveis, os quais são alterados quando estas áreas são submetidas ao uso agrícola em função da alteração nos fluxos de emissão e adição de C ao solo (Mielniczuk et al., 2003).

Em geral, o cultivo do solo causa redução dos estoques de COS devido à redução da quantidade de C adicionada e ao aumento da emissão de CO₂ para a atmosfera, determinando um balanço negativo de C. Práticas de manejo do solo, como o revolvimento intensivo, remoção ou queima dos resíduos culturais superficiais e adoção de sistemas de culturas com baixo aporte de resíduos, tendem a emitir CO₂ para a atmosfera, favorecendo o balanço negativo de C (Bayer et al., 2000; Vezzani, 2001; Debarba, 2002; Amado et al., 2006). Balanços positivos podem ser alcançados com a adoção de sistemas conservacionistas de preparo do solo, como o PR e o PD, que preconizam o mínimo revolvimento do solo, associados a sistemas com rotação de culturas e alta adição de C. Tais práticas limitam o acesso da microbiota aos resíduos vegetais que são mantidos na superfície e, além disso, não expõem o C protegido no interior dos agregados do solo (Conceição, 2006; Vezzani et al., 2008) e, portanto, ao mesmo tempo reduzindo as emissões do C para a atmosfera e aumentando a adição de C ao solo. Neste caso o solo passa a reter (seqüestrar) C atmosférico e aumentos nos estoques de COS são observados (Bayer et al., 2000; Lovato et al., 2004; Amado et al., 2006; Costa et al., 2008b). O potencial destes sistemas de manejo em seqüestrar C pode ser determinado pelo balanço de C dos mesmos em relação a um sistema convencional de manejo (IPCC, 2001).

Para determinar o balanço de C devido ao manejo do solo, a quantidade de C perdida com CO₂ pela respiração microbiana deve ser acrescida de uma fração de C correspondente à mineralização da MOS que foi removida por erosão. Debarba (2002) considerou que 20% do total de C perdido por erosão sejam decompostos pelos microrganismos e liberados para a atmosfera como CO₂. Além disso, este autor considera em seus estudos a contribuição das emissões de CO₂ geradas pela queima de materiais remanescentes da floresta após a remoção da madeira, permitindo analisar o impacto ambiental causado pela conversão de áreas sob floresta nativa em lavouras.

Com base neste contexto, no presente estudo, o balanço de C para lavouras iniciadas em diferentes épocas foi obtido conforme a Equação 3. No entanto, foram analisados os resultados que representam os valores extremos, referentes ao balanço de C nas lavouras iniciadas em 1901 (Tabela 15) e 1988 (Tabela 16), obtido subtraindo-se da quantidade de C adicionada ao solo

Tabela 15. Balanço entre adição pelas culturas e emissão de C pela respiração microbiana e erosão, por período, em função dos cenários de manejo na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1901 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem, no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Unidades de Simulação	Emissão (-) ou seqüestro (+) de C							
					"Atual"		"Melhorado"	
	1955	1970	1986	1994	2007	2050	2007	2050
	----- Mg ha ⁻¹ -----							
<u>Latossolo Vermelho distroférico</u>								
topo	-24,5	-3,5	-3,8	+4,3	+3,9	+3,7	+11,3	+9,9
encosta	-24,4	-3,5	-3,3	+4,3	+4,1	+4,0	+11,3	+10,3
deposicional	-24,9	-3,9	-5,0	+4,1	+3,7	+2,4	+11,1	+8,6
<u>Chernossolo Argilúvico órtico</u>								
topo	-26,0	-3,4	-4,0	+4,1	+3,9	+3,2	+10,9	+9,4
encosta	-25,9	-3,4	-3,8	+4,2	+3,9	+3,5	+10,8	+9,7
deposicional	-26,3	-3,6	-4,9	+3,9	+3,7	+2,6	+10,7	+8,6
<u>Neossolo Regolítico eutrófico</u>								
topo	-53,9	-4,1	-4,0	+3,6	+3,5	+2,2	+10,3	+6,7
encosta	-53,8	-3,8	-3,9	+3,5	+3,7	+2,5	+10,3	+7,0
deposicional	-54,6	-4,0	-4,7	+3,4	+3,4	+1,4	+10,0	+6,1
<u>Neossolo Flúvico</u>								
deposicional	-29,3	-3,7	-4,5	+4,1	+3,5	+2,2	+10,6	+7,9

Tabela 16. Balanço entre adição pelas culturas e emissão de C pela respiração microbiana e erosão, por período, em função dos cenários de manejo na camada de 0 a 20 cm de lavouras iniciadas em 1988 nas diferentes classes de solo e posições na paisagem, no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Unidades de Simulação	Emissão (-) ou seqüestro (+) de C							
					"Atual"		"Melhorado"	
	1955	1970	1986	1994	2007	2050	2007	2050
----- Mg ha ⁻¹ -----								
<u>Latossolo Vermelho distroférico</u>								
topo				-7,8	-5,9	-5,4	+1,4	+0,9
encosta	-	-	-	-7,9	-5,8	-5,1	+1,4	+1,3
deposicional				-7,7	-6,3	-6,0	+1,1	+0,2
<u>Chernossolo Argilúvico órtico</u>								
topo				-8,7	-6,2	-5,8	+0,8	+0,3
encosta	-	-	-	-8,7	-6,0	-5,7	+0,8	+0,5
deposicional				-8,6	-6,5	-6,1	+0,6	-0,2
<u>Neossolo Regolítico eutrófico</u>								
topo				-21,9	-15,7	-12,7	-9,5	-8,1
encosta	-	-	-	-21,9	-15,9	-12,3	-9,5	-7,8
deposicional				-21,9	-16,4	-12,7	-9,7	-8,5
<u>Neossolo Flúvico</u>								
deposicional	-	-	-	-10,0	-7,5	-6,8	-0,4	-1,3

(Tabelas 11 e 12) a quantidade de C liberada pela respiração da microbiota do solo (Tabelas 13 e 14) acrescida de 20% do total de C perdido por erosão (Tabelas 8 e 9), considerando as classes de solo e os elementos da paisagem em função da adoção dos diferentes cenários de manejo em estudo.

Na Tabela 15, é possível observar que o uso agrícola do solo causou balanço negativo de C em todas as combinações solo - elementos da paisagem durante todo o período de agricultura colonial (1901 até 1970) e tornando-se ainda mais negativo durante o período de manejo convencional do solo, de 1971 até 1986. Durante todo esse período (1901 a 1986), o solo atuou como fonte de C para a atmosfera, o qual foi emitido sob a forma de CO₂, sendo o Neossolo Regolítico o responsável pelas maiores emissões, visto que apresentou o balanço de C mais negativo nesse período. No Neossolo Regolítico, a taxa de emissão líquida de C foi de 1,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ até 1955, enquanto nas demais classes de solo as taxas de emissão de C para a atmosfera não ultrapassaram 0,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ neste período. A partir de 1956 até 1970 as taxas de emissão de C variaram de 0,2 a 0,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ considerando as quatro classes de solo, e de 0,3 a 0,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no período de preparo convencional (1971 a 1986).

O balanço de C tornou-se positivo em todas as combinações de solo e elementos da paisagem a partir da adoção do preparo reduzido em 1987, o que possibilitou conjuntamente o aumento nas taxas de adição de C e a redução na intensidade do revolvimento do solo e perdas por erosão, determinando menor emissão de C até 1994. Tal tendência foi mantida até 2050 com a adoção do plantio direto em 1995 tanto no cenário “Atual” como no “Melhorado”, no entanto, o balanço seria mais positivo no “Melhorado”. A adoção dos cenários conservacionistas possibilitou ao solo atuar como dreno de CO₂ atmosférico passando a haver seqüestro de C e, com isso, a recuperação dos estoques de COS perdidos até 1986 (Tabela 15) devido ao uso agrícola do solo. No período de 1987 a 1994 (PR) as taxas de seqüestro de C variaram de 0,5 a 0,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, estimando-se redução destas para 0,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ entre 1995 e 2007 no cenário “Atual”, que se for mantido até 2050, causará reduções ainda maiores nas taxas de acúmulo de C, que serão de no máximo 0,1 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (entre 2007 e 2050). Por outro lado, se a partir de 1995 fosse adotado o cenário “Melhorado”, as altas taxas de adição de C propiciadas por este

cenário possibilitariam seqüestrar $0,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de C atmosférico até 2007 em todas as classes de solo, estimando-se para 2050 taxas menores, em torno de $0,2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Debarba (2002) estimou para o solo Santo Ângelo (Latosolo Vermelho distroférico típico) balanço positivo entre adições de C pelas culturas e perdas por erosão e mineralização, com acúmulo de $21,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ de COS de 1981 até 2050 ($78,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ de CO_2), proporcionado pela adoção de cenários de manejo equivalentes ao cenário “Melhorado” utilizado no presente estudo.

Quando o balanço de C apresenta taxas de seqüestro ou emissão de C com valores próximos de zero, como ocorreu com as estimativas para 2050, tem-se a indicação de que o solo está tendendo a um novo estado estável. Vezzani (2001), utilizando o modelo Century, estimou que, após 150 anos de adoção do mesmo sistema de manejo do solo, os fluxos de adição e emissão de C tenderiam a estabilizar. Cenários envolvendo o PC e com baixa adição de C, cujo balanço de C foi negativo, apresentaram tendência de aumento nos valores do balanço, com valores negativos próximos de zero, enquanto cenários envolvendo PD e sistemas de culturas com alta adição de C, cujo balanço de C foi positivo, evidenciaram redução nos valores do balanço aproximando-se de zero após 150 anos de adoção. Segundo a autora, isso se justifica pela auto-organização dos sistemas ao longo do tempo.

Nas lavouras iniciadas em 1988 (Tabela 16), mesmo que já sob cenários conservacionistas de manejo, o balanço de C foi sempre negativo até 2050 com a manutenção do cenário “Atual”. O balanço de C foi mais negativo no Neossolo Regolítico, cujas taxas de emissão de C para a atmosfera chegaram a $3,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ nos primeiros 6 anos de cultivo (1988 a 1994), caindo para $0,3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ até 2050 com o cenário “Atual”. Nas demais classes de solo, as taxas líquidas de emissão de C foram de 1,3 até $1,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ até 1994, sendo reduzidas para $0,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ até 2007 e para 0,1 até 2050. Balanço positivo somente ocorreria no Latossolo e Chernossolo pela adoção do cenário “Melhorado” a partir de 1995, cujo balanço de C seria positivo já em 2007 e mantido até 2050, porém com taxas próximas de zero. Os Neossolos Regolítico e Flúvico continuariam emitindo C para a atmosfera, mesmo com taxas de adição de C elevadas no cenário “Melhorado”, sendo que as taxas de emissão de C estimadas foram de $0,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ até 2007 e $0,2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ até

2050 no Neossolo Regolítico, e menores que $0,1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ até 2050 no Neossolo Flúvico.

Vale ressaltar que a quantidade de C liberado como CO_2 durante a remoção da mata nativa através da queimada não foi incluída nos cálculos de balanço de C apresentados nas Tabelas 15 e 16, tendo-se somente considerado, até aqui, o efeito dos cenários de manejo adotados sobre os fluxos de C adicionado e liberado do solo sob a forma de CO_2 , devendo-se, no entanto, considerar a contribuição da queima da floresta nas emissões de CO_2 para a atmosfera em estimativas totais regionais.

6.2.3.1. Distribuição espacial da emissão e seqüestro de CO_2

Nas Figuras 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 e 41, são apresentados os mapas de distribuição espacial do balanço de CO_2 , referentes à camada de 0 a 20 cm de profundidade em solos do Distrito Santana, em função da adoção de diferentes cenários de manejo, possibilitando a identificação rápida das áreas que mais contribuíram para aumentar emissões, bem como áreas com maior potencial de seqüestro de CO_2 atmosférico ao longo dos anos, considerando-se balanço igual a zero nas áreas sob vegetação nativa.

As quantidades de C emitidas para a atmosfera contemplam a liberação de C pela respiração microbiana acrescida de 20% do total de C perdido por erosão (Equação 3), mas não incluem a emissão de C para a atmosfera devido à queima da floresta por ocasião da sua remoção. Além disso, os valores expressos nos mapas de balanço de CO_2 correspondem às quantidades emitidas ou seqüestradas de CO_2 a partir da multiplicação do valor obtido na Equação 3, em Mg ha^{-1} de C, por 3,67 (razão molar CO_2/C) (Equação 4), conforme sugere Debarba (2002). A legenda adotada correspondeu a 11 classes de variação no balanço de CO_2 , sendo 5 classes com valores negativos, evidenciando emissão de CO_2 , 5 classes com valores positivos, correspondendo a seqüestro de CO_2 da atmosfera, e 1 classe correspondendo as áreas de vegetação nativa, cujo balanço é igual a zero. Tais classes foram estabelecidas visando evidenciar ao máximo a variabilidade apresentada pelas 54 unidades de simulação em estudo, quanto ao potencial de emissão ou seqüestro do CO_2 atmosférico.

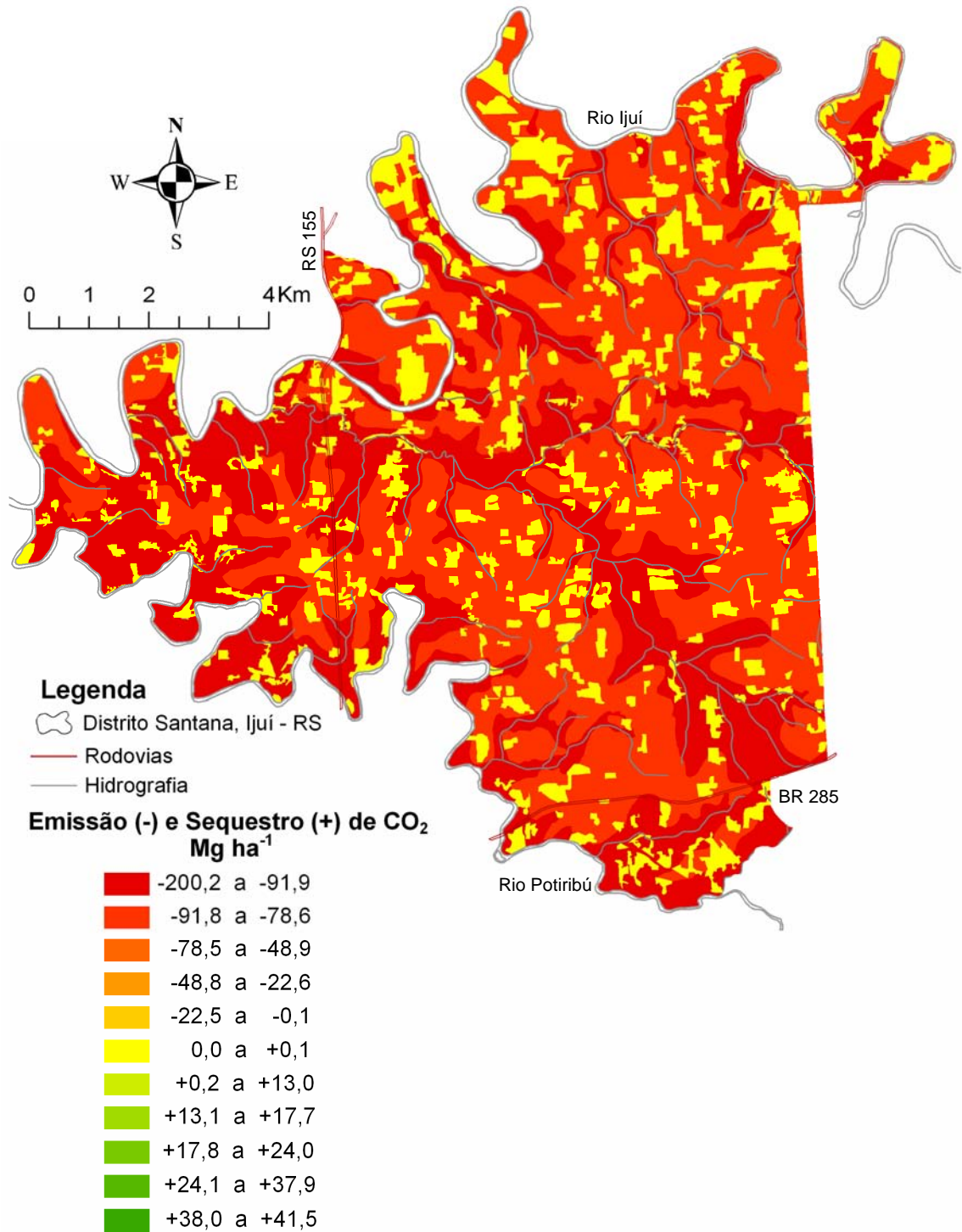


Figura 34. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1955 (final do período de agricultura colonial 1).

