

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

SIMULAÇÃO DE FLUXOS DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM
SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO NO SUL DO BRASIL

Ricardo Bergamo Schenato
(Tese)

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

SIMULAÇÃO DE FLUXOS DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM
SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO NO SUL DO BRASIL

RICARDO BERGAMO SCHENATO
Engenheiro Agrônomo (UFSM)
Mestre em Ciência do Solo (UFSM)

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

Porto Alegre (RS) Brasil

Outubro de 2013

PÁGINA DE HOMOLOGAÇÃO

*Dedico este trabalho à Ana e Bibiana, minha inspiração e força,
À Vilson, Jaci, Denise e Roberto, meus quatro pontos cardeais.*

AGRADECIMENTOS

À Espiritualidade Maior, pela proteção.

À minha família, pelo amor.

Ao professor Dr. Carlos Gustavo Tornquist, pelo comprometimento e dedicação durante a orientação.

Ao professor Dr. Cimélio Bayer, pela acolhida, compreensão e co-orientação.

Ao Dr. Stephen J. Del Grosso e a Dra. Cindy Keough pela presteza nas solicitações e auxílio nas simulações.

À banca examinadora pelas contribuições.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelos ensinamentos.

Aos funcionários do Departamento de Solos e do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo subsídio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao funcionário Luiz Antônio da Silveira, o Tonho, pelo zelo, pela manutenção do excelente ambiente de trabalho e pelo exemplo de ser humano.

Aos colegas do PPG em Ciência do Solo, especialmente à Carla, Cecília, Dani, Douglas (Chapinha), Fernando, Genuir, Graci, Renan e Teske pela generosidade no convívio.

Ao meu grande amigo Adão Lauro pela cumplicidade e por manter a porta da sua casa sempre aberta nas minhas idas até Porto Alegre.

À Universidade Federal de Santa Maria e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela minha formação.

Ao CNPq, pela bolsa de doutorado.

À UNIPAMPA, pela possibilidade de conclusão do trabalho.

SIMULAÇÃO DE FLUXOS DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO NO SUL DO BRASIL¹

Autor: Ricardo Bergamo Schenato

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gustavo Tornquist

Co-Orientador: Prof. Dr. Cimélio Bayer

RESUMO

O aumento da população mundial e da demanda por recursos naturais têm levado a uma pressão cada vez maior sobre os ecossistemas. A dependência da sociedade pós-industrial de combustíveis fósseis e a intensificação do uso das terras vêm provocando incrementos nas concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, com impactos aparentes sobre diversos processos naturais. O solo tem um papel fundamental nesse contexto, pois é base para os sistemas produtivos agrícolas, os quais apresentam fluxos de gases de efeito estufa determinados pelo sistema de manejo. Este estudo teve como principal objetivo calibrar e validar o modelo DAYCENT utilizando dados de fluxos de gases de efeito estufa obtidos em experimentos de longo prazo na Depressão Central do Rio Grande do Sul. Os dados de solo, clima e plantas disponíveis foram utilizados para inicializar o modelo. As simulações foram divididas em três fases: equilíbrio inicial para estabilizar as variáveis internas, simulação de pré-experimento para representar o cultivo intensivo inicial que levou à degradação do solo; fase experimental reproduzindo gestão efetiva do estabelecimento dos experimentos até os dias atuais. O desempenho geral do modelo após calibração foi satisfatório para os fluxos de N_2O . DAYCENT apresentou tendência de superestimar os fluxos de CH_4 e subestimar os fluxos de CO_2 em comparação com os valores medidos. No entanto, as tendências gerais destes fluxos foram capturadas pelo modelo. Estas discrepâncias observadas podem ser atribuídas às limitações dos algoritmos utilizados na versão atual do modelo: ausência de representação explícita de influxo de N_2O , efluxo de CH_4 dos solos (metanogênese) e respiração de raízes das plantas. Revisões do modelo em curso e procedimento de calibração mais refinados, com um conjunto mais amplo de dados, podem melhorar o desempenho do DAYCENT.

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, (126p.) Outubro, 2013. Trabalho realizado com o apoio financeiro do CNPq.

SIMULATION OF GREENHOUSE GAS FLUXES IN SOIL MANAGEMENT SYSTEMS IN SOUTHERN BRAZIL²

Author: Ricardo Bergamo Schenato
Adviser: Prof. Dr. Carlos Gustavo Tornquist
Co-Adviser: Prof. Dr. Cimélio Bayer

Population growth and increasing demand of natural resources have led to mounting pressure on ecosystems throughout the planet. The dependence of the post-industrial society on fossil fuels and land use intensification has been responsible for increased concentration of greenhouse gases with apparent effects on various natural processes. Soils play a key role in this context as they are the foundation of agricultural production systems, in which soil management determines greenhouse gas fluxes. This study aimed to calibrate and validate the DAYCENT model using greenhouse gas flux measurements conducted in a long-term cropping and tillage experiment in Central Rio Grande do Sul. Soil, climate and crop production data were used to initialize the model. The simulations were divided into three phases: *initial equilibrium* to stabilize internal variables, *pre-experiment* simulation to represent early intensive cultivation that led to soil degradation; *experimental* phase reproducing actual management from the establishment of the experiments to present day. The overall model performance of the greenhouse gas flux calibration was satisfactory for N₂O fluxes. However, DAYCENT showed a tendency to overestimate CH₄ fluxes and underestimate CO₂ fluxes in comparison with the measured values, but the general trends of these fluxes were captured by the model. These observed discrepancies can be attributed to limitations in the current model algorithms: lack of explicit representation of N₂O influx, CH₄ efflux (methanogenesis) and autotrophic CO₂ emission originating from plant roots. Ongoing model revisions and refined calibration procedure with a comprehensive dataset are expected to improve DAYCENT performance.

² 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.(126p) October, 2013.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1. Gases de efeito estufa (GEE)	2
2.1.1. Dióxido de carbono (CO ₂)	2
2.1.2. Óxido nitroso.....	5
2.1.3. Metano (CH ₄).....	7
2.2. Os GEE e a agricultura	8
2.3. A modelagem.....	10
2.3.1. Modelagem da matéria orgânica do solo e dos gases de efeito estufa	12
2.3.2. Especificidades do DAYCENT	17
2.3.3. Operacionalização da modelagem de GEE estufa com DAYCENT	22
2.3.4. Aplicações do Modelo DAYCENT	23
3. HIPÓTESE	29
4. OBJETIVOS.....	30
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
5.1. Localização e histórico.....	31
5.2. Inicialização do DAYCENT	32
5.3. Análises estatísticas.....	35
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
6.1. Calibração	36
6.1.1. Simulação de equilíbrio.....	36
6.1.2. Período pré-experimental.....	39
6.1.3. Período experimental	41
6.1.3.1. Biomassa vegetal	41
6.1.3.2. Estoques de C orgânico do solo	47
6.1.3.3. Água no solo	50
6.1.3.4. Gases de efeito estufa.....	57
a) Óxido nitroso - N ₂ O	59
b) Metano – CH ₄	67
c) Dióxido de carbono - CO ₂	71
6.2. Validação do modelo DAYCENT	76
7. CONCLUSÕES.....	79
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
9. LITERATURA CITADA	81
10. APÊNDICES.....	93

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Resumo dos dados de campo utilizados na calibração do modelo DAYCENT.....	32
Tabela 2. Atributos de solo do perfil de referência utilizado nas simulações.....	35
TABELA 3. Valores originais e utilizados no grupo de parâmetros CLTEFF, localizados no arquivo CULT.100, durante o cultivo de colza e girassol.	40
TABELA 4. Análise da falta de ajuste (LOFIT), raiz quadrada média do erro (RMSE) e Erro relativo (E) para avaliar a acurácia das simulações de emissão de gases de efeito estufa realizadas pelo modelo DAYCENT..	51
TABELA 5. Alterações realizadas no arquivo “soils.in” na calibração do modelo DAYCENT.....	52
TABELA 6. Análise da falta de ajuste (LOFIT) e raiz quadrada média do erro (RMSE) para avaliar a acurácia das simulações de emissão de gases de efeito estufa realizadas pelo modelo DAYCENT.....	58
TABELA 7. Análise da falta de ajuste (LOFIT), raiz quadrada média do erro (RMSE) e Erro relativo (E) para avaliar a acurácia das simulações de emissão de gases de efeito estufa realizadas pelo modelo DAYCENT..	77

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Diagrama conceitual do submodelo de fluxo de gases nitrogenados do DAYCENT. Adaptado de Del Grosso et al. (2008).....	20
Figura 2. Estrutura e relação entre os arquivos do modelo DAYCENT. Adaptado de Metherrel (1993).....	23
FIGURA 3. Precipitação e irrigação ocorridas na área experimental durante o período de medições de gases de efeito estufa.	33
FIGURA 4. Dinâmica dos compartimentos do carbono na simulação de equilíbrio de 1970 anos estimada com o modelo DAYCENT.....	37
FIGURA 5. Acúmulo mensal de matéria seca média entre 1960 e 1970 estimada com o modelo DAYCENT.....	39
FIGURA 6. Matéria seca das plantas de cobertura simulada e observada nos tratamentos Aveia/Milho sob preparo convencional (a), Vica/Milho sob preparo convencional (b), Aveia/Milho sob Plantio Direto (c) e Vica/Milho sob Plantio Direto (d).	42
FIGURA 7. Correlação entre os valores simulados e medidos da produção de matéria seca pelas plantas de cobertura (b).	42
FIGURA 8. Médias da produção de matéria seca das plantas de cobertura simulada e observada nos tratamentos Aveia/Milho sob preparo convencional (a), Vica/Milho sob preparo convencional (b), Aveia/Milho sob Plantio Direto (c) e Vica/Milho Plantio Direto (d).	43
FIGURA 9. Rendimento de grãos de milho simulado e observado nos tratamentos Aveia/Milho sob preparo convencional (a), Vica/Milho sob preparo convencional (b), Aveia/Milho sob Plantio Direto (c) e Vica/Milho sob Plantio Direto (d).	44
FIGURA 10. Correlação entre os valores simulados e medidos de rendimento de grão de milho.	45
FIGURA 11. Médias do rendimento de grãos de milho simulado e observado nos tratamentos Aveia/Milho sob preparo convencional (a), Vica/Milho sob preparo convencional (b), Aveia/Milho sob Plantio Direto (c) e Vica/Milho sob Plantio Direto (d). Média de 19 anos.	46
FIGURA 12. Dinâmica do C no solo na simulação de equilíbrio, após a entrada da agricultura e destaque para o período experimental.	48

Figura 13. Carbono no solo simulado e observado nos anos de 1998 e 2003.....	50
Figura 14. Variação da porosidade preenchida por água (PPA) estimada pelo modelo DAYCENT e precipitação durante o período de medição de gases de efeito estufa.	54
Figura 15. Porosidade preenchida por água (PPA) observada e simulada durante o período de medição de gases de efeito estufa.....	55
Figura 16. Correlação entre os valores simulados e medidos de porosidade preenchida por água (a) e umidade volumétrica (b).....	56
Figura 17. Precipitação (mm), temperatura média (°C) e emissões de N ₂ O nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d). As setas indicam as datas de semeadura da cultura do milho.	63
Figura 18. Correlação entre valores simulados e observados de N ₂ O nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d) durante três safras.....	64
FIGURA 19. Emissão acumulada de N ₂ O em três anos agrícolas nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d).....	66
FIGURA 20. Precipitação (mm), temperatura média (°C) e emissões de CH ₄ nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d).	68
Figura 21. Correlação entre valores simulados e observados de CH ₄ nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d) durante três safras.....	69
Figura 22. Influxo cumulativo CH ₄ em três anos agrícolas nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d).....	70
Figura 23. Precipitação (mm), temperatura média (°C) e emissões de CO ₂ nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d). As setas cheias indicam a data de manejo das coberturas e preparo do solo e as tracejadas a colheita do milho.	73
Figura 24. Correlação entre valores simulados e observados de CO ₂ nos tratamentos PCAM (a), PAVM (b), PDAM (c) e PDVM (d) durante três safras.....	74
Figura 25. Emissão acumulada de CO ₂ simulada e observada nos tratamentos PCAM (a), PAVM (b), PDAM (c) e PDVM (d) durante três safras.	75
Figura 26. Emissão acumulada de N ₂ O (a,b), CH ₄ (c,d) e CO ₂ (e,f) simulada e observada nos tratamentos AVM (a, c, e) e PM (b, d, f) nas safras 2010/2011 e 2011/2012.....	78

RELAÇÃO DE APÊNDICES

Apêndice 1. Emissões de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂ (g ha ⁻² dia ⁻¹) no tratamento Aveia/Milho sob plantio convencional no período de outubro de 2009 a outubro de 2012. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	94
Apêndice 2. Emissões de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂ (g ha ⁻² dia ⁻¹) no tratamento Vica/Milho sob plantio direto no período de outubro de 2009 a outubro de 2012. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	97
Apêndice 3. Emissões de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂ (g ha ⁻² dia ⁻¹) no tratamento Vica/Milho sob plantio direto no período de outubro de 2009 a outubro de 2012. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	100
Apêndice 4. Emissões de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂ (g ha ⁻² dia ⁻¹) no tratamento Vica/Milho sob plantio direto no período de outubro de 2009 a outubro de 2012. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	103
Apêndice 5. Emissões de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂ (g ha ⁻² dia ⁻¹) no tratamento Aveia+Vica/Milho sob plantio direto no período de outubro 2010 a outubro de 2012. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	106
Apêndice 6. Emissões de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂ (g ha ⁻² dia ⁻¹) no tratamento Pousio/Milho sob plantio direto no período de outubro 2010 a outubro de 2012. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	109
Apêndice 7. Produção média de matéria seca e produtividade média de milho sob plantio convencional nas sucessões Aveia/Milho (PCAM) e Vica/Milho (PCVM) e sob plantio direto nas sucessões Aveia/Milho (PDAM) e Vica/Milho (PDVM).....	112
Apêndice 8. Carbono orgânico total nos tratamentos sob plantio convencional nas sucessões Aveia/Milho (PCAM) e Vica/Milho (PCVM) e sob plantio direto nas sucessões Aveia/Milho (PDAM) e Vica/Milho (PDVM).....	113
Apêndice 9. Estrutura do arquivo .SCH utilizado na inicialização e período pré experimental, cultivado com colza/girassol.....	114
Apêndice 10. Estrutura do arquivo .SCH utilizado no tratamento preparo convencional Aveia/Milho.....	115
Apêndice 11. Estrutura do arquivo .SCH utilizado no tratamento preparo convencional Vica/Milho.....	116
Apêndice 12. Estrutura do arquivo .SCH utilizado no tratamento plantio direto Aveia/Milho.....	117
Apêndice 13. Estrutura do arquivo .SCH utilizado no tratamento plantio direto Vica/Milho.....	118

Apêndice 14. Estrutura do arquivo .SCH utilizado no tratamento plantio direto Aveia+Vica/Milho.....	119
Apêndice 15. Estrutura do arquivo .SCH utilizado no tratamento plantio direto Pousio/Milho.....	120
Apêndice 16. Parâmetros das culturas do arquivo CROP.100.	121
Apêndice 17. Parâmetros das atividades de manejo, no arquivo CULT.100.....	126

1. INTRODUÇÃO

O ser humano sempre utilizou os recursos oferecidos pela natureza para a sua sobrevivência e o seu progresso, como espécie e sociedade, deve-se grandemente a sua capacidade de apropriar-se das matérias primas necessárias. Atualmente, o crescimento da população humana, aliado ao aumento do consumo *per capita*, vem exigindo a intensificação da produção e do extrativismo, pressionando os ecossistemas muitas vezes além do seu limite.

Nas últimas décadas muitas pesquisas têm apontado que a atividade humana é a responsável por mudanças na composição atmosférica, através do aumento da emissão de gases de efeito estufa, que podem ter impacto significativo sobre o planeta. Entre as fontes mais representativas de emissão está a agricultura, onde o manejo do solo desempenha papel fundamental na dinâmica do carbono e do nitrogênio entre o solo e a atmosfera.

A frequência da medição dos fluxos de gases de efeito estufa no solo aumentou sobremaneira, tanto na sua intensidade quanto na abrangência, no entanto é inviável a quantificação em larga escala, haja vista a heterogeneidade dos cenários decorrentes da combinação de solos, clima, sistemas de manejos de solo e de plantas. Nesse sentido a modelagem da emissão de GEE pode auxiliar colaborando desde a extrapolação de resultados pontuais para áreas mais abrangentes, projetando cenários pretéritos e futuros, apontando estratégias de mitigação através da melhoria de técnicas de manejo e auxiliando a pesquisa empírica na otimização dos levantamentos.

No entanto, antes de sua aplicação para esses e outros fins, os modelos devem ter seus parâmetros internos adequados ao ambiente em que estão sendo realizadas as simulações, tomando como referência dados reais. Este processo é chamado de calibração e validação do modelo.

Este estudo visa calibrar e validar o modelo DAYCENT, utilizando resultados experimentais de emissão de gases de efeito estufa de um experimento de longa duração, bem como apontar as dificuldades e os possíveis caminhos para estudos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Gases de efeito estufa (GEE)

O efeito estufa é um fenômeno natural que garante a permanência da vida nos moldes atuais na Terra, graças à manutenção da composição atmosférica dentro de certos limites. No entanto, desde o surgimento da atmosfera, esta sofreu grandes modificações tanto na sua constituição quanto na concentração dos componentes.

A atmosfera começou a se formar a partir de compostos voláteis liberados no período de acreção que originou a Terra há cerca de 4,5 bilhões de anos. No período pós-acreção, compostos de carbono (C) e nitrogênio (N), como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) e gás nitrogênio (N_2) foram os mais abundantes. As altas concentrações de CO_2 e também de vapor de água originaram um efeito estufa natural, que foi uma das premissas para o surgimento da vida, ocorrido há cerca de 3,5 bilhões de anos. Após o surgimento dos primeiros seres vivos, a concentração de O_2 aumentou devido à fotossíntese e à imobilização de CO_2 atmosférico, resultando em ciclos biogeoquímicos que permitiram a evolução dos organismos (KASTING, 1992).

O CO_2 é o principal responsável pelo forçamento radiativo atual; o vapor d'água, o óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4) completam a lista dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa (IPCC, 2007).

2.1.1. Dióxido de carbono (CO_2)

No ciclo natural, o C é convertido em biomassa pela fotossíntese e passa a fazer parte do C terrestre por um período de tempo variável. A respiração das plantas e animais e a decomposição pelos microorganismos retornam C para a atmosfera na forma de CO_2 ou CH_4 . Caso a vegetação seja queimada, muito mais desse C, constituinte da fitomassa, será transferido diretamente para a atmosfera. Outra parte importante do ciclo é a dissolução de CO_2 atmosférico no oceano, onde pode passar para a forma de carbonatos, ser capturado pela fotossíntese do fitoplâncton, fazer parte da constituição de tecidos de organismos mortos e ligar-se a partículas em suspensão.

Dessa forma, o balanço global do C entre a biosfera terrestre e a atmosfera é a diferença entre o C capturado pela fotossíntese e o liberado pela respiração das plantas, pelos microorganismos de solo durante a decomposição e pelos processos de distúrbio. Entende-se por processos de distúrbio, neste contexto, as atividades humanas que alteram o fluxo natural do C entre os seus compartimentos.

O carbono advindo das atividades humanas tem duas fontes básicas, os combustíveis fósseis e a conversão de florestas naturais em outros usos. O primeiro libera C imobilizado em épocas geológicas, estocado por milênios, que é enviado para a atmosfera devido à queima de combustíveis fósseis. O segundo libera o carbono constituinte dos tecidos das plantas, que estava imobilizado por tempo variável, em geral décadas. Independente da fonte de emissão, as influências das perturbações humanas no ciclo do C são evidentes.

A concentração atmosférica de CO₂ apresenta uma variabilidade natural passível de ser reconstruída para os últimos milhares de anos, variando de valores próximos a 185 ppm durante as eras do gelo até picos máximos de cerca de 300 ppm, atingindo 278 ppm na época pré-industrial (HOFMANN; BUTLER; TANS, 2009; LÜTHI et al., 2008; MEURE et al., 2006; SIEGENTHALER et al., 2005).

Até 1750, a influência antrópica, devido à população do planeta e à natureza das atividades humanas, foi pouco importante no ciclo do carbono, em comparação com a variabilidade natural. Nos últimos dez mil anos anteriores ao início da industrialização, a concentração de CO₂ permaneceu entre 250 e 290 ppm (PETIT et al., 1999).

A Revolução Industrial iniciou a Era dos combustíveis fósseis, caracterizada pela utilização dessa fonte de energia em larga escala, os quais liberam grande quantidade de carbono para a atmosfera, originalmente imobilizado em camadas geológicas. Assim, a Revolução Industrial marcou o início do aumento da concentração do CO₂ atmosférico mais recente, destacando-se o período entre 1973 e 2004, quando o aumento na emissão de gases de efeito estufa (GEE) de origem antrópica foi de 70% (IPCC, 2007).

As projeções dos impactos da alteração do clima alteram-se em função da variação de temperatura considerada, mas tendências gerais

concordam que os impactos já são sentidos e ficarão mais evidentes nas próximas décadas. Os cenários apontam que milhões de pessoas terão dificuldades de acesso a água e alimentos, os ecossistemas poderão ter suas estruturas e funções alteradas além de sua capacidade de resiliência, eventos climáticos extremos serão mais frequentes e mais intensos, o zoneamento das culturas agrícolas deverá ser modificado e a produtividade de certos cereais poderá aumentar em altas latitudes e diminuir em áreas mais próximas aos trópicos; no entanto, se o aumento da temperatura média global exceder os 3° C, a perda de produtividade será generalizada.

Streck (2005) destaca que o aumento da concentração de CO₂ sem alteração da temperatura atual seria benéfica às plantas cultivadas, com aumento de produtividade aproximado de 30% para as plantas C3 e 10% para as C4; no entanto, um aumento inferior 1°C na temperatura média do ar já seria suficiente para neutralizar os ganhos obtidos com o aumento de CO₂.

Dessa forma, evidencia-se a importância do monitoramento dos GEE, a elaboração de cenários futuros e a definição de novas estratégias de manejo dos recursos naturais para oferecer subsídios que permitam tomar decisões para mitigar os impactos antrópicos, desenvolver tecnologias mais eficientes, adequar os sistemas de produção para operações em baixo custo de carbono e propiciar a construção de planos de ações nacionais e supra nacionais de mecanismos de desenvolvimento limpo.

A concentração média mensal de CO₂ no mês de maio de 2013 foi 399,77 ppm, registrado no observatório de Mauna Loa, no Havaí, e pela primeira vez desde o início das observações a marca de 400 ppm foi atingida na média diária (TANS & KEELING, 2013). Esta é a maior concentração dos últimos 650 mil anos (SIEGENTHALER et al., 2005), um período que compreende seis ciclos glaciais e interglaciais, sendo que a última vez que esse patamar foi alcançado a Terra tinha características muito diferentes das apresentadas hoje em dia.

2.1.2. Óxido nitroso

O óxido nitroso ocorre em quantidade muito pequena na atmosfera se comparado ao CO₂, mas tem um longo tempo de vida quando comparado aos demais GEE (SPAHLI et al., 2005). Por isso, pode ser considerado um traçador atmosférico do impacto das atividades humanas sobre o ciclo do N. O que torna tão importante o conhecimento sobre a dinâmica do N₂O é o seu peso nos cálculos de potencial de aquecimento global (PAG), índice utilizado para estabelecer o balanço de GEE em sistemas agrícolas em um dado tempo, normalmente, transformando os valores de cada gás para o equivalente em CO₂ (IPCC, 2007). Considerando que a capacidade do N₂O em absorver radiação infravermelha é 298 vezes maior que a do CO₂, incertezas na quantificação do gás nitrogenado refletem grandemente nos dados de PAG (MOSIER et al., 2005).

A concentração atmosférica de N₂O pode ser medida ao longo do tempo em vários locais e compor séries históricas precisas. No entanto, os fluxos de N que resultam na emissão de N₂O nos ecossistemas não podem ser mensurados em escala global; portanto, a utilização de modelos torna-se indispensável para compor o cenário do ciclo completo do nitrogênio (DEL GROSSO et al., 2001; PRATHER et al., 1994).

As fontes de emissão de N₂O podem ser divididas em naturais ou antrópicas. Consideram-se naturais as emissões advindas dos oceanos, da oxidação química da amônia na atmosfera e dos solos sob sistemas não antropizados. Entre as fontes antrópicas, destacam-se o uso de combustíveis fósseis, a utilização de fertilizantes na agricultura, a queima de biomassa e a pecuária. O principal dreno do N₂O é a sua remoção por destruição na estratosfera (IPCC, 2007).

A alteração do ciclo do N pelas atividades humanas é um fenômeno que vem ocorrendo especialmente a partir da segunda metade do século XX, de tal modo que a fixação antrópica excede aquela que ocorre naturalmente (GALLOWAY & COWLING, 2002). A produção de nitrogênio reativo a partir da sua forma gasosa estável, o N₂, tem como consequência o aumento do nível atmosférico de N₂O de 270 ppb da era pré-industrial para os 326 ppb observados atualmente (ESRL/NOAA, 2013). Estudos mostram que as

emissões de N_2O e NO_x estão relacionadas com as ações antrópicas, como mudança nas taxas de fixação de N_2 atmosférico, aumento da disponibilização de N reativo à biosfera, queima de combustíveis fósseis e atividades agrícolas (FILOSO et al., 2006; GALLOWAY & COWLING, 2002; MATSON; HALL; KATHLEEN, 2002; SMIL, 1999).

O aumento de N_2O deve-se, principalmente, à agricultura, que tem como principais potencializadores de emissão a aplicação de fertilizantes e a utilização de leguminosas nos sistemas de rotações de cultura (HALVORSON; DEL GROSSO; REULE, 2008; HUTH; THORBUN; RADFORD, 2010; SMITH; CONEN, 2004). Estima-se que a agricultura seja a responsável pela emissão de 10-12% das emissões globais de GEE, com grande contribuição do N_2O e CH_4 para este percentual; além disso, a emissão destes gases aumentou cerca de 17% entre 1990 e 2005, sendo neste último ano 58% da emissão mundial de N_2O proveniente da agricultura (SMITH, 2007).

Apesar desses indicativos, tendência geral aponta para a necessidade de mais dados englobando situações distintas para que se possa adotar uma posição conclusiva em relação aos melhores sistemas de manejo, potencial de emissão em cada local, fertilizantes mais eficientes e melhores práticas de manejo (SNYDER et al., 2009).

Mosier et al. (2005) compararam diferentes agroecossistemas nos Estados Unidos e concluíram que o N_2O compreendeu cerca de 40-44% das emissões (CO_{2eq}) em sistema sem irrigação e 16-33% em solos irrigados. Este mesmo estudo mostrou que doses maiores de fertilizantes nitrogenados implicaram em maior emissão de N_2O . Além disso, os tratamentos sem preparo do solo tiveram emissão superior aos com preparo quando comparados na mesma rotação de cultura e doses de nitrogênio. Apesar da adoção de práticas de manejo, em geral, resultarem em aumento de emissão de N_2O , estas são compensadas pela diminuição na liberação de CO_2 . O aumento no C do solo e o incremento da estruturação do solo compensam a liberação de N_2O (ABDALLA et al., 2013).

No entanto, além da variabilidade citada nas medições de N_2O , existem poucos dados disponíveis para zonas de solos não temperados (SAGGAR et al., 2008; ZHOU et al., 2010). Os trabalhos nesses locais, embora

incipientes, têm mostrado que a emissão de N_2O ocorre de forma diversa, devido à interação de fatores, que se relacionam de forma complexa.

Estudos realizados no sul do Brasil mostram que a emissão de óxido nitroso é variável ao longo dos anos e influenciada grandemente por uma diversidade de fatores, como o sistema de preparo do solo e de culturas, aplicação de diferentes fontes minerais de nitrogênio, eventos pluviométricos e de irrigação (ESCOBAR et al., 2010; GOMES et al., 2009; ZANATTA et al., 2010).

2.1.3. Metano (CH_4)

O metano apresenta uma abundância atmosférica entre 400 ppb e 700 ppb, além de resultar no segundo maior forçamento radiativo (IPCC, 2007). A emissão total global pré-industrial era de 200-250 Tg ano⁻¹ (FERRETTI et al., 2005), dos quais 190-220 Tg ano⁻¹ provinham de fontes naturais. Segundo os mesmos autores, em contrapartida, na atualidade 60% do metano é oriundo de fontes antropogênicas, que mantêm a concentração atual de aproximadamente 1.820 ppb.

As principais fontes antrópicas de incremento de CH_4 estão relacionadas com produção de energia por queima de carvão e gás natural, aterros sanitários, lixões, aumento na criação de espécies ruminantes, cultivo de arroz e queima de biomassa. No entanto, as fontes naturais também são contribuintes importantes, como áreas alagadas, oceanos, térmitas e vegetação. Outra fonte natural é a produção na crosta (fonte geológica) por bactérias e processos termogênicos e liberação por fraturas em rochas, lama vulcânica e piso submarino. O principal dreno de metano é a oxidação química na troposfera e perdas secundárias ocorrem devido à oxidação biológica em solos drenados e eventuais perdas para a estratosfera (CONRAD, 1996; DALAL et al., 2007; IPCC, 2007; JUNGKUNST et al., 2008).

Desde a década de 80, a taxa de crescimento tem apresentado decréscimo, com grande variação entre os anos. Esta estabilização não tem causas muito bem esclarecidas ainda, mas levanta-se a hipótese de que a atmosfera atingiu um ponto de equilíbrio após um período de emissões praticamente constantes (IPCC, 2007).

2.2. Os GEE e a agricultura

A agricultura é a segunda maior fonte setorial de emissão de gases de efeito estufa no Brasil, respondendo por cerca de 20% do total, atrás apenas da mudança de uso do solo e remoção de florestas, responsável por 56% (CERRI et al., 2009; MCTI, 2013). De acordo com as estimativas anuais de emissão de GEE no Brasil, em 2010, o setor agropecuário passou para 35% das emissões contra 22% da alteração de uso da terra e remoção florestal. Este resultado é decorrente das ações de combate ao desflorestamento, especialmente na Região Amazônica, o que resultou em queda na emissão de CO₂, CH₄ e N₂O do setor uso da terra e florestas na ordem de 76,7%, 65,2% e 65,2%, respectivamente, no período de 2005-2010 (MCTI, 2013).

Apesar da supressão florestal com o objetivo principal de formação de pastagens e lavouras intensivas perfazer mais de 80% das emissões brasileiras, de acordo com o mesmo estudo, apenas 18% dos projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo do país estavam relacionados com a agricultura, sendo a maioria voltada para o tratamento de dejetos em confinamentos (TEIXEIRA; MURRAY; CARVALHO, 2006). Portanto, se por um lado as atividades agropecuárias respondem pela maior parte da emissão de GEE em termos nacionais, iniciativas que contemplem melhores práticas no manejo do solo ainda são incipientes e modestas.

De outra parte, mesmo que a agricultura seja uma das principais fontes de GEEs, o que está essencialmente associado a mudanças de uso do solo na Amazônia, sistemas de manejo conservacionistas podem fazer com que os solos agrícolas, em particular os mais degradados, possam atuar como dreno com acúmulo de C no solo (BAYER et al., 2000; CERRI et al., 2004; LAL, 2004; VIEIRA et al., 2009).

Contexto político

No âmbito internacional, Ogle et al. (2013) defendem que as pesquisas agrícolas sobre mudanças climáticas devem abordar conjuntamente mitigação e adaptação em situações experimentais controladas. Outro ponto destacado por estes autores é o desenvolvimento de fatores de emissão mais específicos e, portanto, mais adequados para as estimativas de cada país. Os

países em desenvolvimento têm uma importância chave nos esforços globais pela mitigação e adaptação aos efeitos das mudanças climáticas. No entanto, a maioria das informações atuais sobre fatores chave ligados à emissão de GEE nestes países, quando disponíveis, são baseadas em metodologias generalistas com elevado grau de incerteza (OGLE et al., 2013).

O exemplo brasileiro de combate ao desmatamento e, conseqüentemente, redução da emissão de GEE deve servir como incentivo para a implementação de iniciativas para fomentar boas práticas agrícolas. O aumento relativo da participação setorial da agropecuária no rol de fontes emissoras, aliado ao potencial de soluções de baixo custo e de fácil aplicação através do manejo do solo, são potencializadores dessa urgência (CERRI et al., 2009).

O Brasil é um interlocutor ativo nas discussões sobre a temática ambiental no cenário internacional, com papel importante desde a Conferência “Rio-92”, até culminar nos compromissos de emissão de GEE ratificados pela Política Nacional de Mudança do Clima, promulgada em 2009.

O país estabeleceu diminuir voluntariamente entre 36,1% e 38,9% as emissões projetadas para 2020 durante a 15ª Conferência das Partes (COP-15), o que significa evitar a inserção de cerca de um bilhão de toneladas de CO₂ equivalente e tem abrangência em todo o território nacional, com ações sendo realizadas na década de 2010-2020 (CORDEIRO et al., 2012).

Com a Política Nacional sobre Mudanças do Clima, em 2009, é estabelecido o compromisso do Estado para mitigação de emissões. Para o setor agrícola, as principais ações se articulam no Plano Setorial para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, sob coordenação executiva dos Ministérios da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) e do Desenvolvimento Agrário (MDA) (MAPA, 2013).

2.3. A modelagem

No Sul do Brasil, estudos comprovam que sistemas de manejo sem revolvimento do solo, aliados ao aporte de biomassa através de culturas de cobertura, repercutem diretamente na dinâmica da matéria orgânica, possibilitando que o solo atue como um importante dreno de C no longo prazo (BAYER et al., 2006), por isso deve-se buscar um melhor entendimento das peculiaridades dos sistemas locais, permitindo a extrapolação para as escalas regionais e melhoria nos fatores de emissão dos modelos globais.

Neste aspecto, a modelagem apresenta-se como um instrumento com grande potencial, especialmente quando aliada a dados obtidos em pesquisas de campo. O ser humano é observador de uma Natureza complexa, surgindo daí a necessidade de simplificação para a compreensão de excertos dos fenômenos, permitindo à humanidade apropriar-se dos recursos naturais para sua própria sobrevivência. Essa simplificação nada mais é que a criação de infinitos modelos mentais, que muitas vezes são aplicados inconscientemente, pois o *ato de modelar* é uma atividade cotidiana e universal. Silvert (2001) destaca que a modelagem é essencial a toda atividade intelectual, especialmente na científica e mesmo quando se tratam de trabalhos experimentais.

A Ciência do Solo tem seu desenvolvimento atrelado principalmente à execução de experimentos e levantamentos que permitem o estabelecimento de relações empíricas entre os dados obtidos através do processo de pesquisa reducionista, normalmente calcada em linearidades do binômio causa-efeito. Nesse ínterim, os modelos são ferramentas que podem auxiliar na conectividade entre esses dados, colaborando para uma visualização mais apropriada dos sistemas pela compreensão, por exemplo, de relações não lineares, multi-interações complexas, processos de retro-alimentação e condicionantes de fluxos inter e intra sistêmicos.

As medições de GEE a campo são difíceis de realizar, dispendiosas economicamente e apresentam limitações técnicas. Estes fatores impedem que dados sejam coletados em larga escala para retratar a diversidade observada na agricultura atual, resultante da combinação de culturas, procedimentos de manejo, solos e clima (HAUGEN-KOZYRA; GROSSO; MALIN, 2011).

Portanto, a compreensão dos impactos das atividades humanas sobre a emissão de GEE em escala global necessita da aplicação de modelos ecossistêmicos que sejam capazes de reproduzir resultados experimentais e calcular as contribuições de sistemas naturais e manejados (DEL GROSSO, 2001). A complexidade dos modelos é bastante variável, partindo de modelos empíricos simples (IPCC, 1997) chegando a modelos mecanísticos que reproduzem uma série de processos envolvidos nos fluxos de C e de N.

A comparação de resultados obtidos através da modelagem com aqueles observados é uma ferramenta para auxiliar no entendimento dos experimentos a campo, encontrar erros nos modelos e identificar lacunas que podem ser preenchidas pela pesquisa, levando a um aumento na compreensão dos processos (PARTON & RASMUSSEN, 1994).

Simulações por modelos permitem também extrapolar resultados locais para áreas em que seria inviável a amostragem convencional (DEL GROSSO et al., 2009), projetar cenários futuros distintos (PARTON et al., 2007) e propor estratégias de mitigação de emissões e melhores tecnologias de manejo (SNYDER et al., 2009). No entanto, para que os modelos tornem-se fidedignos eles devem ser alimentados com dados reais, a fim de adequar seus parâmetros internos para o ambiente em que se está realizando a simulação. Esse processo consiste na calibração e validação do modelo.

Jorgensen & Bendorochio (2001) destacam que o processo de modelagem abrange três etapas básicas: verificação, calibração e validação. A verificação é realizada mais intensivamente durante a construção do modelo e consiste em testar a sua lógica interna, ou seja, se ele reage como esperado, se é estável ao longo do tempo e se as unidades são coerentes. A calibração visa encontrar o melhor ajuste entre os dados computados e os dados observados a campo, através da comparação de alguns parâmetros selecionados. Por fim, a validação consiste em testar objetivamente quão bem o modelo ajusta-se a resultados reais, sendo que, uma vez validado, o modelo passa a ter caráter preditivo. Ressalta-se que o conjunto de resultados reais deve, preferencialmente, ser diferente entre a calibração e a validação.

No que diz respeito à classificação dos modelos, Haugen-kozyra et al. (2011) dividem em dois tipos, os empíricos e os biogeoquímicos. O primeiros grupo utiliza dados locais para elaborar equações de regressão que

descrevem a emissão de GEE em função de fatores específicos. Em geral, este tipo de modelo não pode ser implementado em condições e ambientes diversos daqueles onde foram desenvolvidos, tornando-os menos flexíveis. Entretanto são modelos menos complexos e seu uso é mais fácil e transparente.

O segundo grupo é baseado em processos, ou seja, as equações são mecánísticas e provêm de resultados obtidos em pesquisas de longa duração, representando a dinâmica do desenvolvimento de plantas, do solo, da água e da emissão de gases. O caráter mecánístico das equações e algoritmos confere uma maior maleabilidade, que permite ao modelo adaptar-se a diversas situações. Por outro lado, necessita de um conjunto de dados robusto para sua inicialização, a utilização é mais complexa e seu funcionamento menos claro (HAUGEN-KOZYRA; GROSSO; MALIN, 2011).

2.3.1. Modelagem da matéria orgânica do solo e dos gases de efeito estufa

O conhecimento das alterações ocorridas no modelo CENTURY é necessário para compreender como este progrediu até culminar no modelo DAYCENT, que é a versão com passo diário do modelo CENTURY (PARTON et al., 1998, 2001). Por isso, neste tópico apresenta-se uma revisão concisa do histórico de mudanças ocorridas no CENTURY com base em artigos que discutem algumas delas e, principalmente, nos manuais disponibilizados pelos desenvolvedores. No tópico a seguir, são destacadas as principais diferenças do DAYCENT, tendo como base principal o material de subsídio ao modelo.