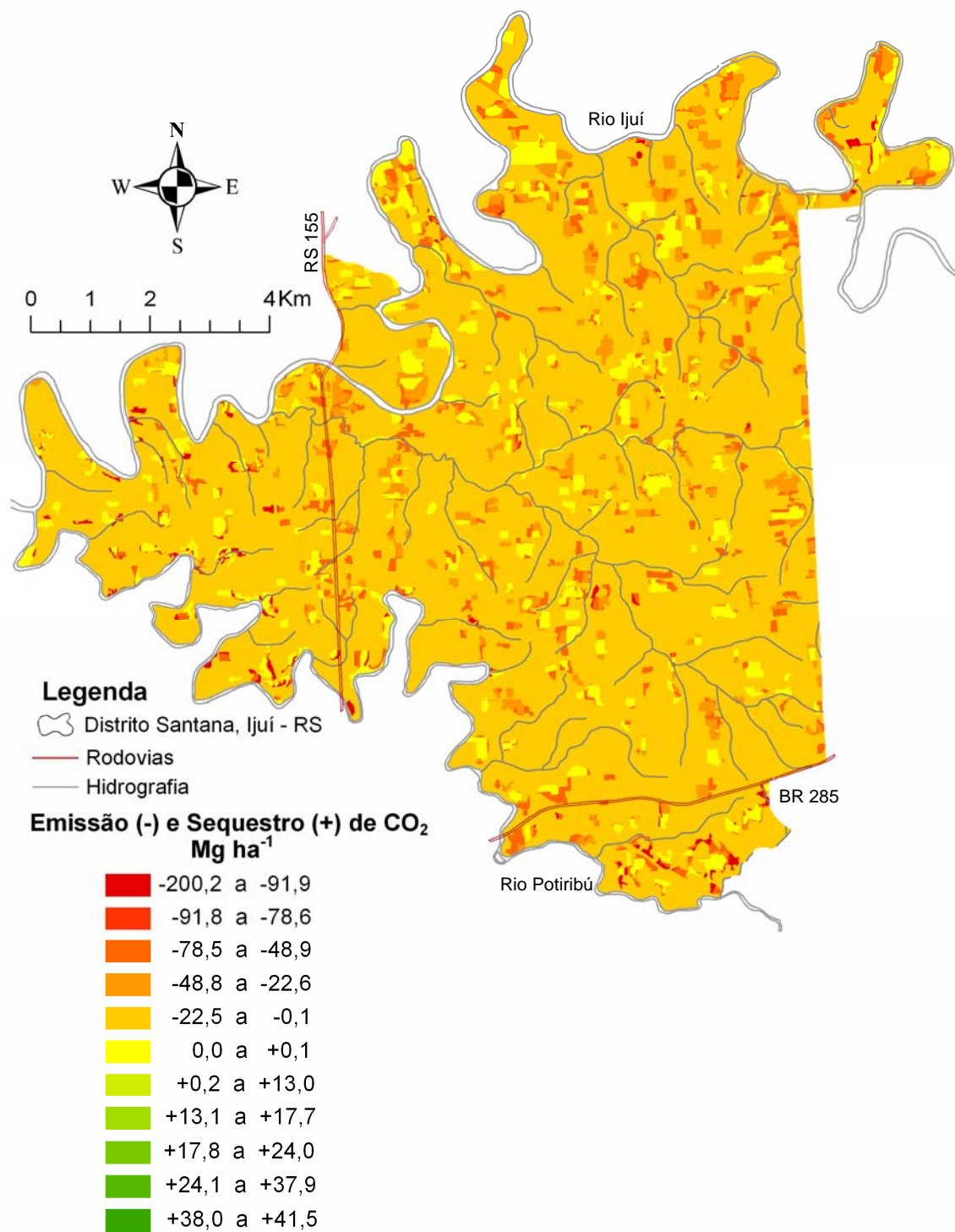


Figura 35. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1970 (final do período de agricultura colonial 2).

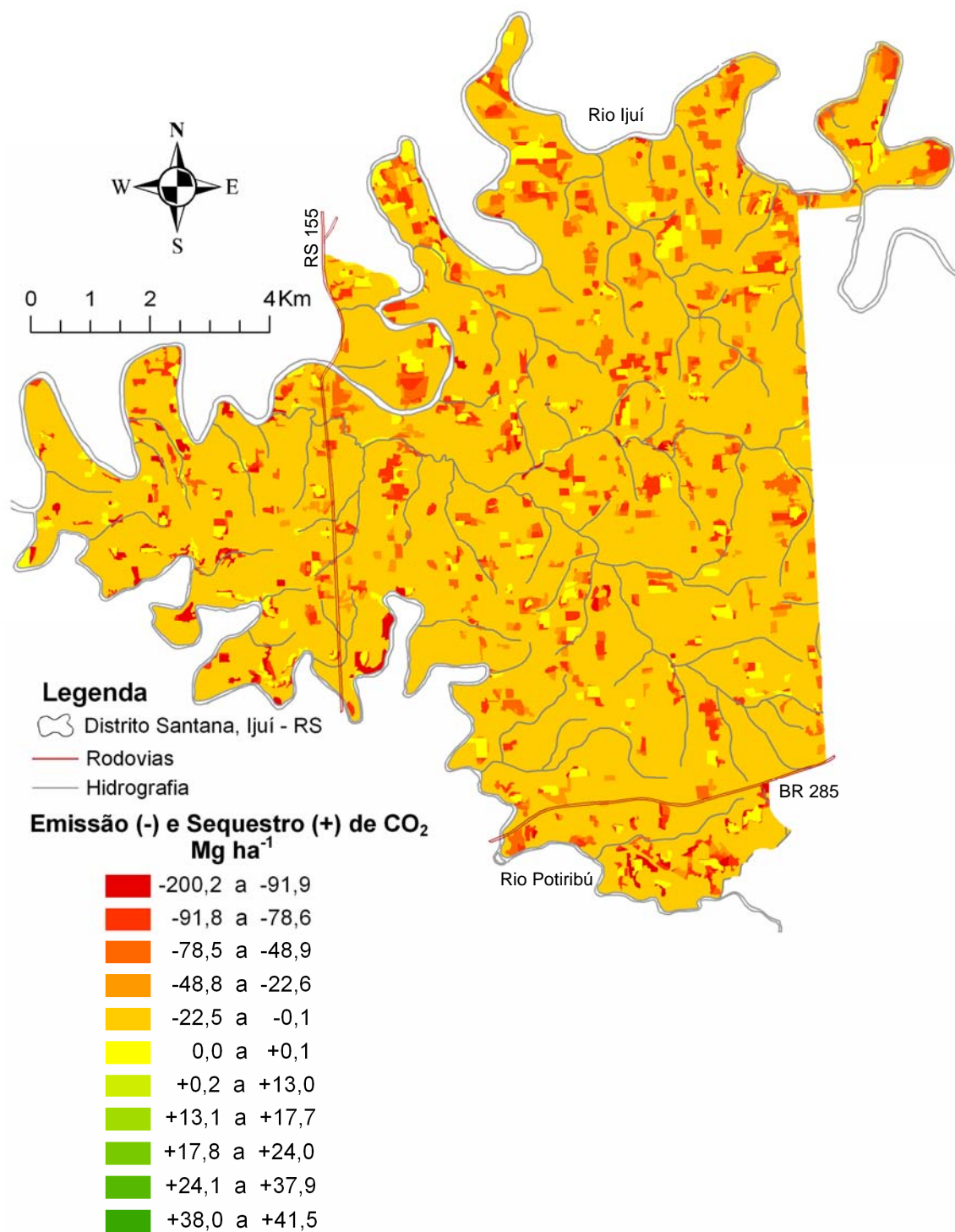


Figura 36. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1986 (final do período de preparo convencional).

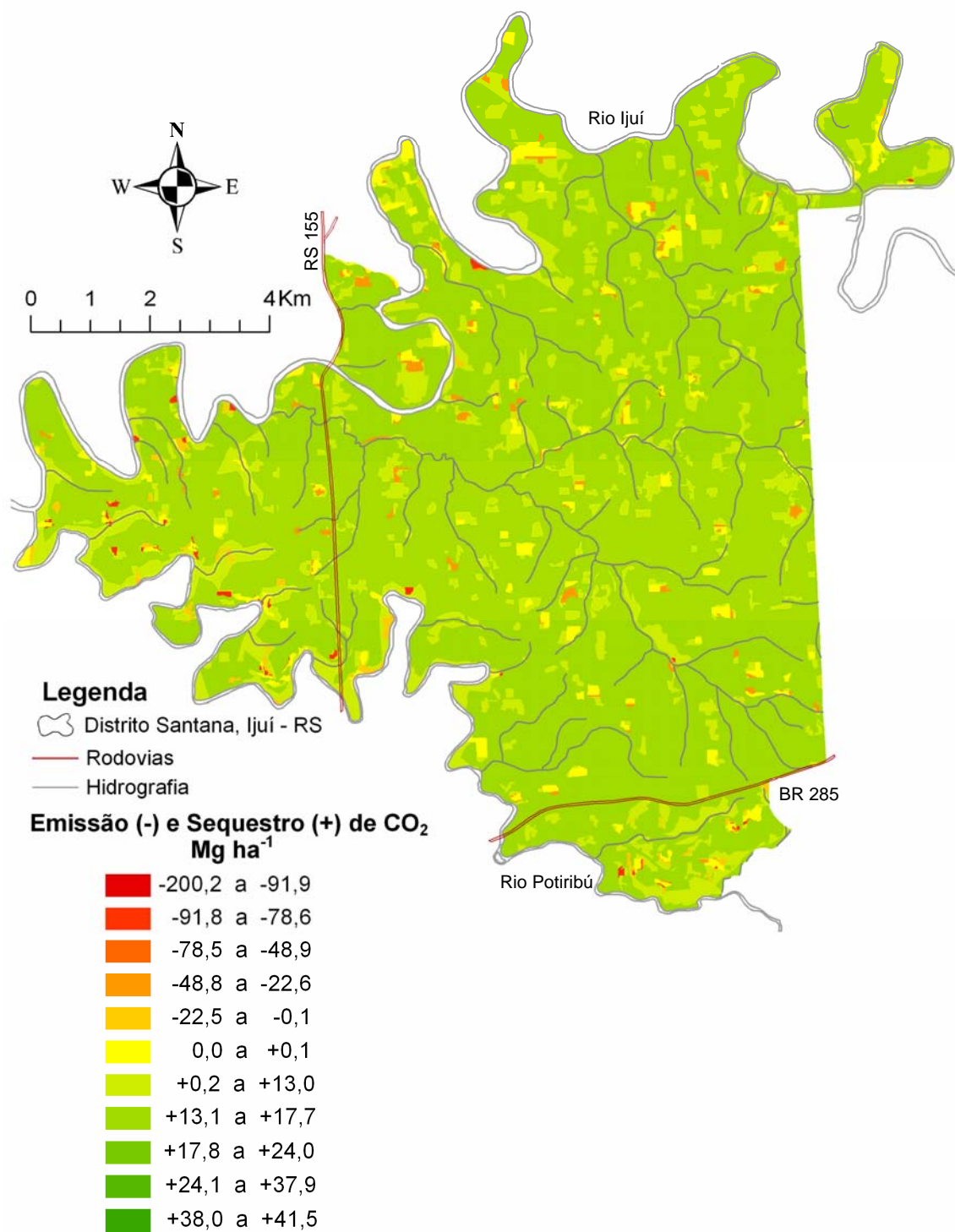


Figura 37. Distribuição do balanço entre emissão e sequestro de CO₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 1994 (final do período de preparo reduzido).

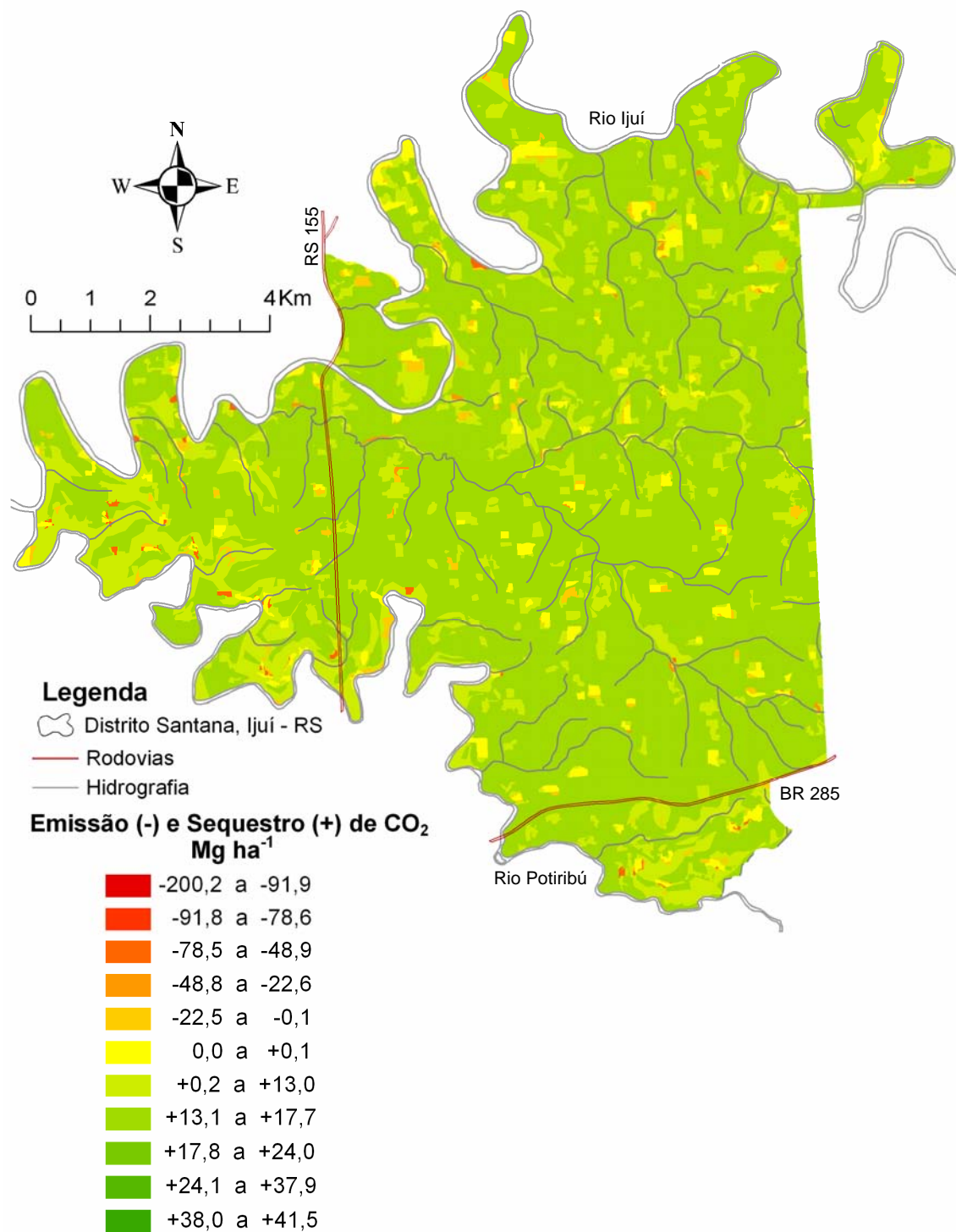


Figura 38. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2007 com adoção do no cenário “Atual” a partir de 1995.

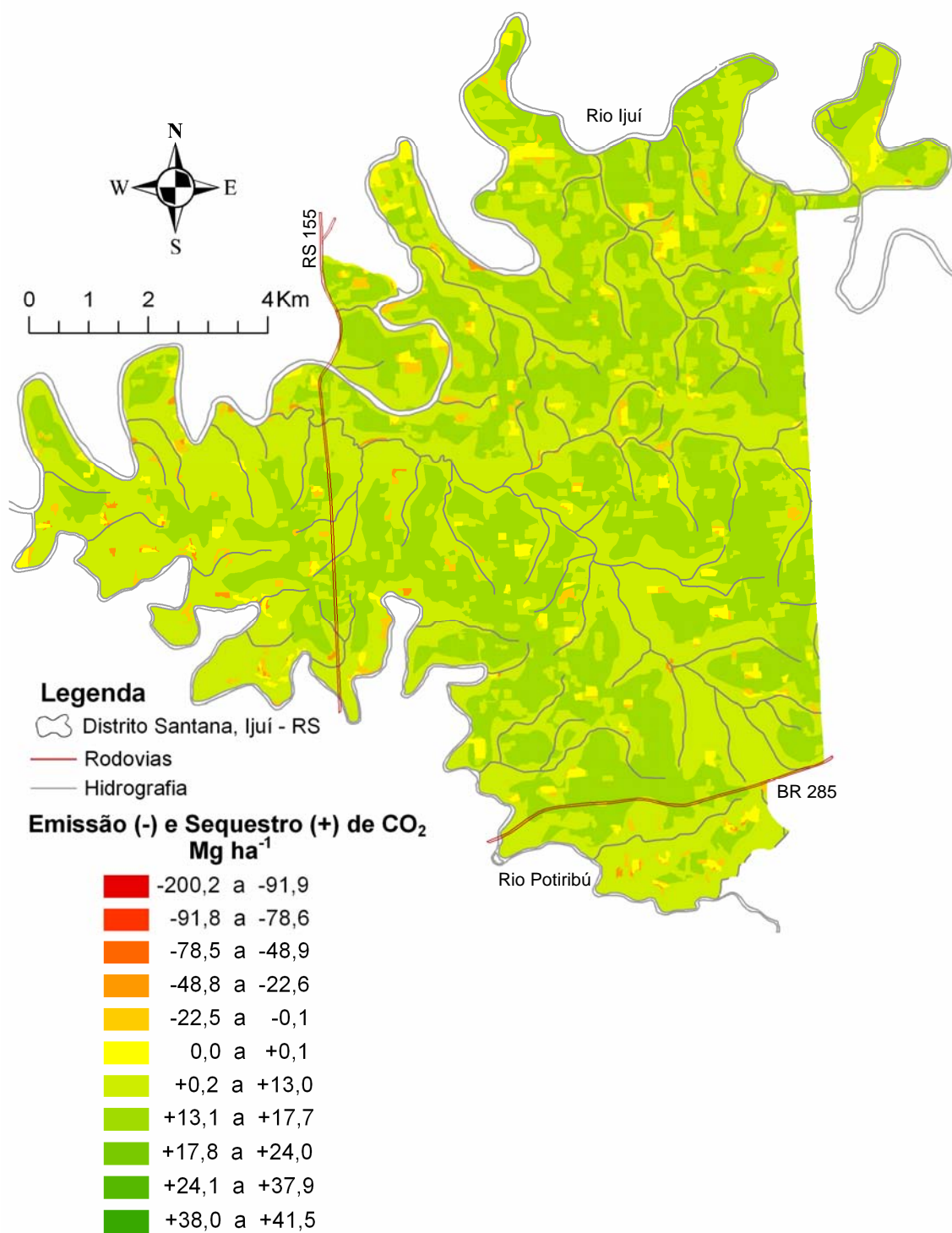


Figura 39. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2050 com adoção do no cenário “Atual” a partir de 1995.

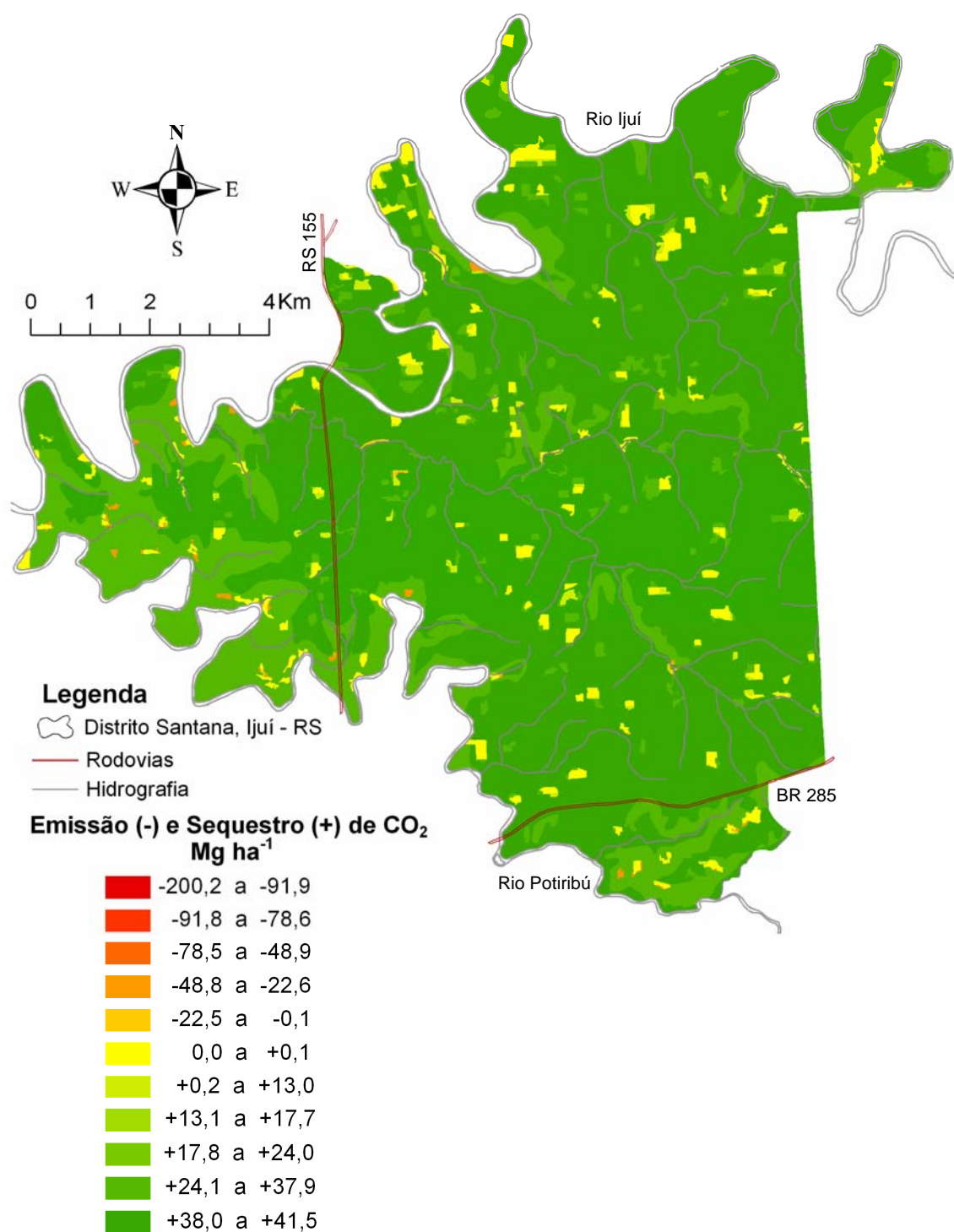


Figura 40. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2007 com adoção do no cenário “Melhorado” a partir de 1995.

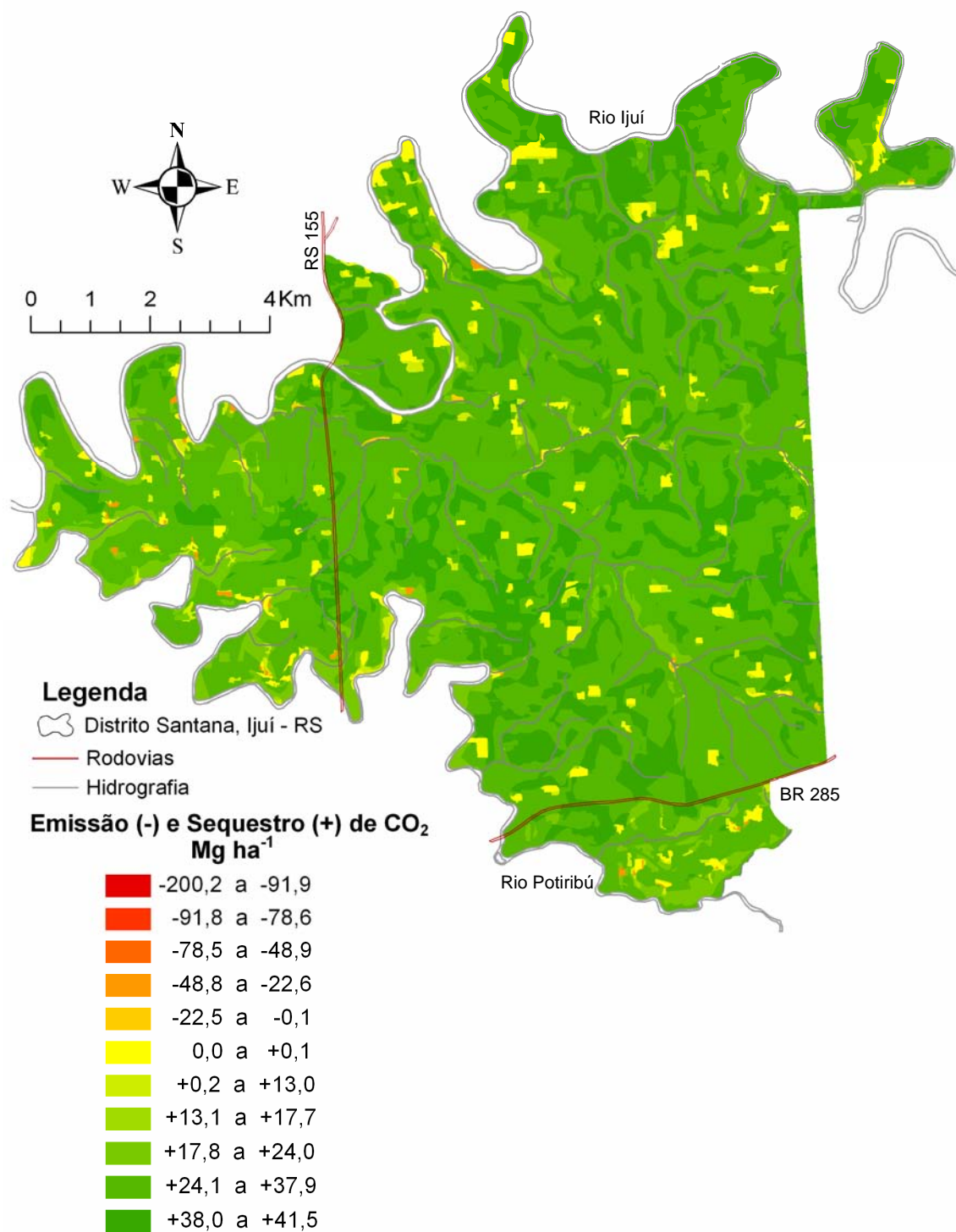


Figura 41. Distribuição do balanço entre emissão e seqüestro de CO₂ na camada de 0 a 20 cm dos solos do Distrito Santana, Ijuí-RS, em 2050 com adoção do no cenário “Melhorado” a partir de 1995.

Os mapas de balanço de CO₂ evidenciaram que as maiores emissões de CO₂ para a atmosfera ocorreram nos primeiros 54 anos de uso agrícola do solo (1901-1955), sendo que estas emissões ocorreram de forma generalizada em toda a área do Distrito Santana. As unidades de simulação correspondentes à classe dos Latossolos apresentaram emissões de CO₂ entre 78,6 e 91,8 Mg ha⁻¹, enquanto nas demais classes de solo as emissões foram maiores, chegando a 200,2 Mg ha⁻¹ em algumas áreas sob Neossolo Regolítico (Figura 34).

Assim como ocorreu nas lavouras iniciadas em 1901 (Tabela 15), o balanço de CO₂ permaneceu sempre negativo até 1986 (Figuras 34, 35 e 36). As emissões anteriores a 1955 foram as maiores, pois esse período acumula emissões geradas por 54 anos de cultivo dos solos, enquanto os demais períodos avaliados são menores. Nos períodos posteriores, as emissões foram maiores no período de manejo convencional (1971 a 1986) em relação a 1970 (Figura 35), evidenciado pelo aumento na intensidade da cor vermelha no mapa de 1986 e na proporção de área ocupada por esta cor (Figura 36).

O solo passou a seqüestrar CO₂ a partir de 1987, evidenciado pelo balanço positivo em 1994 (Figura 37). Nesse período, quase toda a área do Distrito Santana apresentou seqüestro de CO₂ variando de 13,1 a 17,7 Mg ha⁻¹, mantendo esta tendência até 2007 pela adoção do cenário “Atual” (Figura 38), porém com o aumento da proporção de áreas seqüestrando menor quantidade de CO₂ (0,2 a 13,0 Mg ha⁻¹), as quais serão ainda ampliadas se este cenário for mantido até 2050 (Figura 39), indicando tendência à estabilidade, visto que o balanço tende a zero. Nestas condições os Latossolos evidenciaram maior potencial de seqüestro de CO₂ e manutenção do C no solo.

Balanços mais positivos seriam obtidos pela adoção do cenário “Melhorado”, estimando-se para 2007 (Figura 40) seqüestro de CO₂ entre 38,0 e 41,5 Mg ha⁻¹ na maior parte da área em estudo, sendo que nas áreas onde ocorrem os Neossolos Regolíticos as quantidades de CO₂ seqüestradas foram um pouco menores, ficando na faixa de 24,1 a 37,9 Mg ha⁻¹ na sua maioria, e em algumas pequenas manchas, onde o uso agrícola é mais recente, ocorreu balanço negativo, estimando-se redução da quantidade de CO₂ seqüestrado até 2050 (Figura 41). No entanto, a maior parte da área, apresentaria potencial de seqüestro superior a 24,0 Mg ha⁻¹ de CO₂, pelo menos 26% mais que o estimado para 2050 no cenário “Atual”.

6.2.3.2. Balanço de emissão e seqüestro de CO₂ em escala regional

Em áreas submetidas ao uso agrícola, cuja vegetação original era floresta, as análises regionais do balanço de CO₂ devem incluir a emissão de CO₂ para a atmosfera gerada pela queimada da mata nativa, visando à eliminação de materiais remanescentes após a extração da madeira, e não só a emissão de CO₂ devida aos sistemas de manejo a que o solo foi submetido após o desmatamento da área. Isso porque, quantidades elevadas de CO₂ podem ser emitidas para a atmosfera durante a remoção da floresta, tendo um custo ambiental que deve ser considerado em estudos desta natureza. Debarba (2002) estimou emissões, pela queima de floresta, 22% acima das emissões causadas pelo cultivo colonial do solo durante 70 anos (1900 -1970) seguido por 10 anos em manejo convencional (PC trigo/soja com queima da palha do trigo).

Neste contexto, foi estimada a emissão de CO₂ causada pela queima da mata nativa do Distrito Santana, sendo considerando que 90% da madeira foi cortada e removida da área e o material remanescente foi queimado. Nesse processo, considerou-se que os componentes da floresta galhos finos mortos, madeira grossa morta e raízes mortas compunham o material remanescente na área desmatada e foram queimados. As quantidades de C liberadas foram estimadas pelo modelo Century a partir das variáveis de saída WOOD1C (C nos galhos finos mortos), WOOD2C (C na madeira grossa morta), WOOD3C (C nas raízes mortas), cuja soma representa o total de C emitido para a atmosfera como CO₂ devido à queimada (Equação 5). Os resultados constam na Tabela 17 e levam em conta os cinco períodos em que houve conversão da mata nativa em lavouras, determinados pela análise da evolução do uso agrícola do solo do Distrito Santana (Figura 17), e a contribuição relativa às diferentes classes de solo neste processo.

Do total de CO₂ emitido até 2007 pela queima da floresta ($892,4 \times 10^3$ Mg) em toda a área de estudo, 85% se deveu à expansão da agricultura de 1901 até 1956 ($762,4 \times 10^3$ Mg), estando associado à maior área desmatada

Tabela 17. Emissão total de CO₂ pela queima da floresta nas diferentes classes de solo do Distrito Santana, Ijuí-RS, considerando os diferentes períodos de início do uso agrícola dos solos, estimada pelo modelo Century pelas variáveis de saída WOOD1C, WOOD2C e WOOD3C.

Classe de solo (% de ocorrência)	Emissão de CO ₂ ¹					Total
	1901 a 1956	1957 a 1964	1965 a 1975	1976 a 1987	1988 a 2007	
	----- 10 ³ Mg -----					
Latossolo Vermelho distroférico (60%)	367,6	25,0	32,9	19,4	5,6	450,5 (50%)
Chernossolo Argilúvico órtico (14%)	99,4	4,4	4,2	1,8	1,1	110,9 (12%)
Neossolo Regolítico eutrófico (17%)	218,6	11,8	7,2	8,1	3,4	249,1 (28%)
Neossolo Flúvico (9%)	76,8	2,7	1,0	0,7	0,7	81,9 (9%)
Total	762,4 (85%)	43,9 (5%)	45,3 (5%)	30,0 (4%)	10,8 (1%)	892,4 (100%)

¹ Emissão de CO₂ pela queima do material remanescente da floresta (galhos finos, madeira grossa e raízes mortos) após o corte e remoção de 90% da madeira, resultando na liberação de 73,1 Mg ha⁻¹ de CO₂ no Latossolo, 76,7 Mg ha⁻¹ de CO₂ no Chernossolo, 141,9 Mg ha⁻¹ de CO₂ no Neossolo Regolítico e 82,9 Mg ha⁻¹ de CO₂ no Neossolo Flúvico.

nesse período (8.792 ha), 82% do total em uso (Figura 14b). Nos demais períodos, as emissões somaram $130,0 \times 10^3$ Mg de CO_2 . A queima da mata nativa que se encontrava sob Latossolos contribuiu com 50% ($450,5 \times 10^3$ Mg) do total de CO_2 emitido para a atmosfera de 1901 até 2007, enquanto Neossolos Regolíticos contribuíram com 28% ($249,1 \times 10^3$ Mg), Chernossolos com 12% ($110,9 \times 10^3$ Mg) e Neossolos Flúvicos com 9% ($81,9 \times 10^3$ Mg), o que é condizente com a proporção de ocorrência de cada uma das classes de solo na área em estudo.

Na Tabela 18 são apresentados os resultados referentes ao balanço entre emissão e seqüestro de CO_2 na área de estudo, considerando as diferentes classes de solo e cenários de manejo adotados. Nesta etapa foram incluídas as emissões de CO_2 da respiração microbiana, as perdas de CO_2 associadas ao COS perdido por erosão (20%), que são devidas ao manejo agrícola do solo (Equação 4), e a emissão de CO_2 gerada pela queima da mata nativa para que o solo pudesse ser submetido ao uso agrícola (Equação 5).

Considerando-se os resultados obtidos até 2050, em relação à condição original (1900), o balanço de CO_2 foi sempre negativo, independentemente do tipo de solo e cenário de manejo adotado, mesmo desconsiderando-se a emissão de CO_2 pela queima da mata nativa, indicando que o solo tem atuado como fonte de CO_2 para a atmosfera, como já evidenciado anteriormente. O balanço foi mais negativo em 1986, cuja emissão líquida de CO_2 para a atmosfera, devido ao manejo do solo, atingiu um total de $1.395,9 \times 10^3$ Mg, chegando a um total emitido de $2.277,5 \times 10^3$ Mg de CO_2 se for considerada a queima da floresta. A mudança nas práticas de manejo do solo, com a adoção de cenários conservacionistas pelos agricultores da região em estudo, a partir de 1987, proporcionou balanço positivo de CO_2 já em 1994 ($+140,9 \times 10^3$ Mg), em relação aos cenários adotados até 1986. Neste caso, evidenciou-se o potencial de sistemas com baixo ou nenhum grau de revolvimento do solo em reduzir as perdas de C pela respiração microbiana e pela redução das perdas de solo por erosão, como é o caso do PD estimando-se para 2050 no cenário "Atual" seqüestro de $385,9 \times 10^3$ Mg de CO_2 , sendo este valor reduzido para $376,1 \times 10^3$ Mg se forem consideradas as emissões de CO_2 causadas pela derrubada e queima da floresta entre 1988 e 2007 (Tabela 17). Se técnicas de preparo conservacionistas forem associadas a sistemas de culturas com alto

Tabela 18. Balanço das emissões (-) ou seqüestro (+) de CO₂ nas diferentes classes de solo do Distrito Santana, Ijuí-RS, em função dos cenários de manejo adotados relativos a condição original (1900) e ao final do período convencional de preparo do solo (1986) na camada de 0 a 20 cm, considerando a respiração microbiana, erosão e queima da floresta.

Classe de solo	Emissão (-) ou seqüestro (+) CO ₂							
					"Atual"		"Melhorado"	
	1955	1970	1986	1994	2007	2050	2007	2050
	----- 10 ³ Mg -----							
	Relativo a 1900							
Latossolo Vermelho distroférico	-452,7	-551,7	-695,1	-607,3	-523,0	-448,0	-358,5	-142,4
Chernossolo Argilúvico órtico	-124,2	-146,2	-175,7	-155,4	-136,0	-120,6	-98,5	-51,1
Neossolo Regolítico eutrófico	-306,1	-343,2	-391,0	-372,2	-352,5	-341,6	-309,2	-269,2
Neossolo Flúvico	-99,7	-115,0	-134,1	-120,2	-107,8	-99,8	-82,0	-53,8
Total s/ CO ₂ queima da floresta	-982,7	-1.156,1	-1.395,9	-1.255,1	-1.119,3	-1.010,0	-848,2	-516,5
Total c/ CO ₂ queima da floresta	-1.745,1	-2.007,7	-2.277,5	-2.147,5	-2.069,3	-1.960,0	-1.740,6	-1.408,9
	Relativo a 1986							
Latossolo Vermelho distroférico				+87,9	+172,2	+247,1	+336,6	+552,7
Chernossolo Argilúvico órtico				+20,5	+39,7	+55,2	+77,2	+124,6
Neossolo Regolítico eutrófico				+18,7	+38,4	+49,4	+81,8	+121,7
Neossolo Flúvico				+13,8	+26,2	+34,2	+52,0	+80,2
Total s/ CO ₂ queima da floresta				+140,9	+276,5	+385,9	+547,6	+879,2
Total c/ CO ₂ queima da floresta				+130,1	+265,7	+376,1	+536,8	+868,4

aporte de resíduos, como sugerido no cenário “Melhorado”, o balanço de CO₂ se tornaria mais positivo, estimando-se para 2050, seqüestro de 879,2 x 10³ Mg de CO₂ em relação a 1986, devido ao manejo do solo.