O modelo CENTURY foi criado na década de 70 para simular alterações em diversos componentes ecossistêmicos como resposta ao manejo do solo e mudanças no clima e tem sido aplicado em diversos ecossistemas (PARTON et al., 1993, 1995). Portanto, o DAYCENT pode ser compreendido como uma versão que emergiu do amadurecimento do CENTURY (DEL GROSSO; HALVORSON; PARTON, 2008; LI et al., 2010; PARTON; RASMUSSEN, 1994; PARTON et al., 1987, 1998, 2001).

A Versão 3.0 do CENTURY contou com a incorporação de rotinas desenvolvidas a partir de modelos mais mecanísticos e dados empíricos detalhados. As alterações desta versão, apresentadas por Metherell et al. (1993), são consideráveis e incluem a adição do efeito da textura sobre a formação do compartimento passivo da MOS, a melhoria no modelo de decomposição da liteira de superfície, a inserção do efeito da anaerobiose na decomposição, a capacidade de simular a lixiviação de materiais orgânicos solúveis, melhoria nas equações de lixiviação de compostos inorgânicos e o desenvolvimento de um submodelo robusto de produção de vegetação campestre.

A maioria dos parâmetros do CENTURY foram projetados para permanecerem constantes, mesmo em aplicações bastante distintas, por isso são chamados de parâmetros fixos. Em contrapartida, os parâmetros alocados no arquivo 'sítio-específico' descrevem as características locais e, portanto, espera-se que alguns deles sejam distintos entre os ambientes (PARTON et al., 1993).

O modelo CENTURY representa a dinâmica de crescimento de plantas, a ciclagem de nutrientes e a dinâmica da matéria orgânica do solo. Considera-se que as plantas, sejam elas florestas, campos, savanas ou espécies cultivadas, necessitam de condições ambientais adequadas e seu crescimento é incrementado com a aplicação de nutrientes. A MOS é um dos focos principais, portanto o submodelo que descreve a sua dinâmica é mais detalhado em comparação aos demais submodelos, como os ligados ao desenvolvimento vegetal (PARTON et al., 2001).

O submodelo da MOS foi baseado no trabalho clássico de Tisdall & Oades (1982) e incorpora os avanços de Anderson (1979) e Jenkinson & Rayner (1977), sendo que considera compartimentos teóricos múltiplos para representar a liteira superficial e a presente no solo, um compartimento microbiano e três compartimentos de MOS propriamente dita (PARTON; STEWART; COLE, 1988; PARTON et al., 1987).

Esta divisão é controlada pela relação entre o teor de lignina e de N nos resíduos, sendo que um valor mais alto desta relação resulta em aumento do compartimento estrutural, enquanto a diminuição leva a um maior fluxo para o compartimento metabólico. A decomposição dos resíduos vegetais e da

MOS é assumida como sendo mediada por microorganismos e está associada à perda de CO₂. O potencial da decomposição é dependente de fatores ambientais como a umidade e a temperatura do solo e dos eventos de manejo. A porção lignificada das plantas vai direto para o compartimento lento da MOS sem passar pelo compartimento microbiano.

O compartimento ativo representa os microorganismos do solo e seus produtos metabólicos e tem um ciclo que varia de meses a poucos anos, dependendo da textura do solo, que o modelo considera como uma força para a estabilização do C no solo. O material vegetal mais resistente passa pelo compartimento estrutural e soma-se aos produtos microbianos estabilizados provenientes do compartimento ativo e do compartimento microbiano de superfície para formar o compartimento lento, com um tempo de ciclagem de 20 a 50 anos. A MOS estabilizada fisicamente e quimicamente compõe a porção mais resistente à decomposição e compreendem o compartimento passivo, sendo necessários 400 a 2000 anos para seu ciclo. Quanto mais argiloso for o solo maior o fluxo de produtos dos compartimentos lento e ativo para o passivo (PARTON; STEWART; COLE, 1988).

O N associado ao carbono perdido na respiração, na decomposição de resíduos metabólicos e nos compartimentos ativo, lento e passivo geralmente resulta em mineralização, enquanto a decomposição do resíduo estrutural tem como efeito a imobilização de N. A deposição atmosférica, a fixação biológica e a aplicação de fertilizantes são as rotas de entrada de N consideradas pelo modelo, enquanto as perdas ocorrem pela lixiviação, remoção da vegetação, queimada, erosão e transferência nas excretas dos animais. Perdas gasosas de N também são computadas, mas o CENTURY não distingue essas formas.

As dinâmicas do C e do N são interligadas e o submodelo de N apresenta a mesma estrutura do submodelo do C, com os fluxos dependentes da relação C:N do material que entra em cada compartimento (PARTON & RASMUSSEN, 1994).

O submodelo de balanço de água do CENTURY, apesar de simplificado, calcula a evaporação e a transpiração mensal, o conteúdo de água em cada camada de solo e o fluxo saturado entre essas camadas (METHERELL et al., 1993; PARTON et al., 1993). A distribuição da água no

perfil do solo é calculada a partir da entrada de água na camada superficial e quando a capacidade de campo é alcançada o excesso é drenado para a camada subjacente.

As temperaturas mínima e máxima mensal do solo são calculadas a partir das temperaturas mínima e máxima do ar, respectivamente, e da biomassa vegetal em superfície. As médias das temperaturas do solo são utilizadas nos cálculos de decomposição e crescimento de plantas.

O submodelo de produção de plantas simula a dinâmica mensal de alocação de C e de N no material vivo e morto acima da superfície do solo, nas raízes e nas frações estrutural e metabólica. A produção anual máxima é calculada em função da precipitação, podendo ser limitada pela disponibilidade de nutrientes. A fração da parte aérea que morre mensalmente ou nos eventos de senescência é transferida para o compartimento que representa o material vegetal morto ainda em pé e este, posteriormente, passa para a liteira superficial, enquanto a biomassa radicular passa diretamente para o resíduo do solo. As raízes mortas e a biomassa da liteira superficial são divididos em material estrutural e metabólico em função da relação inicial lignina:N (PARTON et al., 1987).

Apesar do CENTURY não ter sido desenvolvido como um modelo de desenvolvimento de plantas, é possível, pela calibração de alguns parâmetros, simular uma grande variedade de culturas agrícolas, pastagens e florestas, inclusive criando novas opções que não estejam no banco de dados.

O potencial de produção das plantas é estimado em função da precipitação e é limitado pela baixa disponibilidade de nutrientes, sendo computado com passo diário na versão atual. Outros processos também compõem o submodelo de desenvolvimento vegetal, entre os quais o crescimento de material vegetal novo, assimilação de nutrientes, morte e remoção de raízes e parte aérea e transferência de tecido morto para liteira superficial e para o solo.

Dentre as alterações possíveis durante a calibração do submodelo de crescimento vegetal, destaca-se o parâmetro PRDX, que representa a produção potencial máxima, que é definido para cada variedade, espécie e ambiente. A produção superficial é a variável que reage diretamente quando da mudança do PRDX, mas como a alocação para raiz obedece a uma relação

parte aérea:sistema radicular os parâmetros que controlam esta divisão também devem ser levados em conta.

Diversos eventos e condições de desenvolvimento podem ser escalonados no CENTURY, como fertilização, irrigação, pastejo e cultivo do solo. Este último permite determinar uma grande variedade de operações comuns, desde aplicação de herbicidas até revolvimento intenso como aração, diferenciando as atividades pela seleção de parâmetros que controlam a passagem de material vegetal para liteira e para os diversos compartimentos da MOS e as taxas de decomposição que o distúrbio causado por cada operação.

Parton et al. (1995) incorporam ao modelo a capacidade de responder aos efeitos da mudança climática e aumento da concentração do CO₂ atmosférico. Neste trabalho, foram estudados os impactos das mudanças climáticas em pastagens de regiões ecológicas distintas e os resultados mostraram que os efeitos climáticos isolados levariam à perda de COS devido ao aumento da decomposição, com todas as regiões atuando como fontes de C para a atmosfera. No entanto, quando se considerou o incremento de CO₂ atmosférico, as plantas responderam com aumento de produtividade, compensando a perda pela decomposição. Esse efeito teve maior impacto nas savanas das regiões tropicais e úmidas, que passaram a atuar como dreno de carbono independentemente do cenário de mudança climática testado.

Os desenvolvedores realizaram modificações no CENTURY 4.0 que levaram à versão posterior chamada de CENTURY 4.5. Esta nova versão apresenta diversas modificações que são citadas a seguir.

O efeito da temperatura, que era calculado segundo uma curva exponencial, passou a ser computado de acordo com uma relação arco tangente; A fixação não simbiótica de N do solo passou a ser computada pela evapotranspiração anual ao invés da precipitação. O escoamento passou a ser calculado e seu valor é subtraído da água total incidente. A fração fixa do nitrogênio consumido em um evento de pastejo e que retorna para o sistema na forma de excretas dos animais foi substituída por um valor variável em função do teor de argila do solo. O cálculo da evapotranspiração potencial passa a considerar a radiação solar incidente na parte externa da atmosfera e

uma aproximação na cobertura por nuvens ao invés da temperatura média do ar.

Nos sistemas campestres e de culturas é acrescida a opção de alocação dinâmica de C na versão 4.5, além da possibilidade de partição fixa, disponível na versão anterior. A água e os nutrientes presentes no solo são as variáveis que controlam a alocação dinâmica de C na planta, em contraponto à precipitação utilizada na alocação fixa.

A produção potencial das plantas passou a levar em conta o efeito do fotoperíodo no crescimento vegetal; dessa forma, a definição do parâmetro PRDX foi alterada e ele passou a ser escrito como PRDX(1). Este parâmetro representa o coeficiente usado no cálculo da produção potencial em função da radiação solar incidente na parte externa da atmosfera. Além disso, a produção total passa a ser estimada em detrimento da produção apenas da parte aérea, utilizada anteriormente, e a alocação de carbono é baseada na fração de carbono destinado às raízes ao invés da relação raízes:parte aérea.

As quantidades de água e nutrientes disponíveis para o crescimento vegetal eram as mesmas para todas as culturas e determinadas a partir do número de camadas de solo determinadas pelo parâmetro '*nlaypg*', localizado no grupo SITE.100. A partir do CENTURY 4.5, as camadas consideradas passaram a ser determinadas para cada planta, com isso o parâmetro que desempenha essa função (*claypg*) foi criado no CROP.100. O número de camadas em '*claypg*' também passou a ser utilizado no cálculo da transpiração do solo, alterando o modo anterior que considerava todo o perfil.

Destaca-se ainda que algumas variáveis deixaram de ser consideradas para as simulações, mas foram mantidas para dar consistência entre versões, enquanto outras variáveis e parâmetros tiveram seus valores modificados em função das alterações realizadas.

2.3.2 Especificidades do DAYCENT

O modelo DAYCENT destaca-se principalmente pela escala de tempo em que opera e por explicitar alguns processos em relação ao CENTURY. A maioria dos processos ligados aos ciclos de C e N no solo calculados com passo mensal, utilizados no CENTURY, são apropriados para

simular respostas ecossistêmicas de longo prazo, a mudanças no clima e no uso do solo (PARTON et al., 1998). No entanto, para simular as trocas gasosas entre solo e atmosfera, provenientes dos processos microbianos do solo, a escala de tempo utilizada no DAYCENT passa a ser diária.

O DAYCENT representa os processos de nitrificação e de desnitrificação, que resultam na emissão de N_2O , NO_x e N_2 , simulando a emissão desses gases separadamente, além de contemplar os fluxos de CO_2 e CH_4 (PARTON et al., 2001), diferenciando-se do CENTURY que considera que uma proporção constante de N é perdida na forma gasosa, sem distinguir entre espécies de gases. A distinção entre os processos envolvidos na emissão desses gases, principalmente nos óxidos de nitrogênio, é de extrema importância para compreendê-los mais detalhadamente, uma vez que a desnitrificação desempenha papel crucial na emissão de N_2O em solos subtropicais (ESCOBAR et al., 2010; ZANATTA et al., 2010).

A emissão de N_2O no DAYCENT utiliza o modelo de “cano furado” proposto por Firestone & Davidson (1989), em que os processos de nitrificação e desnitrificação representam o fluxo através do cano e a produção de óxido nítrico e óxido nitroso figura como buracos no cano, portanto a emissão destes gases dependem do “fluxo no cano” e do “tamanho dos buracos”. O DAYCENT calcula a emissão de N_2O com base na mineralização percentual de N resultante das condições ambientais. Para as sub-rotinas de gases de efeito estufa, disponíveis somente no DAYCENT, os desenvolvedores recomendam usar a seguinte estrutura para as três camadas superficiais: 0–2 cm, 2–5 cm e 5–10 cm.

A simulação da emissão de N na forma de gás é realizada por um submodelo específico de base mecanística, pois considera os processos de nitrificação e desnitrificação, estes controlados por uma série de fatores descritos por Del Grosso et al. (2011).

O processo de nitrificação microbiana libera N_2O e NO_x nos passos intermediários da oxidação de NH_4^+ para NO_3^- e o modelo considera no cálculo do fluxo de gases nitrogenados a concentração de amônio, o conteúdo de água, a temperatura e o pH. A taxa de nitrificação cresce linearmente em função da concentração de NH_4^+ , sendo que até 10% deste composto pode ser nitrificado por dia. A nitrificação também é limitada pelo conteúdo de água no

solo devido ao estresse biótico quando a umidade é baixa e a redução da disponibilidade de oxigênio quando a umidade é alta.

A desnitrificação é afetada pela concentração de NO_3^- , carbono lábil, porosidade preenchida por água e propriedades físicas que afetam a difusividade de gases. O DAYCENT assume que não ocorre desnitrificação até a PPA exceder 50%, a partir deste valor há um aumento exponencial até cerca de 70% a 80% e estabiliza-se próximo a saturação. A taxa de desnitrificação varia entre 15% da concentração de NO_3^- do solo, quando esta é alta, até 100% quando a concentração de NO_3^- é baixa. A relação da emissão $\text{N}_2:\text{N}_2\text{O}$ varia entre 1 e 23, aumentando com a elevação da relação $\text{NO}_3^-:\text{C}_{\text{lábil}}$ e diminuindo com o decréscimo da difusividade dos gases e da disponibilidade de O_2 .

O fluxo total de N_2O é calculado pela soma deste gás emitido em ambos os processos, nitrificação e desnitrificação (DEL GROSSO et al., 2011).

Os submodelos de produção de plantas, matéria orgânica do solo e dinâmica de água e temperatura no solo foram incorporados do CENTURY (PARTON et al., 2001), acrescidos do submodelo de fluxo de gases. Este último encontra-se na Figura 1.

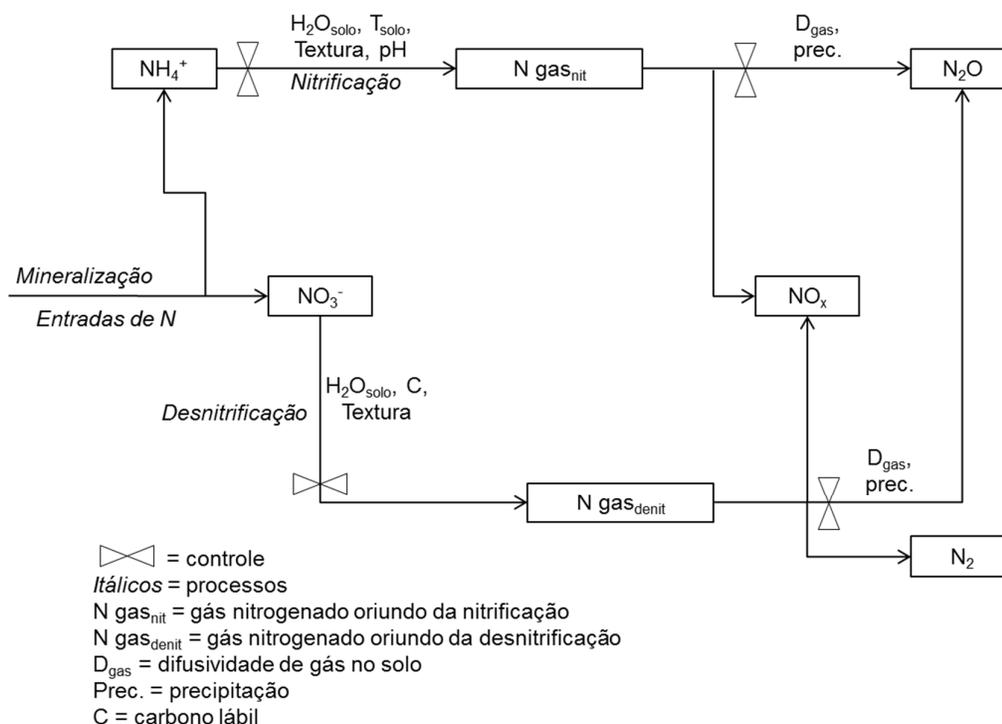


FIGURA 1. Diagrama conceitual do submodelo de fluxo de gases nitrogenados do DAYCENT. Adaptado de Del Grosso et al. (2008).

Apesar da produtividade primária seguir a mesma lógica utilizada até o momento nas versões do CENTURY, sendo determinada por fatores como radiação, disponibilidade de nutrientes, água e temperatura no solo e tipo de planta (METHERELL et al., 1993), a implementação de um submodelo de crescimento de plantas baseado em graus dia foi uma das mudanças importantes no DAYCENT. Esta nova opção permite que o início e o final do ciclo sejam determinados pela fenologia da cultura, que por sua vez é controlada pela temperatura do ar e do solo. Quando se opta pelo submodelo de graus-dia ainda são necessários os comandos FRST ou PLTM e SEMN ou HARV, os dois primeiros para iniciar e os últimos para terminar o ciclo, no entanto estes acontecimentos levam em conta a fenologia.

Outro ponto importante do DAYCENT é a forma como o modelo simula a temperatura e a água no perfil do solo. Estas variáveis são descritas para cada camada e quando ocorrem eventos de entrada de água no sistema, proveniente de chuva, derretimento de neve ou irrigação, o fluxo saturado é simulado. Quando não há a ocorrência desses eventos ou a quantidade não é

suficiente para atingir a saturação, o modelo simula fluxo insaturado, que ocorre para cima ou para baixo no perfil dependendo dos potenciais mátrico e gravitacional estabelecidos. Ainda, caso a entrada seja maior que a capacidade de fluxo saturado, assume-se a ocorrência de escoamento superficial, no entanto fluxos laterais não são simulados pelo modelo (PARTON et al., 1998).

Além disso, o efeito da água sobre a decomposição passa a ter três opções de cálculo: a partir do conteúdo relativo de água, da razão entre precipitação e evapotranspiração potencial ou espaço poroso preenchido por água. Neste sentido, Li et al. (2010) inseriram um fator de correção nas equações de decomposição, com o intuito de tornar o modelo mais sensível aos ciclos de umedecimento e secagem do solo. Os testes realizados mostraram que essa modificação permitiu ao modelo capturar mais adequadamente as flutuações na emissão de CO₂, decorrente da decomposição microbiana.

A partir do processo de evolução do CENTURY, que culminou no desenvolvimento do DAYCENT, a maior parte dos arquivos e parâmetros mantiveram-se idênticos àqueles encontrados no CENTURY 4.5. No entanto, alguns parâmetros foram reescalados, incluídos ou retirados para adequar-se à escala de tempo exigida no DAYCENT. As principais mudanças neste sentido ocorreram nos arquivos FIX.100 e <site>.100, além da inclusão de três novos arquivos com informações de entrada: SOILS.IN, SITEPAR.IN e OUTFILES.IN. Outra alteração significativa foi a necessidade de inserção de dados meteorológicos diários para as simulações.

No arquivo <site>.100, os valores de areia, silte, argila, densidade do solo, pH, ponto de murcha e capacidade de campo passam a ser desconsiderados em favor de seus respectivos referenciais contidos no arquivo novo SOILS.IN. Apesar da inclusão de dados meteorológicos diários, as estatísticas climáticas contidas no <site>.100 seguem sendo utilizadas para calcular a deposição atmosférica de nitrogênio e repor os valores faltantes no arquivo meteorológico.

A montagem do calendário de eventos era realizada com base no mês e ano nas versões anteriores, enquanto no DAYCENT são utilizados anos e dias julianos para organizar os acontecimentos. No entanto, apenas os

eventos de fertilização ocorrem exatamente no dia determinado, os demais são executados na semana que contém o dia considerado.

Os efeitos decorrentes de cultivo, erosão, queima, pastejo, irrigação e senescência seguem ocorrendo durante um mês a partir da data em que aparece no calendário de eventos. Quando mais de um destes eventos do mesmo tipo são alocados dentro do mesmo mês, o evento precedente, mesmo que seu efeito ainda esteja sendo computado, será sobrescrito pelo evento subsequente e o efeito deste perdurará durante 30 dias.

O compartimento lento da MOS era restrito ao solo nas versões anteriores do CENTURY e foi dividido no DAYCENT em duas porções: uma de superfície e a outra do solo. Com isso, os parâmetros que controlam a decomposição e as relações C:N desse compartimento também foram divididas em uma porção superficial e outra localizada no solo. Além disso, foram incluídos parâmetros para descrever as relações entre as duas frações do compartimento lento.

Descrições mais detalhadas dos componentes do DAYCENT podem ser encontradas em Metherell et al. (1993), Parton et al. (1998), Del Grosso et al. (2008) e Del Grosso et al. (2011).

2.3.3. Operacionalização da modelagem de gases de efeito estufa com DAYCENT

A operacionalização do modelo DAYCENT é realizada por um conjunto de arquivos interligados que permitem realizar as simulações (METHERELL et al., 1993). Existem doze arquivos com a extensão “.100”, que também são utilizados no CENTURY (Figura 2). Esses arquivos contêm informações relacionadas às características ambientais locais, às culturas, ao sistema de cultivo, remoção de biomassa via pastejo, colheita ou queimada, aplicação de fertilizantes minerais e orgânicos e irrigação. Além disso, o DAYCENT conta com três arquivos exclusivos que complementam a descrição do solo (soils.in), entradas adicionais para caracterização do ambiente (sitepar.in) e seleção dos parâmetros de saída desejados (outpar.in) (METHERELL et al., 2012).

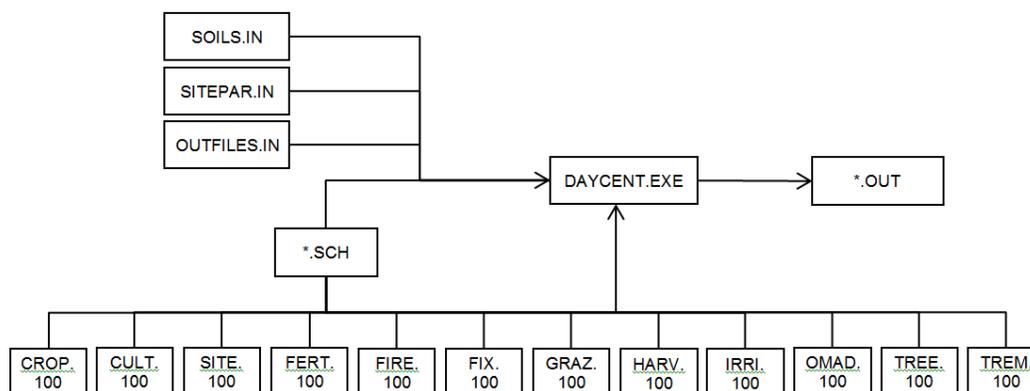


Figura 2. Estrutura e relação entre os arquivos do modelo DAYCENT. Adaptado de Metherrel et al. (1993).

Outros dois arquivos necessários possuem as extensões “.wth”, que fornece os dados climáticos locais, e “.sch”, que contém as informações do calendário de eventos. Finalmente, um executável “.exe” reúne as informações contidas nos demais e realiza a simulação propriamente dita. O resultado da simulação é apresentado em um conjunto de arquivos cuja extensão é “.out”, cuja a opção da geração é determinada em “outfiles.in”. As saídas do modelo também podem ser acessadas através dos arquivos “dc_sip”, “harvest” ou extraídos do arquivo com extensão .BIN.

2.3.4. Aplicações do Modelo DAYCENT

O DAYCENT têm sido aplicado em uma grande diversidade de ambientes, naturais e cultivados, e situações distintas de sistemas de manejo do solo, de plantas e de aplicações de fertilizantes (ABDALLA et al., 2010; CHENG et al., 2013a; DEL GROSSO; HALVORSON; PARTON, 2008; DEL GROSSO et al., 2006; STEHFEST et al., 2007). Sua adaptabilidade deve-se, entre outros pontos, à abrangência sistêmica das simulações e o seu potencial de extrapolação, pois possibilita a predição do comportamento de praticamente todo o sistema, ou seja, desde o desenvolvimento de plantas, o fluxo de água, a lixiviação de compostos orgânicos e inorgânicos e o fluxo de gases. Outro ponto importante é a possibilidade de representar e a sensibilidade das respostas às intervenções que comumente ocorrem a campo (PARTON et al., 1993).

Nas comparações com outros modelos, o DAYCENT tem mostrado desempenho igual ou superior aos demais (ABDALLA et al., 2010; FROLKING et al., 1998; SMITH et al., 2012). Além disso, o grande número de aplicações em diversos agroecossistemas confere-lhe ainda mais credibilidade e oportunidades de comparação de resultados, favorecendo sua adoção por muitos grupos de pesquisa ao redor do mundo (CHEN et al., 2008).

Pepper et al. (2005), buscando identificar a resposta das plantas frente às mudanças ambientais e à tendência da biosfera em atuar como fonte ou dreno de C, simularam com o DAYCENT o impacto de fatores ambientais em três ecossistemas distintos. Foram testadas combinações de faixas de temperatura, variações na concentração de CO₂ atmosférico e na precipitação e os autores concluem que os ambientes testados seguirão agindo como dreno de C, mesmo nos cenários climáticos mais drásticos, que resultariam em aumento da decomposição.

Sistemas de produção de biocombustíveis também têm sido avaliados quanto à produtividade e emissão de gases de efeito estufa utilizando o DAYCENT (DAVIS et al., 2010; ROBERTSON et al., 2011). (Davis et al. (2012), estimaram os benefícios da substituição do cultivo de milho por *Panicum virgatum* L. e *Miscanthus giganteus* Greef et Deuter) e concluíram que se a área atualmente utilizada para produção de etanol fosse parcialmente substituída pelas fontes celulósicas haveria aumento da quantidade de biocombustível e redução dos impactos ambientais. Caso apenas 30% das áreas com menor produção de milho para etanol fosse substituída por miscanthus, a produção de matéria prima para bioenergia aumentaria 82% acompanhado por um incremento de 4% na produção de milho para a alimentação. Adicionalmente, a troca de cultivos reduziria até 22% da perda de N por lixiviação e até 473% a emissão de GEE.

Recentemente Cheng et al. (2013)b avaliaram o potencial de mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de melhores práticas de manejo utilizando o DAYCENT em uma extensa área da China. Os autores destacam que o bom desempenho do modelo (R^2 0,71-0,85 para fluxo de N₂O) deveu-se ao grande conjunto de valores observados disponíveis para as fases de calibração e de validação (mais de 350 locais) e de sua distribuição em condições ambientais variáveis. Além disso, eles concluem que o aumento

de matéria orgânica e a diminuição na aplicação de N mineral, atrelados ao cultivo conservacionista com manutenção da palhada, são formas eficazes de mitigar a emissão de gases.

Além das mudanças a curto e médio prazo, a modelagem permite acessar informações que não seriam alcançadas por outras técnicas. Hartman et al. (2011) foram capazes de quantificar parte das alterações ecossistêmicas provocadas pelo estabelecimento de imigrantes europeus na região das Grandes Planícies norte americanas. Através de simulações com o DAYCENT, foi possível reconstituir a produção de culturas, as mudanças do C no sistema, os fluxos de N_2O e CH_4 e a mineralização de N durante 120 anos, o que remonta às alterações mais significativas realizadas desde o século 19.

A integração de bancos de dados com as ferramentas de modelagem podem contribuir sobremaneira para o modo como se analisam as ações antrópicas. Conjuntos de informações sobre clima, eventos de manejo, época e quantidade de fertilizantes aplicados, mapas de vegetação e de solos, entre outros, estão cada vez mais disponíveis em órgãos governamentais e entidades de pesquisa e sua integração com o DAYCENT tem permitido discutir a temática da emissão de gases e sua mitigação em diversos níveis e abordagens (DEL GROSSO et al., 2009; HARTMAN; BARON; OJIMA, 2007; ROBERTSON et al., 2011).

Neste sentido, além da modelagem pontual, ou seja, sem considerar a espacialização dos dados, existem exemplos de simulações espacialmente explícitas obtidas através da convergência de dados de fontes variadas submetidas aos cálculos do modelo. Um destes casos foi a confecção do Inventário Nacional de Emissões e Drenos Gases de Efeito Estufa dos Estados Unidos, que utilizaram as estimativas de emissão de N_2O de áreas agrícolas e pastejadas oriundas de simulações realizadas com o DAYCENT (DEL GROSSO et al., 2006).

Estes mesmos autores, em artigo de 2009, discutem globalmente o impacto das principais culturas agrícolas mundiais no tocante às emissões de N_2O (DEL GROSSO et al., 2009). Dentre os cenários testados, a redução de aplicação de fertilizantes diminuiria a emissão de N_2O , mas a produção agrícola teria uma queda proporcional. Por outro lado, a utilização de inibidores de nitrificação e o parcelamento das aplicações poderiam reduzir em 10% as

perdas de N com incremento de 6% na produção. Ainda, a associação dessas duas técnicas com a adoção do plantio direto resultaria em incremento de 7% nas colheitas com uma diminuição de até 50% nas emissões de GEE. Esta diminuição nas perdas gasosas, em C equivalente, é relativa à elevação dos estoques de C no solo devido ao não revolvimento.

Nota-se uma tendência das pesquisas concentrarem esforços nos estudos envolvendo o N_2O , o que pode ser explicado pelo potencial deste gás no aquecimento da atmosfera (IPCC, 2007), na sua relação intrínseca com a aplicação de fertilizantes nitrogenados e com a contribuição dos sistemas agrícolas na emissão de N_2O (MOSIER & KROEZE, 2000). Diversos trabalhos com o DAYCENT focam especificamente na emissão do óxido nitroso (ABDALLA et al., 2010; DEL GROSSO et al., 2002, 2006).

Conant et al. (2005) testaram o impacto de diferentes estratégias de manejo em ecossistemas de pastagem natural. Os resultados mostram que mesmo as ações que visem à elevação do estoque de C do solo podem ter este benefício contrabalançado pelo aumento na produção de N_2O , como foi constatado nos tratamentos com adição de N mineral e conversão, que apesar de aumentar o C do solo, também elevaram o fluxo de N_2O . Os autores ainda ressaltam a importância de considerar no cômputo todos os gases de efeito estufa, especialmente o metano ruminal nos trabalhos envolvendo pecuária.

Outro estudo que reporta especificamente a emissão de N_2O foi realizado por Del Grosso et al. (2001) que realizaram simulações centradas nas perdas pelas formas gasosas de nitrogênio em sistemas nativo e cultivado em uma região semi-árida dos Estados Unidos. As maiores emissões foram encontradas em sistemas mais intensivos, com revolvimento do solo e adição de fertilizantes nitrogenados. Neste mesmo trabalho, os autores discutem os efeitos da textura sobre a quantidade e as formas de gases nitrogenados emitidos, sendo que o modelo apresentou diminuição das formas NO_x e N total e aumento das formas N_2O e N_2 quando a textura torna-se mais argilosa. Ainda, de acordo com os autores, apesar de não captar a variabilidade diária nesses sistemas, o modelo simulou bem as tendências sazonais e as diferenças entre os sistemas.

A subestimação dos picos de emissão de N_2O , simulados com o DAYCENT na comparação com os medidos a campo, tem sido relatada na

bibliografia (DEL GROSSO; HALVORSON; PARTON, 2008; DEL GROSSO et al., 2002; PARTON et al., 2001); no entanto, os mesmos estudos mostram que quando são comparados os totais acumulados o desempenho do modelo tem sido satisfatório. A baixa acurácia na representação da dinâmica da água do solo e do nitrogênio inorgânico na comparação com os respectivos valores observados a campo são apontados como principais responsáveis pela subestimação dos picos (DEL GROSSO; HALVORSON; PARTON, 2008; JARECKI et al., 2008).

No entanto, para que o potencial de um modelo possa ser aplicado, é imprescindível um conjunto de dados adequado para sua calibração e validação (CHENG et al., 2013b). Portanto, grupos de pesquisa que possuem medições de fluxo de gases podem agregar conhecimento a essas informações pelo desenvolvimento de trabalhos de modelagem.

No Brasil, a escolha do DAYCENT é bastante coerente, dada sua similaridade com o CENTURY, que, por sua vez, já foi bastante testado e os resultados mostram que ele simula adequadamente as alterações e a dinâmica do carbono no solo (VEZZANI, 2001; CERRI et al., 2004; LOPES et al., 2008; TORNQUIST; MIELNICZUK; CERRI, 2009; WEBER, 2010). A integração das simulações pontuais obtidas pelo CENTURY com sistemas de informações geográficas também já tem sido realizada nas condições brasileiras (TORNQUIST et al., 2009) e permite o monitoramento da dinâmica do C em diversas escalas, desde microbacias até abrangência nacional (DEL GROSSO et al., 2006; LUFABA et al., 2008).

Portanto, se a estimativa da emissão de gases de efeito estufa dos sistemas agrícolas tem se tornado cada vez mais importante, as ferramentas de modelagem apresentam-se para desempenhar um papel fundamental na busca por sistemas de manejo mais produtivos e sustentáveis (DEL GROSSO et al., 2009). E a capacidade de aplicação de modelos, abarcando diversas escalas de tempo e espaço, permite a predição de respostas a variações ambientais e auxilia no desenvolvimento do arcabouço teórico sobre a dinâmica de emissão.

A análise da bibliografia mostra bons resultados na aplicação do DAYCENT em diversos ecossistemas e, ao mesmo tempo, evidencia a falta de trabalhos com este modelo nas condições brasileiras. Desta maneira,

considerado o potencial que o DAYCENT tem mostrado em diversas abordagens, a sua parametrização e validação em uma região com solo e clima distintos daquelas que já foram testadas é uma contribuição significativa para os estudos de manejo do solo.

3. HIPÓTESE

O modelo DAYCENT simula adequadamente a dinâmica do C e a emissão de gases de efeito estufa em Argissolo Vermelho submetido por longo prazo a diferentes sistemas de manejo na Depressão Central do Rio Grande do Sul.

4. OBJETIVOS

4.1. Calibrar o modelo DAYCENT utilizando resultados experimentais de C no solo e de emissão de gases de efeito estufa em Argissolo da Depressão Central do Rio Grande do Sul sob diferentes sistemas de manejo.

4.2. Validar o modelo DAYCENT para um Argissolo da Depressão Central do Rio Grande do Sul.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Localização e histórico

O estudo de modelagem de GEEs utilizou dados e informações associadas a experimentos que vêm sendo conduzidos pelo Grupo de Pesquisa em Manejo do Solo localizados na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), situada na Depressão Central, Eldorado do Sul (RS)

O clima do local é subtropical úmido, tipo Cfa segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.440 mm. O solo é um Argissolo Vermelho Distrófico típico.

Esta área experimental originalmente era ocupada por campos naturais típicos do Bioma Pampa, que passaram a uso agrícola por volta de 1970, até 1983, quando foi instalado o experimento. Este período inicial de cultivo intensivo caracterizou-se pela sucessão colza/girassol, pelo revolvimento do solo com enxada rotativa diversas vezes durante o ano e remoção de parte do material vegetal da área (BAYER, 1992). Esses procedimentos levaram à degradação das características físicas do solo, evidenciada pela falta de estrutura, empoçamento de água na superfície, erosão, presença de uma camada compactada em subsuperfície e incidência de ervas daninhas (MEDEIROS, 1985). Informações adicionais sobre a implantação e condução dos experimentos foram descritos por Freitas (1988), Bayer (1992), Bayer (1996), Amado (1997), Lovato (2001), e Zanatta (2006).

Os tratamentos utilizados para calibração e validação fazem parte de um experimento de longo prazo, composto por sistemas de preparo do solo e de plantas distintos (BAYER, 1996; LOVATO, 2001; WEBER, 2010). Um resumo destas informações pode ser visto na Tabela 1 e a íntegra está disponível nos Apêndices.

A calibração foi realizada no experimento de sistemas de manejo para as parcelas plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), sendo consideradas, nas subparcelas, a sucessão aveia/milho (AM) e vica/milho (VM) sem aplicação de N. Essa escolha é justificada por serem estes os tratamentos com maior frequência de amostragem de GEE. A validação foi avaliada contra

dados independentes coletados no experimento de plantas de cobertura, conduzido sob plantio direto, nas parcelas com a sucessão aveia+vica/milho (AVM) e pousio/milho (PM).

TABELA 1. Resumo dos dados de campo utilizados na calibração do modelo DAYCENT.

Variável ^(a)	Unidade	Ano	PC		PD	
			AM	VM	AM	VM
PM	kg ha ⁻¹	-	2608	4585	2238	4556
MSPC	kg ha ⁻¹	-	2665	4460	3005	4256
PPA	%	-	53	57	58	57
U _v	m ³ m ⁻³	-	0,27	0,17	0,17	0,18
COT ^(b)	Mg ha ⁻¹	1985	----- 32,55 -----			
		1990	28,5	-	33,4	-
		1994	32,2	-	30,2	-
		1998	28,0	30,0	34,3	36,6
		2003	27,5	31,3	31,2	32,5
N ₂ O acumulado ^(c)	g ha ⁻¹	2009/2010	5079	8079	1643	3558
		2010/2011	770	762	323	609
		2011/2012	585	1325	305	822
CH ₄ acumulado ^(c)	g ha ⁻¹	2009/2010	-55	847	1158	1201
		2010/2011	-194	152	272	453
		2011/2012	-687	365	1178	297
CO ₂ acumulado ^(c)	kg ha ⁻¹	2009/2010	5660	6444	8528	9146
		2010/2011	6411	6492	8054	8444
		2011/2012	6869	8272	6033	8337

^(a) MSPC: matéria seca das plantas de cobertura, PM: produtividade do milho, PPA: porosidade preenchida por água, U_v: umidade volumétrica, COT: carbono orgânico total.

^(b) Os valores de COT foram calculados para a camada de 0-20 cm, por ser a considerada pelo modelo nos cálculos da dinâmica de C.

^(c) Os valores acumulados são computados em relação ao ano safra, por isso as referências a 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012.

5.2. Inicialização do DAYCENT

Para este estudo, foi utilizada a versão mais atual do modelo, disponibilizada pelos desenvolvedores no NREL-Natural Resources Ecology Laboratory da Colorado State University (Fort Collins, estado do Colorado, EUA). Estava versão é conhecida por DailyDayCent “timestamp 6/21/2012”. As simulações foram realizadas em ambiente MSDOS, e as variáveis de saída de

interesse, gravadas pelo modelo em arquivos formato texto .OUT e CSV, foram extraídas usando a planilha eletrônica Excel.

O modelo requer um conjunto mínimo de dados de entrada que são registrados arquivos acessórios com extensão *.100, *.IN, *.WTH, e *.SCH, conforme descrito anteriormente. Dentre estes, destacam-se: 1) dados meteorológicos diários (precipitação, temperatura máxima e mínima do ar); 2) atributos físicos do solo (textura, densidade, ponto de murcha e capacidade de campo, condutividade hidráulica saturada); 3) atributos da planta (produção de biomassa, índice de colheita, lignina, N); 4) sequências de cultivo e manejo da área experimental.