Como era de se esperar, os Latossolos contribuíram mais com as emissões e seqüestro de CO₂ visto que representam 60% dos solos da região (Figura 7). No entanto, considerando-se o balanço de CO₂ de 1901 até 1986, quando o balanço foi o mais negativo, em relação ao balanço de 1901 a 2050 no cenário “Melhorado”, quando o balanço foi o menos negativo, observa-se que em 1986 o Latossolo representava 50% das emissões de CO₂ devidas ao manejo do solo (1.395,9 x 10³ Mg) do Distrito Santana, enquanto o Neossolo Regolítico representava 28%. Mas esta condição se inverteria em 2050 no cenário “Melhorado”, com o Latossolo passando a representar 28% do total emitido e o Neossolo Regolítico atingindo 52% do total de CO₂ emitido de 1901 até 2050 (Tabela 18). Isso indica que apesar de os Latossolos contribuírem mais com as emissões de CO₂ até 1986, devido a maior representatividade na área, apresentaram maior potencial de seqüestro de C em relação às demais classes de solo em estudo, especialmente quando submetidos ao uso agrícola com cenários conservacionistas e alta adição de C ao solo pelas culturas. Por outro lado, os Neossolos Regolíticos, que abrangem 17% da área em estudo, apresentaram o menor potencial de seqüestro de CO₂ quando submetido às mesmas condições de uso e manejo, evidenciado também pelo menor potencial de recuperação dos estoques de COS. Tal comportamento deve-se em grande parte a granulometria diferenciada destes solos, havendo maior proteção química (interação com a fração mineral do solo) e física (C protegido no interior dos agregados) da MOS quanto maior for o conteúdo de argila do solo (Conceição, 2006), o que favoreceu o acúmulo de C no Latossolo em relação ao Neossolo Regolítico.

Smith et al. (1997b), utilizando o modelo Century para avaliar as mudanças no conteúdo de COS em diversos solos do Canadá em 80 anos de simulação, estimaram perdas diferenciadas de COS de acordo com a textura dos solos. Solos com textura mais arenosa apresentaram redução média de 31% no estoque original de COS, enquanto nos solos de textura média a redução foi de 22,2% e em solos argilosos foi de 15,9%, variações estas que foram atribuídas ao aumento no grau de proteção da MOS à decomposição

pela microbiota nos solos com maior teor de argila em relação aos mais arenosos.

Contudo, é importante destacar que, de modo geral, no Distrito Santana predominam pequenas propriedades rurais, sobretudo na metade oeste da região, onde ocorre a maior porção dos Neossolos Regolíticos. Sendo assim, o solo tem sido submetido ao cultivo intensivo, mesmo com a adoção de práticas conservacionistas como o PR e PD, para que possa garantir a manutenção econômica dos produtores. Assim, algumas áreas que deveriam ser destinadas a cultivos perenes, como pastagens ou reflorestamento, devido às limitações de aptidão de uso do solo (Schneider et al., 2007), continuam sendo cultivados com lavouras anuais. E, por isso, os Neossolos Regolíticos têm sido expostos a maior risco de perdas de CO₂ para a atmosfera, evidenciando maior dificuldade em reter C e, conseqüentemente, em recuperar os estoques de COS perdidos, ou mesmo manter os estoques de COS atuais.

7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo, apresentados anteriormente, permitem concluir que:

- As mudanças no uso e manejo do solo causaram redução do seu conteúdo de C ao longo dos anos, sendo que o modelo Century, depois de calibrado, estimou de forma adequada os impactos destas alterações sobre os estoques de COS.
- O modelo Century estimou adequadamente a dinâmica do C em propriedades rurais do Distrito Santana em Ijuí, RS, reproduzindo a evolução dos estoques de COS ocorrida nesta região. Segundo tais estimativas, a adoção de práticas conservacionistas de manejo, conforme proposto, interrompe o processo de perda de C do solo, o qual, mantidas as condições atuais de uso e manejo, atinge um novo estado estável até o ano de 2050, porém com estoques de COS inferiores aos originais.
- O Latossolo apresentou o maior potencial de emissão de CO₂ dentre os solos do Distrito Santana, quando submetido a práticas de manejo com revolvimento do solo e baixa adição de C, em função da sua maior proporção de ocorrência na área. No entanto, com a adoção de técnicas conservacionistas de manejo, como o PR e o PD, associadas a sistemas de culturas com alto potencial de adição de C ao solo, os Latossolos evidenciaram o maior potencial de seqüestro de C.
- O Neossolo Regolítico apresentou as maiores reduções nos estoques de COS dentre os solos do Distrito Santana, em consequência das maiores emissões de CO₂ ao longo dos anos de uso agrícola dos solos, sendo a classe de solo com menor potencial de seqüestro de C em resposta a adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, U.R.; AZOLIN, M.A.D. **Levantamento e utilização agrícola dos solos do município de Ijuí**. Porto Alegre: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA: Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul. Departamento de Recursos Naturais Renováveis, 1970. (Texto mimeografado).

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

ARDÖ, J.; OLSSON, L. Assessment of soil organic carbon in semi-arid Sudan using GIS and the Century model. **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, v.54, p.633-651, 2003.

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

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 508p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2.ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metropole, 2008. 654p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.599-607, 2000.

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.237–24, 2006.

BENITES, V.M.; MACHADO, P.L.O.A.; FIDALGO, E.C.C.; COELHO, M.R.; MADARI, B.E. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.139, p.90-97, 2007.

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

BRASIL. **Folha topográfica 1:50.000 Ijuí**. Brasília. Ministério do Exército. Diretoria de Serviços Geográficos, 1980. (Folha SH.22 VAI3, MI-2915/3).

BRUM, A.J. **Modernização da agricultura no Planalto gaúcho**. Ijuí: FIDENE, 1983. 204p.

CARD - CENTER OF AGRICULTURAL AND RURAL DEVELOPMENT, 2008. Iowa State University.

Disponível:http://www.card.iastate.edu/environment/interactive_programs.aspx. Acesso em 29/08/2008.

CASSOL, E.A. **Erosão do solo**: Influência do uso agrícola, do manejo e preparo do solo. 2ª ed. Porto Alegre, 1986. 223p. (Publicação IPRNR ,15).

COELHO, O.W. **Modelamento da degradação de latossolos na Região de Fortaleza dos Valos-RS**: uma aplicação de SIG/sensoriamento remoto. 164f. 1999. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

CONCEIÇÃO, P.C. **Agregação e proteção da matéria orgânica em dois solos do Sul do Brasil**. 2006. 138f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

COSTA, F.S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para a avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, p.693-700, 2006.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.323-332, 2008a.

COSTA, F.S.; ZANATTA, J.A.; BAYER, C. Emissão de gases do efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais & subtropicais. 2.ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metropole, 2008b. 654p.

DALAL, R.C.; MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. II Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.24, p.281-292, 1986.

DEBARBA, L. **Simulação pelo modelo Century do impacto da agricultura sobre o estoque de carbono orgânico em solos do Planalto Riograndense**. 2002. 172f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

DONIGIAN JR, A.S.; PATHWARDHAN, A.S.; JACKSON, R.B. Modeling the impacts of agricultural management practices on soil carbon in the Central U.S. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; LEVINE, E.; STEWART, J.W.B. (Eds.). **Soil Management and Greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 121-135.

EMBRAPA. **Manual de métodos e análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcView 3.2**. Redland, 1999.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGis 9.0**. Redland, 2003.

EVANS, J.L.; FERNANDEZ, I.J.; RUSTAD, L.E.; NORTON, S.A. **Methods for evaluating carbon fractions in forest soils: A review**. Iowa : Maine Agricultural and Forest Experiments Station, 2001. (Technical bulletin, 178).

FALLOON, P.D.; SMITH, P.; SMITH, J.U.; SZABÓ, J.; COLEMAN, K.; MARSHALL, S. Regional estimates of carbon sequestration potential: linking the Rothamsted Carbon Model to GIS databases. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.27, p.236-241, 1998.

FERNANDES, F.F. **Uso do modelo century no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos do Rio Grande do Sul**. 2002. 156f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

GOMES, A.M. **Fundação e evolução das estâncias serranas**. Cruz Alta: [s.n.], 1966. 334p.

GOMES, A.G.; VARRIALE, M. C. **Modelagem de ecossistemas: uma introdução**. 2 ed. Santa Maria: Ed. UFSM, 2004. 503 p.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim: Geologia, geomorfologia, vegetação, uso potencial da terra [CD ROM]**. Rio de Janeiro, 1986. (Levantamento de Recursos Naturais, v.33).

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change: The Scientific Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [informações]. 2006. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>. Acesso em 16/04/2006.

JENNESSET. Topographic position index extention for ArcView 3.x. 2008. Disponível em: <http://www.jennensset.com/arcview/tpi>. Acesso em 12/05/2008.

JOHNSON, M.G. The role of soil management in sequestering soil carbon. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Eds). **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC, 1995. p. 351-363. (Advances in soil science).

KELLY, R.H.; PARTON, W.J.; CROCKER, G.J.; GRACE, P.R.; KLÍR, J.; KÖRSCHENS, M.; POULTON, P.R.; RICHTER, D.D. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the Century model. **Geoderma**, Amsterdam, v.81, p.75-90, 1997.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ – enrichment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.43, p.81-108, 1997.

LAL, R. Potential of desertification control to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. **Climatic Change**, Springer, v.51, p.35-72, 2001.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, 2004. 1231-22.

LEAL, M.A.A. **Proposta de modelo de simulação no estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo**. Seropédica: UFRRJ, 1996. 111f. Dissertação (Mestrado – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Seropédica, 1996.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; FERNANDES FILHO, E. I.; NEVES, J. C. L. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plow systems using the Century model. **Geoderma**, Amsterdam, v.120, p.283-295, 2004a.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A. Simulação pelo modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.347-358, 2004b.

LEMONS, R.C.; ABRÃO, P.U.R.; AZOLIM, M.A. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. Primeira etapa: Planalto Riograndense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.2, p.71-209, 1967.

LOPES, F. **Utilização do modelo Century para avaliar a dinâmica do carbono do solo em uma pequena bacia hidrográfica rural**. 2006. 143 f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

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, 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. 133f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M. Carbono e nitrogênio adicionados e sua relação com o rendimento do milho e estoques destes elementos no solo em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.175-187, 2004.

MARQUES, M.O. **Ijuí (RS): uma cultura diversificada**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2002. 104p. (Coleção Museu Antropológico Diretor Pestana).

McKEOWN, R.; OJIMA, D.S.; KITTEL, T.G.F.; SCHIMEL, D.S.; PARTON, W.J.; FISHER, H.; PAINTER, T. Ecosystem modeling of spatially explicit land surface changes for climate and global change analysis. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE/WORKSHOP ON INTEGRATING GIS AND ENVIRONMENTAL MODELING, 3., Santa Fé, New Mexico, 1996. **Proceedings**. Santa Fé, [1996]. p.340-357.

MELLO, N. A. **Efeito do sistema de manejo nos atributos do solo, movimentação de sedimentos e exportação de carbono orgânico numa microbacia rural sob cultura de fumo**. 2007. 248f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

METHERELL, A.K.; HARVING, L.A.; COLE, C.V.; PARTON, W.J. **Century: soil organic matter model environment. technical documentation agrossystem version 4.0**. Fort Collins: USDA-ARS, 1994. 123p. (Great Plains System Research Unit. Technical Report, 4).

MIELNICZUK, J. Manejo do solo no Rio Grande do Sul: Uma síntese histórica. **Revista da Agronomia**, Porto Alegre, v. 12, p.11-22, 1999.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.3, p.209-241, 2003.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. atual. ampl. Viçosa: Editora UFV, 2005. 320p.

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)

NORGAARD, A. **Spatial modeling of soil organic carbon by linking Century and GIS**. 170f. Thesis (Master) - University of Copenhagen, Copenhagen, 2004.

OLIVEIRA, E. S. **Uso do modelo Century no estudo da dinâmica do nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul**. 2005. 114f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ORTIZ, M.J.; FORMAGGIO, A.R.; EIPHANIO, J.C.N. Classification of croplands through integration of remote sensing, GIS, and historical database. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.18, p.95-105, 1997.

PARFITT, R.L.; THENG, B.K.G.; WHITTON, J.S.; SHEPHERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, Amsterdam, v.75, p.1-12, 1997.

PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.1173-1179, 1987.

PARTON, W.J.; WOOMER, P.L.; MARTIN, A. Modelling soil organic matter dynamics and plant productivity in tropical ecosystems. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J. (Eds). **The biological management of tropical soil fertility**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994, p.171-188.

PAUSTIAN, K.; PARTON, W.J.; PERSSON, J. Modelling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.476-488, 1992.

PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOT, E.T.; HUNT, H.W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, Collins, v.48, p.147-163, 2000.

PENNOCK, D.J.; FRICK, A.H. The role of field studies in landscape-scale applications of process models: an example of soil redistribution and soil organic carbon modeling using Century. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.58, p.183-191, 2001.

POST, W.M.; KNON, K.C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. **Global Change Biology**, Urbana, n.3, v.6, p.317-327, 2000.

RÜCKERT, A. **Metamorfoses do território: a agricultura de trigo/soja no Planalto Médio Rio-grandense 1930/1990**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2003. 223p.

SCHILLING, P.R. **Crise econômica do Rio Grande do Sul: I – A crise agropecuária**. Porto Alegre: Difusão de Cultura Técnica, 1961. 175p.

SCHNEIDER, P.; GIASSON, E; KLAMT, E. **Classificação da aptidão agrícola das terras**. Guaíba: Agrolivros, 2007. 72p

SCHOLES, M.C.; POLSON, D.; TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.25-47, 1997.

SCP/DEPLAN. **Processo de ocupação do território gaúcho**. Porto Alegre, 2004.

SIEKIERSKI, M.; LAZZAROTTO, D. **Povoado Santana conta sua história**. Ijuí: UNIJUÍ Ed., 1987. 87p. (Coleção Centenário de Ijuí, 4).

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.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A. de O.; CERETTA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Gênese, 2000. 174p.

SILVEIRA, A. M.; VICTORIA, R. L.; BALLESTER, M. V.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. C. Simulação dos efeitos das mudanças de uso da terra na dinâmica do carbono do solo na bacia do rio Piracicaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n.2, v.35, p.389-399, 2000.

SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S.; SILVA, C.A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2.ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metropole, 2008, 654p.

SMITH, P.; POWLSON, D.S.; SMITH, J.U.; ELLIOT, E.T. Evaluation and comparison of soil organic matter models using long-term datasets. **Geoderma**, Amsterdam, v.81, p.1-255, 1997a.

SMITH, P.; SMITH, J.U.; POWLSON, D.S.; MCGILL, W.B.; ARAH, J.R.M.; CHERTOV, O.G.; COLEMAN, K.; FRANKO, U.; 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, 1997b.

TORNQUIST, C.G. **Simulação da dinâmica do carbono orgânico do solo em escala regional: aplicação do modelo Century e sistemas de informações geográficas**. 2007. 156 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.175-180, 1994.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VEZZANI, F.M.; CONCEIÇÃO, P.C.; MELO, N.A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e a qualidade do solo. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2.ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metropole, 2008. 654p.

WEST, T.O.; MARLAND, G. Net carbon flux from agricultural ecosystems: methodology for full carbon cycle analyses. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v.116, p.439-444, 2002.

WÜNSCHE, W.A.; DENARDIN, J.E.; MIELNICZUK, J. Projeto integrado de uso e conservação do solo – Um esforço conjunto para a conservação do solo no Rio Grande do Sul. **Trigo e Soja**, Porto Alegre, n.51, p.20-25, 1980.

9. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Correspondência entre a legenda original do levantamento e utilização dos solos do município de Ijuí e reclassificação conforme Embrapa, 2006 nas classes de solo que ocorrem no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Unidade de mapeamento	Legenda original (1970)	Legenda atualizada
Aluvião	Solos Aluviais - Planosol e Glei Pouco Húmico	Neossolo Flúvico
Charrua	Solos Litólicos Eutróficos textura média	Neossolo Regolítico eutrófico
Floresta	Brunizem Avermelhado textura argilosa	Chernossolo Argilúvico órtico
Santo Ângelo	Latosol Roxo distrófico textura argilosa	Latossolo Vermelho distroférico típico

APÊNDICE 2. Concentração de COS e densidade do solo nas amostras coletadas em 2007 em quatro áreas sob a classe dos Latossolos de topo, considerando o uso atual do solo e as camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm (quando disponível) de profundidade, no Distrito Santana, Ijuí-RS.

Área e uso atual do solo	n	Concentração de COS na camada			Densidade do solo na camada		
		0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
		----- g kg ⁻¹ -----			----- Mg m ⁻³ -----		
<u>Área 1</u>							
mata	2	37,6	18,2	12,8	0,92	1,00	1,09
lavoura 1901-1930	2	17,5	13,5	10,6	1,27	1,34	1,28
lavoura 1931-1956	1	19,6	14,6	12,6	1,37	1,34	1,26
lavoura 1976-1987	2	23,7	17,2	12,6	1,31	1,37	1,34
<u>Área 2</u>							
mata	1	34,4	20,7	15,6	0,76	0,85	0,87
lavoura 1931-1956*	1	18,1	14,6	-	1,24	1,46	-
lavoura 1965-1975*	1	18,0	14,3	-	1,35	1,37	-
lavoura 1976-1987*	1	21,0	16,8	-	1,18	1,21	-
<u>Área 3</u>							
mata	1	39,4	23,9	18,7	0,89	0,96	1,04
lavoura 1901-1930	1	24,0	14,0	12,0	1,33	1,30	1,26
lavoura 1931-1956	1	23,5	16,4	14,0	1,34	1,40	1,31
lavoura 1965-1975	1	22,4	15,3	13,9	1,35	1,34	1,31
lavoura 1976-1987	1	25,7	18,3	14,1	1,32	1,38	1,38
<u>Área 4</u>							
mata	2	34,5	20,6	16,3	0,74	0,79	0,87
lavoura 1931-1956	2	20,3	13,5	11,8	1,31	1,36	1,34

n Número de pontos amostrados em cada condição de uso nas quatro áreas, sendo coletadas duas repetições por ponto, com exceção das lavouras da Área 2 onde foi coletado uma repetição por ponto.

* Nas lavouras da Área 2 não foram coletadas amostras na camada de 20-30 cm de profundidade.

APÊNDICE 3. Alterações nos parâmetros originais (padrão) do arquivo FIX.100 do modelo Century 4.0 utilizadas nas simulações do presente estudo.

Parâmetro	Valor	
	padrão	utilizado
VARAT2(1,1)	18	25
VARAT3(1,1)	8	14
VLOSSG	0,01	0,03

APÊNDICE 4. Opções de florestas adicionadas em TREE.100 e os respectivos valores utilizados nos parâmetros PRDX(2) utilizados nas simulações do modelo Century 4.0.

Nome	Descrição	Parâmetro PRDX(2)
<u>Calibração e validação</u>		
AREA1	Floresta subtropical – Latossolo - Área 1	881
AREA2	Floresta subtropical – Latossolo - Área 2	732
AREA3	Floresta subtropical – Latossolo - Área 3	842
AREA4	Floresta subtropical – Latossolo - Área 4	680
<u>Generalização para o Distrito Santana</u>		
STLAT	Floresta subtropical – Latossolo - Santana	790
STCHE	Floresta subtropical – Chernossolo - Santana	833
STNER	Floresta subtropical – Neossolo Regolítico - Santana	1550
STNEF	Floresta subtropical – Neossolo Flúvico - Santana	900

APÊNDICE 5. Parâmetros do arquivo acessório CULT.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.

ANTIL – Preparo tração animal		CHISL – Escarificador e grade no preparo reduzido	
0. 25000	CULTRA (1)	0. 50000	CULTRA (1)
0. 25000	CULTRA (2)	0. 30000	CULTRA (2)
0. 75000	CULTRA (3)	0. 40000	CULTRA (3)
0. 25000	CULTRA (4)	0. 30000	CULTRA (4)
0. 40000	CULTRA (5)	0. 30000	CULTRA (5)
0. 40000	CULTRA (6)	0. 30000	CULTRA (6)
0. 90000	CULTRA (7)	0. 70000	CULTRA (7)
1. 30000	CLTEFF (1)	1. 10000	CLTEFF (1)
1. 30000	CLTEFF (2)	1. 10000	CLTEFF (2)
1. 30000	CLTEFF (3)	1. 10000	CLTEFF (3)
1. 30000	CLTEFF (4)	1. 10000	CLTEFF (4)
CTDSK – Cultivador e grade no período colônial		HERB – Herbicida	
0. 00000	CULTRA (1)	1. 00000	CULTRA (1)
0. 05000	CULTRA (2)	0. 00000	CULTRA (2)
0. 20000	CULTRA (3)	0. 00000	CULTRA (3)
0. 05000	CULTRA (4)	0. 00000	CULTRA (4)
0. 20000	CULTRA (5)	0. 00000	CULTRA (5)
0. 37000	CULTRA (6)	0. 00000	CULTRA (6)
0. 30000	CULTRA (7)	1. 00000	CULTRA (7)
1. 70000	CLTEFF (1)	1. 00000	CLTEFF (1)
1. 70000	CLTEFF (2)	1. 00000	CLTEFF (2)
1. 70000	CLTEFF (3)	1. 00000	CLTEFF (3)
1. 70000	CLTEFF (4)	1. 00000	CLTEFF (4)
A – Efeito adicional de cultivo		NTIL – Sem preparo (plântio direto)	
0. 00000	CULTRA (1)	0. 00000	CULTRA (1)
0. 00000	CULTRA (2)	0. 00000	CULTRA (2)
0. 00000	CULTRA (3)	0. 00000	CULTRA (3)
0. 00000	CULTRA (4)	0. 05000	CULTRA (4)
0. 00000	CULTRA (5)	0. 05000	CULTRA (5)
0. 00000	CULTRA (6)	0. 05000	CULTRA (6)
0. 00000	CULTRA (7)	0. 10000	CULTRA (7)
4. 00000	CLTEFF (1)	1. 10000	CLTEFF (1)
4. 00000	CLTEFF (2)	1. 10000	CLTEFF (2)
4. 00000	CLTEFF (3)	1. 10000	CLTEFF (3)
4. 00000	CLTEFF (4)	1. 10000	CLTEFF (4)
CVTIL – Aração no preparo convencional		ROLLR – Roló-faca	
0. 00000	CULTRA (1)	0. 00000	CULTRA (1)
0. 10000	CULTRA (2)	1. 00000	CULTRA (2)
0. 90000	CULTRA (3)	0. 00000	CULTRA (3)
0. 10000	CULTRA (4)	1. 00000	CULTRA (4)
0. 90000	CULTRA (5)	0. 00000	CULTRA (5)
0. 90000	CULTRA (6)	0. 00000	CULTRA (6)
1. 00000	CULTRA (7)	0. 00000	CULTRA (7)
1. 80000	CLTEFF (1)	1. 00000	CLTEFF (1)
1. 80000	CLTEFF (2)	1. 00000	CLTEFF (2)
1. 80000	CLTEFF (3)	1. 00000	CLTEFF (3)
1. 80000	CLTEFF (4)	1. 00000	CLTEFF (4)
OTDSK – Grade no preparo convencional			
0. 00000	CULTRA (1)		
0. 05000	CULTRA (2)		
0. 20000	CULTRA (3)		
0. 40000	CULTRA (4)		
0. 60000	CULTRA (5)		
0. 60000	CULTRA (6)		
0. 44000	CULTRA (7)		
1. 40000	CLTEFF (1)		
1. 40000	CLTEFF (2)		
1. 40000	CLTEFF (3)		
1. 40000	CLTEFF (4)		

Nota: Parâmetros em negrito têm seu valor alterado em relação ao padrão do modelo.

APÊNDICE 6. Parâmetros de culturas do arquivo acessório CROP.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.

<u>WEED</u> - pousio	1.00 C02I CE(1, 1, 2)	0.05000 RDR
150.00000 PRDX(1)	1.00 C02I CE(1, 1, 3)	2.0000 RTDTMP
27.00000 PPDF(1)	1.075 C02I CE(1, 2, 1)	0.000 CRPRTF(1)
45.00000 PPDF(2)	1.000 C02I CE(1, 2, 2)	0.000 CRPRTF(2)
1.00000 PPDF(3)	1.000 C02I CE(1, 2, 3)	0.000 CRPRTF(3)
3.00000 PPDF(4)	1.000 C02I RS(1)	0.000 SNFXMX(1)
1.00000 B I O F L G		-15.0 DEL13C
1800.00 B I O K 5	<u>C1</u> - M i l h o b a i x o	1.000 C02I PR(1)
0.20000 P L T M R F	potenci al	0.770 C02I TR(1)
100.0000 F U L C A N	de	1.000 C02I CE(1, 1, 1)
0.30000 F R T C (1)	rendi mento	1.000 C02I CE(1, 1, 2)
0.30000 F R T C (2)	200.000 PRDX(1)	1.000 C02I CE(1, 1, 3)
1.00000 F R T C (3)	30.0000 PPDF(1)	1.000 C02I CE(1, 2, 1)
400.0000 B I O M A X	45.00000 PPDF(2)	1.000 C02I CE(1, 2, 2)
40.00000 P R A M N (1, 1)	1.00000 PPDF(3)	1.000 C02I CE(1, 2, 3)
390.000 P R A M N (2, 1)	2.50000 PPDF(4)	1.000 C02I RS(1)
340.000 P R A M N (3, 1)	0.00000 B I O F L G	
90.0000 P R A M N (1, 2)	1800.000 B I O K 5	<u>C4</u> - M i l h o a l t o
390.000 P R A M N (2, 2)	0.50000 P L T M R F	potenci al
340.000 P R A M N (3, 2)	150.0000 F U L C A N	de
30.0000 P R A M X (1, 1)	0.50000 F R T C (1)	rendi mento
440.000 P R A M X (2, 1)	0.10000 F R T C (2)	500.000 PRDX(1)
440.000 P R A M X (3, 1)	3.00000 F R T C (3)	30.0000 PPDF(1)
95.0000 P R A M X (1, 2)	700.0000 B I O M A X	45.0000 PPDF(2)
440.000 P R A M X (2, 2)	40.00000 P R A M N (1, 1)	1.00000 PPDF(3)
440.000 P R A M X (3, 2)	150.0000 P R A M N (2, 1)	2.50000 PPDF(4)
50.0000 P R B M N (1, 1)	190.0000 P R A M N (3, 1)	0.00000 B I O F L G
390.000 P R B M N (2, 1)	62.50000 P R A M N (1, 2)	1800.00 B I O K 5
340.000 P R B M N (3, 1)	150.0000 P R A M N (2, 2)	0.20000 P L T M R F
0.00000 P R B M N (1, 2)	150.0000 P R A M N (3, 2)	150.0000 F U L C A N
0.00000 P R B M N (2, 2)	40.00000 P R A M X (1, 1)	0.50000 F R T C (1)
0.00000 P R B M N (3, 2)	230.0000 P R A M X (2, 1)	0.15000 F R T C (2)
55.0000 P R B M X (1, 1)	230.0000 P R A M X (3, 1)	3.00000 F R T C (3)
420.000 P R B M X (2, 1)	125.0000 P R A M X (1, 2)	700.0000 B I O M A X
0.00000 P R B M X (3, 1)	230.0000 P R A M X (2, 2)	40.00000 P R A M N (1, 1)
0.00000 P R B M X (1, 2)	230.0000 P R A M X (3, 2)	150.0000 P R A M N (2, 1)
0.00000 P R B M X (2, 2)	45.00000 P R B M N (1, 1)	190.0000 P R A M N (3, 1)
0.00000 P R B M X (3, 2)	390.0000 P R B M N (2, 1)	62.50000 P R A M N (1, 2)
0.10000 F L I G N I (1, 1)	340.0000 P R B M N (3, 1)	150.0000 P R A M N (2, 2)
0.00000 F L I G N I (2, 1)	0.00000 P R B M N (1, 2)	150.0000 P R A M N (3, 2)
0.06000 F L I G N I (1, 2)	0.00000 P R B M N (2, 2)	40.00000 P R A M X (1, 1)
0.00000 F L I G N I (2, 2)	0.00000 P R B M N (3, 2)	230.0000 P R A M X (2, 1)
0.05000 H I M A X	60.00000 P R B M X (1, 1)	230.0000 P R A M X (3, 1)
0.00000 H I W S F	420.0000 P R B M X (2, 1)	125.0000 P R A M X (1, 2)
3.00000 H I M O N (1)	0.00000 P R B M X (3, 1)	230.0000 P R A M X (2, 2)
1.00000 H I M O N (2)	0.00000 P R B M X (1, 2)	230.0000 P R A M X (3, 2)
0.00000 E F R G R N (1)	0.00000 P R B M X (2, 2)	45.00000 P R B M N (1, 1)
0.00000 E F R G R N (2)	0.00000 P R B M X (3, 2)	390.0000 P R B M N (2, 1)
0.00000 E F R G R N (3)	0.12000 F L I G N I (1, 1)	340.0000 P R B M N (3, 1)
0.15000 V L O S S P	0.00000 F L I G N I (2, 1)	0.00000 P R B M N (1, 2)
0.20000 F S D E T H (1)	0.06000 F L I G N I (1, 2)	0.00000 P R B M N (2, 2)
0.95000 F S D E T H (2)	0.00000 F L I G N I (2, 2)	0.00000 P R B M N (3, 2)
0.20000 F S D E T H (3)	0.40000 H I M A X	60.00000 P R B M X (1, 1)
150.000 F S D E T H (4)	0.30000 H I W S F	420.0000 P R B M X (2, 1)
0.18000 F A L L R T	2.00000 H I M O N (1)	0.00000 P R B M X (3, 1)
0.05000 R D R	1.00000 H I M O N (2)	0.00000 P R B M X (1, 2)
2.00000 R T D T M P	0.75000 E F R G R N (1)	0.00000 P R B M X (2, 2)
0.00000 C R P R T F (1)	0.60000 E F R G R N (2)	0.00000 P R B M X (3, 2)
0.00000 C R P R T F (2)	0.60000 E F R G R N (3)	0.12000 F L I G N I (1, 1)
0.00000 C R P R T F (3)	0.04000 V L O S S P	0.00000 F L I G N I (2, 1)
0.00000 S N F X M X (1)	0.00000 F S D E T H (1)	0.06000 F L I G N I (1, 2)
-18.000 D E L 1 3 C	0.00000 F S D E T H (2)	0.00000 F L I G N I (2, 2)
1.07500 C 0 2 I P R (1)	0.00000 F S D E T H (3)	0.55000 H I M A X
0.77000 C 0 2 I T R (1)	500.000 F S D E T H (4)	0.50000 H I W S F
1.00 C 0 2 I C E (1, 1, 1)	0.10000 F A L L R T	conti nua...

2. 00000 HI MON(1)
 1. 00000 HI MON(2)
 0. 75000 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. 00000 SNFXMX(1)
 -15. 0000 DEL13C
 1. 00000 CO2I PR(1)
 0. 77000 CO2I TR(1)
 1. 000 CO2I CE(1, 1, 1)
 1. 000 CO2I CE(1, 1, 2)
 1. 000 CO2I CE(1, 1, 3)
 1. 000 CO2I CE(1, 2, 1)
 1. 000 CO2I CE(1, 2, 2)
 1. 000 CO2I CE(1, 2, 3)
 1. 000 CO2I RS(1)

W0 – Trigo bai xo
 potenci al
 de
 rendi mento

100. 0000 PRDX(1)
 18. 00000 PPDF(1)
 35. 00000 PPDF(2)
 0. 70000 PPDF(3)
 5. 00000 PPDF(4)
 0. 00000 BI OFLG
 1800. 000 BI OK5
 0. 40000 PLTMRF
 250. 0000 FULCAN
 0. 50000 FRTC(1)
 0. 25000 FRTC(2)
 2. 00000 FRTC(3)
 600. 0000 BI OMAX
 40. 00000 PRAMN(1, 1)
 100. 0000 PRAMN(2, 1)
 100. 0000 PRAMN(3, 1)
 80. 00000 PRAMN(1, 2)
 160. 0000 PRAMN(2, 2)
 200. 0000 PRAMN(3, 2)
 40. 00000 PRAMX(1, 1)
 200. 0000 PRAMX(2, 1)
 230. 0000 PRAMX(3, 1)
 160. 0000 PRAMX(1, 2)
 260. 0000 PRAMX(2, 2)
 270. 0000 PRAMX(3, 2)
 45. 00000 PRBMN(1, 1)
 390. 0000 PRBMN(2, 1)
 340. 0000 PRBMN(3, 1)
 0. 00000 PRBMN(1, 2)
 0. 00000 PRBMN(2, 2)
 0. 00000 PRBMN(3, 2)
 60. 0000 PRBMX(1, 1)
 420. 000 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 FLI GNI (1, 1)
 0. 00000 FLI GNI (2, 1)
 0. 06000 FLI GNI (1, 2)
 0. 00000 FLI GNI (2, 2)
 0. 35000 HI MAX
 0. 40000 HI WSF
 3. 00000 HI MON(1)
 1. 00000 HI MON(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. 000 FSDETH(4)
 0. 12000 FALLRT
 0. 05000 RDR
 2. 00000 RTDTMP
 0. 00000 CRPRTF(1)
 0. 00000 CRPRTF(2)
 0. 00000 CRPRTF(3)
 0. 00000 SNFXMX(1)
 -27. 0000 DEL13C
 1. 30000 CO2I PR(1)
 0. 77000 CO2I TR(1)
 1. 000 CO2I CE(1, 1, 1)
 1. 000 CO2I CE(1, 1, 2)
 1. 000 CO2I CE(1, 1, 3)
 1. 300 CO2I CE(1, 2, 1)
 1. 000 CO2I CE(1, 2, 2)
 1. 000 CO2I CE(1, 2, 3)
 1. 000CO2I RS(1)

W1 – Trigo médi o
 potenci al
 de rend.
 HI =0, 39

115. 000 PRDX(1)
 18. 0000 PPDF(1)
 35. 0000 PPDF(2)
 0. 70000 PPDF(3)
 5. 00000 PPDF(4)
 0. 00000 BI OFLG
 1800. 000 BI OK5
 0. 40000 PLTMRF
 250. 000 FULCAN
 0. 55000 FRTC(1)
 0. 35000 FRTC(2)
 2. 00000 FRTC(3)
 600. 000 BI OMAX
 20. 0000 PRAMN(1, 1)
 100. 000 PRAMN(2, 1)
 100. 000 PRAMN(3, 1)
 80. 0000 PRAMN(1, 2)
 160. 000 PRAMN(2, 2)
 200. 000 PRAMN(3, 2)
 40. 0000 PRAMX(1, 1)
 200. 000 PRAMX(2, 1)
 230. 000 PRAMX(3, 1)
 160. 000 PRAMX(1, 2)
 260. 000 PRAMX(2, 2)
 270. 000 PRAMX(3, 2)
 45. 000 PRBMN(1, 1)
 390. 000 PRBMN(2, 1)
 340. 000 PRBMN(3, 1)
 0. 00000 PRBMN(1, 2)
 0. 00000 PRBMN(2, 2)
 0. 00000 PRBMN(3, 2)
 60. 0000 PRBMX(1, 1)

420. 000 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 FLI GNI (1, 1)
 0. 00000 FLI GNI (2, 1)
 0. 06000 FLI GNI (1, 2)
 0. 00000 FLI GNI (2, 2)
 0. 39000 HI MAX
 0. 90000 HI WSF
 4. 00000 HI MON(1)
 0. 00000 HI MON(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. 000 FSDETH(4)
 0. 12000 FALLRT
 0. 05000 RDR
 2. 00000 RTDTMP
 0. 00000 CRPRTF(1)
 0. 00000 CRPRTF(2)
 0. 00000 CRPRTF(3)
 0. 00000 SNFXMX(1)
 -27. 0000 DEL13C
 1. 30000 CO2I PR(1)
 0. 77000 CO2I TR(1)
 1. 00 CO2I CE(1, 1, 1)
 1. 00 CO2I CE(1, 1, 2)
 1. 00 CO2I CE(1, 1, 3)
 1. 30 CO2I CE(1, 2, 1)
 1. 00 CO2I CE(1, 2, 2)
 1. 00 CO2I CE(1, 2, 3)
 1. 00 CO2I RS(1)

W2 – Trigo al to
 potenci al
 de rend.
 HI =0, 45

110. 000 PRDX(1)
 18. 0000 PPDF(1)
 35. 0000 PPDF(2)
 0. 70000 PPDF(3)
 5. 00000 PPDF(4)
 0. 00000 BI OFLG
 1800. 000 BI OK5
 0. 40000 PLTMRF
 250. 000 FULCAN
 0. 55000 FRTC(1)
 0. 25000 FRTC(2)
 2. 00000 FRTC(3)
 600. 000 BI OMAX
 20. 0000 PRAMN(1, 1)
 100. 000 PRAMN(2, 1)
 100. 000 PRAMN(3, 1)
 80. 0000 PRAMN(1, 2)
 160. 000 PRAMN(2, 2)
 200. 000 PRAMN(3, 2)
 40. 0000 PRAMX(1, 1)
 200. 000 PRAMX(2, 1)
 230. 000 PRAMX(3, 1)
 160. 000 PRAMX(1, 2)
 260. 000 PRAMX(2, 2)
 270. 000 PRAMX(3, 2)
 45. 0000 PRBMN(1, 1)
 390. 000 PRBMN(2, 1)
 340. 000 PRBMN(3, 1)
 0. 00000 PRBMN(1, 2)
 0. 00000 PRBMN(2, 2)
 0. 00000 PRBMN(3, 2)
 60. 0000 PRBMX(1, 1)
 420. 000 PRBMX(2, 1)
 0. 00000 PRBMX(3, 1)
 0. 00000 PRBMX(1, 2)
 0. 00000 PRBMX(2, 2)
 0. 00000 PRBMX(3, 2)

conti nua...