Os dados climatológicos foram obtidos na EEA no período de 1970 a 2012 e cedidos pelo Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, que estão disponíveis desde 2013 no sítio <http://www.ufrgs.br/agronomia/joomla/index.php/eea-pesquisa> [verificado em 23 de abril de 2013]. A Figura 3 mostra o somatório semanal da precipitação e irrigação acumuladas durante o período de avaliação dos gases de efeito estufa utilizado neste estudo.

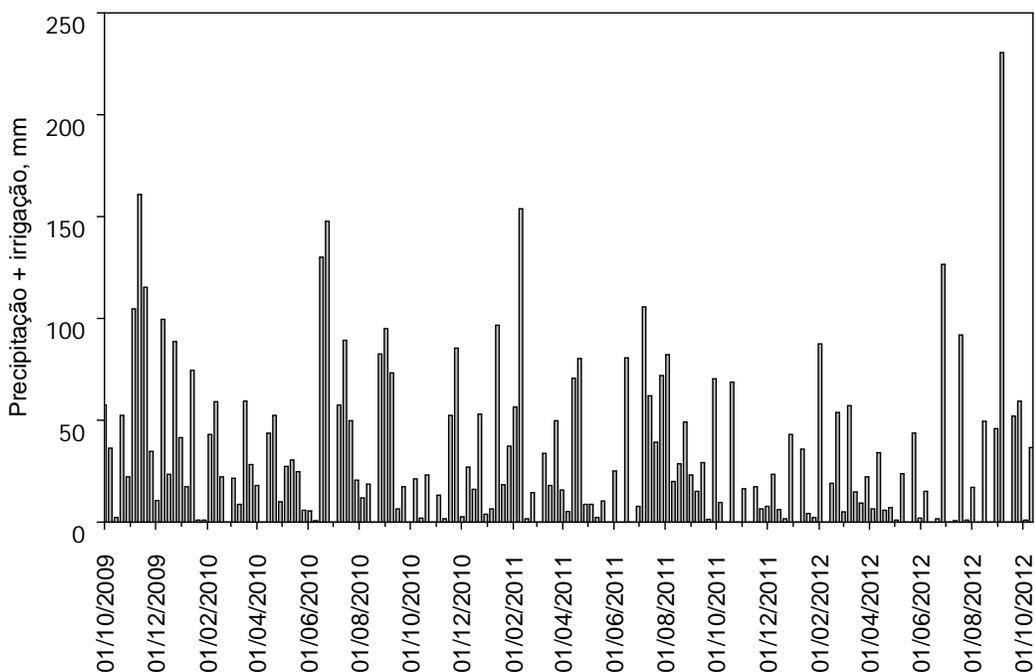


FIGURA 3. Precipitação e irrigação semanais ocorridas na área experimental durante o período de medições de gases de efeito estufa.

As informações utilizadas nas fases de calibração e de validação foram coletadas em dissertações, teses, artigos científicos e nos arquivos do grupo de pesquisa (BAYER, 1992, 1996; COSTA et al., 2008; DIECKOW, 2003; LOVATO, 2001; SILVA et al., 2005; VIEIRA et al., 2008; WEBER, 2010; ZANATTA et al., 2007). A densidade das camadas do solo obtidas em campo nativo próximo ao experimento (LOVATO, 2001) foram utilizadas para calcular os estoques através de massa equivalente (ELLERT; BETTANY, 1995).

O arquivo 'soils.in' descreve os atributos do solo utilizados pelo modelo e os valores foram obtidos a partir da revisão bibliográfica de estudos realizados no mesmo experimento onde o presente trabalho foi desenvolvido. A densidade do solo, textura e MOS foram extraídos de Dieckow (2003); o pH de Vieira et al. (2008); a fração de raízes de Mello (1991); a condutividade hidráulica saturada, o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo foram calculados segundo a metodologia de Saxton et al. (1986). Sua estrutura completa, nas simulações dos períodos de equilíbrio e pré-experimento, pode ser observada na Tabela 2. Para o período experimental, alguns destes valores foram alterados visando um melhor ajuste das variáveis de água no solo e de emissão de GEE, conforme será discutido adiante. A sequência de camadas seguiu rigorosamente as instruções dos desenvolvedores do modelo, cuja recomendação é de que as três camadas superiores do perfil sejam de 0-2 cm, 2-5 cm e 5-10 cm nas sub-rotinas para simulação de emissão de gases.

Tabela 2. Atributos de solo do perfil de referência utilizado nas simulações.

Camada	Dens.	K _{sat}	pH	CC ¹	PMP ²	FR ³	Areia	Arg.	M.O. ⁴
cm	g cm ⁻³	cm s ⁻¹					%		
0 – 2	1,44	0,02410	5,10	27,0	18,0	3	56	22	4,0
2 – 5	1,57	0,00830	5,10	30,0	23,0	5	56	21	3,0
5 – 10	1,57	0,00450	5,10	29,0	19,0	22	54	24	2,0
10 – 20	1,60	0,00760	5,00	29,0	19,0	30	50	28	2,0
20 – 30	1,50	0,00300	5,00	30,5	20,6	10	49	31	1,0
30 – 45	1,50	0,00100	4,90	33,7	23,7	5	45	37	1,0
45 – 60	1,50	0,00100	4,90	34,9	25,8	4	43	41	1,0
60 – 75	1,50	0,00100	4,90	37,5	27,3	3	42	44	1,0
75 – 90	1,50	0,00008	4,90	39,1	28,4	2	41	46	1,0
90 – 105	1,50	0,00008	4,90	40,5	29,9	1	40	49	1,0
105 – 120	1,50	0,00008	4,90	41,3	31,0	1	40	51	1,0
120 - 150	1,50	0,00008	4,90	39,9	31,9	1	39	52	1,0
150 – 180	1,50	0,00008	4,90	39,9	31,9	1	38	53	0,0
180 – 210	1,50	0,00008	4,90	39,9	31,9	1	38	53	0,0

¹Capacidade de campo; ²Ponto de murcha permanente; ³Fração de raízes;

⁴Matéria orgânica.

5.3. Análises estatísticas

A acurácia e a incertezas associadas às simulações, tanto na fase de calibração como na validação, foram avaliadas segundo métodos estatísticos quantitativos, complementadas por gráficos comparativos simulados x observados usuais na análise de resultados de modelagem (SMITH et al., 2007).

O grau de associação entre os valores experimentais e os simulados foi medido pelo coeficiente de correlação. A distinção entre os erros experimentais daqueles oriundos do modelo pode ser realizada pela análise LOFIT, desde que estejam disponíveis repetições individuais dos tratamentos realizados a campo. Quando essas replicatas não podem ser acessadas, calcula-se o erro através do quadrado do erro médio (RMSE), que proporciona uma medida percentual da diferença entre os resultados simulados e os medidos.

Complementarmente, os vieses entre os valores simulados e medidos foram determinados pelo erro relativo (E), que foi comparado com o valor dos desvios correspondentes a 95% do intervalo de confiança das medições (E_{95%}).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Calibração

A primeira etapa do exercício de modelagem procura conduzir repetidas simulações, inspecionando variáveis de interesse simuladas (no caso, biomassa, rendimento, C do solo, GEEs) em comparação com valores observados (medidos experimentalmente) em um processo iterativo de ajuste de parâmetros, comum à maioria dos modelos dinâmicos (JORGENSEN & BANDOROCHIO). No caso do DAYCENT, existe uma recomendação explícita dos desenvolvedores de como este processo deve ser conduzido (DEL GROSSO et al., 2011).

6.1.1. Simulação de equilíbrio

Conforme os desenvolvedores do Century/DAYCENT, a simulação de equilíbrio deve ser executada previamente às simulações de interesse para que se estabeleça a condição de contorno inicial, de maneira que variáveis de estado tenham valores estáveis. O estado de equilíbrio do solo é alcançado através de uma simulação de longa duração, usualmente entre 2.000 e 5.000 anos, com ajustes de parâmetros (METHERELL et al., 1993) .

Neste estudo, foi utilizado o valor de referência de 43,37 Mg ha⁻¹ de COT para o ano de 1970, quando se iniciou a agricultura na área do experimento. Este valor havia sido apresentado originalmente por Diekow (2003) e também foi adotado por Weber (2010) na calibração do modelo Century 4.5.

Na Figura 4, observa-se a evolução dos compartimentos do carbono do solo na simulação de equilíbrio, que abrangeu o período entre o ano 0 e 1970. Nota-se que o tempo utilizado foi adequado para equilibrar o estoque de COT em 41,32 Mg ha⁻¹ ao final deste período, 4,7% inferior ao observado.

Os compartimentos ativo, lento e passivo perfizeram, respectivamente 3,7%, 65,3% e 30,9% do total.

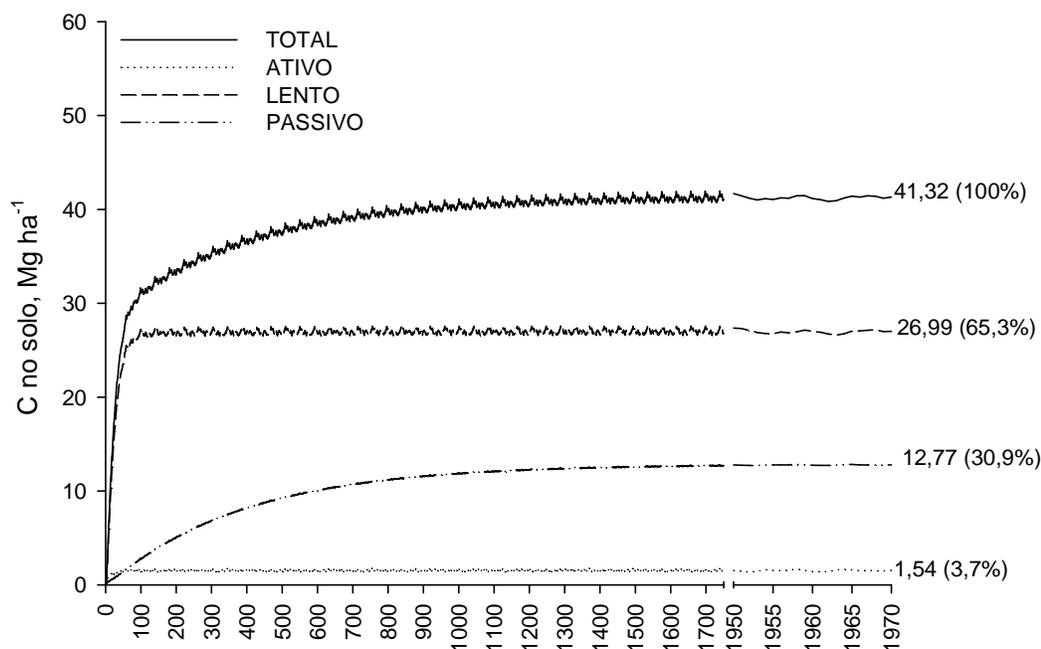


FIGURA 4. Dinâmica dos compartimentos do carbono na simulação de equilíbrio de 1970 anos estimada com o modelo DAYCENT.

A distribuição dos compartimentos coincide com outros estudos realizados com o modelo Century no mesmo sítio experimental por Fernandes (2002), Oliveira (2005), e Weber (2010). Estes estudos apresentam entre 51% e 54% do COT alocado no compartimento lento e entre 42% e 44% no compartimento passivo. Esta diferença aproximada de 10% a mais no compartimento lento e 10% a menos no compartimento passivo do presente estudo é atribuída às alterações realizadas nos parâmetros fixos, especialmente naqueles que, que determinam o tamanho dos compartimentos de carbono (DEC) nos estudos citados acima.

Os desenvolvedores do modelo não recomendam a alteração do conjunto de parâmetros fixos, ao menos em casos específicos e com uma justificativa plausível (DEL GROSSO, 2011). A abordagem adotada no presente trabalho segue esta recomendação, portanto é justificada a diferença em relação aos estudos citados quanto ao tamanho dos compartimentos. Acredita-se que sem a alteração dos parâmetros fixos a aplicabilidade do modelo torne-se mais abrangente.

A diminuição ou o aumento dos estoques de carbono no solo estão intimamente ligados ao aporte de resíduos e ao manejo adotado. Devido à dificuldade de precisar a adição de C na condição inicial, antes da implantação da agricultura, tem-se utilizado o procedimento de ajustar a produção de biomassa até atingir o estoque de C desejado (BORTOLON et al., 2011; LOPES et al., 2008; TORNQUIST; MIELNICZUK; CERRI, 2009).

Apesar da inexistência das medições de desenvolvimento vegetal anteriores ao experimento, pode-se utilizar como referência o trabalho de Escosteguy (1990), que avaliou o desenvolvimento do campo nativo sob condições ambientais semelhantes ao local do presente estudo durante os ciclos de crescimento de 1987/1988 e 1988/1989. Este autor encontrou acúmulo anual da parte aérea do campo nativo de $4.241 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e de $5.479 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para os respectivos anos. As simulações estão de acordo com estes resultados, com acúmulo anual de $4.473 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, na média dos últimos 10 anos sob campo nativo.

Na Figura 5 pode-se observar a biomassa do campo nativo ao longo do ano. As barras indicam a quantidade de material vegetal na superfície e cada uma delas representa a média do respectivo mês no período de 1960 a 1969. Nota-se que a biomassa começa a aumentar mais acentuadamente a partir do mês de outubro, mantém-se alta até março e nos meses de abril a setembro o campo apresenta a menor quantidade de material vegetal. Esta dinâmica está de acordo com as condições ambientais locais, que preconizam o desenvolvimento mais acentuado nos meses quentes e baixa produção vegetal na época mais fria do ano.

Portanto, ao levar em conta as estimativas de adição de C em trabalhos com o modelo Century e o estudo de Escosteguy (1990), considera-se aceitável o aporte de biomassa via campo nativo simulado pelo modelo DAYCENT.

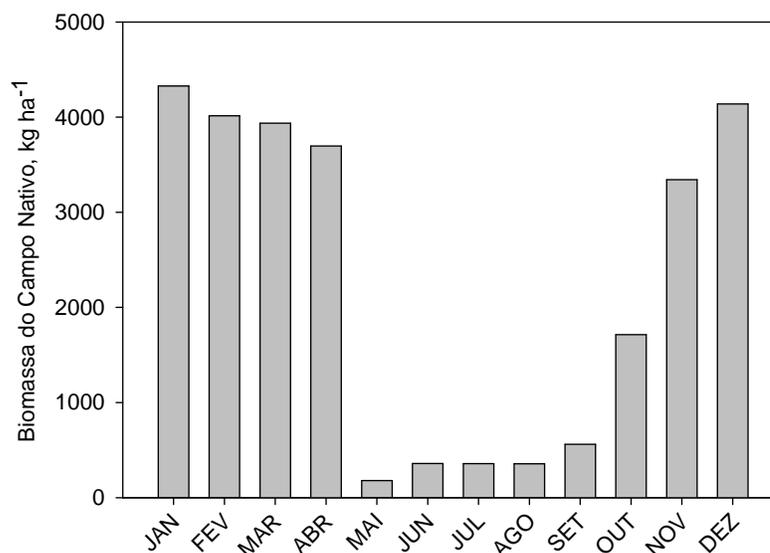


FIGURA 5. Biomassa de campo nativo entre 1960 e 1969 estimada com o modelo DAYCENT.

6.1.2. Período pré-experimental

No período de aproximadamente 13 anos entre a remoção do campo nativo e a implantação do experimento, a área foi cultivada com colza e girassol sob um regime de revolvimento intenso com enxada rotativa, o que levou à degradação das características físicas do solo (MEDEIROS, 1985).

O modelo DAYCENT permite que seja alocada apenas uma atividade por semana no calendário de eventos, com o seu efeito perdurando por 30 dias ou até que um evento mais recente seja lido no calendário (METHERELL et al., 2012). Esta configuração dificulta a descrição de eventos que ocorrem em um período menor que uma semana, uma aração seguida por gradagens na mesma semana, por exemplo. Além disso, quando um segundo evento é alocado em um período menor do que 30 dias após o primeiro, este tem o seu efeito interrompido e passa a vigorar apenas o segundo.

A exemplo do campo nativo, não existem dados observados referentes à adição de C pelas culturas de colza e de girassol. Por isso tomou-se como referência para calibrar o modelo, de modo a simular a perda de C do solo neste período, o valor de COT de 32,55 Mg ha⁻¹, apresentado por Bayer (1996) e Lovato (2001) e corrigido para 30,67 Mg ha⁻¹, conforme Diekow (2003).

Desta maneira, as atividades ligadas ao revolvimento do solo nesta etapa foram representadas pelas opções DISKH e PLOW com alterações no grupo de parâmetros CLTEFF (Tabela 3).

TABELA 3. Valores originais e utilizados no grupo de parâmetros CLTEFF, localizados no arquivo CULT.100, durante o cultivo de colza e girassol.

Parâmetro	DISKH		PLOW	
	Original	Modificado	Original	Modificado
CLTEFF(1)	1,0	1,5	1,0	1,5
CLTEFF(2)	2,434	2,7	5,0	3,75
CLTEFF(3)	2,434	2,7	5,0	3,75
CLTEFF(4)	1,2	2,7	1,3	2,5

A calibração que gerou estes valores foi realizada no intuito de aproximar o carbono do solo estimado pelo modelo daquele observado por ocasião do início do experimento. A parametrização utilizada resultou em um COT de 36,04 Mg ha⁻¹, cerca de 10% superior ao valor de referência, com uma adição anual de C pelas culturas de aproximadamente 5,2 Mg ha⁻¹.

Cabe ressaltar que a abordagem adotada neste trabalho não faz uso de alterações nos parâmetros fixos, o que deve permitir uma aplicação mais ampla do modelo, pois na tentativa de melhorar o desempenho do modelo, via alteração dos parâmetros fixos há o risco da aplicabilidade do modelo ficar restrita à situação específica da parametrização. Del Grosso et al. (2011) afirmam que se espera um desempenho satisfatório do DAYCENT pela alteração dos parâmetros descritores de local, solo, clima, vegetação e manejo do solo na maioria dos locais, concordando com a ideia de um modelo generalista e que pode ser aplicado em diversas situações.

6.1.3. Período experimental

6.1.3.1. Biomassa vegetal

O DAYCENT simulou adequadamente a produção vegetal média ao longo do período experimental, no entanto, em alguns anos específicos houve uma diferença marcante entre o que foi medido a campo e o estimado pelo modelo, o que é atribuído a impossibilidade de calcular todas as variáveis ligadas à produção vegetal.

Na Figura 6, observa-se a diferença pontual, ano a ano, na produção de matéria seca das plantas de cobertura. Nota-se que os valores simulados apresentam uma dispersão menor ao longo do tempo em comparação com os observados. Modelos biogeoquímicos, de uma forma geral, não são capazes de reproduzir todos os fatores que afetam a produção vegetal (DE GRUYE et al., 2011) e muitos deles não têm este como principal objetivo. No caso específico do DAYCENT, deve-se destacar que ele não simula o impacto de doenças, de ataques de pragas e deficiência da maioria dos nutrientes sobre as plantas, o que explica a menor magnitude na variação da produção simulada em todos os tratamentos.

O modelo considera basicamente variáveis abióticas no crescimento e desenvolvimento vegetal, como por exemplo, incidência solar, temperatura e precipitação e negligencia os fatores bióticos externos às plantas. Sabe-se que estes últimos podem ter um papel determinante sobre a produção em alguns anos, portanto, é esperado que não ocorresse um acoplamento perfeito da produção estimada daquela medida a campo.

A correlação entre a matéria seca estimada pelo DAYCENT e observada no experimento foi significativa, apesar de apresentar um valor de 0,29, considerado baixo (Figura 7). A dispersão apresentada deve-se às diferenças pontuais ano a ano, que não são captadas pelo modelo, conforme discutido anteriormente. No entanto, não houve tendência de subestimação ou superestimação das simulações em relação aos dados observados, conforme pode ser observado pela dispersão ao longo da linha 1:1 da Figura 7.

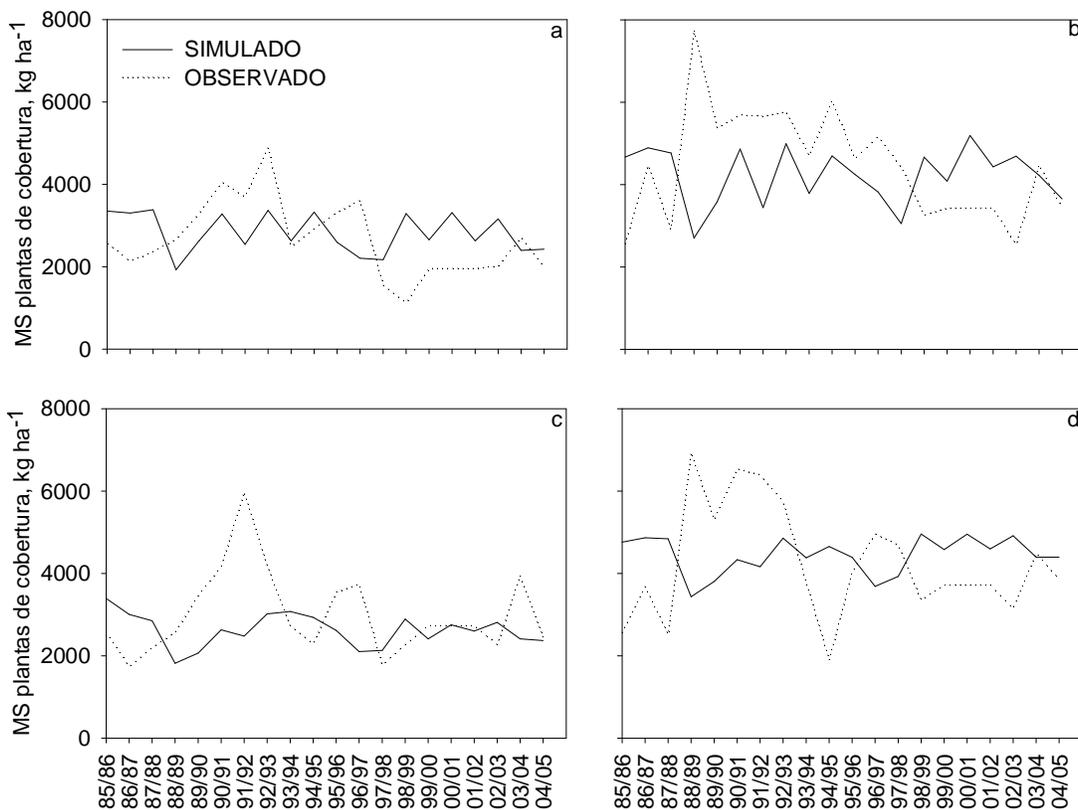


FIGURA 6. Matéria seca das plantas de cobertura simulada e observada nos tratamentos Aveia/Milho sob preparo convencional (a), Vica/Milho sob preparo convencional (b), Aveia/Milho sob Plantio Direto (c) e Vica/Milho sob Plantio Direto (d).

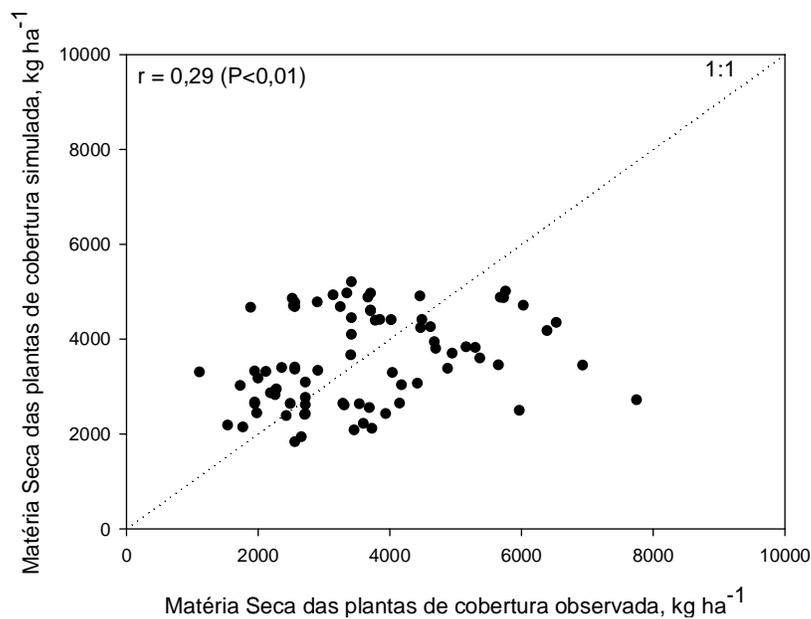


FIGURA 7. Correlação entre os valores simulados e medidos da produção de matéria seca pelas plantas de cobertura.

Apesar da dispersão apresentada, o DAYCENT simulou adequadamente a produção média de matéria seca, distinguindo os tratamentos quanto a esta característica. Na Figura 8, observa-se que a produção média de matéria seca das plantas de cobertura simuladas na fase de calibração encontra-se dentro da variabilidade apresentada pelos dados observados. As comparações foram realizadas pelo cálculo das médias e desvios-padrão dos valores anuais, medidos a campo e compilados desde o início do experimento, contra o respectivo valor simulado.

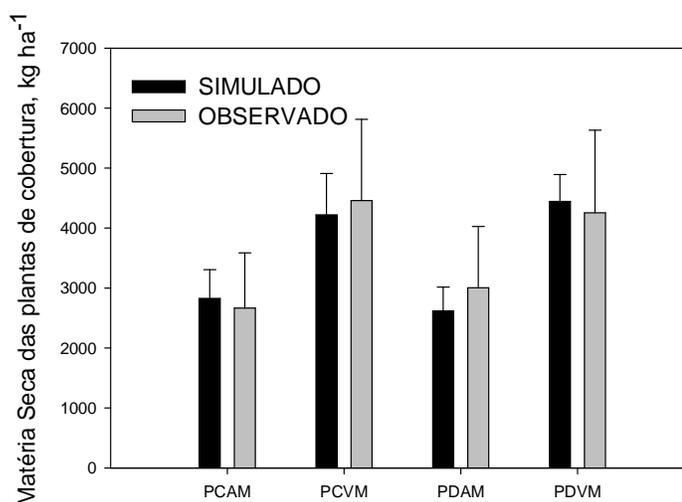


FIGURA 8. Médias da produção anual de matéria seca das plantas de cobertura simulada e observada nos tratamentos Aveia/Milho sob preparo convencional, Vica/Milho sob preparo convencional, Aveia/Milho sob Plantio Direto e Vica/Milho sob Plantio Direto.

A Figura 9 mostra que a amplitude da linha que representa os valores simulados é menor do que a dos observados. A menor variabilidade expressa pelo modelo em relação à encontrada a campo é causada, provavelmente, pela não observância de fatores ligados ao desenvolvimento vegetal e à incerteza em parâmetros de entrada dos mesmos (CORSON; ROTZ; SKINNER, 2007). Lee et al. (2012) argumentam que a dificuldade de parametrização da produção de plantas reside na indisponibilidade de informações biofísicas que devem ser inseridas no DAYCENT, uma vez que a maioria das pesquisas foca no acúmulo de matéria seca e produtividade de grãos, fornecendo pouco subsídio para uma melhor parametrização do desenvolvimento das culturas.

A opção por um único bloco de comandos para descrever as atividades no experimento homogêneo desde o sua implantação até 2008 pode ser outro fator de aumento da variabilidade. A análise cuidadosa das dissertações e teses, principalmente das seções “Material e Métodos”, mostra que nem sempre os manejos ocorreram no mesmo dia do ano, influenciadas normalmente pelas condições meteorológicas e necessitando desde atraso de semeadura até ressemeaduras de culturas (ALCALDE, 2011; FREITAS, 1988; MELLO, 1991).

Freitas (1988) atribuiu os rendimentos baixos do milho à semeadura tardia, ocorrida em meados de janeiro de 1986, devido às condições climáticas no período anterior ao plantio, assim como o atraso no plantio relatado por Alcalde (2011) foi motivado pela alta pluviosidade no período ideal de semeadura.

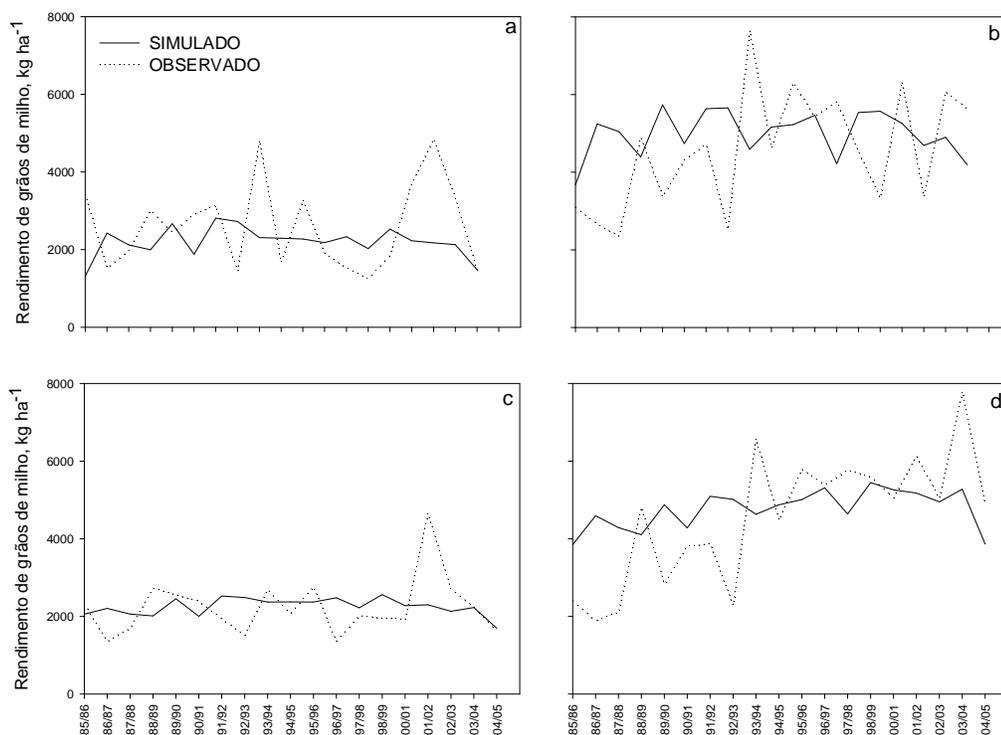


FIGURA 9. Rendimento de grãos de milho simulado e observado nos tratamentos Aveia/Milho sob preparo convencional (a), Vica/Milho sob preparo convencional (b), Aveia/Milho sob Plantio Direto (c) e Vica/Milho sob Plantio Direto (d).

A correlação entre a produtividade simulada e observada foi significativa, apresentando um coeficiente de 0,62, conforme pode ser visto na Figura 10. A dispersão é oriunda das diferenças pontuais entre os anos agrícolas. Stehfest et al. (2007) encontraram resultados semelhantes analisando diversas culturas, com coeficientes de determinação variando de 0,32 a 0,67, sendo o menor relativo à soja e o maior ao milho. Os autores afirmam que mesmo com a dispersão mostrada o DAYCENT é capaz de estimar a produtividade de culturas agrícolas em diferentes locais do planeta.

Comportamento semelhante é relatado por De Gryze et al. (2011) ao comparar as médias históricas de produtividade de diferentes culturas agrícolas dos EUA com as obtidas a partir do DAYCENT. Os melhores ajustes foram encontrados para as culturas de tomate e girassol, enquanto alfafa, milho e trigo tiveram as maiores dispersões.

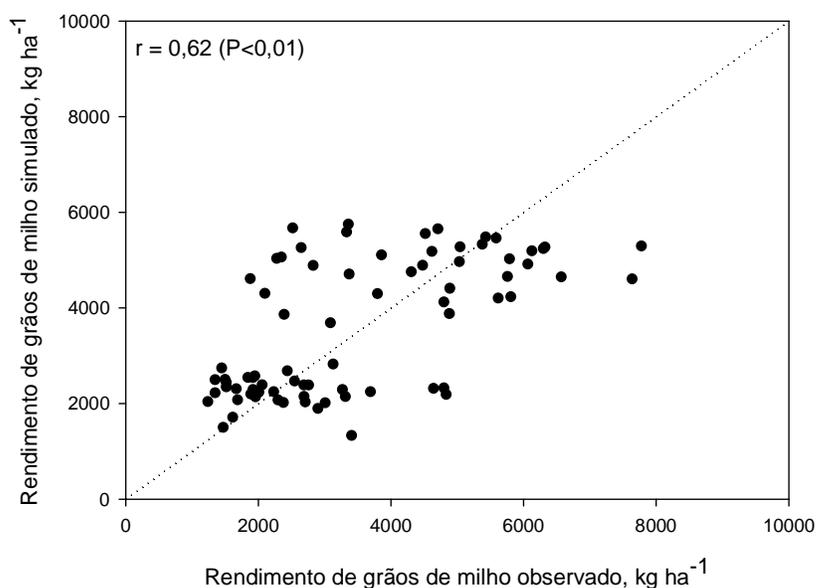


FIGURA 10. Correlação entre os valores simulados e medidos de rendimento de grãos de milho.

A produtividade média do milho durante o período experimental foi estimada satisfatoriamente pelo DAYCENT, sendo que em todos os tratamentos utilizados na fase de calibração não houve diferença estatística significativa entre os rendimentos estimado e medido (Figura11). De acordo com o modelo, os tratamentos com vica na rotação resultaram produtividade de milho 2,2 vezes maior do que os com aveia, indicando a sensibilidade do

modelo ao N fixado via biótica pelas leguminosas, através da maior produtividade nas rotações com este tipo de planta.

Durante o levantamento de dados para o presente estudo verificou-se que foram utilizados pelo menos sete híbridos de milho distintos desde o início do experimento (AMADO, 1997; FREITAS, 1988; MELLO, 1991; ROSSO, 1989; WEBER, 2008). Esta poderia ser uma fonte de variabilidade considerável, devido ao avanço tecnológico das sementes de milho desde a década de 80, no entanto, não se constatou um incremento significativo na produtividade de grãos.

As mudanças nos híbridos aliadas às particularidades de cada ano poderiam levar a uma simulação insatisfatória da produtividade de milho, portanto testou-se aumentar o detalhamento nos blocos de simulação. Nesse sentido, foram montados blocos individuais para cada ano agrícola, considerando todas as informações disponíveis sobre o manejo das áreas, desde data de plantio até aplicação de irrigação. O incremento em detalhes não trouxe benefícios aos resultados das simulações e tornou muito mais complexo o arquivo descritor de atividades. Portanto, optou-se pela manutenção de um bloco generalista entre os anos de 1983 e 2009.

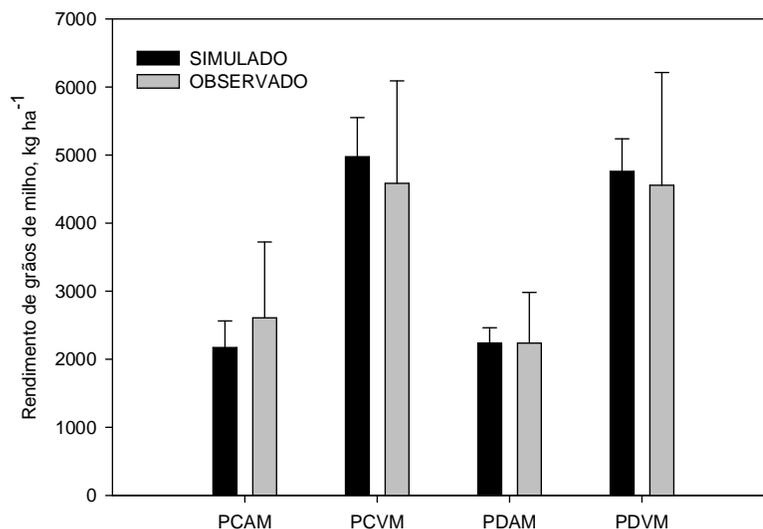


FIGURA 11. Médias de rendimento de grãos de milho simulado e observado nos tratamentos Aveia/Milho sob preparo convencional (a), Vica/Milho sob preparo convencional (b), Aveia/Milho sob Plantio Direto (c) e Vica/Milho sob Plantio Direto (d). Média de 19 anos.

6.1.3.2. Estoques de C orgânico do solo

O início da agricultura na área experimental, em 1970, com a supressão do campo nativo e início de cultivo de colza e girassol sob intenso regime de revolvimento do solo levou à queda do teor de C no solo. A perda calculada pelo modelo foi de aproximadamente 9 Mg C ha⁻¹ de C, partindo de 41,3 Mg C ha⁻¹ em 1970 e atingindo 32 Mg C ha⁻¹ no início do experimento. Destes valores, apenas o segundo tem referencial observado e está de acordo com aquele compilado por Bayer et al. (2006), que cita o estoque de 32,55 Mg C ha⁻¹ em 1985.

O declínio dos teores de C após a conversão de vegetação nativa em culturas agrícolas ocorre de forma bastante acentuada (LAL, 2004), especialmente quando há preparo intensivo do solo, rompendo os agregados que oferecem proteção à matéria orgânica e estimulando a atividade biológica, favorecendo a emissão de GEE (BAYER et al., 2000).

Na Figura 12, pode-se verificar que a dinâmica do carbono do solo simulada pelo modelo DAYCENT durante o período experimental reproduziu as diferenças experimentais. As trajetórias seguidas são distintas entre os tratamentos e no ano de 2013 os estoques de C no solo, simulados pelo DAYCENT, foram de 27,4 Mg C ha⁻¹, 29,5 Mg C ha⁻¹, 27,4 Mg C ha⁻¹, e 34,1 Mg C ha⁻¹ nos tratamentos PCAM, PCVM, PDAM e PDVM, respectivamente.

Na comparação com o início do experimento, apenas o PDVM foi capaz de recuperar o C perdido nos anos anteriores à implantação do experimento, ultrapassando o valor encontrado em 1985 em cerca de 2 Mg C ha⁻¹. Os outros três tratamentos mantiveram a sequência de diminuição nos estoques de C, conforme mostra a Figura 12.

Sistemas com grande aporte de biomassa podem ser efetivos para o sequestro de C, mesmo quando ocorre o revolvimento do solo, mas quando o aporte for combinado com a ausência da mobilização o efeito é majorado (CONCEIÇÃO; DIECKOW; BAYER, 2013). Estudo conduzido em um argissolo do Sul do Brasil por Diekow et al. (2005), na mesma área experimental deste trabalho, avaliou o impacto de diferentes rotações de culturas no estoque de C do solo sob plantio direto e mostrou que sistemas baseados em leguminosas são mais eficientes em incrementar a MOS, sendo que a longo prazo há indícios de saturação dos sítios da fração argila com ligantes orgânicos. O

mesmo estudo mostra ainda que o cultivo alternado de aveia/milho não conduz a uma recuperação da MOS ao nível encontrado antes da conversão da vegetação natural, corroborando os resultados das simulações realizadas no presente estudo.

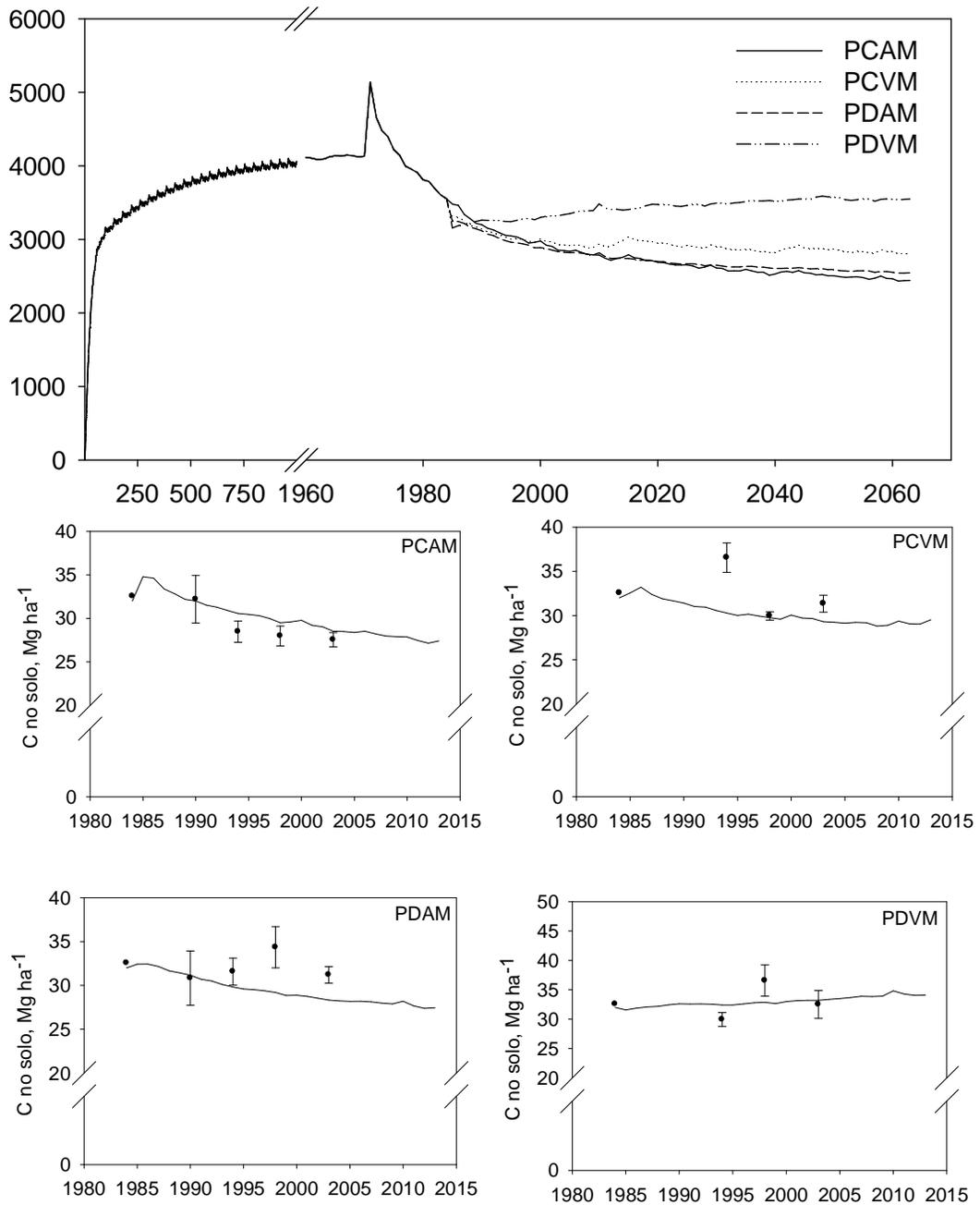


FIGURA 12. Dinâmica do C no solo na simulação de equilíbrio, após a entrada da agricultura e destaque para o período experimental nos quatro tratamentos testados.

As simulações foram estendidas por 50 anos, até 2063, para verificar a dinâmica futura do C do solo sob as mesmas situações experimentais atuais. Neste exercício observou-se a estabilização dos estoques por volta do ano de 2040 e ao final dos 50 anos os respectivos teores no solo para os tratamentos PCAM, PCVM, PDAM e PDVM foram 24,7 Mg C ha⁻¹, 28,1 Mg C ha⁻¹, 25,5 Mg C ha⁻¹ e 35,6 Mg C ha⁻¹. Portanto, de acordo com a estimativa obtida no DAYCENT, no próximo meio século, o cultivo sob plantio convencional perderá 1,7 Mg C ha⁻¹ na sucessão aveia/milho e 1,4 Mg C ha⁻¹ com vica/milho, enquanto sob plantio direto a aveia/milho deverá diminuir 1,9 Mg C ha⁻¹ e a utilização da leguminosa garantirá um incremento de 1,5 Mg C ha⁻¹.

A comparação dos estoques de C medidos e simulados nos anos de 1998 e 2003 corrobora a capacidade do modelo em captar as diferenças médias entre os tratamentos (Figura 13). No penúltimo ano amostrado, o modelo subestimou, em média, 1,90 Mg C ha⁻¹ e no último, 0,8 Mg C ha⁻¹ em relação aos valores medidos a campo, um resultado aceitável das simulações. A maior discrepância foi constatada no ano de 1998 nos tratamentos sob plantio direto, com uma subestimação média de 4,4 Mg C ha⁻¹; no entanto, o valor simulado em 2003 no tratamento com vica/milho situou-se dentro do intervalo de erro e na sucessão aveia/milho a subestimação caiu para 2,9 Mg C ha⁻¹.

Apesar de o modelo mostrar-se sensível às ações de manejo, captando a tendência pertinente a cada tratamento ao longo do tempo, o baixo número de mensurações a campo e a alta variabilidade nos mesmos dificulta uma tomada de decisão mais acertada no momento da calibração. No experimento avaliado, a última coleta para determinação de C no solo ocorreu há 10 anos, em 2003, não permitindo uma verificação acerca do estado atual do estoque de C e, conseqüentemente, um melhor ajuste dos parâmetros que controlam a sua dinâmica. De acordo com Bayer, via comunicação pessoal, em 2013, a quantificação desta variável deverá ser realizada em breve, o que contribuirá significativamente para futuros trabalhos envolvendo a modelagem da dinâmica de C.

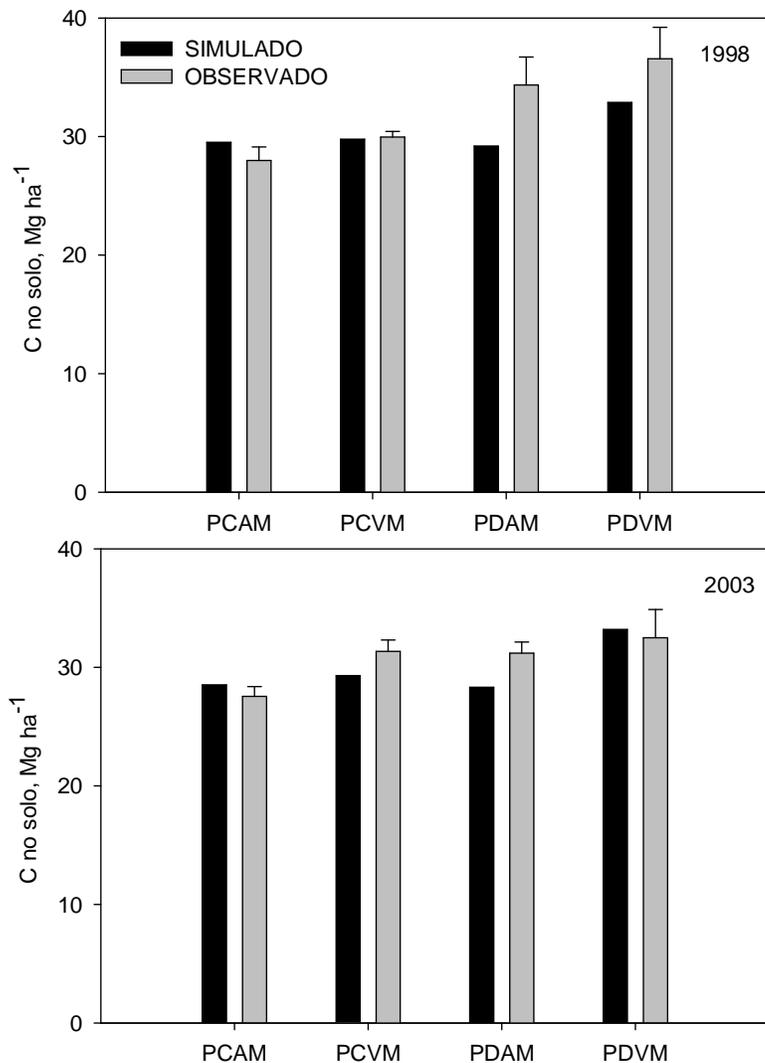


Figura 13. Carbono no solo simulado e observado nos anos de 1998 e 2003 nos experimentos Aveia/Milho sob preparo convencional (PCAM), Vica/Milho sob preparo convencional (PCVM), Aveia/Milho sob Plantio Direto (PDAM) e Vica/Milho sob Plantio Direto (PDVM).

6.1.3.3. Água no solo

A dinâmica da água no solo é um dos principais fatores envolvidos na emissão de GEE e o seu ajuste é essencial para um bom desempenho do modelo nos passos seguintes de calibração dos gases. Outros processos chave do modelo, como o desenvolvimento de plantas, estão atrelados ao bom ajuste das variáveis relativas à água no solo.

Pela parametrização proposta, o DAYCENT simulou satisfatoriamente a porosidade preenchida por água (Tabela 4). Por outro lado, a umidade volumétrica não foi simulada com a mesma qualidade pelo modelo.

Devido ao papel chave desempenhado pela porosidade preenchida por água (PPA) na simulação do N₂O (FROLKING et al., 1998), especialmente quando ultrapassa os 60%, diminuindo a difusão de oxigênio e criando ambientes anaeróbicos que contribuem no processo de desnitrificação, resultando em alta emissão de N₂O (BATEMAN & BAGGS, 2005), a parametrização centrou esforços para obter o melhor ajuste possível de PPA.

TABELA 4. Análise da falta de ajuste (LOFIT) e raiz quadrada média do erro (RMSE) para avaliar a acurácia das simulações de porosidade preenchida por água (PPA) e umidade gravimétrica (Uv) realizadas pelo modelo DAYCENT

Variável ^(a)	LOFIT	F ^(b)	F _{5%} ^(b)	RMSE ^(c)	RMSE ^(c)
				%	95%
PPA	3,27	0,002	1,35	24,05	24,64
Uv	0,93	0,01	1,38	43,60	22,18

^(a) PPA: porosidade preenchida por água, Uv: umidade volumétrica.

^(b) Teste-F para determinar a significância da falta de ajuste (LOFIT). Valores de $F > F_{5\%}$ indicam que os valores simulados diferem-se significativamente dos valores medidos.

^(c) Valore de RMSE menores que RMSE 95% indicam que os valores simulados encontram-se dentro dos intervalos de confiança de 95% dos valores observados.

Del Grosso et al. (2011) orientam que os parâmetros contidos no arquivo acessório “soils.in” sejam alterados, a partir de um ponto inicial condizente com o ambiente local, com o intuito de atingir um ajuste satisfatório dos componentes da água no solo. Alternativamente, estes autores também indicam a possibilidade da modificação da duração dos eventos de precipitação, contido no arquivo “sitepar.in”.

A medição dos atributos físicos representados no arquivo descritor do solo não foi realizada no experimento, pois a coleta de solo acarretaria uma alteração significativa das parcelas experimentais, que já foram intensamente amostradas desde a sua instalação.

Silva et al. (2005) mediram uma série de atributos físicos ligados ao armazenamento de água nas parcelas sob cultivo convencional e plantio direto no mesmo local experimental do presente estudo. Os autores encontraram diferença significativa para a condutividade hidráulica saturada nas camadas superiores, sendo maior nas parcelas revolvidas, mas não houve restrição ao desenvolvimento de plantas e as curvas de retenção de água não foram afetadas pelos métodos de manejo. O ponto de murcha permanente, a capacidade de campo e a condutividade hidráulica saturada apresentados por Silva et al. (2005) foram inseridos no modelo durante a calibração.

A avaliação da PPA e da U_v , através da comparação entre os dados simulados e observados, mostrou que a inclusão dos atributos medidos nas parcelas vica/milho (SILVA et al., 2005) não teve bom desempenho, portanto decidiu-se pela utilização dos resultados calculados conforme Saxton et al. (1986), que permite estimar a capacidade de campo, ponto de murcha permanente, conteúdo volumétrico de água mínimo e condutividade hidráulica saturada a partir das informações de granulometria. A partir destes cálculos, foram realizadas pequenas modificações visando o melhor ajuste, que foi alcançado com os valores apresentados na Tabela 5.

TABELA 5. Alterações realizadas no arquivo “soils.in” na calibração do modelo DAYCENT.

Camadas de solo	Variáveis ^(a)			
	CC	PMP	CVAM	Ksat
		----- m ³ m ⁻³ -----		cm s ⁻¹
0-2	0,260	0,120	0,06	0,0004
2-5	0,260	0,120	0,05	0,0004
5-10	0,280	0,130	0,03	0,0030
10-20	0,280	0,130	0,00	0,0030

^(a) CC: capacidade de campo; PMP: ponto de murcha permanente; CVAM: conteúdo volumétrico de água mínimo; Ksat: condutividade hidráulica saturada.

A variação do conteúdo de água no solo acompanhou a ocorrência dos eventos pluviométricos ao longo do período simulado, aproximando-se da saturação por ocorrência das chuvas e mantendo-se em valores mais baixos nos períodos de menor precipitação (Figura 14). Após períodos superiores a uma semana, chuvas inferiores a 10 mm foram suficientes para elevar a PPA acima de 50% e mesmo em períodos maiores precipitações em torno de 20 mm foram capazes de elevar a PPA de 30% para 80%. Chang et al. (2013) constataram que acumulados diários acima de 23 mm em um solo de textura franca aumentaram significativamente o conteúdo de água no solo em simulações realizadas com o DAYCENT.

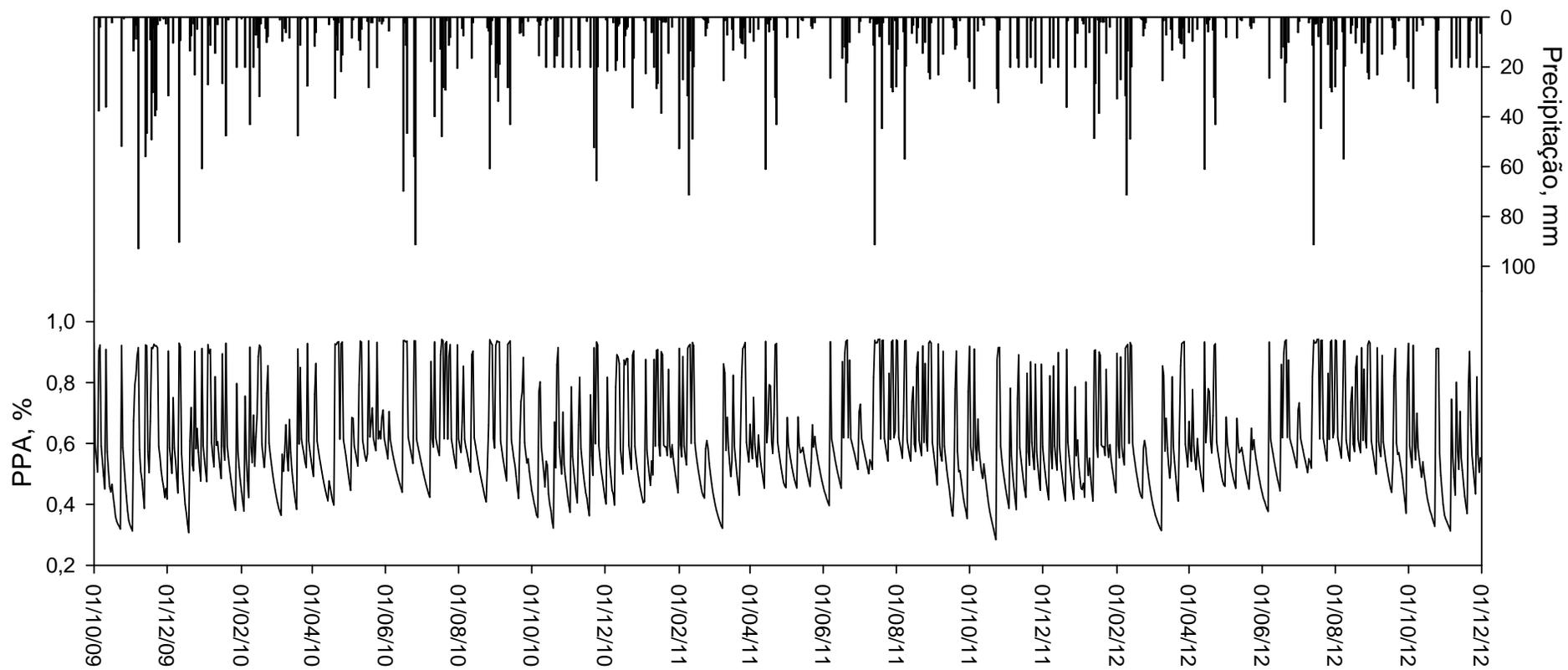


Figura 14. Variação da porosidade preenchida por água (PPA) estimada pelo modelo DAYCENT e precipitação pluviométrica durante o período de medição de gases de efeito estufa.

A variação da porosidade preenchida por água (PPA) simulada e observada, após as alterações realizadas nos parâmetros de solo contidos no arquivo “soils.in”, pode ser observada na Figura 15. Ainda que ocorram diferenças pontuais entre algumas medições e simulações constata-se que o DAYCENT seguiu as tendências principais da variação de PPA. Del Grosso et al. (2008), também chegaram a resultado similar, constatando leve superioridade na umidade do solo no tratamento sem cultivo, o que concordou com a tendência das observações a campo.

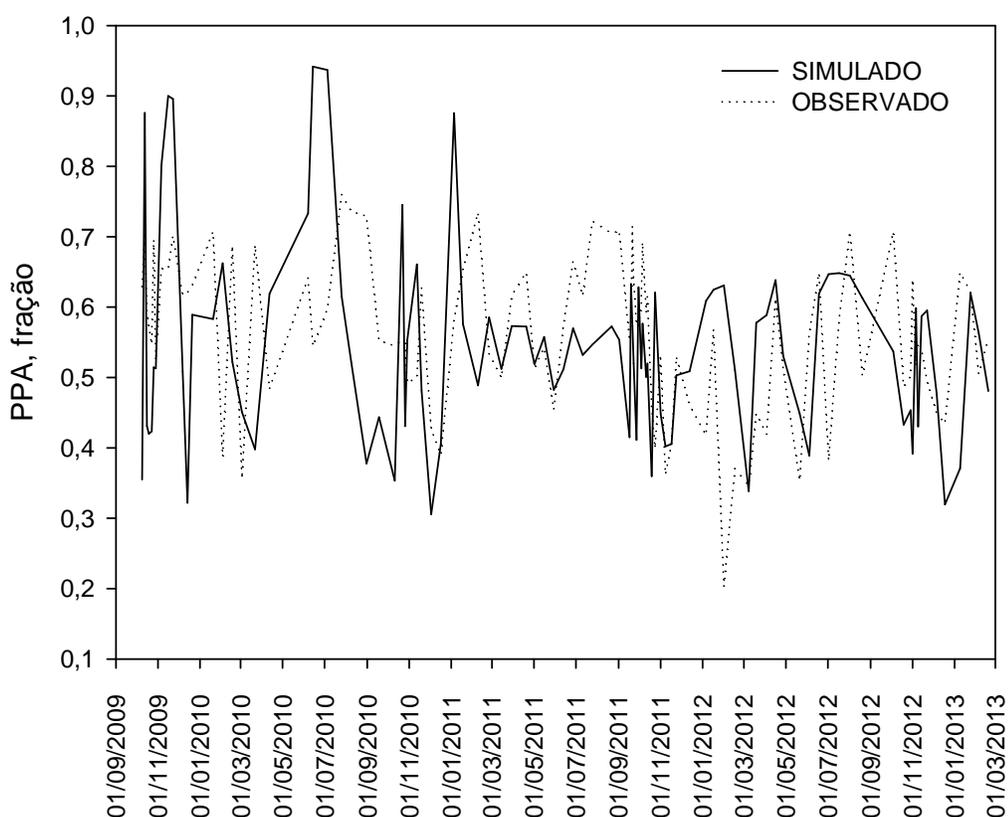


Figura 15. Porosidade preenchida por água (PPA) observada e simulada durante o período de medição de gases de efeito estufa.

A correlação entre valores simulados e observados para PPA foi significativa apesar de baixa ($r = 0,39$) (Figura 16). Valores de correlação baixos ($r = 0,26$), mas significativos para o conteúdo de água no solo também foram encontrados por Jarecki et al. (2008), sendo o estimado geralmente

significativamente menor que o observado. Não houve correlação significativa entre a U_v simulada e U_v observada.

A dificuldade encontrada na calibração das variáveis de água no solo pode ser atribuída, principalmente, a falta de informações sobre os atributos físicos do solo, refletindo na parametrização do modelo. Além da falta de medidas de CC, PMP e K_{sat} , destaca-se que nas medições a campo foi quantificada a umidade gravimétrica do solo, a partir da qual se calculou a umidade volumétrica utilizando-se a densidade do solo. Esta não foi quantificada nas coletas de umidade gravimétrica, portanto, utilizaram-se como referência os valores determinados por Dieckow (2003) para preparo convencional e plantio direto. Portanto, o acúmulo dessas incertezas pode influenciar nos valores calculados de umidade volumétrica.

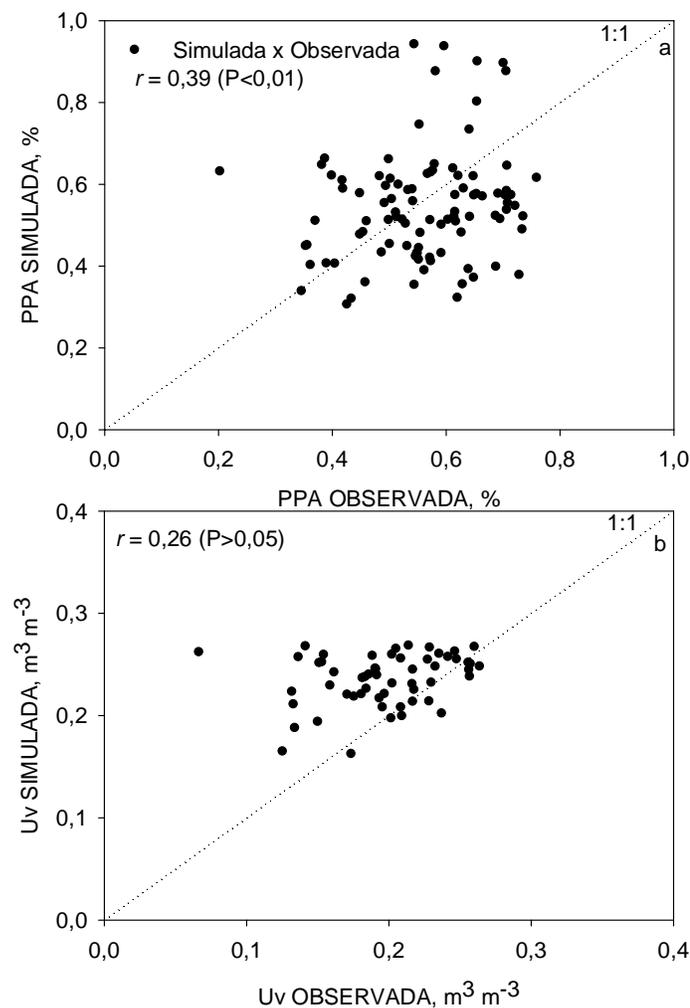


Figura 16. Correlação entre os valores simulados e medidos de porosidade preenchida por água (a) e umidade volumétrica (b).

6.1.3.4. Gases de efeito estufa

A simulação de gases de efeito estufa por modelos ecossistêmicos pode ser considerada a parte final do processo de calibração dos outros submodelos, ou seja, pressupõe-se uma boa simulação do crescimento de plantas, da dinâmica do C e N, temperatura e água do solo para uma estimativa adequada da dinâmica de GEE (PARTON et al., 1998).

A interpretação dos resultados das simulações pode ser realizada considerando diferentes estatísticas para avaliar sua qualidade e relevância na comparação com os valores obtidos em medições no campo. Os diferentes métodos estatísticos podem mostrar determinados aspectos das simulações, mas finalmente estes devem ser tomados em conjunto, pois permitem uma visão mais abrangente do esforço de modelagem.

A parametrização realizada para o modelo DAYCENT permitiu simular satisfatoriamente os sistemas de cultivo e sistemas de cultura testados. O teste F para a análise de LOFIT mostrou que o erro total das simulações foi significativamente menor que aquele inerente às medições de campo para todos os gases (Tabela 6). A RMSE aponta no mesmo sentido, uma vez que o valor calculado esteve dentro do intervalo de confiança de 95% em todos os tratamentos. Complementarmente, a estatística E mostrou que não ocorreram vieses estatisticamente significativos quanto a trajetória de emissões de GEE nos sistemas testados.

A associação entre os valores experimentais e os simulados pode ser visto nas Figuras 18, 21 e 24, em uma abordagem gráfica, e pela estatística “r” (coeficiente de correlação), de forma quantitativa. Estas análises estatísticas para os gases, N₂O, CH₄ e CO₂ são discutidas em detalhe a seguir.

TABELA 6. Análise da falta de ajuste (LOFIT), raiz quadrada média do erro (RMSE) e Erro relativo (E) para avaliar a acurácia das simulações de emissão de gases de efeito estufa realizadas pelo modelo DAYCENT.

Sistema de manejo ^(a)	LOFIT	F ^(b)	F _{5%} ^(b)	RMSE ^(c) %	RMSE _{95%} ^(c)	E ^(d)	E _{95%} ^(d)
----- N ₂ O -----							
PCAM	92261	0,01	1,29	198,00	650,67	75,71	338,65
PCVM	179479	0,01	1,29	166,75	456,19	67,38	215,98
PDAM	8339	0,01	1,29	187,48	765,13	45,20	345,51
PDVM	23167	0,01	1,29	142,19	502,74	47,87	235,59
----- CH ₄ -----							
PCAM	8356	0,01	1,29	958,86	6923,30	609,23	2879,45
PCVM	2498	0,02	1,29	241,84	978,27	217,08	624,30
PDAM	4206	0,01	1,29	166,37	956,81	39,61	497,48
PDVM	2023	0,004	1,29	162,49	2072,77	80,12	784,35
----- CO ₂ -----							
PCAM	55039	0,01	1,29	78,89	158,53	46,04	127,47
PCVM	47907	0,01	1,29	64,14	129,86	39,71	95,39
PDAM	73461	0,01	1,29	76,91	160,01	60,23	123,18
PDVM	73918	0,01	1,29	67,57	107,69	50,27	86,44

^(a) PCAM: Preparo convencional aveia/milho, PCVM: Preparo convencional vica/milho, PDAM: Plantio Direto aveia/milho, PDVM: Plantio Direto vica/milho.

^(b) Teste-F para determinar a significância da falta de ajuste (LOFIT). Valores de $F > F_{5\%}$ indicam que os valores simulados diferem-se significativamente dos valores medidos.

^(c) Valore de RMSE menores que RMSE_{95%} indicam que os valores simulados encontram-se dentro dos intervalos de confiança de 95% dos valores observados.

^(d) Valore de E menores que E_{95%} indicam que os valores simulados encontram-se dentro dos intervalos de confiança de 95% dos valores observados.

a) Óxido nitroso - N₂O

A emissão de óxido nitroso está atrelada às condições meteorológicas anteriores e posteriores aos principais eventos de manejo e a outros fatores que atuam concomitantemente para a regulação do fluxo deste gás (BOUWMAN, 1996; DEL GROSSO et al., 2001). A variação da umidade do solo afeta uma série de processos biológicos, que por sua vez, controlam o fluxo de gases no solo (SKIBA & BALL, 2002). Considerando-se que a umidade do solo guarda estreita relação com a precipitação, pode-se afirmar que esta é um fator chave no fluxo de N₂O. Portanto, a análise dos eventos pluviométricos conjuntamente com a dinâmica de gases é de suma importância para compreender os processos de emissão.

A precipitação acumulada foi de 2077 mm, 1548 mm, e 1429 mm nos anos agrícolas de 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente. Em todos os anos, a precipitação anual esteve acima da média climatológica para a região, que é de 1320 mm, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2011). No entanto, a distribuição da precipitação entre os três anos avaliados foi bastante distinta, com uma variação para mais em relação à normal de 57%, 17% e 8%, na ordem temporal.

Os eventos com acumulados mensais superiores à normal mais discrepantes foram nos meses de novembro, dezembro de 2009, junho de 2010, fevereiro e julho de 2011 e julho, setembro e dezembro de 2012. O excesso de precipitação foi de 313,7 mm, 160,2 mm, 145,4 mm, 159,9 mm, 217,9 mm, 100,8 mm, 139,6 mm e 121,0 mm, respectivamente. No extremo oposto, destacam-se os meses de outubro de 2010, setembro de 2011 e junho de 2012, com precipitação acumulada inferior à média na ordem de 75,1 mm, 57,5 mm e 116,9 mm, respectivamente.

Ao analisar-se o intervalo de tempo entre o pós-manejo até a colheita do milho também nota-se um contraste entre as safras analisadas. Enquanto no período de outubro de 2009 a maio de 2010 o excesso hídrico foi de 605,2 mm entre outubro de 2010 a abril de 2011 a precipitação superou a média histórica em 170,5 mm, uma diferença de mais de 430 mm. Ao comparar-se com a última época avaliada, setembro de 2011 a março de 2012, que apresentou um déficit hídrico de 107,6 mm, esta diferença torna-se ainda

maior, alcançando 712,8 mm em relação à primeira e 278,1 mm em relação à segunda safra.

Os resultados observados a campo mostram que há uma grande variação nos picos de emissão de óxido nitroso entre os anos em função da precipitação, expressando-se no cômputo do total das emissões anuais. Em todos os tratamentos, destacaram-se três picos que ocorreram logo após o manejo das culturas de cobertura, em 25/09/2009, 11/10/2010 e 14/09/2011 (Figura 17). No entanto, na primeira safra as medições voltaram aos valores de base cerca de 100 dias após o manejo e nos dois anos posteriores o retorno aconteceu cerca de 40 dias depois. A manutenção da umidade do solo devido a precipitação acima da média para o período deve ter sido um dos fatores determinantes para esse resultado.

Hernandez-Ramirez et al. (2009), compararam os picos de emissão de N_2O em dois anos com precipitações distintas, relatam que no ano com menor precipitação os picos foram mais estreitos e alongados, o que os autores atribuem à menor disponibilidade de água no solo em comparação ao ano posterior. Este último apresentou uma precipitação média mensal 1,5 vezes maior que o ano anterior e uma melhor distribuição das chuvas, justificando a permanência dos fluxos em um patamar elevado por mais tempo.

O modelo DAYCENT simulou as variações ocorridas no fluxo de N_2O ao longo do ano e mostrou-se sensível às interferências decorrentes dos manejos aplicados. A aplicação de fertilizante nitrogenado (20 kg ha^{-1}) na linha de plantio do milho resultou no aparecimento de picos de emissão característicos (Figura 17). Diversos trabalhos mostram que a adubação com formas minerais de N são seguidas de pulsos de emissão de N_2O , principalmente quando a PPA encontra-se acima de 60% (ALLUVIONE; HALVORSON; DEL GROSSO, 2009; BATEMAN; BAGGS, 2005; METAY et al., 2007; MOSIER; PENDALL; MORGAN, 2003).

No entanto, em algumas situações, a magnitude dos picos das simulações não acompanhou a observada, indo ao encontro dos resultados apresentados por Mosier (1998), ao comparar valores simulados com observados em dois locais distintos sob rotação trigo/pousio. Del Grosso et al. (2001) atribuem este tipo de resultado à dificuldade de modelar adequadamente a água no solo, o que interfere no fluxo dos gases

nitrogenados, uma vez que o modelo considera a variável PPA um dos fatores controladores desta dinâmica.

O solo pode servir como uma fonte ou dreno de N_2O . E em ambientes anóxicos, predomina o consumo e nos óxicos a emissão é mais representativa (SCHLESINGER, 2013). No entanto, há situações em que se detecta consumo de N_2O em solos aerados, sendo o seu mecanismo ainda não totalmente esclarecido (WU et al., 2013). Estes autores detectaram consumo de N_2O variando de 26 a 726,6 $\mu g m^{-2} h^{-1}$ em um solo de textura franco arenosa, sendo o período de maior consumo coincidente com a época de menor precipitação, quando a porosidade preenchida por água também foi menor, variando entre 5-20%.

O maior pico de consumo encontrado por Wu et al. (2013) é significativamente maior que aqueles normalmente encontrados na bibliografia, que variam de valores próximos a zero a até 207 $\mu g m^{-2} h^{-1}$, segundo levantamento realizado por Schlesinger (2013), e que sugere um potencial de consumo médio de 4 $\mu g m^{-2} h^{-1}$ em ecossistemas naturais, geralmente associados a solos alagados.

A versão utilizada do modelo DAYCENT não simula o influxo de N_2O . É importante destacar a dificuldade do método de mensuração de GEEs em quantificar valores muito baixos de emissão, o que ainda causa grande incerteza nas discussões sobre consumo de N_2O em solos. Jantalia et al. (2006) relataram fluxos negativos de N_2O em algumas amostragens realizadas em 2003 e 2004, em Londrina-PR, os quais foram atribuídos a erros de leituras em baixas concentrações.

Jarecki et al. (2008) constataram que os fluxos preditos pelo DAYCENT seguiram o mesmo padrão dos encontrados a campo, mas algumas discrepâncias são discutidas pelos autores. Destacam-se dois momentos distintos: na primeira época de comparação, o modelo superestima a emissão de N_2O , com valores significativamente superiores aos observados; na segunda, os valores máximos dos picos de emissão detectados a campo são de 3 a 4 vezes maiores que os preditos pelo modelo. A análise de dispersão com a linha 1:1 mostra que o DAYCENT apresentou claramente tendência de superestimar os fluxos de N_2O em baixa emissão e subestimar durante os picos, ainda assim o valor de $r = 0,37$ foi significativo a 1% de probabilidade de

erro (JARECKI et al., 2008). Ainda, os autores constataram que o modelo subestimou em torno de $1 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1}$ o acumulado durante o período, que foi de cerca de 250 dias. No entanto, não houve diferença significativa entre os acumulados.

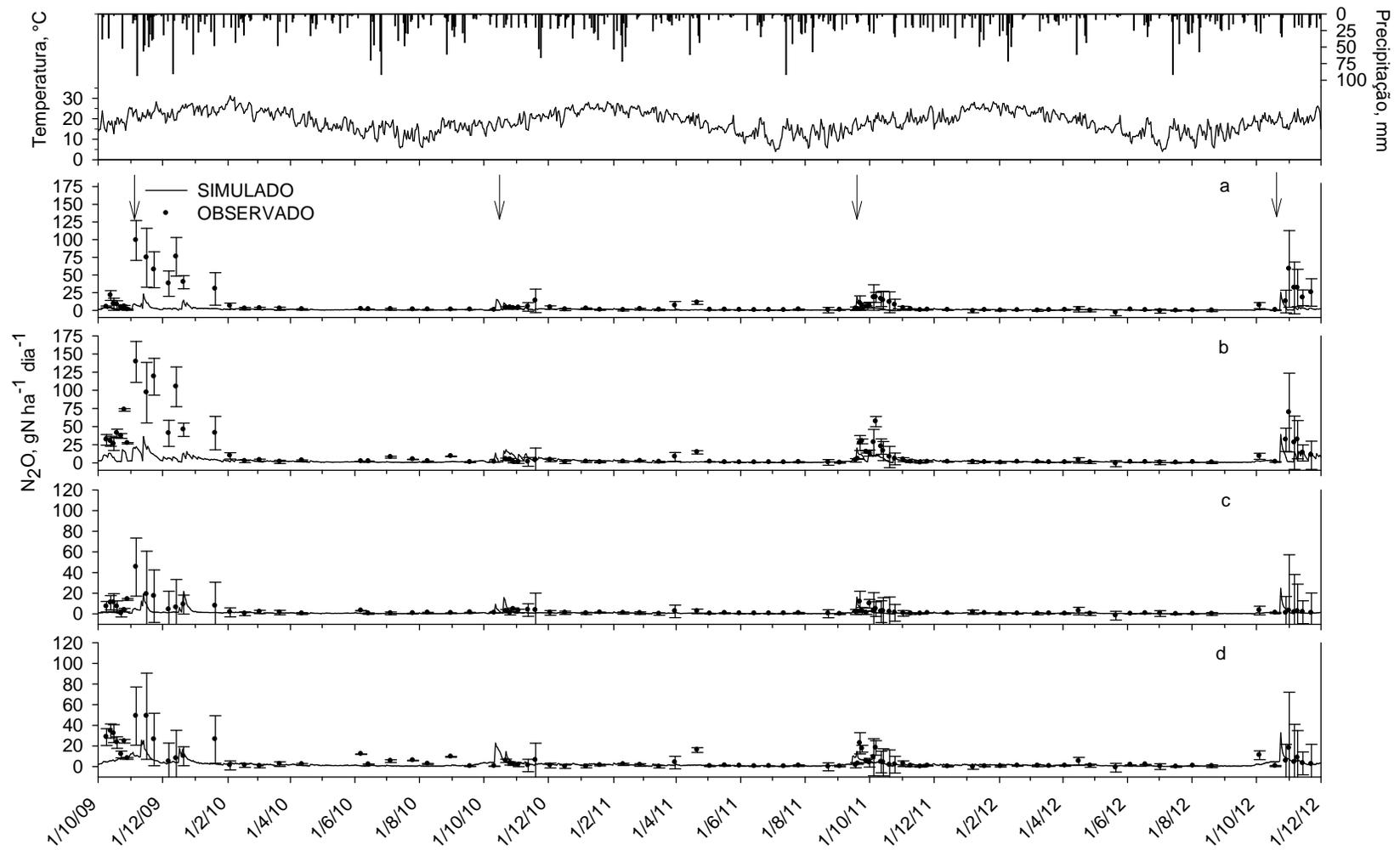


Figura 17. Precipitação (mm), temperatura média (°C) e emissões de N₂O nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d). As setas indicam as datas de semeadura da cultura do milho.

A correlação entre os valores simulados e observados para o fluxo de N_2O foi significativa para todos os tratamentos e seu valor de 0,53. Os dois tratamentos com a sucessão vica/milho apresentaram os maiores valores de r , sendo ligeiramente superior no plantio direto ($r = 0,57$) comparado ao plantio convencional ($r = 0,55$) (Figura 18). Nas parcelas com aveia/milho o plantio convencional apresentou um r superior (0,44) ao plantio direto (0,35), este último considerado baixo, mas ainda assim significativo.

Apesar dos testes de LOFIT, RMSE e E não apresentarem diferença significativa, na Figura 18 nota-se que o modelo subestimou parte das emissões. Estas situações se referem aos os picos de emissão, que podem ser visualizados na Figura 17, os quais não são capturados na configuração atual do modelo DAYCENT.