390.000 PRBMN(2, 1)
 340.000 PRBMN(3, 1)
 0.00000 PRBMN(1, 2)
 0.00000 PRBMN(2, 2)
 0.00000 PRBMN(3, 2)
 60.0000 PRBMX(1, 1)
 420.000 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 FLI GNI (1, 1)
 0.00000 FLI GNI (2, 1)
 0.07000 FLI GNI (1, 2)
 0.00000 FLI GNI (2, 2)
 0.45000 HI MAX
 0.70000 HI WSF
 1.00000 HI MON(1)
 1.00000 HI MON(2)
 0.65000 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)
 200.000 FSDETH(4)
 0.12000 FALLRT
 0.05000 RDR
 2.00000 RTDTMP
 0.00000 CRPRTF(1)
 0.00000 CRPRTF(2)
 0.00000 CRPRTF(3)
 0.00000 SNFXMX(1)
 -27.000 DEL13C
 1.30000 CO2I PR(1)
 0.77000 CO2I TR(1)
 1.000 CO2I CE(1, 1, 1)
 1.000 CO2I CE(1, 1, 2)
 1.000 CO2I CE(1, 1, 3)
 1.300 CO2I CE(1, 2, 1)
 1.000 CO2I CE(1, 2, 2)
 1.000 CO2I CE(1, 2, 3)
 1.000 CO2I RS(1)

W3 – Tri go al to
 potenci al
 de
 rendi mento

215.000 PRDX(1)
 18.0000 PPDF(1)
 35.0000 PPDF(2)
 0.70000 PPDF(3)
 5.00000 PPDF(4)
 0.00000 BI OFLG
 1800.000 BI OK5
 0.40000 PLTMRF
 150.000 FULCAN
 0.60000 FRTC(1)
 0.10000 FRTC(2)
 3.00000 FRTC(3)
 600.000 BI OMAX
 20.000 PRAMN(1, 1)
 100.00 PRAMN(2, 1)
 100.00 PRAMN(3, 1)
 80.000 PRAMN(1, 2)
 160.00 PRAMN(2, 2)
 200.00 PRAMN(3, 2)
 40.000 PRAMX(1, 1)
 200.00 PRAMX(2, 1)

230.00 PRAMX(3, 1)
 160.00 PRAMX(1, 2)
 260.00 PRAMX(2, 2)
 270.00 PRAMX(3, 2)
 45.000 PRBMN(1, 1)
 390.00 PRBMN(2, 1)
 340.00 PRBMN(3, 1)
 0.0000 PRBMN(1, 2)
 0.0000 PRBMN(2, 2)
 0.0000 PRBMN(3, 2)
 60.000 PRBMX(1, 1)
 420.00 PRBMX(2, 1)
 0.0000 PRBMX(3, 1)
 0.0000 PRBMX(1, 2)
 0.0000 PRBMX(2, 2)
 0.0000 PRBMX(3, 2)
 0.1500 FLI GNI (1, 1)
 0.0000 FLI GNI (2, 1)
 0.0600 FLI GNI (1, 2)
 0.0000 FLI GNI (2, 2)
 0.4500 HI MAX
 0.4200 HI WSF
 1.0000 HI MON(1)
 1.0000 HI MON(2)
 0.7500 EFRGRN(1)
 0.6000 EFRGRN(2)
 0.6000 EFRGRN(3)
 0.0400 VLOSSP
 0.0000 FSDETH(1)
 0.0000 FSDETH(2)
 0.0000 FSDETH(3)
 200.00 FSDETH(4)
 0.1200 FALLRT
 0.0500 RDR
 2.0000 RTDTMP
 0.0000 CRPRTF(1)
 0.0000 CRPRTF(2)
 0.0000 CRPRTF(3)
 0.0000 SNFXMX(1)
 -27.000 DEL13C
 1.3000 CO2I PR(1)
 0.7700 CO2I TR(1)
 1.000 CO2I CE(1, 1, 1)
 1.000 CO2I CE(1, 1, 2)
 1.000 CO2I CE(1, 1, 3)
 1.300 CO2I CE(1, 2, 1)
 1.000 CO2I CE(1, 2, 2)
 1.000 CO2I CE(1, 2, 3)
 1.000 CO2I RS(1)

SYBN1 – Soj a
 bai xo potenci al
 de rend. HI =0, 40

130.000 PRDX(1)
 27.0000 PPDF(1)
 40.0000 PPDF(2)
 1.00000 PPDF(3)
 2.50000 PPDF(4)
 0.00000 BI OFLG
 1800.00 BI OK5
 0.50000 PLTMRF
 150.000 FULCAN
 0.60000 FRTC(1)
 0.10000 FRTC(2)
 3.00000 FRTC(3)
 800.000 BI OMAX
 10.000 PRAMN(1, 1)
 150.00 PRAMN(2, 1)
 190.00 PRAMN(3, 1)

40.000 PRAMN(1, 2)
 150.00 PRAMN(2, 2)
 150.00 PRAMN(3, 2)
 15.000 PRAMX(1, 1)
 230.00 PRAMX(2, 1)
 230.00 PRAMX(3, 1)
 45.000 PRAMX(1, 2)
 230.00 PRAMX(2, 2)
 230.00 PRAMX(3, 2)
 24.000 PRBMN(1, 1)
 390.00 PRBMN(2, 1)
 340.00 PRBMN(3, 1)
 0.0000 PRBMN(1, 2)
 0.0000 PRBMN(2, 2)
 0.0000 PRBMN(3, 2)
 28.000 PRBMX(1, 1)
 420.00 PRBMX(2, 1)
 0.0000 PRBMX(3, 1)
 0.0000 PRBMX(1, 2)
 0.0000 PRBMX(2, 2)
 0.0000 PRBMX(3, 2)
 28.000 PRBMX(1, 1)
 420.00 PRBMX(2, 1)
 0.0000 PRBMX(3, 1)
 0.0000 PRBMX(1, 2)
 0.0000 PRBMX(2, 2)
 0.0000 PRBMX(3, 2)
 0.1200 FLI GNI (1, 1)
 0.0000 FLI GNI (2, 1)
 0.0600 FLI GNI (1, 2)
 0.0000 FLI GNI (2, 2)
 0.4000 HI MAX
 0.5000 HI WSF
 2.0000 HI MON(1)
 1.0000 HI MON(2)
 0.6700 EFRGRN(1)
 0.6000 EFRGRN(2)
 0.6000 EFRGRN(3)
 0.0400 VLOSSP
 0.0000 FSDETH(1)
 0.0000 FSDETH(2)
 0.0000 FSDETH(3)
 500.00 FSDETH(4)
 0.1000 FALLRT
 0.0500 RDR
 2.0000 RTDTMP
 0.0000 CRPRTF(1)
 0.0000 CRPRTF(2)
 0.0000 CRPRTF(3)
 0.0300 SNFXMX(1)
 -27.000 DEL13C
 1.3000 CO2I PR(1)
 0.7700 CO2I TR(1)
 1.000 CO2I CE(1, 1, 1)
 1.000 CO2I CE(1, 1, 2)
 1.000 CO2I CE(1, 1, 3)
 1.300 CO2I CE(1, 2, 1)
 1.000 CO2I CE(1, 2, 2)
 1.000 CO2I CE(1, 2, 3)
 1.000 CO2I RS(1)

SYBN2 – Soj a

210.00 PRDX(1)
 27.000 PPDF(1)
 40.000 PPDF(2)
 1.0000 PPDF(3)
 2.5000 PPDF(4)
 0.0000 BI OFLG
 1800.000 BI OK5
 0.5000 PLTMRF
 150.000 FULCAN
 0.5000 FRTC(1)
 0.1000 FRTC(2)
 3.0000 FRTC(3)
 800.00 BI OMAX

conti nua...

10.000 PRAMN(1, 1)
 150.00 PRAMN(2, 1)
 190.00 PRAMN(3, 1)
 40.000 PRAMN(1, 2)
 150.00 PRAMN(2, 2)
 150.00 PRAMN(3, 2)
 15.000 PRAMX(1, 1)
 230.00 PRAMX(2, 1)
 230.00 PRAMX(3, 1)
 45.000 PRAMX(1, 2)
 230.00 PRAMX(2, 2)
 230.00 PRAMX(3, 2)
 24.000 PRBMN(1, 1)
 390.00 PRBMN(2, 1)
 340.00 PRBMN(3, 1)
 0.0000 PRBMN(1, 2)
 0.0000 PRBMN(2, 2)
 0.0000 PRBMN(3, 2)
 28.000 PRBMX(1, 1)
 420.00 PRBMX(2, 1)
 0.0000 PRBMX(3, 1)
 0.0000 PRBMX(1, 2)
 0.0000 PRBMX(2, 2)
 0.0000 PRBMX(3, 2)
 0.1200 FLI GNI (1, 1)
 0.0000 FLI GNI (2, 1)
 0.0600 FLI GNI (1, 2)
 0.0000 FLI GNI (2, 2)
 0.4000 HI MAX
 0.2000 HI WSF
 2.0000 HI MON(1)
 1.0000 HI MON(2)
 0.6700 EFRGRN(1)
 0.6000 EFRGRN(2)
 0.6000 EFRGRN(3)
 0.0400 VLOSSP
 0.0000 FSDETH(1)
 0.0000 FSDETH(2)
 0.0000 FSDETH(3)
 500.00 FSDETH(4)
 0.1000 FALLRT
 0.0500 RDR
 2.0000 RTDTMP
 0.0000 CRPRTF(1)
 0.0000 CRPRTF(2)
 0.0000 CRPRTF(3)
 0.0250 SNFXMX(1)
 -27.00 DEL13C
 1.3000 CO2I PR(1)
 0.7700 CO2I TR(1)
 1.00 CO2I CE(1, 1, 1)
 1.00 CO2I CE(1, 1, 2)
 1.00 CO2I CE(1, 1, 3)
 1.30 CO2I CE(1, 2, 1)
 1.00 CO2I CE(1, 2, 2)
 1.00 CO2I CE(1, 2, 3)
 1.00 CO2I RS(1)

**SYBN3 – Soja
 méi do potenci al
 de rend. HI =0,45**

175.000 PRDX(1)
 27.0000 PPDF(1)
 40.0000 PPDF(2)
 1.00000 PPDF(3)
 2.5000 PPDF(4)
 0.0000 BI OFLG
 1800.0 BI OK5
 0.5000 PLTMRF
 150.00 FULCAN

0.5000 FRTC(1)
 0.1000 FRTC(2)
 3.0000 FRTC(3)
 800.00 BI OMAX
 10.000 PRAMN(1, 1)
 150.00 PRAMN(2, 1)
 190.00 PRAMN(3, 1)
 40.000 PRAMN(1, 2)
 150.00 PRAMN(2, 2)
 150.00 PRAMN(3, 2)
 15.000 PRAMX(1, 1)
 230.00 PRAMX(2, 1)
 230.00 PRAMX(3, 1)
 45.000 PRAMX(1, 2)
 230.00 PRAMX(2, 2)
 230.00 PRAMX(3, 2)
 24.000 PRBMN(1, 1)
 390.00 PRBMN(2, 1)
 340.00 PRBMN(3, 1)
 0.0000 PRBMN(1, 2)
 0.0000 PRBMN(2, 2)
 0.0000 PRBMN(3, 2)
 28.000 PRBMX(1, 1)
 420.00 PRBMX(2, 1)
 0.0000 PRBMX(3, 1)
 0.0000 PRBMX(1, 2)
 0.0000 PRBMX(2, 2)
 0.0000 PRBMX(3, 2)
 0.1200 FLI GNI (1, 1)
 0.0000 FLI GNI (2, 1)
 0.0600 FLI GNI (1, 2)
 0.0000 FLI GNI (2, 2)
 0.4500 HI MAX
 0.7000 HI WSF
 2.0000 HI MON(1)
 1.0000 HI MON(2)
 0.6700 EFRGRN(1)
 0.6000 EFRGRN(2)
 0.6000 EFRGRN(3)
 0.0400 VLOSSP
 0.0000 FSDETH(1)
 0.0000 FSDETH(2)
 0.0000 FSDETH(3)
 500.00 FSDETH(4)
 0.1000 FALLRT
 0.0500 RDR
 2.0000 RTDTMP
 0.0000 CRPRTF(1)
 0.0000 CRPRTF(2)
 0.0000 CRPRTF(3)
 0.0400 SNFXMX(1)
 -27.00 DEL13C
 1.3000 CO2I PR(1)
 0.7700 CO2I TR(1)
 1.00 CO2I CE(1, 1, 1)
 -27.00 DEL13C
 1.3000 CO2I PR(1)
 0.7700 CO2I TR(1)
 1.00 CO2I CE(1, 1, 1)
 1.00 CO2I CE(1, 1, 2)
 1.00 CO2I CE(1, 1, 3)
 1.30 CO2I CE(1, 2, 1)
 1.00 CO2I CE(1, 2, 2)
 1.00 CO2I CE(1, 2, 3)
 1.00 CO2I RS(1)

**SYBN4 – Soja
 al to potenci al
 de rend. HI =0,50**

200.0000 PRDX(1)
 27.00000 PPDF(1)
 40.0000 PPDF(2)
 1.0000 PPDF(3)
 2.5000 PPDF(4)

0.0000 BI OFLG
 1800.000 BI OK5
 0.5000 PLTMRF
 150.00 FULCAN
 0.5000 FRTC(1)
 0.1000 FRTC(2)
 3.0000 FRTC(3)
 800.00 BI OMAX
 10.000 PRAMN(1, 1)
 150.00 PRAMN(2, 1)
 190.00 PRAMN(3, 1)
 40.000 PRAMN(1, 2)
 150.00 PRAMN(2, 2)
 150.00 PRAMN(3, 2)
 15.000 PRAMX(1, 1)
 230.00 PRAMX(2, 1)
 230.00 PRAMX(3, 1)
 45.000 PRAMX(1, 2)
 230.00 PRAMX(2, 2)
 230.00 PRAMX(3, 2)
 24.000 PRBMN(1, 1)
 390.00 PRBMN(2, 1)
 340.00 PRBMN(3, 1)
 0.0000 PRBMN(1, 2)
 0.0000 PRBMN(2, 2)
 0.0000 PRBMN(3, 2)
 28.000 PRBMX(1, 1)
 420.00 PRBMX(2, 1)
 0.0000 PRBMX(3, 1)
 0.0000 PRBMX(1, 2)
 0.0000 PRBMX(2, 2)
 0.0000 PRBMX(3, 2)
 0.1200 FLI GNI (1, 1)
 0.0000 FLI GNI (2, 1)
 0.0600 FLI GNI (1, 2)
 0.0000 FLI GNI (2, 2)
 0.4500 HI MAX
 0.7000 HI WSF
 2.0000 HI MON(1)
 1.0000 HI MON(2)
 0.6700 EFRGRN(1)
 0.6000 EFRGRN(2)
 0.6000 EFRGRN(3)
 0.0400 VLOSSP
 0.0000 FSDETH(1)
 0.0000 FSDETH(2)
 0.0000 FSDETH(3)
 500.00 FSDETH(4)
 0.1000 FALLRT
 0.0500 RDR
 2.0000 RTDTMP
 0.0000 CRPRTF(1)
 0.0000 CRPRTF(2)
 0.0000 CRPRTF(3)
 0.0150 SNFXMX(1)
 -27.00 DEL13C
 1.3000 CO2I PR(1)
 0.7700 CO2I TR(1)
 1.00 CO2I CE(1, 1, 1)
 1.00 CO2I CE(1, 1, 2)
 1.00 CO2I CE(1, 1, 3)
 1.30 CO2I CE(1, 2, 1)
 1.00 CO2I CE(1, 2, 2)
 1.00 CO2I CE(1, 2, 3)
 1.00 CO2I RS(1)

**OAT2 – Avei a
 preta**

175.00 PRDX(1)
 18.000 PPDF(1)
 conti nua...

35.000	PPDF(2)	340.00	PRBMN(3, 1)	200.00	FSDETH(4)
2.0000	PPDF(3)	0.0000	PRBMN(1, 2)	0.1000	FALLRT
4.0000	PPDF(4)	0.0000	PRBMN(2, 2)	0.0500	RDR
0.0000	BI OFLG	0.0000	PRBMN(3, 2)	2.0000	RTDTMP
1800.0	BI OK5	60.000	PRBMX(1, 1)	0.0000	CRPRTF(1)
0.4000	PLTMRF	420.00	PRBMX(2, 1)	0.0000	CRPRTF(2)
150.00	FULCAN	0.0000	PRBMX(3, 1)	0.0000	CRPRTF(3)
0.6500	FRTC(1)	0.0000	PRBMX(1, 2)	0.0000	SNFXMX(1)
0.4000	FRTC(2)	0.0000	PRBMX(2, 2)	-27.00	DEL13C
2.0000	FRTC(3)	0.0000	HI MAX	1.3000	CO2I PR(1)
50.000	BI OMAX	0.0000	HI WSF	0.7700	CO2I TR(1)
40.000	PRAMN(1, 1)	2.0000	HI MON(1)	1.00	CO2I CE(1, 1, 1)
100.00	PRAMN(2, 1)	1.0000	HI MON(2)	1.00	CO2I CE(1, 1, 2)
100.00	PRAMN(3, 1)	0.5000	EFRGRN(1)	1.00	CO2I CE(1, 1, 3)
80.000	PRAMN(1, 2)	0.6000	EFRGRN(2)	1.30	CO2I CE(1, 2, 1)
160.00	PRAMN(2, 2)	0.6000	EFRGRN(3)	1.00	CO2I CE(1, 2, 2)
200.00	PRAMN(3, 2)	0.0400	VLOSSP	1.00	CO2I CE(1, 2, 3)
40.000	PRAMX(1, 1)	0.0000	PRBMX(3, 2)	1.00	CO2I RS(1)
200.00	PRAMX(2, 1)	0.1200	FLI GNI (1, 1)		
230.00	PRAMX(3, 1)	0.0000	FLI GNI (2, 1)		
160.00	PRAMX(1, 2)	0.0800	FLI GNI (1, 2)		
260.00	PRAMX(2, 2)	0.0000	FLI GNI (2, 2)		
270.00	PRAMX(3, 2)	0.0000	FSDETH(1)		
45.000	PRBMN(1, 1)	0.0000	FSDETH(2)		
390.00	PRBMN(2, 1)	0.0000	FSDETH(3)		

Nota: PRDX(1) e HIMAX variam considerando a mesma espécie vegetal.