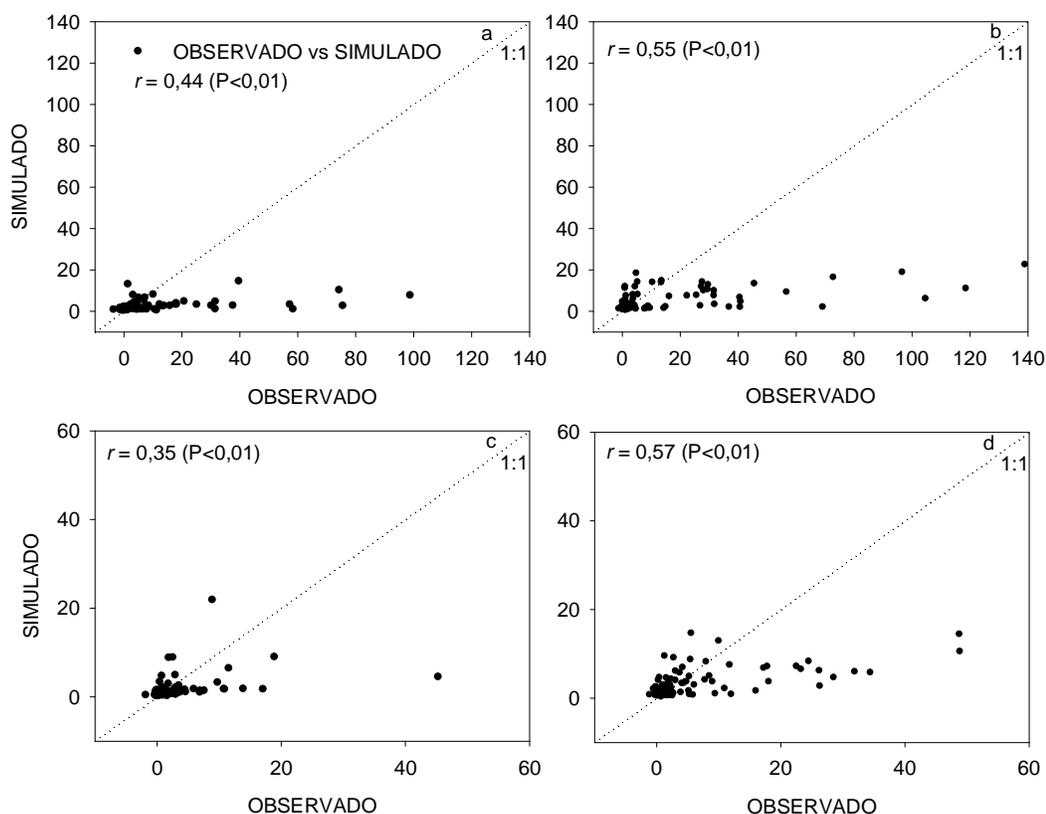


Figura 18. Correlação entre valores simulados e observados de N_2O nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d) durante três safras.

Os dados observados mostram uma menor emissão acumulada de N_2O no plantio direto, o que foi também observado nas simulações (Figura 19), como também reportado por Del Grosso et al. (2008) ao comparar sistemas de preparo convencional e direto sem aplicação de N. De acordo com Halvorson et al. (2008), a menor emissão em plantio direto pode ser explicada pela manutenção de maiores teores de carbono orgânico no solo, retendo N na forma orgânica e diminuindo o N prontamente disponível para os processos microbianos.

Em particular, no ano agrícola 2009/2010, o modelo apresentou subestimação importante, da ordem de 6 vezes no cultivo convencional e de 3 vezes no plantio direto em relação às medições. Este resultado é atribuído à baixa emissão estimada pelo DAYCENT nas condições de alta precipitação ocorrida em 2009, situação na qual o modelo não consegue replicar os picos de emissão medidos.

Uma das causas prováveis é que na parametrização atual a drenagem total das camadas de simulação no solo ocorre no mesmo dia do evento de chuva ou irrigação, mas na realidade a umidade do solo deveria manter-se alta por alguns dias. A alteração do parâmetro de solo DRAINLAG, responsável por esta característica, acabou provocando a superestimação das emissões de N_2O em todo o período simulado, nos dois sistemas de preparo e de plantas. Optou-se por manter os valores *default* deste parâmetro para minimizar a falta de ajuste.

Os atributos físicos do solo utilizados pelo submodelo hidrológico do DAYCENT para estimar a dinâmica da água no solo são ponto de murcha permanente, capacidade de campo e condutividade hidráulica saturada, além da distribuição de raízes no perfil. Para este estudo, não tivemos acesso a dados definitivos sobre estas variáveis de entrada, portanto foram feitas estimativas baseadas em outros trabalhos e estudos de solos, bem como a modelagem proposta por Saxton (1986). A carência destes dados críticos para a simulação de GEE se deve a política de minimização de mobilização dos solos nas parcelas do experimento de longo prazo utilizado.

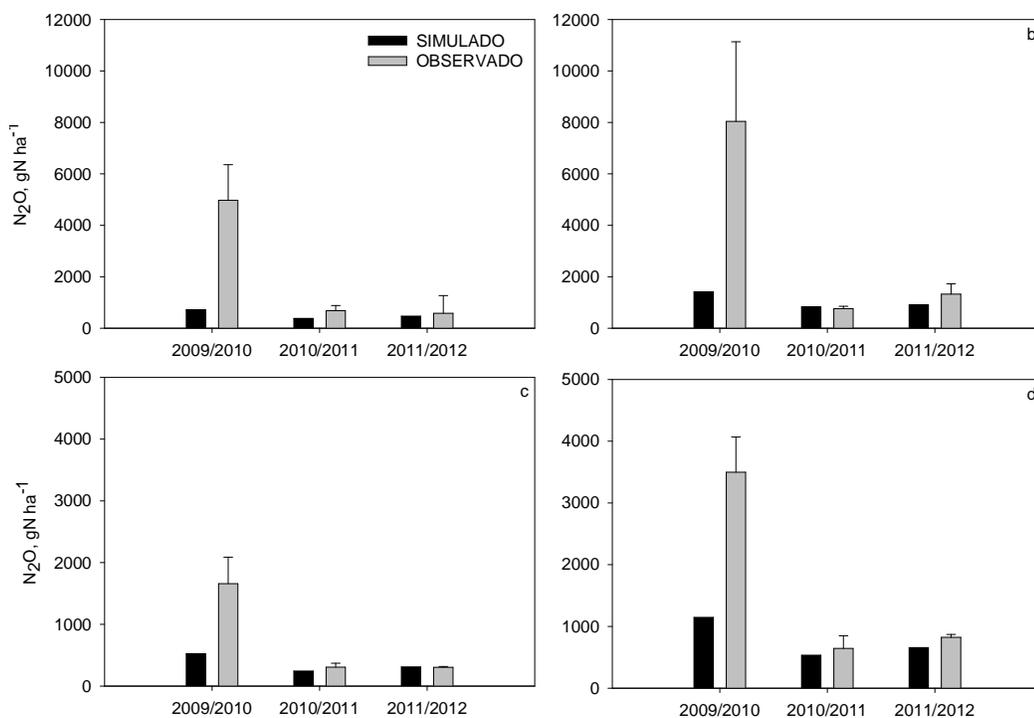


FIGURA 19. Emissão acumulada de N₂O em três anos agrícolas nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d).

De acordo com Del Grosso et al. (2008), a diminuição da fração de N nitrificado emitido na forma de N₂O melhorou o ajuste nos experimentos sem adição de fertilizantes nitrogenados. Os resultados mostram que a diminuição de 20% para 10% no parâmetro que controla este fluxo melhorou o ajuste na comparação entre os acumulados simulados e medidos. Esta alteração, segundo os autores, visou diminuir o excesso de N₂O perdido. No entanto, mesmo com o menor valor, o DAYCENT superestimou a emissão. A alta emissão de N₂O associada com a nitrificação é apontada pelos autores como a causa da superestimação, na configuração atual do algoritmo de dinâmica de N gasoso.

O *default* do parâmetro que determina a fração de N nitrificado emitido como N₂O na versão do DAYCENT utilizada neste trabalho é 0,7, ou seja, 7 vezes maior que o melhor ajuste encontrado por Del Grosso et al. (2008). Ainda assim, utilizando o valor de referência do modelo não se constatou superestimação nos totais acumulados (Figura 19).

A fração que controla a quantidade de N mineralizado que passa para nitrato foi alterada seletivamente, passando de 0,2 (padrão do modelo) para 0,1 no PD e 0,3 no PC, conforme sugerido por Del Grosso et al. (2011) para ajustar a emissão de N₂O. Nas condições edafoclimáticas da área experimental, esta foi a melhor configuração encontrada e, exceto para o ano de 2009/2010, simulou satisfatoriamente as diferenças entre os tratamentos.

b) Metano – CH₄

A oxidação de metano estimada pelo modelo tendeu a superestimar ao que foi medido, especialmente sob cultivo convencional, sendo que esta também não foi sensível aos eventos de manejo simulados. Os valores de consumo do CH₄ oscilaram em torno de -5 g C ha⁻¹ dia⁻¹ para todos os tratamentos. Além disso, não foi simulada emissão de metano pelo solo, o que seria representado por valores positivos (Figura 20). De fato, a versão do DAYCENT utilizada não é capaz de simular metanogênese em solos, pois o algoritmo utilizado representa apenas a oxidação do CH₄ em solos aerados. DAYCENT não se mostrou sensível à mesma grandeza de variação dos dados medidos (Figura 21), não apresentando correlação entre dados medidos e simulados em todos os tratamentos testados.

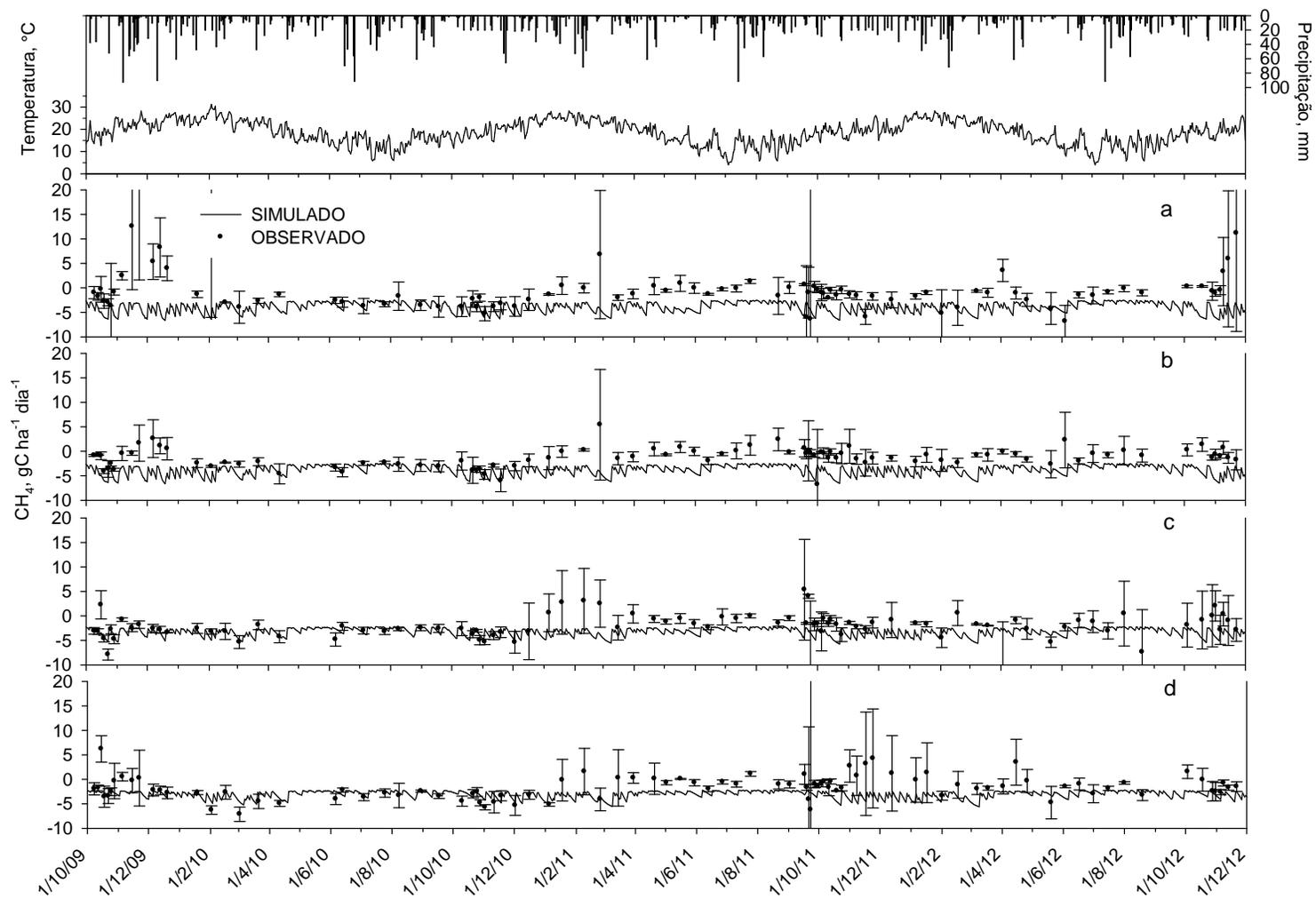


FIGURA 20. Precipitação (mm), temperatura média (°C) e fluxos de CH₄ nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d).

Na Figura 21, a posição horizontalizada dos pontos de dispersão e, conseqüentemente, das retas de correlação indica que o modelo não foi capaz de simular a amplitude obtida nas medições a campo. Fica evidente a inexistência de ocorrências de valores positivos, indicando a inexistência de efluxo de CH₄ do solo, como já comentado.

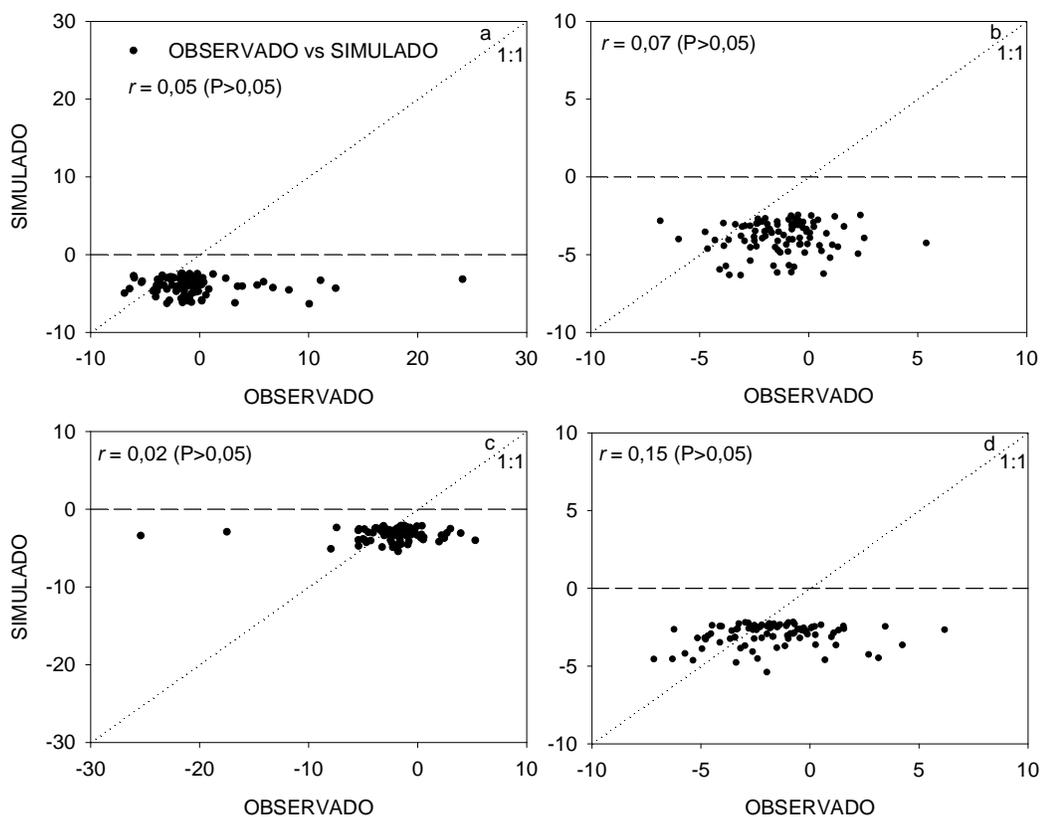


Figura 21. Correlação entre valores simulados e observados de CH₄ nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d) durante três safras.

A emissão de CH₄ em condições de sequeiro é pouco frequente quando comparada ao seu consumo no solo, mas os dados medidos apontam que episódios de liberação de metano ocorrem em épocas com maior precipitação e disponibilidade de C (Figura 20). Nota-se que o maior número de ocorrência de valores medidos muito superiores a zero situam-se nas épocas de manejo das culturas e do solo, o que eleva o teor de C lábil e favorece as

bactérias metanogênicas, principalmente quando aliado a precipitações mais intensas.

Por outro lado, em culturas alagadas, como o arroz irrigado, a contribuição no aumento da concentração de GEE tem uma participação significativa do CH_4 . Nas condições anaeróbias que ocorrem nestas áreas, há um predomínio da atividade dos organismos metanogênicos, cuja atividade depende de fatores ambientais como potencial redox, pH, temperatura do solo e C disponível (MOSIER et al., 2004; WASSMANN et al., 1998). Neste sentido, a evolução do modelo deve abarcar fenômenos ainda não considerados nas simulações.

Nos tratamentos com cultivo convencional, o modelo superestimou o influxo acumulado de CH_4 nos três anos analisados, mostrando um desempenho pouco superior no plantio direto (Figura 22). Nas seis amostras disponíveis no sistema sem revolvimento, em três delas o total simulado enquadrou-se dentro da variabilidade das medições de campo, mas nas outras três os totais simulados ficaram acima dos observados.

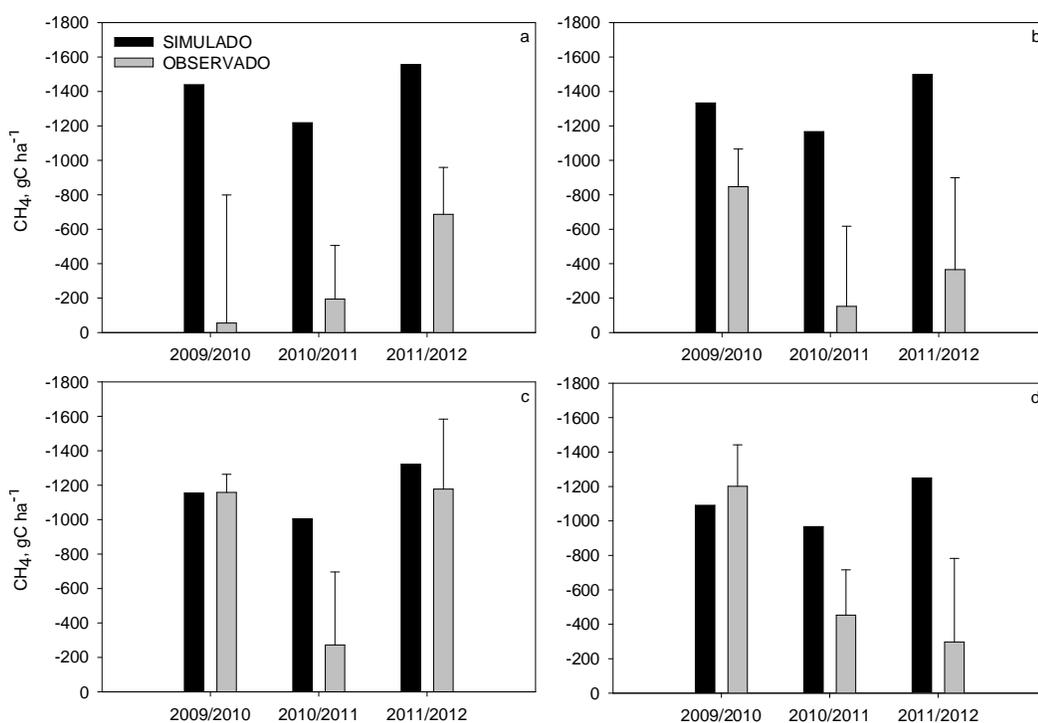


Figura 22. Influxo cumulativo CH_4 em três anos agrícolas nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d).

A incapacidade do modelo em simular a metanogênese e a manutenção dos valores estimados em níveis muito inferiores aos observados durante vários períodos de medições levaram a uma superestimativa dos fluxos cumulativos. Portanto, não se recomenda utilizar o modelo na sua versão atual, com a parametrização utilizada, para quantificar o consumo total de CH₄, pelo menos nas condições edafoclimáticas testadas.

Uma nova versão recente do DAYCENT, distinta da disponibilizada para a realização do presente estudo, pode simular o processo de metanogênese, tendo como base para o cálculo da liberação de metano, o potencial de oxirredução, a temperatura e o carbono disponível no solo (CHENG et al., 2013a). Estes autores testaram essa versão em áreas de produção de arroz na China com um vasto conjunto de dados, provenientes de 97 locais distintos, dos quais 25 utilizados para parametrização e 72 para validação. Os resultados encontrados mostraram uma relação significativa entre os valores simulados e observados, com um R² de 0,83 para a parametrização e 0,74 para a validação.

c) Dióxido de carbono - CO₂

A emissão de CO₂ simulada pelo DAYCENT foi sistematicamente inferior às medições durante praticamente todo o período experimental (Figura 23). A explicação mais provável para esta observação é que na sua construção atual o DAYCENT simula apenas a respiração heterotrófica, sendo esta considerada a única fonte de CO₂ do solo. Na situação dos experimentos, as medições *in situ* de GEE são conduzidas com plantas em desenvolvimento nas parcelas na maior parte do tempo, ou seja, incluem CO₂ derivado da respiração autotrófica, proveniente do sistema radicular.

Kuzyakov (2006) mostra diversos métodos para isolar o efeito de cada fator responsável pela emissão de CO₂ do solo, desde procedimentos simples, como a comparação entre parcelas cultivadas e não cultivadas para determinar a respiração de raízes, até técnicas mais sofisticadas, como o cultivo de plantas em atmosfera com CO₂ marcado, que é a única forma totalmente correta e exata de determinar a origem do C.

Após comparar os valores encontrados por métodos distintos para diferentes tipos de plantas, Kuzyakov & Larionova (2005) concluem que para

cereais jovens a respiração de raízes é de aproximadamente 48%; no entanto, os autores destacam a grande variabilidade encontrada neste tipo de determinação e reforçam a importância de estudos que enfoquem a distinção das fontes de C no maior número de ambientes possível.

Apesar da subestimação da emissão de CO₂, as simulações foram sensíveis às diferenças entre culturas, como por exemplo, capturando a diferença entre aveia e vicia: emissões acumuladas cerca de 30% inferiores para a aveia. Essa diferença pode ser atribuída a dois fatores principais: a maior produção de biomassa e a menor relação C:N nas parcelas com ervilhaca. Giacomini et al. (2003) estudaram o cultivo de aveia, ervilhaca e seus consórcios, e mostraram que a relação C:N no resíduo é máxima quando a aveia é cultivada isoladamente e decresce acompanhando o aumento da proporção da leguminosa cultivada, atingindo valores mínimos quando a ervilhaca predomina. Considerando que resíduos vegetais que apresentam maior relação C:N têm decomposição mais lenta, permanecendo por mais tempo no solo (AITA & GIACOMINI, 2003), emissões de CO₂ inferiores em um dado intervalo de tempo são esperadas.

A emissão de CO₂ é regulada por uma série de fatores, como temperatura, natureza e quantidade do resíduo vegetal e sistema de manejo adotado (AMADO; MIELNICZUK; FERNANDES, 2000; COSTA et al., 2008; FRANZLUEBBERS; HONS; ZUBERER, 1995; NETO et al., 2009). Os restos de plantas servem de fonte de C para a decomposição microbiana, que é afetada pela relação C:N das mesmas e pelo manejo do solo adotado, uma vez que ao revolvê-los os resíduos são seccionados em partes menores e incorporados, facilitando o contato com a biomassa microbiana e, conseqüentemente, levando a um aumento da taxa de decomposição (AITA & GIACOMINI, 2007; VARGAS; SCHOLLES, 2000).

Os maiores valores observados de emissão de CO₂ estão atrelados aos eventos de manejo, o que foi capturado pelo DACENT, apesar da subestimação das simulações. A liberação de CO₂ ocorre logo após as atividades de revolvimento do solo, sendo que em poucas semanas são liberadas grandes quantidades deste composto para a atmosfera, resultando na redução do conteúdo de C do solo a médio e longo prazo (REICOSKY & ARCHER, 2007; LA SCALA et al., 2006, 2008).

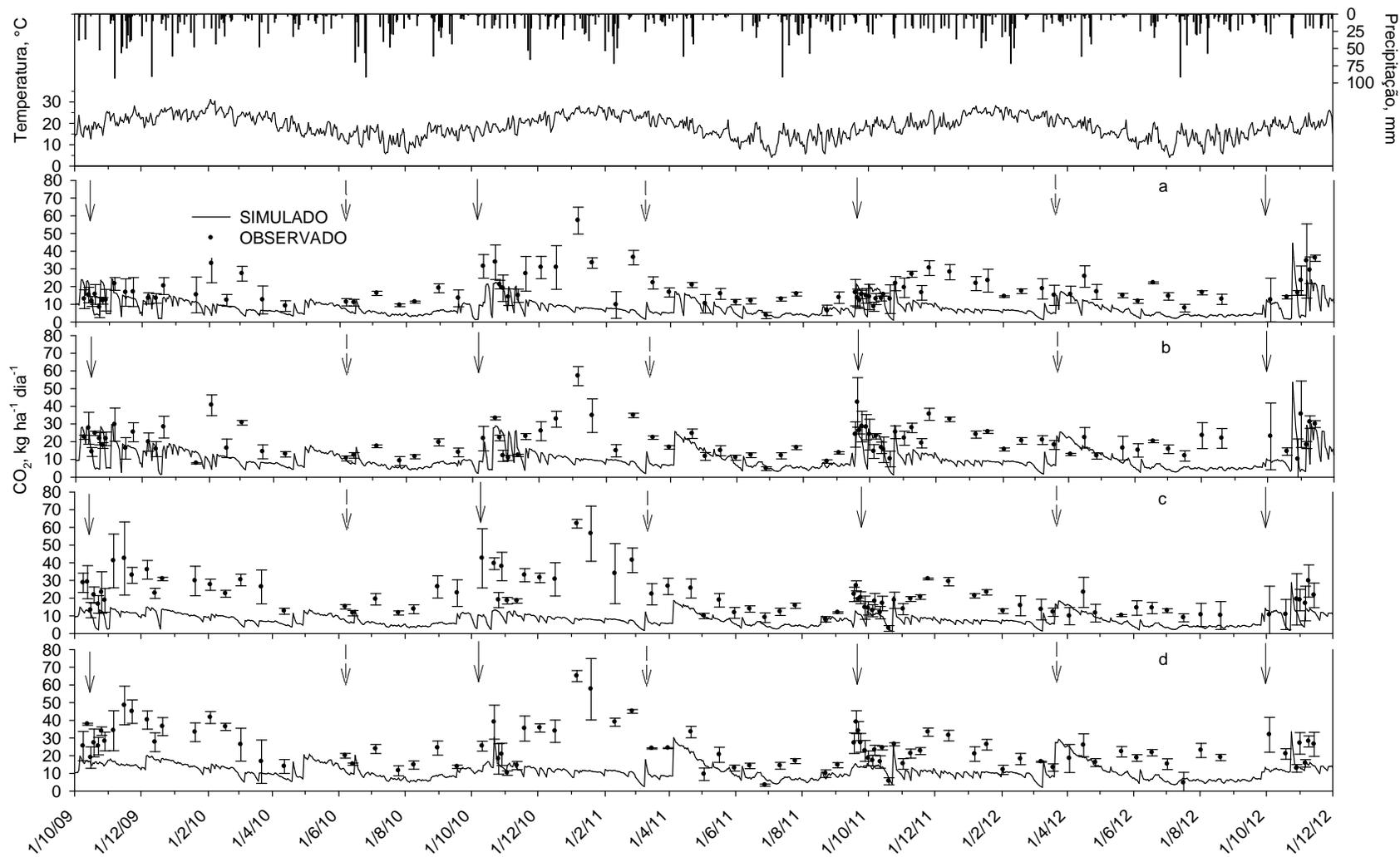


Figura 23. Precipitação (mm), temperatura média (°C) e emissões de CO₂ nos tratamentos PCAM (a), PCVM (b), PDAM (c) e PDVM (d). As setas indicam data de manejo das coberturas e preparo do solo e as tracejadas a colheita do milho.

Na Figura 24, pode-se notar que os sistemas sob plantio direto apresentaram um coeficiente de correlação significativo, ainda que baixo, ao contrário de ambos os tratamentos sob plantio convencional que não apresentaram correlação significativa entre os valores medidos e observados. Além disso, a maior concentração de pontos de dispersão a direita da linha 1:1 indica a subestimação mostrada anteriormente. Cabe ressaltar que estão sendo comparados fluxos de C distintos, uma vez que o modelo não expressa a respiração radicular na saída avaliada. Portanto, os valores baixos encontrados para o coeficiente de correlação não poderiam *a priori* ser atribuídos a problemas na modelagem.

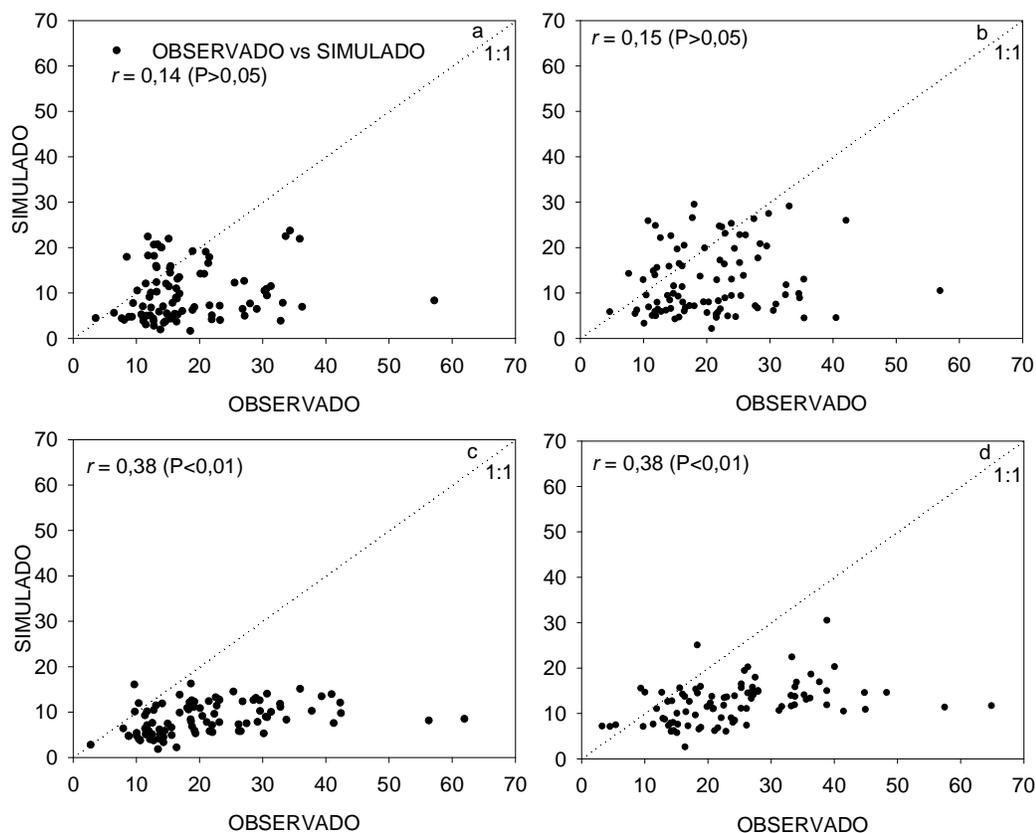


Figura 24. Correlação entre valores simulados e observados de CO₂ nos tratamentos PCAM (a), PAVM (b), PDAM (c) e PDVM (d) durante três safras.

Na média, o modelo subestimou em 2,5 vezes a emissão acumulada de CO₂, tendência apresentada por todos os tratamentos (Figura 25). No entanto, quando se considera que a respiração radicular pode contribuir com 48% do CO₂ emitido pelo solos, conforme sugerido por KUZUYAKOV &

LARIONOVA (2005), a subestimação seria em torno de 13%. Os tratamentos com vica apresentaram a menor diferença após o cálculo, variando de 1% no plantio convencional a 10% no direto. O pior resultado foi no tratamento com aveia/milho em plantio direto com valor simulado 22% inferior ao medido, enquanto no convencional a subestimação foi de 15%.

A utilização do fator de 48% para a respiração de raízes deve permitir uma melhoria no ajuste entre as emissões simuladas e observadas, podendo contribuir para estudos de balanço de C em sistemas agrícolas.

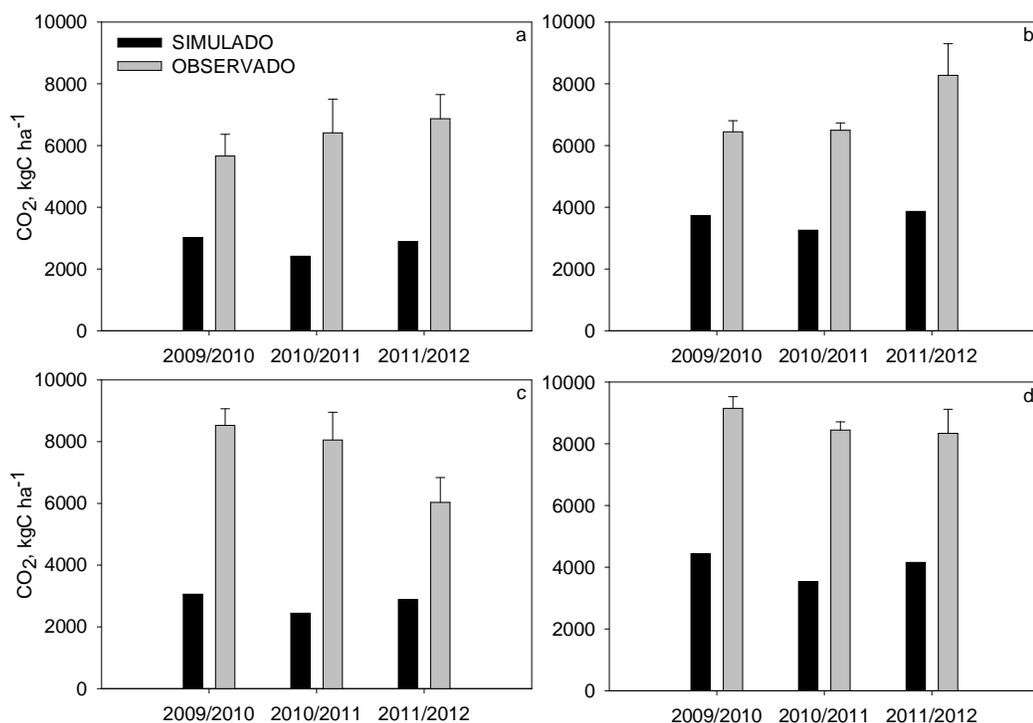


Figura 25. Emissão acumulada de CO₂ simulada e observada nos tratamentos PCAM (a), PAVM (b), PDAM (c) e PDVM (d) durante três safras.

6.2. Validação do modelo DAYCENT

A validação do modelo após os ajustes propostos é realizada pela aplicação da mesma configuração utilizada na etapa de calibração e as saídas estimadas pelo modelo foram comparadas contra um conjunto de dados independente. A única alteração implementada refere-se às plantas consideradas na simulação. As medições disponíveis, referentes aos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012, para os tratamentos aveia+vica/milho e pousio/milho, ambas conduzidas sob plantio direto, foram as referências de campo para a comparação com as simulações. Os resultados da validação encontram-se na Tabela 7 e na Figura 26.

Os valores de LOFIT e de RMSE de N_2O , CH_4 e CO_2 mantiveram-se dentro dos respectivos intervalos de aceitação, ou seja, não houve diferença estatística significativa entre os valores simulados e observados para os dois sistemas de plantas testados. A diferença entre a RMSE média da calibração e da validação ficou na ordem de 10% para N_2O e CO_2 , indicando que é possível aplicar a calibração proposta em situações ambientais e de manejo de solo semelhantes às deste trabalho.

Em relação à análise de vieses, calculada pela estatística E, não houve desvios significativos entre os valores simulados e os observados a campo em nenhum dos tratamentos utilizados na validação. O N_2O e o CO_2 apresentaram os menores vieses, com valores médios de E iguais a 28,1 e 40,3, respectivamente. Nas simulações de CH_4 , por outro lado, o valor médio de E foi relativamente superior aos outros gases, atingindo 809,9. No entanto, mesmo o CH_4 manteve-se na faixa de aceitação de 95%.

Apesar da grande variabilidade entre as medições, a média anual (Figura 26) indicou emissão de CH_4 no ano de 2011/2012, o que elevou o valor de RMSE. Cabe ressaltar que a versão do DAYCENT que foi utilizada não possui o mecanismo necessário para simular efluxo deste gás.

TABELA 7. Análise da falta de ajuste (LOFIT), raiz quadrada média do erro (RMSE) e Erro relativo (E) para avaliar a acurácia das simulações de validação da emissão de gases de efeito estufa realizadas pelo modelo DAYCENT

Sistema de manejo ^(a)	LOFIT	F ^(b)	F _{5%} ^(b)	RMSE ^(c)	RMSE _{95%} ^(c)	E ^(d)	E _{95%} ^(d)
				%			
----- N ₂ O -----							
AVM	42010	0,02	1,34	198,80	701,84	43,34	337,70
PM	2660	0,01	1,34	168,70	1943,12	12,69	791,99
----- CH ₄ -----							
AVM	4003	0,01	1,34	346,50	3448,39	139,16	1931,32
PM	4681	0,02	1,40	2679,59	21268,66	1480,51	13433,20
----- CO ₂ -----							
AVM	47319	0,01	1,35	58,37	78,76	29,34	62,81
PM	15605	0,01	1,40	66,85	162,77	51,54	125,61

(a) AVM: Aveia+vica/milho, PM: Pousio/milho.

(b) Teste-F para determinar a significância da falta de ajuste (LOFIT). Valores de $F > F_{5\%}$ indicam que os valores simulados diferem-se significativamente dos valores medidos.

(c) Valor de RMSE menores que RMSE 95% indicam que os valores simulados encontram-se dentro dos intervalos de confiança de 95% dos valores observados.

(d) Valor de E menores que E_{95%} indicam que os valores simulados encontram-se dentro dos intervalos de confiança de 95% dos valores observados.

A diferença da emissão de N₂O entre os sistemas de plantas foi simulada satisfatoriamente pelo modelo, conforme pode ser visto na Figura 26. O tratamento V+A/M emitiu cerca de 750 gN-N₂O ha⁻¹ a mais que o PM, de acordo com as observações de campo, ao passo que a diferença obtida nas simulações foi aproximadamente 1.000 g N-N₂O ha⁻¹, colocando-se na mesma ordem de grandeza. Na Figura 26 (a e b), pode-se observar que o modelo foi capaz de estimar este decréscimo, onde se deve destacar que as escalas dos eixos são diferentes, ressaltando este resultado. Assim, o DAYCENT subestimou a emissão acumulada de CO₂ na etapa de validação. No tratamento com pousio no inverno, o valor simulado fez 49% do observado e na rotação do milho com aveia+vica 68%. Estes resultados estão de acordo com os intervalos para respiração autotrófica (20% a 80% da emissão do CO₂ do solo) apresentados por Kuzyakov & Larinova (2005) e Kuzyakov (2006)

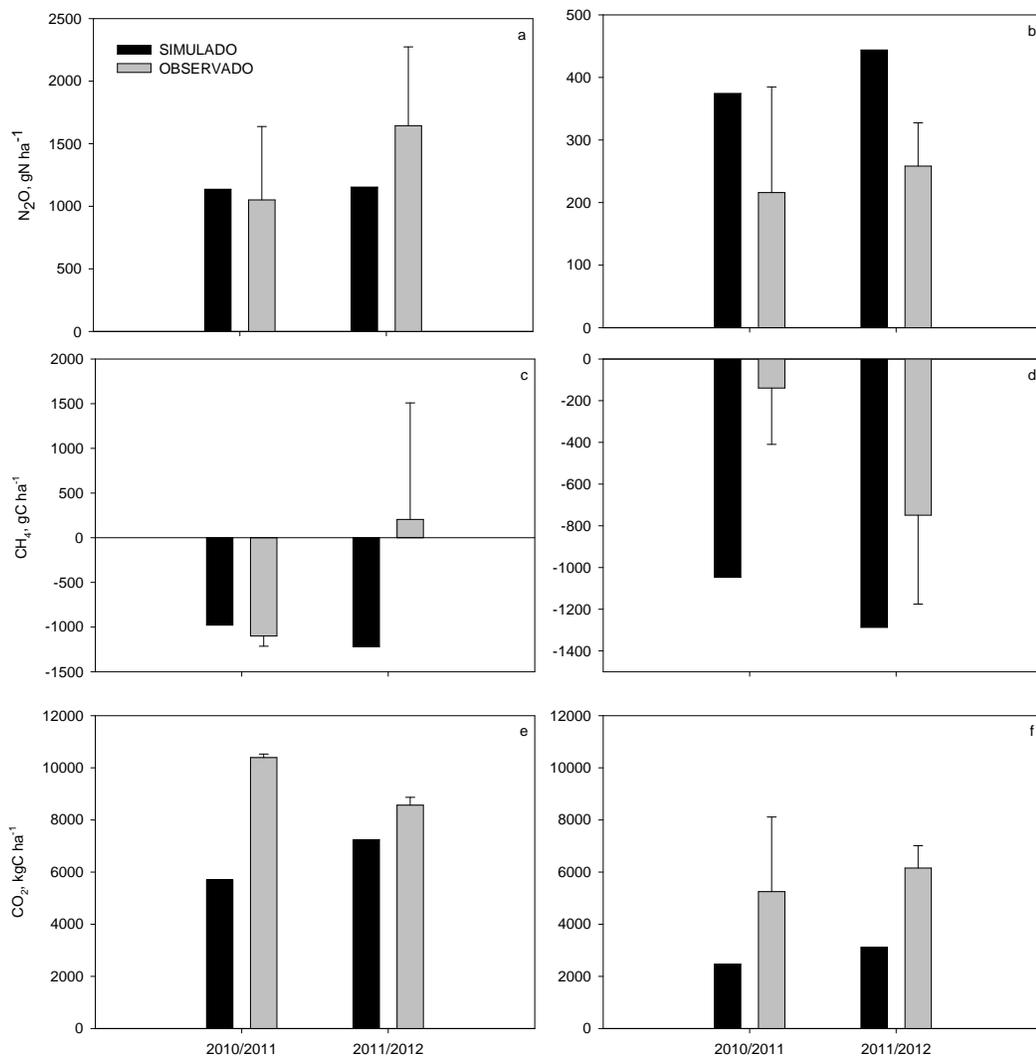


Figura 26. Emissão acumulada de N_2O (a,b), CH_4 (c,d) e CO_2 (e,f) simulada e observada nos tratamentos AVM (a, c, e) e PM (b, d, f) nas safras 2010/2011 e 2011/2012.

7. CONCLUSÕES

O modelo DAYCENT, após a validação, capturou diferenças entre os sistemas de manejo e de plantas sobre C e o N e, em particular dos GEE, indicando que pode ser utilizado para simular os efeitos dos sistemas de manejo sobre estas variáveis. O desempenho do modelo foi mais satisfatório no cálculo das emissões acumuladas do que na trajetória das emissões nos tratamentos testados.

As melhores simulações foram obtidas para N_2O , apesar do modelo não ter apresentado um bom desempenho na simulação dos picos de emissão em condições de elevada precipitação pluviométrica.

O baixo desempenho na predição dos fluxos diários e acumulados de CH_4 está relacionado à incapacidade do modelo em simular a metanogênese.

A emissão de CO_2 simulada pelo modelo foi cerca 50% da medida a campo, o que é explicado pela limitação da versão atual do DAYCENT em simular respiração autotrófica. Porém usando-se uma estimativa para a respiração autotrófica, as simulações foram mais próximas das observações a campo.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado não teve a pretensão – e nem seria possível – esgotar todas as possibilidades de parametrização, pois ainda que somente um pequeno grupo seja usualmente alterado o número de combinações possíveis é significativo. Este não se apresenta, portanto, como um estudo definitivo, mas como mais um passo no longo caminho do desenvolvimento científico e pretende, sim, incentivar outros pesquisadores a trilhar o incipiente caminho da modelagem de gases de efeito estufa no Sul do Brasil.

Com esse intuito, entende-se que iniciativas de medição do fluxo de gases em condições de solo, clima e sistemas de manejo de solo e de plantas distintos devem ser apoiadas para agregar mais dados aos futuros trabalhos com modelagem.

A quantificação dos fluxos em experimentos com aplicação de fertilizantes nitrogenados, minerais e orgânicos, será de grande valia para avaliar o desempenho do modelo em situações ainda não testadas no Brasil.

Os grupos de pesquisa que trabalham com modelagem devem preocupar-se na compilação, organização e manutenção dos registros de todas as informações geradas, sejam elas a campo ou nos trabalhos de modelagem. Neste sentido, a estruturação de bancos de dados através de *softwares* específicos para este fim será útil tanto para os modeladores quanto para a proteção das informações. Novas versões do modelo, ainda em desenvolvimento, deverão incluir processos determinantes dos fluxos de gases no solo ainda não representados pelo modelo, o que poderá potencialmente melhorar as simulações.

Finalmente, constata-se que o número de pesquisadores e usuários de modelos ainda é reduzido e considera-se que a divulgação das potencialidades e o incentivo ao uso através de cursos, palestras e exercícios de modelagem em turmas de graduação e pós-graduação podem aumentar a interação entre grupos de pesquisa e motivar novos pesquisadores a trabalhar com modelagem.

9. LITERATURA CITADA

ABDALLA, M. et al. Testing DayCent and DNDC model simulations of N₂O fluxes and assessing the impacts of climate change on the gas flux and biomass production from a humid pasture. **Atmospheric Environment**, Atlanta, v. 44, n. 25, p. 2961–2970, 2010.

ABDALLA, M. et al. Conservation tillage systems: a review of its consequences for greenhouse gas emissions. **Soil Use and Management**, Oxford, v.29, n. 25, p. 199-209, 2013.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601–612, 2003.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 1–41.

ALCALDE, L. F. E. **Mitigação das emissões de gases de efeito estufa por sistemas conservacionistas de manejo de solo**. 2011. 118 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ALLUVIONE, F.; HALVORSON, A. D.; DEL GROSSO, S. J. Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on carbon dioxide and methane fluxes from irrigated cropping systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 38, n. 4, p. 2023–2033, 2009.

AMADO, T. J. C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. 218 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n. 1, p. 179–189, 2000.

ANDERSON, D. W. Processes of humus formation and transformation in soils of the Canadian Great Plains. **Journal of Soil Science**, Madison, v. 30, p. 77–84, 1979.

BATEMAN, E. J.; BAGGS, E. M. Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 41, n. 6, p. 379–388, 2005.

BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. 1992. 182 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo**. 1996. 258 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C. et al. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 2, p. 95–104, 2000a.

BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 3, p. 101–109, 2000b.

BAYER, C. et al. C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and organomineral interaction in stabilizing soil organic matter in a subtropical Acrisol managed under no-tillage. **Geoderma**, Amsterdam, v. 133, p. 258–268, 2006.

BORTOLON, E. S. O. et al. Validation of the Century model to estimate the impact of agriculture on soil organic carbon in Southern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 167-168, p. 156–166, 2011.

BOUWMAN, A. F. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Houten, v. 46, n. 1, p. 53–70, 1996.

CERRI, C. C. et al. Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 20, n. 2, p. 248–254, 2004.

CERRI, C. C. et al. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, p. 831-843, 2009.

CHANG, K. H. et al. Using DAYCENT to simulate carbon dynamics in conventional and no-till agriculture. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 77, n. 3, p. 941-950, 2013.

CHEN, D. et al. N₂O emissions from agricultural lands: a synthesis of simulation approaches. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 309, n. 2, p. 169–189, 2008.

CHENG, K. et al. Predicting methanogenesis from rice paddies using the DAYCENT ecosystem model. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 261-262, p. 19–31, 2013a.

CHENG, K. et al. Simulating greenhouse gas mitigation potentials for Chinese Croplands using the DAYCENT Ecosystem Model. **Global Change Biology**, Oxford, Accepted Manuscript Online, DOI:10.1111/gcb.12368, 2013b.

CONANT, R. T. et al. Nitrogen pools and fluxes in grassland soils sequestering carbon. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Houten, v. 71, n. 3, p. 239–248, 2005.

CONCEIÇÃO, P. C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 129, p. 40–47, 2013.

CORDEIRO, L. A. M. et al. **O aquecimento global e a agricultura de baixa emissão de carbono**. Brasília: MAPA/EMBRAPA/FEBRAPDP, 2012. 75p.

CORSON, M. S.; ROTZ, C. A.; SKINNER, R. H. Evaluating warm-season grass production in temperate-region pastures: a simulation approach. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p. 252–268, 2007.

COSTA, F. D. S. et al. 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, n. 1, p. 323–332, 2008.

DAVIS, S. C. et al. Comparative biogeochemical cycles of bioenergy crops reveal nitrogen-fixation and low greenhouse gas emissions in a *Miscanthus x giganteus* agro-ecosystem. **Ecosystems**, Houten, v. 13, n. 1, p. 144–156, 2010.

DAVIS, S. C. et al. Impact of second-generation biofuel agriculture on greenhouse-gas emissions in the corn-growing regions of the US. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 10, n. 2, p. 69–74, 2012.

DE GRYZE, S. et al. Assessing the potential for greenhouse gas mitigation in intensively managed annual cropping systems at the regional scale. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 144, n. 1, p. 150–158, 2011.

DEL GROSSO, S. J. et al. Simulated effects of dryland cropping intensification on soil organic matter and greenhouse gas exchanges using the DAYCENT ecosystem model. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v. 116, p. 75–83, 2002.

DEL GROSSO, S. J. et al. Simulated effects of land use, soil texture, and precipitation on N gas emissions using DAYCENT. In: HATFIELD, R. F. F.; AND J. L. (Ed.). **Nitrogen in the environment: sources, problems, and management**. 1 ed. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 413-432.

DEL GROSSO, S. J. et al. DAYCENT national-scale simulations of nitrous oxide emissions from cropped soils in the United States. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 35, n. 4, p. 1451–1460, 2006.

DEL GROSSO, S. J. et al. Global scale DAYCENT model analysis of greenhouse gas emissions and mitigation strategies for cropped soils. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 67, p. 44–50, 2009.

DEL GROSSO, S. J. et al. Special features of the Daycent modeling package and additional procedures for parameterization, calibration, validation, and applications. In: AHUJA, L. R.; MA, L. (Ed.). **Methods of introducing system models into agricultural research**. Madison: American Society of Agronomy Inc., 2011. p. 155-176.

DEL GROSSO, S. J.; HALVORSON, A. D.; PARTON, W. J. Testing DAYCENT model simulations of corn yields and nitrous oxide emissions in irrigated tillage systems in Colorado. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 37, n. 4, p. 1383–1389, 2008a.

DEL GROSSO, S. J. et al. DAYCENT Simulated effects of land use and climate on county level N loss vectors in the USA. In: HATFIELD, J. L.; FOLLETT, R. F. (Ed.). **Nitrogen in the environment: sources, problems, and management**. 2. ed. Boston: Academic Press/Elsevier, 2008b. p. 571-595.

DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003. 182 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, n. 1, p. 319–328, 2005.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Manitoba, v. 75, p. 529–538, 1995.

ESCOBAR, L. F. et al. Postharvest nitrous oxide emissions from a subtropical oxisol as influenced by summer crop residues and their management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 435–442, 2010.

ESCOSTEGUY, C. M. D. **Avaliação agrônômica de uma pastagem natural sob níveis de pressão de pastejo**. 1990. 242 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

ESRL/NOAA. **Earth System Research Laboratory – Global Monitoring Division**. Mauna Loa, 2013. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/hats/insitu/cats/conc/mlon2o.html>>. Acesso em: 10 jun. 2013.

FERNANDES, F. F. **Uso do modelo Century no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos do Rio Grande do Sul**. 2002. 159 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FERRETTI, D. F. et al. Unexpected changes to the global methane budget over the past 2000 years. **Science**, New York, v. 309, n. 5741, p. 1714–1717, 2005.

FILOSO, S. et al. Human activities changing the nitrogen cycle in Brazil. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 79, p. 61–89, 2006.

FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON, E. A. Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D. S. (Ed.). **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. Dahlem: Wiley, 1989. p. 7–21.

FRANZLUEBBERS, A. J.; HONS, F. M.; ZUBERER, D. A. Tillage-induced seasonal changes in soil physical properties affecting soil CO₂ evolution under intensive cropping. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 41–60, 1995.

FREITAS, V. H. **Eficiência de sistemas de preparo do solo e de culturas no fornecimento de nitrogênio para o milho**. 1998. 159 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

FROLKING, S. E. et al. Comparison of N₂O emissions from soils at three temperate agricultural sites: simulations of year-round measurements by four models. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Houten, p. 77–105, 1998.

GALLOWAY, J. M.; COWLING, E. B. Reactive nitrogen and the world: 200 years of change. **Ambio**, Stockholm, v. 31, n. 2, p. 64–71, 2002.

GIACOMINI, S. J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 325–334, 2003.

GOMES, J. et al. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 106, n. 1, p. 36–44, 2009.

HALVORSON, A. D.; DEL GROSSO, S. J.; REULE, C. A. Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on nitrous oxide emissions from irrigated cropping systems. **Journal of Environmental Quality**, v. 37, n. 4, p. 1337–1344, 2008.

HARTMAN, M. D. et al. Impact of historical land-use changes on greenhouse gas exchange in the U.S. Great Plains, 1883–2003. **Ecological Applications**, Ithaca, v. 21, n. 4, p. 1105–1119, 2011.

HARTMAN, M. D.; BARON, J. S.; OJIMA, D. S. Application of a coupled ecosystem-chemical equilibrium model, DayCent-Chem, to stream and soil chemistry in a Rocky Mountain watershed. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 200, n. 3, p. 493–510, 2007.

HAUGEN-KOZYRA, K.; DEL GROSSO, S.; MALIN, D. **Using biogeochemical process models to quantify greenhouse gas mitigation from agricultural management projects**. Durham: Duke University Press, 2011. 35p.

HERNANDEZ-RAMIREZ, G. et al. Greenhouse gas fluxes in an eastern Corn Belt soil: weather, nitrogen source, and rotation. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 38, n. 3, p. 841–54, 2009.

HOFMANN, D. J.; BUTLER, J. H.; TANS, P. P. A new look at atmospheric carbon dioxide. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 43, n. 43, p. 2084–2086, 2009.

HUTH, N. I.; THORBUN, P. J.; RADFORD, B. J. Impacts of fertilisers and legumes on N₂O and CO₂ emissions from soils in subtropical agricultural systems: a simulation study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 136, p. 351–357, 2010.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC Revised 1996 guidelines for national greenhouse gas inventories**. Bracknell: Hadley Centre. 1997. 307p.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Contribution of working group iii to the fourth assessment report of the inter-governmental panel on climate change**, Cambridge: Cambridge University Press, 823 p.

JANTALIA, C. P. et al. Mudanças no estoque de C do solo em áreas de produção de grãos: avaliação do impacto do manejo do solo. In: ALVES, B. J. R. et al. (Ed.). **Manejo de Sistemas Agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Gênese, 2006. p.35-68.

JARECKI, M. K. et al. Comparison of DAYCENT simulated and measured nitrous oxide emissions from a corn field. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 37, n. 5, p. 1685–1690, 2008.

JENKINSON, D. S.; RAYNER, J. H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 123, n. 5, p. 298–305, 1977.

JORGENSEN, S. E.; BENDORICCHIO, G. **Fundamentals of ecological modelling**. 3. ed. Oxford: Elsevier, 2001. 530p.

KASTING, J. F. Earth's early atmosphere. **Science**, New York, v. 1409, p. 920-926, 1992.

KUZYAKOV, Y. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 38, n. 3, p. 425–448, 2006.

KUZYAKOV, Y.; LARIONOVA, A. A. Root and rhizomicrobial respiration: A review of approaches to estimate respiration by autotrophic and heterotrophic organisms in soil. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Oldenburg, v. 168, n. 4, p. 503–520, 2005.

LA SCALA, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G.T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.91, 244–248. 2006

LA SCALA, et al. Short-term temporal changes of soil carbon losses after tillage described by a first-order decay model. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 99, p. 108–118. 2008.

LAL, R. Carbon emission from farm operations. **Environment International**, Amsterdam, v. 30, n. 7, p. 981–990, 2004.

LEE, J. et al. Simulating switchgrass biomass production across ecoregions using the DAYCENT model. **Global Change Biology - Bioenergy**, Oxford, v.4, n. 5, p. 521–533, 2012.

LI, X. et al. Adding an empirical factor to better represent the rewetting pulse mechanism in a soil biogeochemical model. **Geoderma**, Amsterdam, v. 159, n. 3, p. 440–451, 2010.

LOPES, F. et al. Simulação da dinâmica do carbono do solo numa microbacia rural pelo modelo Century. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, 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. 150 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LUFABA, A. et al. Regional carbon stocks and dynamics in native woody shrub communities of Senegal's Peanut Basin. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 128, n. 1, p. 1–11, 2008.

LÜTHI, D. et al. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. **Nature**, London, v. 453, n. 7193, p. 379–382, 2008.

MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc>>. Acesso em: 29 maio 2013.

MCTI, MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília: SEPED, 2013.

MATSON, P. A.; HALL, S. J.; KATHLEEN, A. L. The globalization of nitrogen deposition: consequences for terrestrial ecosystems. **Ambio**, Stockholm, v. 31, n. 2, 2002.

MEDEIROS, J. C. **Sistemas de culturas adaptadas a produtividade, recuperação e conservação de solo**. 1985. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.

MELLO, W. M. P. **Desenvolvimento do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo do solo**. 1991. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

METAY, A et al. N₂O and CH₄ emissions from soils under conventional and no-till management practices in Goiânia (Cerrados, Brazil). **Geoderma**, Amsterdam, v. 141, n. 1, p. 78–88, 2007.

METHERELL, A. K. et al. **CENTURY User's Manual v.4.0**, Fort Collins: NREL, 1993. 245p.

METHERELL, A. K. et al. **DailyDayCent4.5 - Instructions**, Fort Collins: NREL, 2012. 64p.

MEURE, C. et al. Law Dome CO₂, CH₄ and N₂O ice core records extended to 2000 years BP. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 33, n. 14, p. 1-4, 2006.

MOSIER, A. et al. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. **Environment, Development and Sustainability**, Houten, v. 6, p. 11–49, 2004.

MOSIER, A.; KROEZE, C. Potential impact on the global atmospheric N₂O budget of the increased nitrogen input required to meet future global food demands. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 2, n. 3, p. 465–473, 2000.

MOSIER, A. R. Soil processes and global change. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 27, n. 3, p. 221–229, 1998.

MOSIER, A. R. et al. Measurement of net global warming potential in three Agroecosystems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Houten, v. 72, n. 1, p. 67–76, 2005.

MOSIER, A. R.; PENDALL, E.; MORGAN, J. A. Effect of water addition and nitrogen fertilization on the fluxes of CH₄, CO₂, NO_x, and N₂O following five years of elevated CO₂ in the Colorado Shortgrass Steppe. **Atmospheric Chemistry and Physics**, Munich, v. 3, p. 1703–1708, 2003.

NETO, M. S. et al. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). II - Emissões de CO₂ e N₂O. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.3, n. 2, p. 1023–1029, 2009.

OGLE, S. M. et al. Reducing greenhouse gas emissions and adapting agricultural management for climate change in developing countries: providing the basis for action. **Global Change Biology**, Oxford, Accepted Manuscript Online, DOI: 10.1111/gcb.12361, 2013.

OLIVEIRA, S. E. **Uso do modelo CENTURY no estudo da dinâmica do nitrogênio em um argissolo do Rio Grande do Sul**. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

PARTON, B. et al. **CENTURY Tutorial**, Fort Collins: NREL, 2001. p. 366.

PARTON, W. J.; RASMUSSEN, P. E. Long-term effects of crop management in wheat-fallow: II. CENTURY Model Simulations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 530-536, 1994.

PARTON, W. J. et al. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains Grasslands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, n. 1, p. 1173–1179, 1987.

PARTON, W. J. et al. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 7, n. 4, p. 785–809, 1993.

PARTON, W. J. et al. Impact of climate change on grassland production and soil carbon worldwide. **Global Change Biology**, Oxford, v. 1, p. 13–22, 1995.

PARTON, W. J. et al. DAYCENT and its land surface submodel: description and testing. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 19, p. 35–48, 1998.

PARTON, W. J. et al. Generalized model for NO_x and N₂O emissions from soils. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 106, n. 15, p. 17403–17419, 2001.

PARTON, W. J. et al. Projected ecosystem impact of the prairie heating and CO₂ enrichment experiment. **The New phytologist**, Lancaster, v. 174, p. 823–834, 2007.

PARTON, W. J.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: a model. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 131, p. 109–131, 1988.

PEPPER, D. A. et al. Simulated carbon sink response of shortgrass steppe, tallgrass prairie and forest ecosystems to rising CO₂, temperature and nitrogen input. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 19, n. 19, 2005.

PETIT, J. R. et al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. **Nature**, London, v. 399, p. 429-436, 1999.

PRATHER, M. J. et al. Other trace gases and atmospheric chemistry. In: HOUGHTON, J. T. et al. (Ed.). **Climate Change - Radiative Forcing of Climate Change**. New York: Cambridge University Press, 1994. p. 345.

REICOSKY, D.C.; ARCHER D.W. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p.109–121, 2007.

ROBERTSON, G. P. et al. The biogeochemistry of bioenergy landscapes: carbon, nitrogen, and water considerations. **Ecological applications**, Ithaca, v. 21, n. 4, p. 1055–1067, 2011.

ROSSO, A. **Manejo de culturas de cobertura do solo no inverno e sua relação com a produtividade do milho**. 1989. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

SAGGAR, S. et al. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide and methane in New Zealand terrestrial ecosystems and their mitigation options: a review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 1, p. 25–42, 2008.

SAXTON, K. E. et al. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 1031–1036, 1986.

SCHLESINGER, W. H. An estimate of the global sink for nitrous oxide in soils. **Global Change Biology**, Oxford, v. 19, n. 10, p. 2929–2931, 2013.

SIEGENTHALER, U. et al. Stable carbon cycle-climate relationship during the Late Pleistocene. **Science**, New York, v. 310, n. 5752, p. 1313–1317, 2005.

SILVA, M. A. S. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 544–552, 2005.

SILVERT, W. Modelling as a Discipline. **International Journal of General Systems**, Abingdon, v. 30, n. 3, p. 261–282, 2001.

SKIBA, U.; BALL, B. The effect of soil texture and soil drainage on emissions of nitric oxide and nitrous oxide. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 18, n. 3, p. 56–60, 2002.

SMIL, V. Nitrogen in crop production: an account of global flows. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 13, n. 2, p. 647–662, 1999.

SMITH, J.; SMITH, P. **Environmental Modelling: an introduction**. Oxford: Oxford University Press, 2007. 190p.

SMITH, K. A.; CONEN, F. Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 20, n. 2, p. 255–263, 2004.

SMITH, P. Land use change and soil organic carbon dynamics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Houten, v. 81, n. 2, p. 169–178, 2007.

SMITH, W. N. et al. Crop residue removal effects on soil carbon: measured and inter-model comparisons. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 161, p. 27–38, 2012.

SNYDER, C. et al. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 133, p. 247–266, 2009.

SPAHNI, R. et al. Atmospheric methane and nitrous oxide of the Late Pleistocene from Antarctic ice cores. **Science**, New York, v. 310, n. 5752, p. 1317–1321, 2005.

STEHFEST, E. et al. Simulation of global crop production with the ecosystem model DayCent. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 209, n. 2, p. 203–219, 2007.

STRECK, N. A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development and yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 730–740, 2005.

TANS, P.; KEELING, R. **Trends in atmospheric carbon dioxide**. 2013. Disponível em: < <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>>. Acesso em 11 jun. 2013.

TEIXEIRA, M. A.; MURRAY, M. L.; CARVALHO, M. G. Assessment of land use and land use change and forestry (LULUCF) as CDM projects in Brazil. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 60, p. 260-270, 2006.

TISDALL, J. M.; OADES. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, p. 141–163, 1982.

TORNQUIST, C. G. et al. Spatially explicit simulations of soil C dynamics in Southern Brazil: Integrating Century and GIS with i_Century. **Geoderma**, Amsterdam, v. 150, n. 3, p. 404–414, 2009.

TORNQUIST, C. G.; MIELNICZUK, J.; CERRI, C. E. P. Modeling soil organic carbon dynamics in Oxisols of Ibirubá (Brazil) with the Century Model. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 1, p. 33–43, 2009.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 35–42, 2000.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 195 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VIEIRA, F. C. B. et al. Long-term acidification of a Brazilian Acrisol as affected by no till cropping systems and nitrogen fertiliser. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 46, p. 17–26, 2008.

VIEIRA, F. C. B. et al. Building up organic matter in a subtropical paleudult under legume cover-crop-based rotations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, n. 5, p. 1699-1706, 2009.

WASSMANN, R. et al. Methane production capacities of different rice soils derived from inherent and exogenous substrates. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 203, p. 227–237, 1998.

WEBER, M. **Leguminosas e os estoques de carbono e nitrogênio do solo em experimento de longa duração**. 2008. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

WEBER, M. **Parametrização e validação do ciclo do carbono e do nitrogênio do Modelo Century 4.5 com experimentos de longa duração em um argissolo do Sul do Brasil**. 2010. 170 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

WU, D. et al. N₂O consumption by low-nitrogen soil and its regulation by water and oxygen. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 60, p. 165–172, 2013.

ZANATTA, J. **Estoque e labilidade do carbono em frações da matéria orgânica de um argissolo afetados por sistemas de manejo de solo**. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ZANATTA, J. et al. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 510–519, 2007.

ZANATTA, J. A. et al. Nitrous oxide and methane fluxes in south Brazilian gleysol as affected by nitrogen fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1653–1665, 2010.

ZHOU, Z. et al. A process-based model of N₂O emission from a rice-winter wheat rotation agro-ecosystem: Structure, validation and sensitivity. **Advances in Atmospheric Sciences**, Beijing, v. 27, n. 1, p. 137–150, 2010.

10. APÊNDICES

Apêndice 1. Emissões de N₂O, CH₄ e CO₂ (g ha⁻² dia⁻¹) no tratamento Aveia/Milho sob plantio convencional no período de outubro de 2009 a outubro de 2012. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Data	N-N ₂ O			C-CH ₄			C-CO ₂		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	g ha ⁻¹ dia ⁻¹			g ha ⁻¹ dia ⁻¹			g ha ⁻¹ dia ⁻¹		
09/10/09	5.5	5.8	3.3	-2.3	0.2	-0.8	15559	6785	16308
13/10/09	28.9	16.8	17.1	-2.6	-1.2	-1.4	19996	14188	11459
16/10/09	18.6	4.1	3.3	2.6	-0.8	-2.6	12982	8381	13454
19/10/09	13.1	9.1	2.0	-3.2	-3.8	-1.0	21140	9964	15585
23/10/09	7.2	4.7	0.7	-2.3	-3.7	-2.8	11612	11443	1596
26/10/09	6.8	3.4	5.6	-13.6	0.3	2.3	10208	11748	13862
29/10/09	2.0	0.5	0.6	-0.9	-0.2	-1.4	18791	11385	6718
06/11/09	97.3	71.6	127.9	1.9	2.0	3.5	22969	17385	24148
16/11/09	117.5	34.3	71.4	1.1	10.1	26.6	15114	9774	24980
23/11/09	80.5	30.2	61.5	7.1	15.7	49.8	14103	10509	26157
07/12/09	42.4	18.0	52.9	1.3	6.2	8.5	11027	12047	16959
14/12/09	106.4	54.1	66.7	1.4	12.7	10.6	14102	10327	15509
21/12/09	50.0	32.1	37.3	2.4	2.6	6.9	18048	16985	25751
20/01/10	37.6	48.8	4.6	-1.9	-0.6	-1.5	26746	11394	7695
03/02/10	11.0	3.6	3.4	-7.2	12.9	24.7	45357	25779	27769
17/02/10	1.6	-0.5	3.1	-2.9	-2.9	-3.1	14633	8403	13593
03/03/10	4.5	2.4	1.5	-7.4	-3.5	-0.9	29892	22467	29449
22/03/10	2.3	-1.0	-1.9	-2.3	-3.2	-2.4	21263	6058	10043
12/04/10	1.4	-0.1	-0.3	-1.5	-0.8	-1.7	12012	6000	8881
07/06/10	2.0	1.6	1.6	-1.9	-2.5	-3.2	13525	9775	10157
14/06/10	1.5	0.8	2.0	-2.9	-4.0	-1.9	10636	12900	9190
05/07/10	3.1	0.8	0.8	-2.1	-3.9	-5.2	16523	14857	17167
26/07/10	1.1	0.8	1.4	-2.8	-3.5	-3.7	9447	8671	10196
09/08/10	1.6	0.9	0.7	-2.6	1.5	-4.0	11055	11863	10796

Continuação do Apêndice 1

31/08/10	0.4	0.9	1.2	-4.7	-3.3	-2.7	16285	19482	21303
18/09/10	0.8	0.7	1.0	-6.3	-2.5	-2.8	8482	17944	13613
11/10/10	0.3	0.5	0.7	-5.4	-1.6	-4.6	29340	38875	26032
22/10/10	5.2	2.4	2.3	-3.8	-2.5	-0.5	45031	27452	28802
26/10/10	3.3	2.6	5.6	-4.8	-4.1	-2.9	23675	20810	18838
29/10/10	4.1	3.0	1.9	-1.2	-2.2	-2.6	27076	17719	12331
03/11/10	2.8	2.8	5.7	-6.4	-5.7	-3.6	18998	13346	9635
12/11/10	1.0	1.9	11.9	-3.7	-4.9	-2.9	19100	13355	12028
19/11/10	4.8	3.1	32.6	-4.6	-2.1	-2.9	38502	21489	21622
03/12/10	3.1	2.3	6.7	-5.7	-4.0	-1.7	37795	28768	25664
17/12/10	3.0	0.1	0.5	-4.0	-3.4	0.1	38933	16632	36793
05/01/11	3.0	1.1	2.8	-1.4	-1.5	-1.2	64589	49464	57834
18/01/11	0.9	0.4	-0.2	0.3	2.3	-1.3	35248	34783	29899
09/02/11	-1.5	0.6	0.0	-0.4	-0.8	1.0	17933	7586	3335
25/02/11	1.6	1.8	-0.5	1.3	21.7	-2.6	40250	36721	32094
15/03/2011	1.2	0.4	-1.0	-2.6	-1.6	-1.8	25939	20957	19351
30/03/2011	13.5	3.0	3.1	-1.1	-0.4	-2.3	18925	17265	13835
20/04/2011	11.9	8.1	12.2	0.8	1.9	-1.5	21540	19241	21843
02/05/2011	1.0	0.4	0.4	-0.9	-0.6	-0.3	16248	7585	6976
16/05/2011	0.6	1.3	0.4	-1.0	1.9	1.8	19322	14749	13466
30/05/2011	0.3	0.5	0.3	-1.3	0.5	0.7	12852	10927	9876
13/06/2011	-0.3	0.1	-0.3	-1.4	-1.1	-1.5	13447	11679	10239
27/06/2011	0.5	0.1	0.2	-0.6	0.0	-0.3	5733	2308	3009
11/07/2011	0.1	0.3	0.0	0.7	-0.5	-0.6	13943	12706	11885
25/07/2011	2.0	0.9	0.4	1.8	0.9	1.2	16963	14789	15521
22/08/2011	0.2	0.4	-6.4	0.6	0.5	-6.0	9386	6896	3474
02/09/2011	0.6	0.4	-0.1	0.6	0.9	-1.3	11812	11897	17451
17/09/2011	3.3	1.4	-1.6	0.8	0.4	0.7	17902	23208	8516
19/09/2011	2.0	1.0	1.6	0.2	-18.1	0.0	8822	18934	12712
21/09/2011	21.9	2.4	6.5	3.3	-6.7	0.5	16839	10477	8602
23/09/2011	10.9	5.2	5.2	55.2	-55.8	-18.5	13225	18028	15374

Continuação do Apêndice 1

27/09/2011	6.2	5.1	3.2	-0.9	1.0	0.7	11844	19451	12868
30/09/2011	9.3	10.3	2.6	0.3	-1.0	-0.4	8992	22270	11082
04/10/2011	38.9	8.8	6.9	-2.0	1.0	-1.9	8711	11137	5977
06/10/2011	25.9	11.9	17.1	-1.1	-0.1	-2.3	15528	13812	9469
11/10/2011	27.8	12.7	7.6	-2.1	-2.0	-2.1	11654	13982	14128
13/10/2011	28.9	8.6	4.3	0.2	-1.0	-0.7	14710	15253	16384
19/10/2011	28.1	5.9	0.3	-0.5	-1.4	-2.5	11145	21707	5814
24/10/2011	17.0	3.9	2.2	0.4	-1.2	-0.5	17098	23272	24669
01/11/2011	6.2	1.6	1.2	-2.1	-1.2	-0.6	13047	21464	23416
08/11/2011	2.4	1.4	0.7	-0.9	-2.5	-1.4	25049	28323	27423
17/11/2011	-0.7	0.3	0.0	-7.5	-4.4	-5.9	11695	18717	18951
24/11/2011	0.6	0.8	0.8	-1.1	-1.5	-2.6	26639	29694	34882
13/12/2011	0.8	0.1	0.2	-1.3	-1.7	-4.3	24583	26877	32892
06/01/2012	-0.5	0.4	-3.6	-1.4	-1.4	-2.4	18018	21189	25904
17/01/2012	0.2	0.6	-0.1	-0.6	-1.1	-1.3	18689	20606	30698
01/02/2012	0.0	0.1	-1.0	-2.7	-2.2	-10.7	13843	14465	14745
17/02/2012	-0.4	0.2	0.0	-1.9	-2.1	-8.2	16556	18904	16713
08/03/2012	-0.7	0.5	-1.2	-0.5	-0.9	-0.7	12577	19490	23923
19/03/2012	0.2	0.3	0.0	-1.5	-1.5	0.1	9723	14334	21089
03/04/2012	-0.1	0.8	0.6	1.1	3.9	5.6	14260	11417	20747
16/04/2012	4.3	3.2	-2.7	-0.9	0.1	-2.3	27443	18924	30628
27/04/2012	-0.7	1.0	-2.0	-3.0	-0.9	-3.4	16167	13177	21511
21/05/2012	-2.7	0.4	-7.9	-6.9	-0.6	-5.1	13988	14519	16297
04/06/2012	0.9	0.8	0.8	-6.1	-10.4	-4.0	12710	10653	11491
18/06/2012	-0.2	0.0	0.4	-1.5	-2.0	-0.8	22503	22240	21454
02/07/2012	0.8	0.1	-4.3	-0.3	-0.9	-3.5	16466	12251	14678
17/07/2012	-0.4	-0.3	-1.3	-0.8	-0.5	-1.3	10073	7650	5703
02/08/2012	-0.1	-0.2	-0.6	0.5	-0.2	-0.8	17761	16263	15437
20/08/2012	0.7	0.1	-1.9	-0.6	-0.7	-1.7	16103	10793	11502
04/10/2012	11.7	5.0	3.8	0.1	0.1	0.6	17633	-1692	21299
19/10/2012	-0.2	0.9	-0.1	0.1	0.3	0.4	14868	12977	13982

Apêndice 2. Emissões de N₂O, CH₄ e CO₂ (g ha⁻² dia⁻¹) no tratamento Vica/Milho sob plantio direto no período de outubro de 2009 a outubro de 2012. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Data	N-N ₂ O			C-CH ₄			C-CO ₂		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	g ha ⁻¹ dia ⁻¹			g ha ⁻¹ dia ⁻¹			g ha ⁻¹ dia ⁻¹		
09/10/09	24.6	31.7	39.1	-0.8	-1.1	-0.7	23935	21800	21825
13/10/09	21.8	41.6	26.0	-0.6	-0.7	-0.8	37579	25103	20106
16/10/09	24.2	39.6	13.5	-0.2	-0.8	-1.8	16991	13341	12129
19/10/09	32.0	42.5	47.8	-3.5	-4.3	-4.3	25991	23621	24529
23/10/09	39.6	49.4	22.1	-3.9	-1.8	-5.1	25317	21115	18508
26/10/09	54.3	93.9	70.8	-3.0	-2.5	-1.9	18177	16078	19317
29/10/09	28.7	32.5	19.9	-3.5	-3.7	-4.1	25799	18209	20810
06/11/09	62.3	225.7	129.4	1.2	-0.9	-1.6	22449	40269	26151
16/11/09	56.8	144.2	89.2	-0.1	-0.1	-0.9	23175	13453	12058
23/11/09	83.5	140.7	132.0	5.3	1.7	-2.1	30409	25899	19677
07/12/09	20.1	72.1	29.9	5.8	3.7	-1.7	23252	22220	13878
14/12/09	85.6	123.4	105.4	1.7	2.3	-0.7	19917	15881	11459
21/12/09	40.9	52.9	43.2	2.3	1.4	-2.1	26344	35103	23241
20/01/10	20.2	86.9	15.9	-1.6	-2.3	-3.4	7862	8041	7393
03/02/10	9.7	12.0	7.4	-3.3	-2.9	-3.1	44968	33928	42884
17/02/10	2.3	5.7	2.2	-2.4	-2.2	-2.4	21783	11385	15515
03/03/10	4.8	3.3	3.1	-3.1	-2.0	-2.9	30372	29561	32106
22/03/10	1.4	0.5	1.4	-2.9	-2.3	-1.3	14901	10033	17875
12/04/10	3.1	1.8	0.6	-6.8	-2.8	-4.2	13528	11146	13978
07/06/10	1.4	2.8	1.7	-2.5	-3.9	-3.6	12125	9819	9649
14/06/10	2.1	2.2	1.6	-3.2	-4.7	-4.9	11790	13998	10967
05/07/10	3.9	9.0	10.7	-2.2	-2.2	-2.9	18202	17317	16649
26/07/10	4.8	4.8	4.8	-2.0	-2.3	-2.6	11700	8872	6591
09/08/10	1.3	2.1	3.1	-2.0	-1.6	-4.3	12756	10439	11290
31/08/10	2.3	12.3	12.5	-4.2	-1.7	-2.7	18673	18252	21920