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

FERT N2.5 - Nitrogênio 2.5 gN m ⁻²	
2.50000	FERAMT(1)
0.00000	FERAMT(2)
0.00000	FERAMT(3)
0.00000	AUFERT
FERT N3 - Nitrogênio 3 gN m ⁻²	
3.00000	FERAMT(1)
0.00000	FERAMT(2)
0.00000	FERAMT(3)
0.00000	AUFERT
FERT N3.5 - Nitrogênio 3.5 gN m ⁻²	
3.50000	FERAMT(1)
0.00000	FERAMT(2)
0.00000	FERAMT(3)
0.00000	AUFERT
FERT N4 - Nitrogênio 4 gN m ⁻²	
4.00000	FERAMT(1)
0.00000	FERAMT(2)
0.00000	FERAMT(3)
0.00000	AUFERT
FERT N5 - Nitrogênio 5 gN m ⁻²	
5.00000	FERAMT(1)
0.00000	FERAMT(2)
0.00000	FERAMT(3)
0.00000	AUFERT
FERT N7.5 - Nitrogênio 7.5 gN m ⁻²	
7.50000	FERAMT(1)
0.00000	FERAMT(2)
0.00000	FERAMT(3)
0.00000	AUFERT

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

HARV G - Colheita de grão

0.00000	AGLREM
0.00000	BGLREM
1.00000	FLGHRV
0.00000	RMVSTR
0.20000	REMWSR
0.00000	HIBG

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

FIRE C - Fogo

0.60000	FLFREM
0.60000	FDREM(1)
0.20000	FDREM(2)
0.00000	FRET(1)
0.00000	FRET(2)
0.00000	FRET(3)
0.20000	FRTSH
10.0000	FNUE(1)
30.0000	FNUE(2)

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

TREM CLEAR – Corte das arvores e remoção de 90% da madeira da floresta

0	EVNTYP	0.30000	RETF(1,3)
0.90000	REMF(1)	0.30000	RETF(1,4)
0.90000	REMF(2)	0.30000	RETF(2,1)
0.90000	REMF(3)	0.30000	RETF(2,2)
0.90000	REMF(4)	0.30000	RETF(2,3)
0.70000	REMF(5)	0.30000	RETF(2,4)
0.60000	FD(1)	0.30000	RETF(3,1)
0.70000	FD(2)	0.30000	RETF(3,2)
0.30000	RETF(1,1)	0.30000	RETF(3,3)
0.30000	RETF(1,2)	0.30000	RETF(3,4)

TREM FIRE – Queima do remanescente da floresta

1	EVNTYP	1.00000	RETF(1,3)
0.99000	REMF(1)	1.00000	RETF(1,4)
0.99000	REMF(2)	1.00000	RETF(2,1)
0.99000	REMF(3)	0.30000	RETF(2,2)
0.99000	REMF(4)	1.00000	RETF(2,3)
0.99000	REMF(5)	1.00000	RETF(2,4)
1.00000	FD(1)	1.00000	RETF(3,1)
1.00000	FD(2)	0.30000	RETF(3,2)
1.00000	RETF(1,1)	0.30000	RETF(3,3)
0.30000	RETF(1,2)	0.30000	RETF(3,4)

APÊNDICE 11. Parâmetros do arquivo FIX.100 padrão do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações.

X	Fixed_values	0. 80	FWLOSS(2)	3. 0000	RAD1P(2, 1)
15. 00	ADEP(1)	0. 65	FWLOSS(3)	5. 0000	RAD1P(3, 1)
15. 00	ADEP(2)	0. 75	FWLOSS(4)	220. 00	RAD1P(1, 2)
30. 00	ADEP(3)	-0. 125	FXMCA	5. 0000	RAD1P(2, 2)
30. 00	ADEP(4)	0. 0050	FXMCB	100. 00	RAD1P(3, 2)
30. 00	ADEP(5)	0. 3500	FXMXS	220. 00	RAD1P(1, 3)
30. 00	ADEP(6)	7. 0000	FXNPB	5. 0000	RAD1P(2, 3)
0. 000	ADEP(7)	0. 0000	GREMB	100. 00	RAD1P(3, 3)
0. 000	ADEP(8)	2	I DEF	200. 00	RCESTR(1)
0. 000	ADEP(9)	0. 2000	LHZF(1)	500. 00	RCESTR(2)
0. 000	ADEP(10)	0. 4000	LHZF(2)	500. 00	RCESTR(3)
-40. 0	AGPPA	0. 8000	LHZF(3)	0. 0150	RI CTRL
7. 70	AGPPB	18. 000	MI NLCH	0. 8000	RI INT
1. 500	ANEREF(1)	0. 0000	NSNFI X	0. 3000	RSPLI G
3. 000	ANEREF(2)	4. 0000	NTSPM	-1. 000	SEED
0. 300	ANEREF(3)	0. 0300	OMLECH(1)	0. 8500	SPL(1)
5. 000	ANI MPT	0. 1200	OMLECH(2)	0. 0130	SPL(2)
0. 800	AWTL(1)	60. 000	OMLECH(3)	5000. 0	STRMAX(1)
0. 600	AWTL(2)	0. 6000	P1C02A(1)	5000. 0	STRMAX(2)
0. 600	AWTL(3)	0. 1700	P1C02A(2)	1. 0000	TEXEPP(1)
0. 400	AWTL(4)	0. 0000	P1C02B(1)	0. 7000	TEXEPP(2)
0. 200	AWTL(5)	0. 6800	P1C02B(2)	0. 0001	TEXEPP(3)
0. 200	AWTL(6)	0. 5500	P2C02	0. 00016	TEXEPP(4)
0. 000	AWTL(7)	0. 5500	P3C02	2. 0000	TEXEPP(5)
0. 000	AWTL(8)	100. 00	PABRES	1. 0000	TEXESP(1)
0. 000	AWTL(9)	16. 000	PCEMI C(1, 1)	0. 0040	TEXESP(3)
0. 000	AWTL(10)	200. 00	PCEMI C(1, 2)	0. 0000	TEFF(1)
100. 0	BGPPA	150. 00	PCEMI C(1, 3)	0. 1250	TEFF(2)
7. 000	BGPPB	10. 000	PCEMI C(2, 1)	0. 0700	TEFF(3)
350. 0	CO2PPM(1)	99. 000	PCEMI C(2, 2)	-8. 000	TMELT(1)
640. 0	CO2PPM(2)	50. 000	PCEMI C(2, 3)	4. 0000	TMELT(2)
1	CO2RMP	0. 0200	PCEMI C(3, 1)	14. 0	VARAT1(1, 1)
0. 000	DAMR(1, 1)	0. 0015	PCEMI C(3, 2)	3. 00	VARAT1(2, 1)
0. 000	DAMR(1, 2)	0. 0015	PCEMI C(3, 3)	2. 00	VARAT1(3, 1)
0. 010	DAMR(1, 3)	0. 2500	PEFTXA	150. 0	VARAT1(1, 2)
0. 020	DAMR(2, 1)	0. 7500	PEFTXB	30. 00	VARAT1(2, 2)
0. 020	DAMR(2, 2)	6. 0000	PHESP(1)	2. 000	VARAT1(3, 2)
0. 040	DAMR(2, 3)	0. 0008	PHESP(2)	200. 0	VARAT1(1, 3)
15. 00	DAMRMN(1)	7. 6000	PHESP(3)	50. 00	VARAT1(2, 3)
150. 0	DAMRMN(2)	0. 0150	PHESP(4)	2. 000	VARAT1(3, 3)
150. 0	DAMRMN(3)	3. 0000	PLI GST(1)	25. 00	VARAT2(1, 1)
3. 900	DEC1(1)	3. 0000	PLI GST(2)	12. 00	VARAT2(2, 1)
4. 900	DEC1(2)	0. 5500	PMCO2(1)	2. 000	VARAT2(3, 1)
14. 80	DEC2(1)	0. 5500	PMCO2(2)	400. 0	VARAT2(1, 2)
18. 50	DEC2(2)	0. 000	PMNSEC(1)	100. 0	VARAT2(2, 2)
6. 000	DEC3(1)	0. 000	PMNSEC(2)	2. 000	VARAT2(3, 2)
7. 300	DEC3(2)	2. 000	PMNSEC(3)	400. 0	VARAT2(1, 3)
0. 004	DEC4	0. 004	PMNTMP	100. 0	VARAT2(2, 3)
0. 200	DEC5	600. 0	PMXBI 0	2. 000	VARAT2(3, 3)
5. 000	DECK5	-0. 0035	PMXTMP	14. 00	VARAT3(1, 1)
-4. 000	DLI GDF	0. 0000	PPARMN(1)	6. 000	VARAT3(2, 1)
0. 9990	DRESP	0. 0001	PPARMN(2)	2. 000	VARAT3(3, 1)
0. 2000	EDEPTH	0. 0005	PPARMN(3)	200. 0	VARAT3(1, 2)
0. 4000	ELI TST	0. 0000	PPRPTS(1)	50. 00	VARAT3(2, 2)
2. 00	ENRI CH	1. 0000	PPRPTS(2)	2. 000	VARAT3(3, 2)
0. 90	FAVAI L(1)	0. 8000	PPRPTS(3)	200. 0	VARAT3(1, 3)
0. 50	FAVAI L(3)	0. 4500	PS1C02(1)	50. 00	VARAT3(2, 3)
0. 20	FAVAI L(4)	0. 5500	PS1C02(2)	3. 000	VARAT3(3, 3)
0. 40	FAVAI L(5)	0. 0030	PS1S3(1)	0. 050	VLOSSG
2. 00	FAVAI L(6)	0. 0320	PS1S3(2)	0. 030	VLOSSG
0. 20	FLEACH(1)	0. 0030	PS2S3(1)		
0. 70	FLEACH(2)	0. 0090	PS2S3(2)		
1. 00	FLEACH(3)	0. 0000	PSECMN(1)		
0. 00	FLEACH(4)	0. 0022	PSECMN(2)		
0. 10	FLEACH(5)	0. 2000	PSECMN(3)		
0. 80	FWLOSS(1)	0. 0000	PSECO C		
		12. 000	RAD1P(1, 1)		

Nota: Parâmetros em negrito têm seu valor modificado nas simulações em relação ao padrão do Century.

APÊNDICE 12. Variáveis locais do arquivo SITE.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações com base em dados de clima e solo da área em estudo.

***	Variáveis de clima -	1.00000	NELEM
	Ijuí - RS	-28.000	SITLAT
		-53.00000	SITLNG
15.50000	PRECI P(1)	0.51000	SAND
13.70000	PRECI P(2)	0.15700	SILT
12.20000	PRECI P(3)	0.33300	CLAY
14.50000	PRECI P(4)	1.23000	BULKD
13.00000	PRECI P(5)	6	NLAYER
14.30000	PRECI P(6)	4	NLAYPG
13.90000	PRECI P(7)	1.00000	DRAIN
12.10000	PRECI P(8)	0.30000	BASEF
16.30000	PRECI P(9)	0.60000	STORMF
17.70000	PRECI P(10)	0	SWFLAG
15.10000	PRECI P(11)	0.16000	AWILT(1)
13.90000	PRECI P(12)	0.16000	AWILT(2)
9.00000	PRCSTD(1)	0.16000	AWILT(3)
8.50000	PRCSTD(2)	0.16000	AWILT(4)
6.50000	PRCSTD(3)	0.16000	AWILT(5)
10.10000	PRCSTD(4)	0.16000	AWILT(6)
9.40000	PRCSTD(5)	0.00000	AWILT(7)
6.40000	PRCSTD(6)	0.00000	AWILT(8)
9.10000	PRCSTD(7)	0.00000	AWILT(9)
7.50000	PRCSTD(8)	0.00000	AWILT(10)
9.10000	PRCSTD(9)	0.31000	AFIEL(1)
11.00000	PRCSTD(10)	0.31000	AFIEL(2)
11.00000	PRCSTD(11)	0.31000	AFIEL(3)
9.70000	PRCSTD(12)	0.31000	AFIEL(4)
0.70000	PRCSKW(1)	0.31000	AFIEL(5)
0.90000	PRCSKW(2)	0.31000	AFIEL(6)
0.40000	PRCSKW(3)	0.00000	AFIEL(7)
0.90000	PRCSKW(4)	0.00000	AFIEL(8)
0.70000	PRCSKW(5)	0.00000	AFIEL(9)
0.10000	PRCSKW(6)	0.00000	AFIEL(10)
0.90000	PRCSKW(7)	5.90000	PH
0.30000	PRCSKW(8)	1.00000	PSLSRB
0.60000	PRCSKW(9)	100.000	SORPMX
1.20000	PRCSKW(10)	***	Variáveis de entrada
1.30000	PRCSKW(11)		externa de nutrientes
0.90000	PRCSKW(12)	0.70000	EPNFA(1)
17.70000	TMN2M(1)	0.00000	EPNFA(2)
17.30000	TMN2M(2)	0.30000	EPNFS(1)
16.00000	TMN2M(3)	0.00000	EPNFS(2)
13.10000	TMN2M(4)	0.00000	SATMOS(1)
10.50000	TMN2M(5)	0.00000	SATMOS(2)
8.40000	TMN2M(6)	0.00000	SIRRI
8.00000	TMN2M(7)	0.00000	***
9.10000	TMN2M(8)		Valores iniciais para
10.00000	TMN2M(9)		matéria orgânica
12.70000	TMN2M(10)	1.00000	SOM1CI(1,1)
14.50000	TMN2M(11)	0.00000	SOM1CI(1,2)
16.70000	TMN2M(12)	1.00000	SOM1CI(2,1)
30.40000	TMX2M(1)	0.00000	SOM1CI(2,2)
29.50000	TMX2M(2)	1.00000	SOM2CI(1)
28.00000	TMX2M(3)	0.00000	SOM2CI(2)
25.60000	TMX2M(4)	1.00000	SOM3CI(1)
22.70000	TMX2M(5)	0.00000	SOM3CI(2)
20.20000	TMX2M(6)	1.00000	RCES1(1,1)
19.70000	TMX2M(7)	1.00000	RCES1(1,2)
21.40000	TMX2M(8)	1.00000	RCES1(1,3)
22.40000	TMX2M(9)	1.00000	RCES1(2,1)
25.60000	TMX2M(10)	1.00000	RCES1(2,2)
28.20000	TMX2M(11)	1.00000	RCES1(2,3)
30.70000	TMX2M(12)	1.00000	RCES2(1)
***	Variáveis de controle e	1.00000	RCES2(2)
	local		Conti nua...
0.00000	I VAUTO		

1.00000	RCES2(3)	0.00000	MI NERL(4, 1)
1.00000	RCES3(1)	0.00000	MI NERL(5, 1)
1.00000	RCES3(2)	0.00000	MI NERL(6, 1)
1.00000	RCES3(3)	0.00000	MI NERL(7, 1)
1.00000	CLITTR(1, 1)	0.00000	MI NERL(8, 1)
0.00000	CLITTR(1, 2)	0.00000	MI NERL(9, 1)
1.00000	CLITTR(2, 1)	0.00000	MI NERL(10, 1)
0.00000	CLITTR(2, 2)	0.00000	MI NERL(1, 2)
1.00000	RCELIT(1, 1)	0.00000	MI NERL(2, 2)
1.00000	RCELIT(1, 2)	0.00000	MI NERL(3, 2)
1.00000	RCELIT(1, 3)	0.00000	MI NERL(4, 2)
1.00000	RCELIT(2, 1)	0.00000	MI NERL(5, 2)
1.00000	RCELIT(2, 2)	0.00000	MI NERL(6, 2)
1.00000	RCELIT(2, 3)	0.00000	MI NERL(7, 2)
1.00000	AGLCIS(1)	0.00000	MI NERL(8, 2)
0.00000	AGLCIS(2)	0.00000	MI NERL(9, 2)
1.00000	AGLIVE(1)	0.00000	MI NERL(10, 2)
1.00000	AGLIVE(2)	0.00000	MI NERL(1, 3)
1.00000	AGLIVE(3)	0.00000	MI NERL(2, 3)
1.00000	BGLCIS(1)	0.00000	MI NERL(3, 3)
0.00000	BGLCIS(2)	0.00000	MI NERL(4, 3)
1.00000	BGLIVE(1)	0.00000	MI NERL(5, 3)
1.00000	BGLIVE(2)	0.00000	MI NERL(6, 3)
1.00000	BGLIVE(3)	0.00000	MI NERL(7, 3)
1.00000	STDCIS(1)	0.00000	MI NERL(8, 3)
0.00000	STDCIS(2)	0.00000	MI NERL(9, 3)
1.00000	STDEDE(1)	0.00000	MI NERL(10, 3)
1.00000	STDEDE(2)	1.00000	PARENT(1)
1.00000	STDEDE(3)	1.00000	PARENT(2)
***	Variáveis para valores da	1.00000	PARENT(3)
	materia orgânica inicial	1.00000	SECNDY(1)
	floresta	1.00000	SECNDY(2)
1.00000	RLVCIS(1)	1.00000	SECNDY(3)
0.00000	RLVCIS(2)	0.00000	OCCLUD
0.00000	RLEAVE(1)	***	Variáveis para água
0.00000	RLEAVE(2)		inicial
0.00000	RLEAVE(3)	1.00000	RWCF(1)
0.00000	FBRCIS(1)	1.00000	RWCF(2)
0.00000	FBRCIS(2)	1.00000	RWCF(3)
0.00000	FBRCHE(1)	1.00000	RWCF(4)
0.00000	FBRCHE(2)	1.00000	RWCF(5)
0.00000	FBRCHE(3)	1.00000	RWCF(6)
0.00000	RLWCIS(1)	0.00000	RWCF(7)
0.00000	RLWCIS(2)	0.00000	RWCF(8)
0.00000	RLWODE(1)	0.00000	RWCF(9)
0.00000	RLWODE(2)	0.00000	RWCF(10)
0.00000	RLWODE(3)	0.00000	SNLQ
0.00000	FRTCIS(1)	0.00000	SNOW
0.00000	FRTCIS(2)		
0.00000	FROOTE(1)		
0.00000	FROOTE(2)		
0.00000	FROOTE(3)		
0.00000	CRTCIS(1)		
0.00000	CRTCIS(2)		
0.00000	CROOTE(1)		
0.00000	CROOTE(2)		
0.00000	CROOTE(3)		
0.00000	WD1CIS(1)		
0.00000	WD1CIS(2)		
0.00000	WD2CIS(1)		
0.00000	WD2CIS(2)		
0.00000	WD3CIS(1)		
0.00000	WD3CIS(2)		
0.35000	W1LIG		
0.35000	W2LIG		
0.35000	W3LIG		
***	Variáveis para minerais		
	iniciais		
0.00000	MI NERL(1, 1)		
0.00000	MI NERL(2, 1)		
0.00000	MI NERL(3, 1)		

Nota: Parâmetros em negrito têm seu valor modificado nas simulações de acordo com a classe de solo a ser simulada.