Continuação do Apêndice 2

18/09/10	-0.8	0.9	2.1	-4.3	-2.1	-2.8	13551	11691	16540
11/10/10	1.7	1.1	0.7	-1.4	-0.5	-4.1	18352	17103	29680
22/10/10	6.3	5.5	3.1	-6.8	-3.2	-1.7	32223	33867	33459
26/10/10	5.2	4.3	4.2	-3.7	-3.5	-4.3	22878	23186	20304
29/10/10	0.9	2.4	-0.2	-3.9	-2.9	-4.1	11928	15212	8868
03/11/10	0.1	2.3	1.0	-5.8	-4.0	-4.4	9962	12517	10023
12/11/10	1.3	0.8	2.2	-3.0	-3.1	-2.5	12860	12355	11531
19/11/10	3.3	3.7	4.4	-7.2	-3.3	-7.3	24222	23487	20998
03/12/10	2.6	4.3	5.0	-3.3	-2.0	-3.8	31201	20479	26122
17/12/10	1.8	-1.3	1.5	-1.7	-0.6	-3.3	30598	29618	37820
05/01/11	1.7	1.3	1.6	-3.3	1.3	-2.2	59085	50903	61171
18/01/11	1.6	-0.1	0.6	-0.7	1.3	-0.8	36491	43200	24431
09/02/11	1.8	2.8	0.3	0.2	0.5	0.0	18855	12830	12882
25/02/11	5.1	-0.2	-0.1	-2.1	18.4	-0.1	36271	33919	34284
15/03/2011	2.1	0.4	0.3	-2.5	-0.1	-1.9	23143	21213	22464
30/03/2011	4.3	11.3	9.2	-2.3	-0.3	-0.8	17874	16441	15946
20/04/2011	9.0	17.4	17.1	-0.7	2.0	0.1	26928	21637	24951
02/05/2011	0.5	1.6	2.1	-0.7	-0.9	-0.5	9356	11941	13705
16/05/2011	0.3	1.2	0.5	-0.4	1.7	1.3	12983	13537	18141
30/05/2011	1.0	0.6	-0.1	-1.0	0.6	0.4	11128	9419	12277
13/06/2011	0.4	0.4	0.1	-1.9	-2.8	-1.2	12079	11209	13855
27/06/2011	0.4	0.1	1.2	-0.6	-0.2	-0.9	3525	5392	5390
11/07/2011	0.2	0.6	0.4	-1.6	1.7	0.1	10456	11743	13914
25/07/2011	0.9	0.8	1.1	-0.2	3.5	0.3	17660	15454	16560
22/08/2011	0.5	0.8	3.4	-0.1	2.8	4.5	9351	7644	9366
02/09/2011	0.5	-0.3	0.2	0.1	-0.3	-0.5	12905	14087	13993
17/09/2011	2.2	4.8	1.2	-1.1	2.4	0.5	28785	27528	15827
19/09/2011	1.7	9.0	5.5	-1.2	0.8	-0.9	28291	56242	41993
21/09/2011	20.0	42.4	19.8	6.9	-5.1	-1.5	27250	24084	27468
23/09/2011	27.4	43.5	18.0	-0.7	0.4	-0.8	21711	38328	25644
27/09/2011	12.9	15.4	16.9	-1.2	-0.5	-0.8	21530	35764	27267

Continuação do Apêndice 2

30/09/2011	12.4	4.9	23.5	-19.7	0.1	-0.7	15225	24174	32647
04/10/2011	32.1	29.8	22.5	-0.4	-0.2	-0.1	10016	17359	15954
06/10/2011	84.9	30.7	54.9	-0.4	-1.4	0.7	24524	21493	23050
11/10/2011	37.2	4.0	26.2	-2.3	-0.6	-1.3	13683	15866	20078
13/10/2011	25.5	2.6	21.1	-0.7	0.5	-0.2	16054	7922	22327
19/10/2011	10.2	2.9	11.1	-2.4	-0.5	-1.3	5240	11721	13634
24/10/2011	6.3	2.1	8.0	-2.0	1.9	-1.3	21453	25904	28631
01/11/2011	6.5	4.0	2.9	-0.5	5.0	-1.4	18268	21482	26106
08/11/2011	1.5	0.9	1.7	-2.8	-0.7	-1.2	24789	29923	28685
17/11/2011	0.9	0.2	0.2	-5.4	-0.2	-1.4	16520	21785	18936
24/11/2011	2.0	0.9	1.0	-2.6	-0.3	-1.3	32695	34481	39281
13/12/2011	2.6	0.4	0.8	-1.6	-0.7	-1.9	33286	31133	33372
06/01/2012	2.2	0.3	1.0	-2.9	-0.9	-2.5	24440	21853	25799
17/01/2012	1.2	0.7	0.5	-1.5	1.0	-1.7	24672	26285	25614
01/02/2012	0.4	0.0	-0.1	-3.6	0.7	-2.7	14926	15307	16573
17/02/2012	1.8	1.0	0.9	-2.8	-1.3	-3.0	20603	22202	18471
08/03/2012	1.9	0.7	1.1	-0.8	-0.3	-1.1	18399	20852	23408
19/03/2012	1.0	0.4	0.4	-2.2	-0.3	0.2	16291	17117	21011
03/04/2012	1.6	-0.5	0.9	-0.1	0.4	-0.5	12087	12931	13336
16/04/2012	3.9	3.8	2.7	-0.8	0.0	-1.0	17343	28663	20651
27/04/2012	0.9	0.0	0.9	-2.2	-1.1	-1.6	10682	13923	11163
21/05/2012	-2.8	0.0	-0.3	-5.6	-0.1	-2.2	10144	15397	23432
04/06/2012	0.5	0.7	2.0	-3.5	7.8	2.6	14149	11843	19251
18/06/2012	0.4	0.8	1.7	-2.4	-2.2	-1.3	20077	20937	19487
02/07/2012	0.3	0.3	0.6	-1.4	1.6	-1.6	14500	14172	18531
17/07/2012	0.2	-0.2	0.2	-1.2	-0.1	-1.0	14739	12130	8920
02/08/2012	-0.1	1.1	1.6	-1.0	3.5	-2.0	21954	31389	16976
20/08/2012	0.1	0.7	0.5	-2.0	0.6	-1.3	17288	28076	20251
04/10/2012	10.6	3.3	13.3	-1.0	1.5	0.3	14575	44574	9795
19/10/2012	1.7	0.3	1.9	-0.2	2.1	2.3	12038	15829	15419

Apêndice 3. Emissões de N₂O, CH₄ e CO₂ (g ha⁻² dia⁻¹) no tratamento Vica/Milho sob plantio direto no período de outubro de 2009 a outubro de 2012. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Data	N-N ₂ O			C-CH ₄			C-CO ₂		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	g ha ⁻¹ dia ⁻¹			g ha ⁻¹ dia ⁻¹			g ha ⁻¹ dia ⁻¹		
09/10/09	6.9	12.1	2.0	-3.8	-3.0	-2.4	31133	22380	32438
13/10/09	8.6	6.5	17.4	-3.7	-3.3	-2.6	24876	22453	39743
16/10/09	10.3	9.0	13.5	5.2	-0.6	2.2	11244	10251	18161
19/10/09	5.3	5.5	10.1	-3.9	-4.9	-5.1	20031	18241	26924
23/10/09	1.6	-1.4	0.9	-9.1	-6.9	-7.7	14430	12885	22147
26/10/09	5.5	1.5	3.8	-3.8	-2.4	-2.0	22725	11741	35114
29/10/09	38.7	0.9	2.2	-3.8	-5.6	-4.8	13593	16278	26299
06/11/09	67.3	25.0	43.7	-0.5	-1.2	-0.6	57714	27955	37424
16/11/09	21.8	3.1	32.0	-3.3	-2.0	-1.9	64640	23715	38808
23/11/09	12.7	3.3	35.5	-1.0	-2.5	-1.8	36977	28033	33612
07/12/09	2.6	6.3	3.3	-3.5	-2.5	-1.8	41242	36176	30718
14/12/09	4.1	7.0	6.9	-3.3	-2.0	-3.2	21191	20898	25980
21/12/09	10.7	8.1	8.1	-3.4	-3.4	-3.5	31121	31580	29735
20/01/10	4.5	9.5	9.0	-1.7	-2.3	-3.7	30506	21004	37601
03/02/10	1.1	2.4	1.0	-3.7	-2.7	-3.2	25169	31174	26367
17/02/10	-0.8	2.9	1.0	-1.4	-3.4	-4.7	23837	20239	23346
03/03/10	2.2	1.1	2.3	-4.8	-4.4	-6.8	32211	26489	32117
22/03/10	1.3	-0.8	3.6	-1.8	-0.9	-2.8	22601	19116	37204
12/04/10	0.3	0.5	0.1	-5.7	-3.6	-3.5	11079	14427	12326
07/06/10	2.3	4.2	2.7	-3.3	-5.2	-6.0	14728	14045	16492
14/06/10	0.2	0.5	0.2	-1.3	-2.2	-2.9	10811	10470	13246
05/07/10	0.4	0.4	0.7	-2.4	-3.8	-2.8	19610	15982	22399
26/07/10	0.4	0.7	0.2	-3.9	-2.9	-2.7	12514	12058	10269
09/08/10	0.4	2.0	0.7	-2.4	-2.5	-3.1	13717	16255	11211
31/08/10	1.0	-0.3	1.3	-3.1	-2.0	-2.1	29957	29990	19064
18/09/10	2.2	0.8	1.0	-2.0	-2.2	-3.5	26761	27603	14158

Continuação do Apêndice 3

11/10/10	1.2	0.7	0.8	-2.5	-1.2	-4.1	52149	52181	23189
22/10/10	3.1	3.0	1.7	-4.3	-3.9	-2.9	40833	35667	41852
26/10/10	-0.1	1.4	0.3	-2.7	-3.1	-3.3	18345	23433	14943
29/10/10	6.3	4.5	2.9	-5.8	-3.9	-5.1	42874	28582	42181
03/11/10	2.8	4.3	1.5	-4.7	-5.5	-5.7	20524	16864	18210
12/11/10	2.4	6.4	2.4	-4.2	-3.1	-4.7	19599	18433	17144
19/11/10	4.5	3.5	2.5	-2.3	-3.3	-4.5	35267	34914	28620
03/12/10	0.3	1.6	1.1	-2.9	-6.2	-7.0	34426	30662	29230
17/12/10	1.0	1.2	0.9	0.7	-9.8	-0.4	38808	32667	20348
05/01/11	0.1	0.5	0.8	-2.3	-0.9	5.0	59439	62430	64284
18/01/11	1.8	0.7	1.7	-1.2	-0.8	10.2	48679	46199	74343
09/02/11	-1.4	0.7	0.8	-0.4	-1.2	10.7	23526	24583	53487
25/02/11	-0.6	1.9	1.0	-2.7	3.4	6.8	35495	39541	49040
15/03/2011	0.4	-0.6	-0.6	-4.9	-2.5	0.1	19241	18229	29070
30/03/2011	1.9	3.0	2.4	-1.2	0.0	2.5	25321	22808	31809
20/04/2011	3.9	1.8	1.5	-0.1	-0.4	-1.4	29725	19408	27287
02/05/2011	0.1	0.3	0.1	-0.7	-1.2	-1.6	10574	8119	10978
16/05/2011	0.7	0.8	0.6	0.0	-1.7	0.1	21538	14431	20357
30/05/2011	0.8	0.3	-0.2	-0.6	-2.2	-2.0	15022	9018	11007
13/06/2011	0.1	0.3	0.3	-1.8	-2.8	-2.4	15757	12189	13561
27/06/2011	0.4	0.5	-0.3	-0.8	-1.5	1.7	11586	6134	9098
11/07/2011	0.8	0.3	0.2	0.0	-0.1	-1.5	14531	10515	11816
25/07/2011	0.6	0.4	0.8	0.4	-0.1	-0.3	16578	14004	16574
22/08/2011	0.2	0.1	-0.6	-0.7	-1.9	-1.8	8345	6347	9432
02/09/2011	-1.0	0.6	0.5	-0.7	0.1	-0.8	11438	11717	12337
17/09/2011	1.8	1.9	1.8	0.0	17.2	-1.2	25689	17689	22977
19/09/2011	2.1	1.7	2.1	-1.6	-1.3	-1.6	27518	23845	29426
21/09/2011	6.4	15.1	13.4	3.7	4.5	3.9	19276	18317	20017
23/09/2011	3.3	2.7	2.9	-19.1	-0.5	-56.3	21466	16406	22713
27/09/2011	3.1	1.3	-1.4	-0.2	-2.5	-2.4	17913	7046	18845
30/09/2011	4.7	2.3	22.5	-0.9	-1.9	-1.9	17223	9974	15435

Continuação do Apêndice 3

04/10/2011	5.2	1.8	0.6	-0.6	-7.7	-1.1	14820	8961	14852
06/10/2011	5.6	5.2	3.2	-1.2	-1.1	0.6	18408	13613	22535
11/10/2011	4.1	2.1	0.5	-1.9	-0.9	-1.9	14702	7888	12847
13/10/2011	4.5	2.1	0.9	0.1	-0.8	-1.5	19058	12232	19660
19/10/2011	2.8	0.6	1.7	-2.0	-2.9	-0.3	4222	1104	3346
24/10/2011	1.9	1.0	0.2	-2.6	-5.4	-3.5	20795	13483	21975
01/11/2011	0.2	1.0	0.3	-1.4	-1.8	-1.1	15617	10153	15594
08/11/2011	0.0	0.5	0.2	-1.8	-2.1	-2.7	20185	17910	20383
17/11/2011	-0.5	0.5	-0.1	-2.9	-1.9	-3.5	20246	19493	22014
24/11/2011	0.6	1.1	0.5	-0.4	-1.1	-2.6	30633	30453	31379
13/12/2011	-0.2	1.2	0.4	3.3	-2.7	-3.1	29709	26739	31460
06/01/2012	0.7	3.6	0.5	-1.6	-1.2	-1.7	21743	22183	19883
17/01/2012	0.4	0.6	0.8	-1.9	-2.1	-1.1	24285	21482	24005
01/02/2012	0.3	-0.3	-0.3	-2.3	-6.1	-5.0	12646	11329	13997
17/02/2012	0.5	-0.6	0.4	-2.3	1.8	2.3	14773	10536	21737
08/03/2012	0.3	-0.4	0.1	-1.8	-1.8	-1.5	17717	6887	16052
19/03/2012	0.0	0.6	0.2	-1.9	-1.9	-2.1	14712	10276	11203
03/04/2012	0.1	0.0	0.0	-36.1	-9.3	-6.9	9348	5187	14916
16/04/2012	2.0	1.2	4.8	-0.6	-1.7	-0.4	20790	16268	32771
27/04/2012	-0.6	0.1	0.8	-2.1	-5.0	-0.9	10963	6750	16729
21/05/2012	-2.4	-1.7	-1.2	-6.3	-5.6	-4.2	10637	9534	10360
04/06/2012	0.5	-0.1	-0.6	-1.4	-2.8	-2.7	14368	10338	18528
18/06/2012	0.3	0.3	0.8	-1.8	0.8	-1.8	15973	10677	16573
02/07/2012	0.4	1.0	-0.3	1.3	-2.9	-1.9	14139	12416	12025
17/07/2012	-0.3	-0.6	0.1	-4.0	-4.0	-1.2	7083	11442	8099
02/08/2012	0.1	-1.2	0.8	7.2	-6.0	0.3	12444	3320	15825
20/08/2012	-0.3	-0.9	0.9	-17.3	-3.5	-1.4	11760	1644	17139
04/10/2012	3.5	4.8	1.4	-4.1	-4.9	3.3	16551	22865	-7903
19/10/2012	3.4	-0.6	0.0	3.3	-7.6	1.8	10047	2600	19565

Apêndice 4. Emissões de N₂O, CH₄ e CO₂ (g ha⁻² dia⁻¹) no tratamento Vica/Milho sob plantio direto no período de outubro de 2009 a outubro de 2012. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Data	N-N ₂ O			C-CH ₄			C-CO ₂		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	g ha ⁻¹ dia ⁻¹			g ha ⁻¹ dia ⁻¹			g ha ⁻¹ dia ⁻¹		
09/10/09	21.5	37.5	26.7	-3.3	-1.6	-0.9	29706	30650	15845
13/10/09	31.1	25.8	46.6	-2.1	-2.1	-1.1	37415	37501	38395
16/10/09	24.7	33.8	37.4	8.3	3.2	7.1	25650	17132	14008
19/10/09	23.1	23.6	23.3	-3.1	-5.9	-1.7	35708	25656	20179
23/10/09	7.8	23.0	4.6	-3.6	-4.8	-1.8	30081	25897	20212
26/10/09	13.0	43.8	16.9	-3.2	-2.7	-1.7	36622	32236	32838
29/10/09	6.9	7.4	9.7	3.4	-3.8	-0.5	33603	27498	23056
06/11/09	35.8	76.6	34.3	-0.4	0.7	1.4	45982	32940	23460
16/11/09	46.0	18.8	81.7	-1.8	-1.6	2.6	56607	52547	36013
23/11/09	20.6	18.3	39.8	-2.9	-3.2	6.8	49215	48257	37241
07/12/09	3.9	4.0	6.7	-3.0	-2.7	-0.8	34294	42260	43887
14/12/09	7.1	4.6	11.9	-2.1	-3.2	-1.5	21460	30849	30480
21/12/09	9.7	6.3	14.2	-3.3	-3.6	-1.4	30559	38943	39788
20/01/10	59.9	4.8	14.4	-2.8	-3.1	-2.3	29714	39345	30722
03/02/10	0.8	0.9	1.7	-6.3	-7.1	-5.4	38150	41726	44879
17/02/10	0.8	0.1	1.4	-3.2	-3.7	-1.1	35319	38639	34895
03/03/10	0.2	0.5	0.6	-8.8	-6.2	-6.4	26789	35230	16658
22/03/10	2.4	1.5	2.7	-3.1	-6.0	-4.3	21792	2638	25430
12/04/10	2.2	0.7	-0.4	-5.0	-4.3	-5.5	18323	10903	12430
07/06/10	11.5	14.8	10.0	-4.2	-5.0	-2.8	19412	21501	18976
14/06/10	2.4	2.0	1.5	-2.1	-1.8	-2.6	15773	14524	15288
05/07/10	6.7	5.0	4.4	-3.4	-4.4	-3.0	21478	26507	23406
26/07/10	8.0	6.1	3.6	-2.8	-3.6	-2.0	8805	14415	11136
09/08/10	2.6	2.5	2.7	-0.5	-5.3	-4.1	12124	16529	15503
31/08/10	14.0	10.3	4.1	-2.6	-2.3	-2.2	20476	28428	24123

Continuação do Apêndice 4

18/09/10	0.4	0.2	0.1	-4.0	-3.2	-3.1	13278	14805	13129
11/10/10	0.6	0.0	0.4	-3.3	-4.8	-5.3	28508	24474	23096
22/10/10	9.5	1.5	5.9	-3.0	-3.8	-2.1	50068.8	33691.7	33077.7
26/10/10	8.1	0.5	0.7	-3.0	-3.2	-1.5	26011.7	19555.6	9013.9
29/10/10	4.8	1.1	1.2	-5.2	-4.1	-5.1	27780.7	18777.3	15627.3
03/11/10	2.0	1.5	1.4	-5.1	-5.8	-6.2	10041.3	8972.3	11438.8
12/11/10	2.1	0.5	0.6	-7.1	-2.8	-4.1	17051.7	13483.8	12705.5
19/11/10	12.6	2.5	3.3	-3.0	-4.5	-2.5	43490.6	31729.4	30800.8
03/12/10	1.6	1.4	0.2	-7.5	-5.1	-3.4	38341.6	33853.9	34822.0
17/12/10	1.4	-0.8	-0.8	-3.9	-2.1	-3.4	41089.7	30979.1	29454.6
05/01/11	1.1	0.0	-1.3	-5.2	-5.4	-4.7	67719.1	61577.9	65668.6
18/01/11	1.3	1.2	3.8	4.7	-3.4	-1.7	37872.3	70616.6	64263.6
09/02/11	2.9	1.2	3.2	-1.2	7.1	-1.1	38882.8	36662.8	41268.3
25/02/11	0.8	2.3	3.0	-6.0	-1.5	-4.8	43822.3	45593.5	45705.7
15/03/2011	-0.3	0.0	0.7	-3.5	6.9	-2.5	23709.8	24106.5	24373.6
30/03/2011	3.2	6.5	2.2	-1.0	0.9	0.9	24527.7	23962.0	24190.9
20/04/2011	23.5	14.1	10.6	-2.4	3.7	-0.9	32742.4	30529.7	36897.6
02/05/2011	0.3	0.6	0.3	-0.3	-1.1	-0.6	5711.1	10111.6	12663.0
16/05/2011	1.8	0.9	0.4	0.1	0.2	0.0	17838.5	18264.3	25417.9
30/05/2011	1.1	0.6	0.4	-0.9	0.0	-1.2	12651.7	11487.2	14808.7
13/06/2011	0.1	0.3	0.3	-2.3	-1.3	-2.2	13689.7	13054.9	15978.1
27/06/2011	0.1	0.2	0.8	0.0	-0.8	-0.7	2667.4	3535.7	3890.4
11/07/2011	0.5	-0.1	0.2	-0.3	-1.4	-1.3	14440.3	12324.8	16131.0
25/07/2011	0.5	1.4	0.8	0.6	1.5	1.3	17240.6	15427.2	18204.0
22/08/2011	-0.6	0.2	0.2	-1.9	-1.1	0.0	7615.0	10065.8	11896.6
02/09/2011	0.0	0.3	0.4	-0.3	-1.1	-1.7	13012.8	16004.5	14822.5
17/09/2011	1.1	1.6	0.5	2.2	2.2	-1.3	31078.0	20412.0	29758.7
19/09/2011	3.3	2.8	2.4	-1.8	-1.0	-2.1	42142.2	31476.5	43170.2
21/09/2011	27.8	24.8	15.1	8.7	-0.6	-20.3	36653.4	27653.3	37345.2
23/09/2011	15.2	24.9	11.8	-18.7	55.7	-55.7	30632.5	21140.0	30056.7
27/09/2011	5.2	2.1	8.6	-0.1	-1.3	-1.5	27395.4	16042.2	24657.4

Continuação do Apêndice 4

30/09/2011	3.3	2.0	6.1	-1.3	-1.2	-1.5	21657.1	13673.2	20039.2
04/10/2011	8.7	7.8	10.7	-0.2	-1.6	-0.8	19708.0	13917.6	17904.3
06/10/2011	24.5	17.3	12.5	-0.5	-0.1	-0.6	23633.1	20051.2	25608.6
11/10/2011	4.5	3.4	5.5	-2.4	0.3	-2.9	19963.6	12914.1	16452.8
13/10/2011	3.6	3.3	5.6	-0.5	0.1	-0.9	24973.2	23089.4	24920.4
19/10/2011	1.1	0.2	3.2	-2.4	-2.3	-2.5	6093.3	3319.7	7171.3
24/10/2011	1.6	1.8	2.2	-1.8	-1.2	-2.4	27288.7	26449.4	25543.0
01/11/2011	2.3	4.9	1.1	-0.3	6.2	2.2	17979.6	15975.4	12063.5
08/11/2011	2.0	0.2	0.2	5.0	0.1	-2.9	22975.9	18254.5	22260.6
17/11/2011	0.2	0.1	-0.2	15.3	-1.8	-4.0	22066.1	20935.0	24813.1
24/11/2011	0.8	1.2	0.5	15.9	-1.5	-1.6	33052.0	31116.1	35753.6
13/12/2011	-0.7	0.6	0.3	10.1	-3.7	-2.7	31842.1	28159.3	34089.9
06/01/2012	-1.4	0.2	-0.1	5.1	-3.0	-2.5	23616.3	16201.3	22942.5
17/01/2012	0.2	0.2	0.1	8.4	-1.7	-2.6	28606.9	22842.0	27236.3
01/02/2012	0.4	-0.1	0.2	-3.8	-3.9	-2.3	14277.5	9128.9	12630.4
17/02/2012	0.6	0.3	1.4	-3.8	1.6	-1.2	17279.5	15411.3	21674.2
08/03/2012	0.8	0.5	1.1	-3.0	-0.8	-2.0	16761.4	16513.5	16207.4
19/03/2012	0.6	0.0	0.4	-2.2	-1.4	-1.8	14124.0	14768.2	10884.5
03/04/2012	0.8	1.1	0.4	-1.1	-0.1	-3.1	27571.1	13391.8	14315.1
16/04/2012	7.8	3.9	4.1	3.3	-1.1	8.3	33261.7	21134.9	23295.3
27/04/2012	1.3	1.1	0.5	-0.4	-2.6	2.1	18562.4	14243.9	15460.9
21/05/2012	0.4	-1.2	-2.3	-1.0	-7.3	-6.0	24468.2	23273.7	18899.1
04/06/2012	1.6	1.7	1.6	-1.6	-1.6	-1.2	20723.6	18323.9	16975.4
18/06/2012	2.5	1.9	1.4	-1.8	-1.5	0.4	23527.2	19940.8	21585.1
02/07/2012	-0.9	0.7	0.3	-3.6	-4.4	-0.9	15632.4	11949.6	18003.6
17/07/2012	0.3	-0.6	-0.1	-1.6	-2.3	-1.5	8930.7	7158.5	-2269.9
02/08/2012	0.5	0.6	0.9	-0.4	-0.9	-0.8	27024.4	19037.4	22865.0
20/08/2012	-0.4	1.1	0.5	-2.9	-4.5	-2.3	20432.7	19530.0	17017.6
04/10/2012	10.3	11.8	11.0	0.0	2.5	2.2	35543.1	39220.0	20623.0
19/10/2012	0.0	0.8	0.7	-2.5	2.2	0.1	21748.2	23504.9	17661.8

Apêndice 5. Emissões de N₂O, CH₄ e CO₂ (g ha⁻² dia⁻¹) no tratamento Aveia+Vica/Milho sob plantio direto no período de outubro 2010 a outubro de 2012. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Data	N-N ₂ O			C-CH ₄			C-CO ₂		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	g ha ⁻¹ dia ⁻¹			g ha ⁻¹ dia ⁻¹			g ha ⁻¹ dia ⁻¹		
22/10/10	15.7	27.5	21.8	-6.4	-11.4	-7.8	34440	45183	30493
26/10/10	5.6	6.2	5.3	-4.7	-2.0	-2.9	27937	19921	23043
29/10/10	4.5	5.5	7.2	-5.1	-5.4	-6.9	26892	28063	26453
03/11/10	2.0	1.5	2.3	-11.7	-9.6	-11.5	16126	17789	20231
12/11/10	0.5	3.0	2.6	-4.8	-3.9	-5.6	25932	25701	23521
19/11/10	7.8	23.6	6.6	-3.5	-5.6	-7.3	61875	62022	42366
03/12/10	4.2	4.1	3.1	-8.3	-6.4	-12.5	42606	47085	37035
17/12/10	0.8	4.4	4.0	-5.0	-6.7	-7.2	52294	59574	55639
05/01/11	0.8	3.1	1.4	-6.5	-5.7	-4.8	78893	80689	75042
18/01/11	1.3	1.8	0.5	-4.2	-5.5	-3.1	63750	61516	70787
09/02/11	3.0	8.7	1.1	-2.5	-2.2	-2.3	43895	30337	51176
25/02/11	-1.9	2.8	2.2	-7.4	-2.2	-5.8	54657	51892	54838
15/03/2011	-1.8	2.0	2.5	-5.5	-4.1	-4.8	29349	23517	26867
30/03/2011	7.5	8.5	1.7	-0.9	2.2	-1.0	24919	33293	25377
20/04/2011	12.6	27.9	7.5	-0.2	0.4	0.8	37987	38800	29888
02/05/2011	0.7	3.5	0.2	-0.9	-1.8	-0.4	16357	19746	9796
16/05/2011	0.8	1.6	-0.4	-0.3	0.2	3.0	23067	27331	17578
30/05/2011	1.7	0.9	0.9	-3.1	-2.8	-2.2	12937	13921	11426
13/06/2011	-0.1	0.8	-0.6	-2.3	-0.2	-2.1	13849	14972	13485
27/06/2011	2.3	9.5	1.9	-1.5	-1.9	-2.6	14599	10784	19022
11/07/2011	0.8	-0.1	0.3	-2.7	-0.6	-1.6	16598	16248	17416
25/07/2011	1.0	2.3	0.4	-0.5	-0.5	0.3	19485	20474	20313
22/08/2011	2.1	-1.0	1.0	-6.7	-8.8	-2.4	11723	7308	13340
02/09/2011	1.3	3.9	1.1	-13.5	-7.6	-3.2	18650	18735	22887
17/09/2011	2.3	29.4	7.0	9.4	6.1	3.4	33006	44203	31249
19/09/2011	6.0	24.2	8.7	7.8	-14.0	15.4	41638	55226	39636

Continuação do Apêndice 5

21/09/2011	56.6	121.9	52.3	3.0	2.3	9.7	34648	37035	34617
23/09/2011	16.3	73.6	28.6	-9.8	-57.8	51.0	24907	34027	26359
27/09/2011	17.6	42.8	18.2	1.9	-4.9	-2.1	26934	37717	24350
30/09/2011	1.6	16.1	9.5	-6.4	-2.0	4.0	14132	28916	20354
04/10/2011	14.8	78.8	7.8	6.6	-0.5	-0.6	14459	28709	17946
06/10/2011	63.8	104.8	31.3	0.9	2.6	7.2	27570	31799	27581
11/10/2011	6.2	23.4	5.3	-14.0	2.9	-1.7	17180	25112	20256
13/10/2011	4.0	11.7	6.7	-13.7	1.3	-3.8	28945	33756	30737
19/10/2011	3.6	6.6	0.1	6.9	-5.9	1.1	12401	13771	13052
24/10/2011	2.6	7.8	2.7	-9.6	-7.7	-0.2	25417	32175	27768
01/11/2011	3.7	6.3	-0.6	5.5	-4.5	-12.9	17955	21489	16902
08/11/2011	0.4	4.2	1.0	4.2	2.8	0.5	20727	24890	21045
17/11/2011	1.0	1.1	0.2	-5.9	-0.7	-2.0	29823	32643	27600
24/11/2011	0.1	0.3	0.5	1.6	1.6	0.0	39751	42383	38632
13/12/2011	2.9	-0.5	0.8	7.1	-0.8	-3.7	34894	40958	39388
06/01/2012	2.6	0.3	0.4	7.6	0.3	-2.6	22919	29400	25848
17/01/2012	0.8	1.2	1.2	8.8	-3.7	-1.7	29707	28729	27668
01/02/2012	0.1	0.7	0.3	-2.1	4.7	1.1	12693	11675	13085
17/02/2012	0.0	1.1	1.1	-0.2	-1.4	-8.6	16994	19165	19710
08/03/2012	0.6	1.9	0.4	-4.4	-5.6	-5.7	17949	16071	17235
19/03/2012	0.9	1.8	0.8	9.2	-1.2	-2.9	16535	14331	15581
03/04/2012	1.8	0.0	0.9	4.5	-4.0	6.2	11618	10957	9065
16/04/2012	8.3	4.4	7.5	6.1	0.4	14.7	24716	23140	23762
27/04/2012	0.9	0.7	2.3	-5.7	0.4	2.3	15487	14877	15418
21/05/2012	0.7	1.5	0.3	-5.4	-4.8	-8.8	28805	22341	16636
04/06/2012	0.2	-0.4	1.5	1.5	-17.2	2.1	13190	17197	14943
18/06/2012	1.3	0.8	1.1	-9.0	1.5	3.2	19182	22633	21669
02/07/2012	-0.6	0.6	-0.2	-5.7	-3.8	-1.9	12709	15988	14686
17/07/2012	0.6	0.5	0.5	-0.5	-3.1	0.6	11305	11923	12881
02/08/2012	0.8	2.2	1.0	-2.0	-1.5	6.2	19429	19970	25465
20/08/2012	0.0	1.3	0.5	-1.4	-12.5	25.3	17218	17132	18285

Continuação do Apêndice 5

04/10/2012	11.8	13.7	14.1	-0.8	10.5	23.8	24839	20899	24297
19/10/2012	0.3	1.2	0.4	2.8	-4.9	11.5	8744	17812	13986

Apêndice 6. Emissões de N₂O, CH₄ e CO₂ (g ha⁻² dia⁻¹) no tratamento Pousio/Milho sob plantio direto no período de outubro 2010 a outubro de 2012. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Data	N-N ₂ O			C-CH ₄			C-CO ₂		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	g ha ⁻¹ dia ⁻¹			g ha ⁻¹ dia ⁻¹			g ha ⁻¹ dia ⁻¹		
22/10/10	15.7	27.5	21.8	-2.8	0.0	0.0	42695	-	-
26/10/10	5.6	6.2	5.3	-2.5	0.0	0.0	44214	-	-
29/10/10	4.5	5.5	7.2	-7.5	0.0	0.0	17124	-	-
03/11/10	2.0	1.5	2.3	-8.9	0.0	0.0	11545	-	-
12/11/10	0.5	3.0	2.6	-5.5	0.0	0.0	12843	-	-
19/11/10	7.8	23.6	6.6	-0.1	0.0	0.0	36603	-	-
03/12/10	4.2	4.1	3.1	-8.2	-5.0	0.0	26664	32279	-
17/12/10	0.8	4.4	4.0	-4.7	-5.8	0.0	18120	32128	-
05/01/11	0.8	3.1	1.4	-1.9	-0.3	0.0	64962	56006	-
18/01/11	1.3	1.8	0.5	-1.8	3.8	0.0	45558	52801	-
09/02/11	3.0	8.7	1.1	3.3	3.9	0.0	38336	35552	-
25/02/11	-1.9	2.8	2.2	-3.0	-1.5	0.0	45710	37725	-
15/03/2011	-1.8	2.0	2.5	-2.9	3.0	0.0	18381	21108	-
30/03/2011	7.5	8.5	1.7	-1.9	0.5	0.0	17110	23423	-
20/04/2011	12.6	27.9	7.5	0.5	-0.6	-1.0	19001	26244	27170
02/05/2011	0.7	3.5	0.2	-1.5	-0.1	1.1	11960	12842	12476
16/05/2011	0.8	1.6	-0.4	-0.8	-0.5	-0.3	14975	15897	19136
30/05/2011	1.7	0.9	0.9	-3.5	-1.4	-2.5	7727	10664	10958
13/06/2011	-0.1	0.8	-0.6	-3.2	-4.4	-1.3	9534	11077	12036
27/06/2011	2.3	9.5	1.9	-1.7	0.1	0.1	4883	4433	2745
11/07/2011	0.8	-0.1	0.3	0.0	1.4	-1.0	10203	11981	14453
25/07/2011	1.0	2.3	0.4	-0.3	2.0	-0.1	13566	14195	14547
22/08/2011	2.1	-1.0	1.0	11.3	7.8	-2.5	4974	6265	7278
02/09/2011	1.3	3.9	1.1	-4.8	-1.4	3.9	11814	9636	11679
17/09/2011	2.3	29.4	7.0	26.7	12.0	18.7	20421	17617	33642
19/09/2011	6.0	24.2	8.7	-9.2	16.2	10.4	23242	15602	33791

Continuação do Apêndice 6

21/09/2011	56.6	121.9	52.3	-9.3	12.3	17.4	16749	18749	43872
23/09/2011	16.3	73.6	28.6	20.9	-57.4	23.6	15361	13588	22463
27/09/2011	17.6	42.8	18.2	-8.3	2.5	-3.9	13240	11302	6412
30/09/2011	1.6	16.1	9.5	-7.0	5.7	3.5	11528	7250	16430
04/10/2011	14.8	78.8	7.8	8.3	1.4	4.6	11025	9032	11152
06/10/2011	63.8	104.8	31.3	9.1	-1.1	3.5	17206	14118	22160
11/10/2011	6.2	23.4	5.3	-5.0	9.4	3.3	10987	-377	16278
13/10/2011	4.0	11.7	6.7	-2.7	6.7	-14.2	-1115	16971	22317
19/10/2011	3.6	6.6	0.1	0.5	-3.2	3.1	12097	9528	13457
24/10/2011	2.6	7.8	2.7	-13.2	1.9	-3.8	19183	13488	27471
01/11/2011	3.7	6.3	-0.6	8.8	1.4	0.8	13665	12666	18459
08/11/2011	0.4	4.2	1.0	8.0	1.0	4.8	15533	14910	21062
17/11/2011	1.0	1.1	0.2	-2.3	-2.0	-2.7	21908	16397	22865
24/11/2011	0.1	0.3	0.5	0.3	0.5	1.2	28995	33517	32923
13/12/2011	2.9	-0.5	0.8	-1.6	-0.5	-5.9	34721	28005	26488
06/01/2012	2.6	0.3	0.4	-7.4	-0.9	-1.2	23905	20690	21038
17/01/2012	0.8	1.2	1.2	-7.0	-3.5	2.2	21951	20656	24606
01/02/2012	0.1	0.7	0.3	-8.8	-14.8	5.7	11412	7077	9298
17/02/2012	0.0	1.1	1.1	8.5	1.0	-3.7	18743	8171	15132
08/03/2012	0.6	1.9	0.4	-2.2	-3.8	-2.7	19015	9514	17843
19/03/2012	0.9	1.8	0.8	6.2	0.0	4.7	17246	17733	16002
03/04/2012	1.8	0.0	0.9	-17.5	-5.1	-2.5	10517	8605	8395
16/04/2012	8.3	4.4	7.5	1.9	-2.1	3.5	12180	12517	18191
27/04/2012	0.9	0.7	2.3	-1.1	-16.9	-4.2	12104	9591	13078
21/05/2012	0.7	1.5	0.3	-12.6	-5.5	-3.3	21391	12602	16161
04/06/2012	0.2	-0.4	1.5	-2.8	-0.4	-6.9	11105	8357	13393
18/06/2012	1.3	0.8	1.1	-1.9	-5.2	-1.5	6365	6391	15166
02/07/2012	-0.6	0.6	-0.2	-3.7	-0.3	-0.3	6977	7808	9608
17/07/2012	0.6	0.5	0.5	-3.6	-1.0	-1.7	4268	4906	6214
02/08/2012	0.8	2.2	1.0	-7.1	3.4	0.4	11932	8344	15500
20/08/2012	0.0	1.3	0.5	-3.2	3.0	-2.2	10611	9856	11264

Continuação do Apêndice 6

04/10/2012	11.8	13.7	14.1	-6.3	1.2	-5.3	19244	17116	24917
19/10/2012	0.3	1.2	0.4	1.0	5.9	10.5	9670	8362	16207

Apêndice 7. Produção média de matéria seca e produtividade média de milho sob plantio convencional nas sucessões Aveia/Milho (PCAM) e Vica/Milho (PCVM) e sob plantio direto nas sucessões Aveia/Milho (PDAM) e Vica/Milho (PDVM).