APÊNDICE 13. Parâmetros do arquivo TREE.100 do modelo Century 4.0 utilizados nas simulações, referentes ao bioma “Floresta subtropical”.

0. 00000	DECID	0. 30000	FCFRAC(4, 1)
790. 00000	PRDX(2)	0. 10000	FCFRAC(5, 1)
600. 00000	PRDX(3)	0. 34000	FCFRAC(1, 2)
30. 00000	PPDF(1)	0. 25000	FCFRAC(2, 2)
45. 00000	PPDF(2)	0. 11000	FCFRAC(3, 2)
1. 00000	PPDF(3)	0. 22000	FCFRAC(4, 2)
3. 00000	PPDF(4)	0. 08000	FCFRAC(5, 2)
20. 00000	CERFOR(1, 1, 1)	0. 07000	LEAFDR(1)
700. 00000	CERFOR(1, 1, 2)	0. 08000	LEAFDR(2)
100. 00000	CERFOR(1, 1, 3)	0. 08000	LEAFDR(3)
35. 00000	CERFOR(1, 2, 1)	0. 08000	LEAFDR(4)
765. 00000	CERFOR(1, 2, 2)	0. 08000	LEAFDR(5)
129. 00000	CERFOR(1, 2, 3)	0. 08000	LEAFDR(6)
121. 00000	CERFOR(1, 3, 1)	0. 08000	LEAFDR(7)
1366. 00000	CERFOR(1, 3, 2)	0. 08000	LEAFDR(8)
92. 00000	CERFOR(1, 3, 3)	0. 08000	LEAFDR(9)
150. 00000	CERFOR(1, 4, 1)	0. 08000	LEAFDR(10)
2260. 00000	CERFOR(1, 4, 2)	0. 08000	LEAFDR(11)
183. 00000	CERFOR(1, 4, 3)	0. 08000	LEAFDR(12)
150. 00000	CERFOR(1, 5, 1)	0. 00900	BTOLAI
2478. 00000	CERFOR(1, 5, 2)	1. 00000	KLAI
175. 00000	CERFOR(1, 5, 3)	-0. 47000	LAI TOP
40. 00000	CERFOR(2, 1, 1)	12. 00000	MAXLAI
700. 00000	CERFOR(2, 1, 2)	1. 00000	MAXLDR
100. 00000	CERFOR(2, 1, 3)	0. 20000	FORRTF(1)
60. 00000	CERFOR(2, 2, 1)	0. 00000	FORRTF(2)
765. 00000	CERFOR(2, 2, 2)	0. 00000	FORRTF(3)
129. 00000	CERFOR(2, 2, 3)	1. 00000	SAPK
180. 00000	CERFOR(2, 3, 1)	0. 00000	SWOLD
1366. 00000	CERFOR(2, 3, 2)	0. 25000	WDLIG(1)
92. 00000	CERFOR(2, 3, 3)	0. 28000	WDLIG(2)
300. 00000	CERFOR(2, 4, 1)	0. 35000	WDLIG(3)
2260. 00000	CERFOR(2, 4, 2)	0. 35000	WDLIG(4)
183. 00000	CERFOR(2, 4, 3)	0. 35000	WDLIG(5)
300. 00000	CERFOR(2, 5, 1)	1. 00000	WOODDR(1)
2478. 00000	CERFOR(2, 5, 2)	0. 03000	WOODDR(2)
175. 00000	CERFOR(2, 5, 3)	0. 01500	WOODDR(3)
30. 00000	CERFOR(3, 1, 1)	0. 00200	WOODDR(4)
700. 00000	CERFOR(3, 1, 2)	0. 00400	WOODDR(5)
100. 00000	CERFOR(3, 1, 3)	0. 00100	SNFXMX(2)
50. 00000	CERFOR(3, 2, 1)	0. 00000	DEL13C
765. 00000	CERFOR(3, 2, 2)	1. 20000	C02I PR(2)
129. 00000	CERFOR(3, 2, 3)	0. 80000	C02I TR(2)
140. 00000	CERFOR(3, 3, 1)	1. 20000	C02I CE(2, 1, 1)
1366. 00000	CERFOR(3, 3, 2)	1. 00000	C02I CE(2, 1, 2)
92. 00000	CERFOR(3, 3, 3)	1. 00000	C02I CE(2, 1, 3)
155. 00000	CERFOR(3, 4, 1)	1. 00000	C02I CE(2, 2, 1)
2260. 00000	CERFOR(3, 4, 2)	1. 00000	C02I CE(2, 2, 2)
183. 00000	CERFOR(3, 4, 3)	1. 00000	C02I CE(2, 2, 3)
155. 00000	CERFOR(3, 5, 1)	1. 00000	C02I RS(2)
2478. 00000	CERFOR(3, 5, 2)	1. 00000	BASFC2
175. 00000	CERFOR(3, 5, 3)	400. 00000	BASFC2
1. 50000	DECW1	2400. 00000	SI TPOT
0. 64000	DECW2		
0. 60000	DECW3		
0. 25000	FCFRAC(1, 1)		
0. 25000	FCFRAC(2, 1)		
0. 10000	FCFRAC(3, 1)		

Nota: PRDX(2) e PRDX(3) têm seu valor modificado nas simulações de acordo com a classe de solo a ser simulada.

APÊNDICE 14. Organização do arquivo “*.SCH” utilizado pelo modelo Century 4.0, referentes a lavouras iniciadas em 1901 nos topos com o cenário “Atual” a partir de 1995.

```

0          starting year
3200      Last year
icsite.100 Site file name
0         Labeling type
0         Labeling year
-1        Microcosm
-1        CO2 Systems
3         Initial system
C1        Initial Crop
STLAT     Initial Tree
Year Month Option
1         Block #      Floresta Subtropical
3000     Last year
1         Repeats # years
0         Output starting year
1         Output Month
200.000  Output interval
M         Weather choice
01 01 TFST 01 TREE STLAT 12 TLST
-999 -999 X

2         Block #      Floresta Subtropical - Corte e Queima
3001     Last year
1         Repeats # years
3001     Output starting year
1         Output Month
0.08300  Output interval
M         Weather choice
01 01 TREE STLAT 07 TREM CLEAR 11 TREM FIRE
-999 -999 X

3         Block #      Agricultura Colonial Ijuí I (1x milho/trigo -
          2x milho/pousio)
3055     Last year
3         Repeats # years
3002     Output starting year
1         Output Month
1.00000  Output interval
S         Weather choice
01 01 HARV G 02 CROP WEED 02 FRST 05 EROD 0.08 06 LAST 07 CULT ANTIL
01 08 CROP C1 08 PLTM 08 FRST 10 EROD 0.08 12 LAST
02 01 HARV G 02 CROP WEED 02 FRST 03 LAST 04 EROD 0.08 04 CULT ANTIL
02 05 CULT CTDSK 05 PLTM 05 CROP WO 05 FRST 09 EROD 0.08 10 LAST
02 10 HARV G 11 CROP WEED 11 FRST
03 04 EROD 0.08 06 LAST 07 CULT ANTIL 08 PLTM 08 CROP C1 08 FRST
03 10 EROD 0.08 12 LAST
-999 -999 X

4         Block #      Agricultura Colonial Ijuí II (2x pousio/milho
          - 1x pousio/trigo/soja)
3070     Last year
3         Repeats # years
3056     Output starting year
1         Output Month
1.000    Output interval
S         Weather choice
01 01 HARV G 02 CROP WEED 02 FRST 04 EROD 0.150000 06 LAST
01 07 CULT ANTIL 08 PLTM 08 CROP C1 08 FRST 10 EROD 0.15 12 LAST
02 01 HARV G 02 CROP WEED 02 FRST 03 LAST 04 CULT ANTIL 04 EROD 0.15
02 05 CULT CTDSK 05 PLTM 05 CROP WO 05 FRST 09 EROD 0.15 10 LAST
02 10 HARV G 12 CROP SYBN1 12 PLTM 12 FRST
03 03 LAST 03 HARV G 04 FRST 04 CROP WEED 04 EROD 0.15 06 LAST
03 07 CULT ANTIL 08 CROP C1 08 PLTM 08 FRST 09 EROD 0.15
03 10 EROD 0.15 12 LAST
-999 -999 X

```

continua...

5 Block # Convenci onal (tri go-soj a)
 3086 Last year
 3 Repeats # years
 3071 Output starting year
 1 Output Month
 1.000 Output interval
 S Weather choice
 01 01 CULT A 03 LAST 03 HARV G 04 CULT CVTIL 04 EROD 0.3 05 PLTM
 01 05 CULT OTDSK 05 CROP W1 05 FRST 05 FERT N3 10 LAST 10 HARV G
 01 11 CULT CVTIL 11 FIRE C 11 EROD 0.3 12 PLTM 12 CROP SYBN2
 01 12 CULT OTDSK 12 FRST 12 CULT A 01 CULT A
 02 03 LAST 03 HARV G 04 EROD 0.3 04 CULT CVTIL 05 FERT N3 05 PLTM
 02 05 CULT OTDSK 05 CROP W1 05 FRST 10 HARV G 10 LAST 11 FIRE C
 02 11 CULT CVTIL 11 EROD 0.3 12 PLTM 12 FRST 12 CULT OTDSK 12 CULT A
 02 12 CROP SYBN2
 03 01 CULT A 03 HARV G 03 LAST 04 CULT CVTIL 04 EROD 0.3 05 CROP W1
 03 05 FRST 05 FERT N3 05 PLTM 05 CULT OTDSK 10 LAST 10 HARV G
 03 11 EROD 0.3 11 FIRE C 11 CULT CVTIL 12 CULT OTDSK 12 FRST
 03 12 CULT A 12 CROP SYBN2 12 PLTM
 -999 -999 X

6 Block # Preparo Reduzi do (tri go/soj a - avei a/soj a)
 3094 Last year
 2 Repeats # years
 3087 Output starting year
 1 Output Month
 1.000 Output interval
 S Weather choice
 01 03 HARV G 03 LAST 04 CULT CHI SL 05 PLTM 05 FERT N2.5 05 CROP W1
 01 07 FERT N4 10 EROD 0.2 10 HARV G 10 LAST 11 CULT CHI SL
 01 12 CROP SYBN3 12 PLTM 12 FRST
 02 03 LAST 03 HARV G 04 CULT CHI SL 05 CROP OAT1 06 PLTM 06 FRST
 02 07 FERT N4 09 CULT HERB 09 LAST 10 EROD 0.20 11 CULT CHI SL 12 FRST
 02 12 CROP SYBN3 12 PLTM
 -999 -999 X

7 Block # Pl atio Direto (tri go/soj a - avei a)
 3200 Last year
 2 Repeats # years
 3095 Output starting year
 1 Output Month
 1.000 Output interval
 S Weather choice
 01 03 HARV G 03 LAST 04 EROD 0.03 05 PLTM 05 CROP W2 05 FRST
 01 06 FERT N2.5 07 FERT N4 10 EROD 0.03 10 HARV G 10 LAST
 01 11 CROP SYBN4 11 PLTM 11 CULT NTIL 11 FRST
 02 03 LAST 03 HARV G 05 CROP OAT2 05 PLTM 05 EROD 0.03 05 FRST
 02 05 FERT N4 08 LAST 08 CULT HERB 08 CULT ROLLR 10 EROD 0.03
 02 10 CULT NTIL 11 CROP SYBN4 11 PLTM 11 FRST
 -999 -999 X

APÊNDICE 15. Organização do arquivo “*.SCH” utilizado pelo modelo Century 4.0, referentes a lavouras iniciadas em 1901 nos topos com o cenário “Melhorado” a partir de 1995.

```

0          starting year
3200      Last year
i site. 100 Site file name
0          Labeling type
0          Labeling year
-1        Microcosm
-1        CO2 Systems
3         Initial system
C1        Initial Crop
STLAT     Initial Tree
Year Month Option
1         Block #      Floresta Subtropical
3000     Last year
1         Repeats # years
0         Output starting year
1         Output Month
200.000  Output interval
M        Weather choice
01 01 TFST 01 TREE STLAT 12 TLST
-999 -999 X

2         Block #      Floresta Subtropical - Corte e Queima
3001     Last year
1         Repeats # years
3001     Output starting year
1         Output Month
0.08300  Output interval
M        Weather choice
01 01 TREE STLAT 07 TREM CLEAR 11 TREM FIRE
-999 -999 X

3         Block #      Agricultura Colonial Ijuí I (1x milho/trigo -
3055     Last year
3         Repeats # years
3002     Output starting year
1         Output Month
1.00000  Output interval
S        Weather choice
01 01 HARV G 02 CROP WEED 02 FRST 05 EROD 0.08 06 LAST 07 CULT ANTIL
01 08 CROP C1 08 PLTM 08 FRST 10 EROD 0.08 12 LAST
02 01 HARV G 02 CROP WEED 02 FRST 03 LAST 04 EROD 0.08 04 CULT ANTIL
02 05 CULT CTDSK 05 PLTM 05 CROP WO 05 FRST 09 EROD 0.08 10 LAST
02 10 HARV G 11 CROP WEED 11 FRST
03 04 EROD 0.08 06 LAST 07 CULT ANTIL 08 PLTM 08 CROP C1 08 FRST
03 10 EROD 0.08 12 LAST
-999 -999 X

4         Block #      Agricultura Colonial Ijuí II (2x pousio/milho
3070     Last year
3         Repeats # years
3056     Output starting year
1         Output Month
1.000    Output interval
S        Weather choice
01 01 HARV G 02 CROP WEED 02 FRST 04 EROD 0.15 06 LAST 07 CULT ANTIL
01 08 PLTM 08 CROP C1 08 FRST 10 EROD 0.15 12 LAST
02 01 HARV G 02 CROP WEED 02 FRST 03 LAST 04 CULT ANTIL 04 EROD 0.15
02 05 CULT CTDSK 05 PLTM 05 CROP WO 05 FRST 09 EROD 0.15 10 LAST
02 10 HARV G 12 CROP SYBN1 12 PLTM 12 FRST
03 03 LAST 03 HARV G 04 FRST 04 CROP WEED 04 EROD 0.15 06 LAST
03 07 CULT ANTIL 08 CROP C1 08 PLTM 08 FRST 09 EROD 0.15
03 10 EROD 0.15 12 LAST
-999 -999 X

```

continua...

5 Block # Convenci onal (tri go-soj a)
 3086 Last year
 3 Repeats # years
 3071 Output starting year
 1 Output Month
 1.000 Output interval
 S Weather choice
 01 01 CULT A 03 LAST 03 HARV G 04 CULT CVTIL 04 EROD 0.3 05 PLTM
 01 05 CULT OTDSK 05 CROP W1 05 FRST 05 FERT N3 10 LAST 10 HARV G
 01 11 CULT CVTIL 11 FIRE C 11 EROD 0.30 12 PLTM 12 CROP SYBN2
 01 12 CULT OTDSK 12 FRST 12 CULT A
 02 01 CULT A 03 LAST 03 HARV G 04 EROD 0.30 04 CULT CVTIL 05 FERT N3
 02 05 PLTM 05 CULT OTDSK 05 CROP W1 05 FRST 10 HARV G 10 LAST
 02 11 FIRE C 11 CULT CVTIL 11 EROD 0.30 12 PLTM 12 FRST 12 CULT OTDSK
 02 12 CULT A 12 CROP SYBN2
 03 01 CULT A 03 HARV G 03 LAST 04 CULT CVTIL 04 EROD 0.30 05 CROP W1
 03 05 FRST 05 FERT N3 05 PLTM 05 CULT OTDSK 10 LAST 10 HARV G
 03 11 EROD 0.3 11 FIRE C 11 CULT CVTIL 12 CULT OTDSK 12 FRST
 03 12 CULT A 12 CROP SYBN2 12 PLTM
 -999 -999 X

6 Block # Preparo Reduzi do (tri go/soj a - avei a/soj a)
 3094 Last year
 4 Repeats # years
 3087 Output starting year
 1 Output Month
 1.000 Output interval
 S Weather choice
 01 03 HARV G 03 LAST 04 CULT CHI SL 05 PLTM 05 FERT N2.5 05 CROP W1
 01 07 FERT N4 10 EROD 0.20 10 HARV G 10 LAST 11 CULT CHI SL
 01 12 CROP SYBN3 12 PLTM 12 FRST
 02 03 LAST 03 HARV G 04 CULT CHI SL 05 CROP OAT1 06 PLTM 06 FRST
 02 07 FERT N4 09 CULT HERB 09 LAST 10 EROD 0.20 11 CULT CHI SL
 02 12 FRST 12 CROP SYBN3 12 PLTM
 03 03 LAST 03 HARV G 04 CROP W1 04 CULT CHI SL 05 PLTM 05 FRST
 03 05 FERT N2.5 07 FERT N4 09 LAST 10 HARV G 10 EROD 0.20
 03 11 CULT CHI SL 12 PLTM 12 FRST 12 CROP SYBN3
 04 03 LAST 03 HARV G 04 CULT CHI SL 05 CROP OAT1 06 PLTM 06 FRST
 04 07 FERT N4 09 CULT HERB 09 LAST 10 CULT CHI SL 10 EROD 0.20
 04 11 CROP SYBN3 12 PLTM 12 FRST
 -999 -999 X

7 Block # Platio Direto (tri go/soj a - avei a/mi lho)
 3200 Last year
 2 Repeats # years
 3095 Output starting year
 1 Output Month
 1.00000 Output interval
 S Weather choice
 01 01 LAST 02 HARV G 04 LAST 04 EROD 0.03 05 CROP W3 01 05 PLTM
 01 05 FRST 06 FERT N3.5 07 FERT N5 10 HARV G 10 LAST 10 EROD 0.03
 01 11 PLTM 11 CULT NTIL 11 FRST 11 CROP SYBN4
 02 04 HARV G 04 LAST 05 CROP OAT2 05 PLTM 05 FRST 05 EROD 0.03
 02 05 FERT N4 08 CULT ROLLR 08 LAST 08 CULT HERB 09 CULT NTIL
 02 09 FERT N4 09 PLTM 09 FRST 09 CROP C4 10 EROD 0.03 10 FERT N7.5
 -999 -999 X

APÊNDICE 16. Diagrama para a produção de floresta no modelo Century (adaptado de Metherell et al, 1994).