Ano	Plantas de cobertura				Grãos de milho			
	PCAM	PCVM	PDAM	PDVM	PCAM	PCVM	PDAM	PDVM
----- kg ha ⁻¹ -----								
1986	2130	4470	1740	3680	3420	3100	2310	2400
1987	2370	2910	2200	2530	1530	2660	1360	1890
1988	2670	7760	2570	6940	1970	2360	1700	2110
1989	3300	5380	3470	5310	3020	4900	2720	4810
1990	4050	5690	4160	6540	2450	3370	2560	2840
1991	3700	5660	5980	6400	2910	4320	2390	3810
1992	4890	5770	4190	5740	3140	4720	1930	3870
1993	2500	4710	2730	3790	1460	2530	1510	2290
1994	2920	6040	2290	1900	4810	7650	2700	6580
1995	3320	4630	3550	4030	1680	4630	2070	4490
1996	3610	5170	3740	4960	3280	6310	2770	5800
1997	1550	4430	1780	4690	1900	5440	1360	5390
1998	1120	3260	2270	3360	1530	5820	2020	5770
1999	1960	3430	2730	3720	1250	4530	1960	5600
2000	1960	3430	2730	3720	-	-	-	-
2001	1960	3430	2730	3720	1855	3345	1931	5055
2002	2010	2550	2270	3150	3703	6335	4655	6137
2003	2720	4480	3950	4500	4846	3383	2701	5044
2004	1990	3420	2440	3860	3326	6076	2244	7790
2005	-	-	-	-	1482	5630	1627	4891

Apêndice 8. Carbono orgânico total do solo na camada de 0–30 cm nos tratamentos sob plantio convencional nas sucessões Aveia/Milho (PCAM) e Vica/Milho (PCVM) e sob plantio direto nas sucessões Aveia/Milho (PDAM) e Vica/Milho (PDVM).

		Média	Desvio
		Mg ha ⁻¹	
PCAM	1990	32.2	2.7
	1994	28.5	1.2
	1998	28.0	1.1
	2003	27.5	0.8
PCVM	1990		
	1994	36.5	1.7
	1998	30.0	0.5
	2003	31.3	1.0
PDAM	1990	30.8	3.1
	1994	31.6	1.5
	1998	34.3	2.4
	2003	31.2	0.9
PDVM	1990		
	1994	29.9	1.2
	1998	36.6	2.7
	2003	32.5	2.4

Apêndice 9. Estrutura do arquivo .SCH utilizado na inicialização e período pré experimental, cultivado com colza/girassol.

# EEA (Pampas+ PreExp)	0001 150 LAST
1 Starting year	0001 161 GRAZ W
1984 Last year	0001 222 GRAZ W
EEAsite.100 Site file name	0001 237 FRST
0 Labeling type	0001 289 GRAZ GM
-1 Labeling year	0001 320 GRAZ GM
-1 Microcosm	0001 350 GRAZ GM
-1 CO2 Systems	-999 -999 X
-1 pH Shift	2 Block # Colza + Girassol
-1 Soil warming	1984 Last year
0 N input scalar option	1 Repeats # years
0 OMAD input scalar option	1970 Output starting year
0 Climate scalar option	1 Output Month
1 Initial system	1 Output interval
CN0 Initial Crop	C Weather choice
Initial Tree	0001 030 CULT DISKH
	0001 081 CROP RAPS
Year Month Option	0001 093 PLTM
1 Block # Pampas Grasslands	0001 094 FERT N2
1969 Last year	0001 121 FERT N4
1 Repeats # years	0001 233 HARV G
1960 Output starting year	0001 247 CULT PLOW
1 Output Month	0001 258 EROD 0.500000
1 Output interval	0001 273 CROP SUNFL
F Weather choice	0001 274 CULT DISKH
EEAwth.wth	0001 274 PLTM
0001 001 CROP CN0	0001 274 FERT N1
0001 075 GRAZ GM	0001 305 FERT N3
0001 106 GRAZ GM	0001 364 HARV G
0001 110 SENM	-999 -999 X

Apêndice 11. Estrutura do arquivo .SCH utilizado no tratamento preparo convencional Vica/Milho.

#10 CONV HV/C N=0	2009	Output starting	0004 080 HARV G
1984 starting year	year		0004 093 CROP HV
2063 Last year	1	Output Month	0004 094 PLTM
eea_conv.100 Site file	1	Output interval	0004 118 CULT ADDEC
name	C	Weather choice	0004 270 CULT HERB
0 Labeling type	0001 015	IRRI A20	0004 278 LAST
-1 Labeling year	0001 032	IRRI A20	0004 297 CULT DSKPL
-1 Microcosm	0001 046	HARV G	0004 297 CULT DISKH
-1 CO2 Systems	0001 075	CULT DSKPL	0004 298 CROP CORN
-1 pH Shift	0001 085	CULT DISKH	0004 298 PLTM
-1 Soil warming	0001 105	CROP HV	0004 298 FERT N2
0 N input scalar	0001 106	PLTM	0004 311 IRR I A20
option	0001 118	CULT ADDEC	0005 023 IRR I A20
0 OMAD input	0001 260	CULT HERB	0005 051 HARV G
scalar option	0001 268	LAST	0005 054 CULT DSKPL
0 Climate scalar	0001 278	CULT DSKPL	0005 087 CULT DISKH
option	0001 278	CULT DISKH	0005 088 CROP HV
1 Initial system	0001 315	CROP CORN	0005 089 PLTM
SUNFL Initial Crop	0001 315	PLTM	0005 118 CULT ADDEC
AASS Initial Tree	0001 315	FERT N2	0005 252 CULT HERB
	0001 339	CULT HERB	0005 253 LAST
Year Month Option	0001 349	CROP CORN	0005 273 CULT DSKPL
1 Block #	0001 350	PLTM	0005 273 CULT DISKH
CONV_HV/C_N0	0001 351	FERT N2	0005 274 CROP CORN
2008 Last year	0001 360	CULT ADDEC	0005 274 PLTM
1 Repeats # years	0002 028	IRRI A20	0005 274 FERT N2
1984 Output starting	0002 119	HARV G	0005 300 CULT ADDEC
year	0002 153	CROP HV	-999 -999 X
1 Output Month	0002 154	PLTM	3 Block #
1 Output interval	0002 230	CULT ADDEC	CONV_HV/C_N0
F Weather choice	0002 260	CULT HERB	2063 Last year
eea.wth	0002 261	LAST	1 Repeats # years
0001 003	0002 284	CULT DSKPL	2014 Output starting
0001 051	0002 284	CULT DISKH	year
0001 054	0002 285	CROP CORN	1 Output Month
0001 087	0002 285	PLTM	1 Output interval
0001 088	0002 285	FERT N2	C Weather choice
0001 089	0002 286	IRRI A20	0001 003
0001 118	0002 323	IRRI A20	0001 051
0001 252	0003 004	IRRI A20	0001 054
0001 253	0003 094	HARV G	0001 087
0001 257	0003 095	CROP HV	0001 088
0001 273	0003 096	PLTM	0001 089
0001 274	0003 118	CULT ADDEC	0001 118
0001 275	0003 230	CULT HERB	0001 252
0001 276	0003 239	LAST	0001 253
0001 300	0003 257	CULT DSKPL	0001 257
0001 305	0003 257	CULT DISKH	0001 273
0001 335	0003 258	CROP CORN	0001 274
-999 -999 X	0003 258	PLTM	0001 275
2 Block #	0003 258	FERT N2	0001 276
CONV_HV/C_N0	0003 301	IRRI A20	0001 300
2013 Last year	0003 310	CULT ADDEC	0001 305
5 Repeats # years	0003 334	IRRI A20	0001 335
	0004 006	IRRI A20	-999 -999 X

Apêndice 12. Estrutura do arquivo .SCH utilizado no tratamento plantio direto Aveia/Milho.

#10 NOTILL_O/C N=0	2	Block #	0003 301 IRR1 A20
1984 starting year	NOTILL_O/C_N0		0003 334 IRR1 A20
2063 Last year	2013 Last year		0004 006 IRR1 A20
eea_notill.100 Site file name	5 Repeats # years		0004 080 HARV G
0 Labeling type	2009 Output starting year		0004 093 CROP OATS
-1 Labeling year	1 Output Month		0004 094 PLTM
-1 Microcosm	1 Output interval		0004 270 CULT HERB
-1 CO2 Systems	C Weather choice		0004 278 LAST
-1 pH Shift	0001 015 IRR1 A20		0004 297 CULT NOTIL
-1 Soil warming	0001 032 IRR1 A20		0004 298 CROP CORN
0 N input scalar option	0001 046 HARV G		0004 298 PLTM
0 OMAD input scalar option	0001 105 CROP OATS		0004 298 FERT N2
0 Climate scalar option	0001 106 PLTM		0004 311 IRR1 A20
1 Initial system	0001 260 CULT HERB		0005 023 IRR1 A20
SUNFL Initial Crop	0001 268 LAST		0005 051 HARV G
AASS Initial Tree	0001 278 CULT NOTIL		0005 088 CROP OATS
Year Month Option	0001 315 CROP CORN		0005 089 PLTM
1 Block #	0001 315 PLTM		0005 252 CULT HERB
NOTILL_O/C_N0	0001 315 FERT N2		0005 253 LAST
2008 Last year	0001 339 CULT HERB		0005 273 CULT NOTIL
1 Repeats # years	0001 349 CROP CORN		0005 274 CROP CORN
1984 Output starting year	0001 350 PLTM		0005 274 PLTM
1 Output Month	0001 351 FERT N2		0005 274 FERT N2
1 Output interval	0002 028 IRR1 A20		-999 -999 X
F Weather choice	0002 119 HARV G		3 Block #
eea.wth	0002 153 CROP OATS		NOTILL_O/C_N0
0001 003 IRR1 A10	0002 154 PLTM		2063 Last year
0001 051 HARV G	0002 260 CULT HERB		1 Repeats # years
0001 088 CROP OATS	0002 261 LAST		2014 Output starting year
0001 089 PLTM	0002 284 CULT NOTIL		1 Output Month
0001 252 CULT HERB	0002 285 CROP CORN		1 Output interval
0001 253 LAST	0002 285 PLTM		C Weather choice
0001 273 CULT NOTIL	0002 285 FERT N2		0001 003 IRR1 A10
0001 274 CROP CORN	0002 286 IRR1 A20		0001 051 HARV G
0001 275 PLTM	0002 323 IRR1 A20		0001 088 CROP OATS
0001 276 FERT N2	0003 004 IRR1 A20		0001 089 PLTM
0001 305 IRR1 A10	0003 094 HARV G		0001 252 CULT HERB
0001 335 IRR1 A10	0003 095 CROP OATS		0001 253 LAST
-999 -999 X	0003 096 PLTM		0001 273 CULT NOTIL
	0003 230 CULT HERB		0001 274 CROP CORN
	0003 239 LAST		0001 275 PLTM
	0003 257 CULT NOTIL		0001 276 FERT N2
	0003 258 CROP CORN		0001 305 IRR1 A10
	0003 258 PLTM		0001 335 IRR1 A10
	0003 258 FERT N2		-999 -999 X

Apêndice 13. Estrutura do arquivo .SCH utilizado no tratamento plantio direto Vica/Milho.

#10 NOTILL_HV/C N=0	2	Block #	0003 301 IRR1 A20
1984 starting year	NOTILL_HV/C_N0		0003 334 IRR1 A20
2063 Last year	2013	Last year	0004 006 IRR1 A20
eea_notill.100 Site file name	5	Repeats # years	0004 080 HARV G
0 Labeling type	2009	Output starting year	0004 093 CROP HV
-1 Labeling year	1	Output Month	0004 094 PLTM
-1 Microcosm	1	Output interval	0004 270 CULT HERB
-1 CO2 Systems	C	Weather choice	0004 278 LAST
-1 pH Shift	0001 015 IRR1 A20		0004 297 CULT NOTIL
-1 Soil warming	0001 032 IRR1 A20		0004 298 CROP CORN
0 N input scalar option	0001 046 HARV G		0004 298 PLTM
0 OMAD input scalar option	0001 105 CROP HV		0004 311 IRR1 A20
0 Climate scalar option	0001 106 PLTM		0005 023 IRR1 A20
1 Initial system	0001 260 CULT HERB		0005 051 HARV G
SUNFL Initial Crop	0001 268 LAST		0005 088 CROP HV
AASS Initial Tree	0001 278 CULT NOTIL		0005 089 PLTM
	0001 315 CROP CORN		0005 252 CULT HERB
	0001 315 PLTM		0005 253 LAST
	0001 315 FERT N2		0005 273 CULT NOTIL
	0001 339 CULT HERB		0005 274 CROP CORN
	0001 349 CROP CORN		0005 274 PLTM
	0001 350 PLTM		0005 274 FERT N2
	0001 351 FERT N2		-999 -999 X
Year Month Option	0002 028 IRR1 A20		3 Block #
1 Block #	0002 119 HARV G		NOTILL_HV/C_N0
NOTILL_HV/C_N0	0002 153 CROP HV		2063 Last year
2008 Last year	0002 154 PLTM		1 Repeats # years
1 Repeats # years	0002 260 CULT HERB		2014 Output starting year
1984 Output starting year	0002 261 LAST		1 Output Month
1 Output Month	0002 284 CULT NOTIL		1 Output interval
1 Output interval	0002 285 CROP CORN		C Weather choice
F Weather choice	0002 285 PLTM		0001 003 IRR1 A10
eea.wth	0002 285 FERT N2		0001 051 HARV G
0001 003 IRR1 A10	0002 286 IRR1 A20		0001 088 CROP HV
0001 051 HARV G	0002 323 IRR1 A20		0001 089 PLTM
0001 088 CROP HV	0003 004 IRR1 A20		0001 252 CULT HERB
0001 089 PLTM	0003 094 HARV G		0001 253 LAST
0001 252 CULT HERB	0003 095 CROP HV		0001 273 CULT NOTIL
0001 253 LAST	0003 096 PLTM		0001 274 CROP CORN
0001 273 CULT NOTIL	0003 230 CULT HERB		0001 275 PLTM
0001 274 CROP CORN	0003 239 LAST		0001 276 FERT N2
0001 275 PLTM	0003 257 CULT NOTIL		0001 305 IRR1 A10
0001 276 FERT N2	0003 258 CROP CORN		0001 335 IRR1 A10
0001 305 IRR1 A10	0003 258 PLTM		-999 -999 X
0001 335 IRR1 A10	0003 258 FERT N2		
-999 -999 X			

Apêndice 14. Estrutura do arquivo .SCH utilizado no tratamento plantio direto Aveia+Vica/Milho.

#10 NOTILL_OV/C N=0	0001 105 CROP OHV	-999 -999 X
1983 starting year	0001 106 PLTM	3 Block #
2063 Last year	0001 260 CULT HERB	NOTILL_HV/C_N0
eea_notill.100 Site file name	0001 268 LAST	2063 Last year
0 Labeling type	0001 278 CULT NOTIL	1 Repeats # years
-1 Labeling year	0001 315 CROP CORN	2014 Output starting year
-1 Microcosm	0001 315 PLTM	1 Output Month
-1 CO2 Systems	0001 315 FERT N2	1 Output interval
-1 pH Shift	0001 339 CULT HERB	C Weather choice
-1 Soil warming	0001 349 CROP CORN	0001 003 IRR1 A10
0 N input scalar option	0001 350 PLTM	0001 051 HARV G
0 OMAD input scalar option	0001 351 FERT N2	0001 088 CROP OHV
0 Climate scalar option	0002 028 IRR1 A20	0001 089 PLTM
1 Initial system	0002 119 HARV G	0001 252 CULT HERB
SUNFL Initial Crop	0002 153 CROP OHV	0001 253 LAST
AASS Initial Tree	0002 154 PLTM	0001 273 CULT NOTIL
Year Month Option	0002 260 CULT HERB	0001 274 CROP CORN
1 Block #	0002 261 LAST	0001 275 PLTM
NOTILL_HV/C_N0	0002 284 CULT NOTIL	0001 276 FERT N2
2008 Last year	0002 285 CROP CORN	0001 305 IRR1 A10
1 Repeats # years	0002 285 PLTM	0001 335 IRR1 A10
1983 Output starting year	0002 285 FERT N2	-999 -999 X
1 Output Month	0002 286 IRR1 A20	
1 Output interval	0002 323 IRR1 A20	
F Weather choice	0003 004 IRR1 A20	
eea.wth	0003 094 HARV G	
0001 003 IRR1 A10	0003 095 CROP OHV	
0001 051 HARV G	0003 096 PLTM	
0001 088 CROP OHV	0003 230 CULT HERB	
0001 089 PLTM	0003 239 LAST	
0001 252 CULT HERB	0003 257 CULT NOTIL	
0001 253 LAST	0003 258 CROP CORN	
0001 273 CULT NOTIL	0003 258 PLTM	
0001 274 CROP CORN	0003 258 FERT N2	
0001 275 PLTM	0003 301 IRR1 A20	
0001 276 FERT N2	0003 334 IRR1 A20	
0001 305 IRR1 A10	0004 006 IRR1 A20	
0001 335 IRR1 A10	0004 080 HARV G	
-999 -999 X	0004 093 CROP OHV	
2 Block #	0004 094 PLTM	
NOTILL_HV/C_N0	0004 270 CULT HERB	
2013 Last year	0004 278 LAST	
5 Repeats # years	0004 297 CULT NOTIL	
2009 Output starting year	0004 298 CROP CORN	
1 Output Month	0004 298 PLTM	
1 Output interval	0004 298 FERT N2	
C Weather choice	0004 311 IRR1 A20	
0001 015 IRR1 A20	0005 023 IRR1 A20	
0001 032 IRR1 A20	0005 051 HARV G	
0001 046 HARV G	0005 088 CROP OHV	
	0005 089 PLTM	
	0005 252 CULT HERB	
	0005 253 LAST	
	0005 273 CULT NOTIL	
	0005 274 CROP CORN	
	0005 274 PLTM	
	0005 274 FERT N2	

Apêndice 16. Parâmetros das culturas do arquivo CROP.100.

CAMPO NATIVO		0.04000	VLOSSP	0.70000	PPDF(3)
CN0 Campos EEA (Pampas)		0.20000	FSDETH(1)	5.00000	PPDF(4)
0.480000	PRDX(1)	0.95000	FSDETH(2)	0.00000	BIOFLG
27.00000	PPDF(1)	0.20000	FSDETH(3)	1800.00000	BIOK5
45.00000	PPDF(2)	150.00000	FSDETH(4)	0.40000	PLTMRF
1.00000	PPDF(3)	0.15000	FALLRT	150.00000	FULCAN
3.00000	PPDF(4)	0.40000	RDRJ	2	FRTCINDX
0.00000	BIOFLG	0.10000	RDRM	0.25000	FRTC(1)
60.00000	BIOK5	0.14000	RDSRFC	0.30000	FRTC(2)
1.00000	PLTMRF	2.00000	RTDTMP	30.00000	FRTC(3)
100.00000	FULCAN	0.50000	CRPRTF(1)	0.20000	FRTC(4)
1	FRTCINDX	0.00000	CRPRTF(2)	0.10000	FRTC(5)
0.30000	FRTC(1)	0.00000	CRPRTF(3)	0.40000	CFRTC(1)
0.35000	FRTC(2)	0.05000	MRTFRAC	0.25000	CFRTC(2)
60.00000	FRTC(3)	0.00750	SNFXMX(1)	0.40000	CFRTCW(1)
0.20000	FRTC(4)	-15.00000	DEL13C	0.40000	CFRTCW(2)
0.10000	FRTC(5)	1.00000	CO2IPR	500.00000	BIOMAX
0.40000	CFRTC(1)	0.77000	CO2ITR	12.00000	PRAMN(1,1)
0.25000	CFRTC(2)	1.00000	CO2ICE(1,1,1)	100.00000	PRAMN(2,1)
0.60000	CFRTCW(1)	1.00000	CO2ICE(1,1,2)	100.00000	PRAMN(3,1)
0.35000	CFRTCW(2)	1.00000	CO2ICE(1,1,3)	40.00000	PRAMN(1,2)
400.00000	BIOMAX	1.00000	CO2ICE(1,2,1)	160.00000	PRAMN(2,2)
30.00000	PRAMN(1,1)	1.00000	CO2ICE(1,2,2)	200.00000	PRAMN(3,2)
390.00000	PRAMN(2,1)	1.00000	CO2ICE(1,2,3)	45.00000	PRAMX(1,1)
340.00000	PRAMN(3,1)	1.00000	CO2IRS	200.00000	PRAMX(2,1)
40.00000	PRAMN(1,2)	0.01525	CKMRSPMX(1)	230.00000	PRAMX(3,1)
390.00000	PRAMN(2,2)	0.00300	CKMRSPMX(2)	100.00000	PRAMX(1,2)
340.00000	PRAMN(3,2)	0.16000	CKMRSPMX(3)	260.00000	PRAMX(2,2)
35.00000	PRAMX(1,1)	0.00000	CMRSPNPP(1)	270.00000	PRAMX(3,2)
440.00000	PRAMX(2,1)	0.00000	CMRSPNPP(2)	45.00000	PRBMN(1,1)
440.00000	PRAMX(3,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)	390.00000	PRBMN(2,1)
80.00000	PRAMX(1,2)	1.00000	CMRSPNPP(4)	340.00000	PRBMN(3,1)
440.00000	PRAMX(2,2)	4.00000	CMRSPNPP(5)	0.00000	PRBMN(1,2)
440.00000	PRAMX(3,2)	1.50000	CMRSPNPP(6)	0.00000	PRBMN(2,2)
50.00000	PRBMN(1,1)	0.23000	CGRESP(1)	0.00000	PRBMN(3,2)
390.00000	PRBMN(2,1)	0.23000	CGRESP(2)	60.00000	PRBMX(1,1)
340.00000	PRBMN(3,1)	0.23000	CGRESP(3)	420.00000	PRBMX(2,1)
0.00000	PRBMN(1,2)	0.20000	NO3PREF(1)	420.00000	PRBMX(3,1)
0.00000	PRBMN(2,2)	5	CLAYPG	0.00000	PRBMX(1,2)
0.00000	PRBMN(3,2)	0.50000	CMIX	0.00000	PRBMX(2,2)
55.00000	PRBMX(1,1)	10.00000	TMPGERM	0.00000	PRBMX(3,2)
420.00000	PRBMX(2,1)	1500.00000	DDBASE	0.15000	FLIGNI(1,1)
420.00000	PRBMX(3,1)	7.00000	TMPKILL	0.00000	FLIGNI(2,1)
0.00000	PRBMX(1,2)	12.00000	BASETTEMP(1)	0.26000	FLIGNI(1,2)
0.00000	PRBMX(2,2)	35.00000	BASETTEMP(2)	-0.00150	FLIGNI(2,2)
0.00000	PRBMX(3,2)	100.00000	MNDDHRV	0.00000	FLIGNI(1,3)
0.02000	FLIGNI(1,1)	300.00000	MXDDHRV	0.28000	FLIGNI(2,3)
0.00120	FLIGNI(2,1)	120.00000	CURGDYS	0.28000	HIMAX
0.26000	FLIGNI(1,2)	0.50000	CLSGRES	0.00000	HIWSF
-0.00150	FLIGNI(2,2)	0.12000	CMXTURN	1.00000	HIMON(1)
0.26000	FLIGNI(1,3)	30.00000	WSCOEFF(1,1)	1.00000	HIMON(2)
-0.00150	FLIGNI(2,3)	-9.00000	WSCOEFF(1,2)	0.85000	EFRGRN(1)
0.00000	HIMAX	1.00000	NPP2CS(1)	0.60000	EFRGRN(2)
0.00000	HIWSF			0.60000	EFRGRN(3)
0.00000	HIMON(1)	COLZA		0.04000	VLOSSP
0.00000	HIMON(2)	RAPS Rapeseed		0.00000	FSDETH(1)
0.50000	EFRGRN(1)	0.35000	PRDX(1)	0.00000	FSDETH(2)
0.00000	EFRGRN(2)	15.00000	PPDF(1)	0.00000	FSDETH(3)
0.00000	EFRGRN(3)	32.00000	PPDF(2)	200.00000	FSDETH(4)

700.00000	BIOMAX	1.00000	CO2ICE(1,2,3)	200.00000	PRAMX(2,1)
20.00000	PRAMN(1,1)	0.00000	CO2IRS	230.00000	PRAMX(3,1)
150.00000	PRAMN(2,1)	0.00000	CKMRSPMX(1)	80.00000	PRAMX(1,2)
190.00000	PRAMN(3,1)	0.00000	CKMRSPMX(2)	260.00000	PRAMX(2,2)
62.50000	PRAMN(1,2)	0.16000	CKMRSPMX(3)	270.00000	PRAMX(3,2)
150.00000	PRAMN(2,2)	0.00000	CMRSPNPP(1)	45.00000	PRBMN(1,1)
150.00000	PRAMN(3,2)	0.00000	CMRSPNPP(2)	390.00000	PRBMN(2,1)
40.00000	PRAMX(1,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)	340.00000	PRBMN(3,1)
230.00000	PRAMX(2,1)	1.00000	CMRSPNPP(4)	0.00000	PRBMN(1,2)
230.00000	PRAMX(3,1)	4.00000	CMRSPNPP(5)	0.00000	PRBMN(2,2)
125.00000	PRAMX(1,2)	1.50000	CMRSPNPP(6)	0.00000	PRBMN(3,2)
230.00000	PRAMX(2,2)	0.23000	CGRESP(1)	60.00000	PRBMX(1,1)
230.00000	PRAMX(3,2)	0.23000	CGRESP(2)	420.00000	PRBMX(2,1)
45.00000	PRBMN(1,1)	0.23000	CGRESP(3)	420.00000	PRBMX(3,1)
390.00000	PRBMN(2,1)	0.25000	NO3PREF(1)	0.00000	PRBMX(1,2)
340.00000	PRBMN(3,1)	6	CLAYPG	0.00000	PRBMX(2,2)
0.00000	PRBMN(1,2)	0.50000	CMIX	0.00000	PRBMX(3,2)
0.00000	PRBMN(2,2)	7.00000	TMPGERM	0.02000	FLIGNI(1,1)
0.00000	PRBMN(3,2)	1500.00000	DDBASE	0.00120	FLIGNI(2,1)
60.00000	PRBMX(1,1)	-3.00000	TMPKILL	0.26000	FLIGNI(1,2)
420.00000	PRBMX(2,1)	10.00000	BASETEMP(1)	-0.00150	FLIGNI(2,2)
420.00000	PRBMX(3,1)	35.00000	BASETEMP(2)	0.26000	FLIGNI(1,3)
0.00000	PRBMX(1,2)	800.00000	MNDDHRV	-0.00150	FLIGNI(2,3)
0.00000	PRBMX(2,2)	400.00000	MXDDHRV	0.40000	HIMAX
0.00000	PRBMX(3,2)	160.00000	CURGDYS	0.25000	HIWSF
0.12000	FLIGNI(1,1)	0.50000	CLSGRES	1.00000	HIMON(1)
0.00000	FLIGNI(2,1)	0.12000	CMXTURN	0.00000	HIMON(2)
0.06000	FLIGNI(1,2)	30.00000	WSCOEFF(1,1)	0.50000	EFRGRN(1)
0.00000	FLIGNI(2,2)	-9.00000	WSCOEFF(1,2)	0.00000	EFRGRN(2)
0.06000	FLIGNI(1,3)	1.00000	NPP2CS(1)	0.00000	EFRGRN(3)
0.00000	FLIGNI(2,3)			0.04000	VLOSSP
0.55000	HIMAX		AVEIA	0.20000	FSDETH(1)
0.50000	HIWSF		OATS Avena sativa cover	0.95000	FSDETH(2)
1.00000	HIMON(1)		crop	0.20000	FSDETH(3)
0.00000	HIMON(2)	1.0000	PRDX(1)	150.00000	FSDETH(4)
0.75000	EFRGRN(1)	20.00000	PPDF(1)	0.15000	FALLRT
0.60000	EFRGRN(2)	35.00000	PPDF(2)	0.40000	RDRJ
0.60000	EFRGRN(3)	1.00000	PPDF(3)	0.10000	RDRM
0.04000	VLOSSP	3.00000	PPDF(4)	0.14000	RDSRFC
0.00000	FSDETH(1)	0.00000	BIOFLG	2.00000	RTDTMP
0.00000	FSDETH(2)	1800.00000	BIOK5	0.50000	CRPRTF(1)
0.00000	FSDETH(3)	1.00000	PLTMRF	0.00000	CRPRTF(2)
500.00000	FSDETH(4)	100.00000	FULCAN	0.00000	CRPRTF(3)
0.10000	FALLRT	2	FRTCINDEX	0.05000	MRTFRAC
0.05000	RDRJ	0.30000	FRTC(1)	0.00000	SNFXMX(1)
0.05000	RDRM	0.40000	FRTC(2)	-27.00000	DEL13C
0.14000	RDSRFC	30.00000	FRTC(3)	1.30000	CO2IPR
2.00000	RTDTMP	0.20000	FRTC(4)	0.77000	CO2ITR
0.00000	CRPRTF(1)	0.10000	FRTC(5)	1.00000	CO2ICE(1,1,1)
0.00000	CRPRTF(2)	0.40000	CFRTC(1)	1.00000	CO2ICE(1,1,2)
0.00000	CRPRTF(3)	0.30000	CFRTC(2)	1.00000	CO2ICE(1,1,3)
0.05000	MRTFRAC	0.40000	CFRTCW(1)	1.30000	CO2ICE(1,2,1)
0.00000	SNFXMX(1)	0.30000	CFRTCW(2)	1.00000	CO2ICE(1,2,2)
-15.00000	DEL13C	400.00000	BIOMAX	1.00000	CO2ICE(1,2,3)
1.00000	CO2IPR	30.00000	PRAMN(1,1)	1.00000	CO2IRS
0.77000	CO2ITR	100.00000	PRAMN(2,1)	0.01525	CKMRSPMX(1)
1.00000	CO2ICE(1,1,1)	100.00000	PRAMN(3,1)	0.00300	CKMRSPMX(2)
1.00000	CO2ICE(1,1,2)	40.00000	PRAMN(1,2)	0.16000	CKMRSPMX(3)
1.00000	CO2ICE(1,1,3)	160.00000	PRAMN(2,2)	0.00000	CMRSPNPP(1)
1.00000	CO2ICE(1,2,1)	200.00000	PRAMN(3,2)	0.00000	CMRSPNPP(2)
1.00000	CO2ICE(1,2,2)	35.00000	PRAMX(1,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)

1.00000	CMRSPNPP(4)	125.00000	PRBMN(3,1)	5	CLAYPG
4.00000	CMRSPNPP(5)	0.00000	PRBMN(1,2)	0.50000	CMIX
1.50000	CMRSPNPP(6)	0.00000	PRBMN(2,2)	15.00000	TMPGERM
0.25000	CGRESP(1)	0.00000	PRBMN(3,2)	1050.00000	DDBASE
0.25000	CGRESP(2)	22.00000	PRBMX(1,1)	-3.00000	TMPKILL
0.29000	CGRESP(3)	133.00000	PRBMX(2,1)	10.00000	BASETEMP(1)
0.25000	NO3PREF(1)	160.00000	PRBMX(3,1)	30.00000	BASETEMP(2)
5	CLAYPG	0.00000	PRBMX(1,2)	300.00000	MNDDHRV
0.50000	CMIX	0.00000	PRBMX(2,2)	400.00000	MXDDHRV
7.00000	TMPGERM	0.00000	PRBMX(3,2)	120.00000	CURGDYS
1400.00000	DDBASE	0.04000	FLIGNI(1,1)	0.50000	CLSGRES
-5.00000	TMPKILL	0.00120	FLIGNI(2,1)	0.12000	CMXTURN
10.00000	BASETEMP(1)	0.26000	FLIGNI(1,2)	30.00000	WSCOEFF(1,1)
30.00000	BASETEMP(2)	-0.00150	FLIGNI(2,2)	-9.00000	WSCOEFF(1,2)
900.00000	MNDDHRV	0.00120	FLIGNI(1,3)	1.00000	NPP2CS(1)
400.00000	MXDDHRV	0.02000	FLIGNI(2,3)	OHV	MIX OATS+HV
150.00000	CURGDYS	0.02000	HIMAX	0.825	PRDX(1)
1.00000	CLSGRES	0.00000	HIWSF	19	PPDF(1)
0.12000	CMXTURN	2.00000	HIMON(1)	33.5	PPDF(2)
30.00000	WSCOEFF(1,1)	1.00000	HIMON(2)	0.9	PPDF(3)
-9.00000	WSCOEFF(1,2)	0.50000	EFRGRN(1)	3.25	PPDF(4)
1.00000	NPP2CS(1)	0.50000	EFRGRN(2)	0	BIOFLG
		0.50000	EFRGRN(3)	1000	BIOK5
	VICA	0.04000	VLOSSP	0.75	PLTMRF
	HV	0.30000	FSDETH(1)	100	FULCAN
	Hairy_Vetch_Legume_winter_	0.40000	FSDETH(2)	2	FRTCINDX
	cover_crop_based_on_ALF	0.10000	FSDETH(3)	0.45	FRTC(1)
0.65000	PRDX(1)	500.00000	FSDETH(4)	0.25	FRTC(2)
18.00000	PPDF(1)	0.15000	FALLRT	15.5	FRTC(3)
32.00000	PPDF(2)	0.40000	RDRJ	0.2	FRTC(4)
0.80000	PPDF(3)	0.10000	RDRM	0.1	FRTC(5)
3.50000	PPDF(4)	0.14000	RDSRFC	0.4	CFRTC(1)
0.00000	BIOFLG	2.00000	RTDTMP	0.275	CFRTC(2)
200.00000	BIOK5	0.30000	CRPRTF(1)	0.5	CFRTCW(1)
0.50000	PLTMRF	0.00000	CRPRTF(2)	0.35	CFRTCW(2)
100.00000	FULCAN	0.00000	CRPRTF(3)	400	BIOMAX
2	FRTCINDX	0.05000	MRTFRAC	20	PRAMN(1,1)
0.60000	FRTC(1)	0.01000	SNFXMX(1)	100	PRAMN(2,1)
0.10000	FRTC(2)	-27.00000	DEL13C	112.5	PRAMN(3,1)
1.00000	FRTC(3)	1.00000	CO2IPR	27.5	PRAMN(1,2)
0.20000	FRTC(4)	0.77000	CO2ITR	130	PRAMN(2,2)
0.10000	FRTC(5)	1.00000	CO2ICE(1,1,1)	162.5	PRAMN(3,2)
0.40000	CFRTC(1)	1.00000	CO2ICE(1,1,2)	25	PRAMX(1,1)
0.25000	CFRTC(2)	1.00000	CO2ICE(1,1,3)	166.5	PRAMX(2,1)
0.60000	CFRTCW(1)	1.30000	CO2ICE(1,2,1)	195	PRAMX(3,1)
0.40000	CFRTCW(2)	1.00000	CO2ICE(1,2,2)	50	PRAMX(1,2)
400.00000	BIOMAX	1.00000	CO2ICE(1,2,3)	196.5	PRAMX(2,2)
10.00000	PRAMN(1,1)	1.00000	CO2IRS	215	PRAMX(3,2)
100.00000	PRAMN(2,1)	0.00300	CKMRSPMX(1)	31	PRBMN(1,1)
125.00000	PRAMN(3,1)	0.00300	CKMRSPMX(2)	245	PRBMN(2,1)
15.00000	PRAMN(1,2)	0.16000	CKMRSPMX(3)	232.5	PRBMN(3,1)
100.00000	PRAMN(2,2)	0.00000	CMRSPNPP(1)	0	PRBMN(1,2)
125.00000	PRAMN(3,2)	0.00000	CMRSPNPP(2)	0	PRBMN(2,2)
15.00000	PRAMX(1,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)	0	PRBMN(3,2)
133.00000	PRAMX(2,1)	1.00000	CMRSPNPP(4)	41	PRBMX(1,1)
160.00000	PRAMX(3,1)	4.00000	CMRSPNPP(5)	276.5	PRBMX(2,1)
20.00000	PRAMX(1,2)	1.50000	CMRSPNPP(6)	290	PRBMX(3,1)
133.00000	PRAMX(2,2)	0.23000	CGRESP(1)	0	PRBMX(1,2)
160.00000	PRAMX(3,2)	0.23000	CGRESP(2)	0	PRBMX(2,2)
17.00000	PRBMN(1,1)	0.23000	CGRESP(3)	0	PRBMX(3,2)
100.00000	PRBMN(2,1)	0.25000	NO3PREF(1)	0.03	FLIGNI(1,1)

0.0012	FLIGNI(2,1)	135	CURGDYS	1.00000	HIWSF
0.26	FLIGNI(1,2)	0.75	CLSGRES	2.00000	HIMON(1)
-0.0015	FLIGNI(2,2)	0.12	CMXTURN	1.00000	HIMON(2)
0.1306	FLIGNI(1,3)	30	WSCOEFF(1,1)	0.50000	EFRGRN(1)
0.00925	FLIGNI(2,3)	-9	WSCOEFF(1,2)	0.00000	EFRGRN(2)
0.21	HIMAX	1	NPP2CS(1)	0.00000	EFRGRN(3)
0.125	HIWSF			0.15000	VLOSSP
1.5	HIMON(1)		ERVAS DANINHAS	0.20000	FSDETH(1)
0.5	HIMON(2)		WEED weeds	0.95000	FSDETH(2)
0.5	EFRGRN(1)	0.30000	PRDX(1)	0.20000	FSDETH(3)
0.25	EFRGRN(2)	22.00000	PPDF(1)	150.00000	FSDETH(4)
0.25	EFRGRN(3)	38.00000	PPDF(2)	0.15000	FALLRT
0.04	VLOSSP	0.30000	PPDF(3)	0.40000	RDRJ
0.25	FSDETH(1)	5.00000	PPDF(4)	0.10000	RDRM
0.675	FSDETH(2)	1.00000	BIOFLG	0.14000	RDSRFC
0.15	FSDETH(3)	1800.00000	BIOK5	2.00000	RTDTMP
325	FSDETH(4)	1.00000	PLTMRF	0.30000	CRPRTF(1)
0.15	FALLRT	100.00000	FULCAN	0.00000	CRPRTF(2)
0.4	RDRJ	1	FRTCINDX	0.00000	CRPRTF(3)
0.1	RDRM	0.30000	FRTC(1)	0.05000	MRTFRAC
0.14	RDSRFC	0.35000	FRTC(2)	0.00000	SNFXMX(1)
2	RTDTMP	30.00000	FRTC(3)	-21.00000	DEL13C
0.4	CRPRTF(1)	0.20000	FRTC(4)	0.00000	CO2IPR
0	CRPRTF(2)	0.10000	FRTC(5)	0.00000	CO2ITR
0	CRPRTF(3)	0.40000	CFRTC(1)	1.00000	CO2ICE(1,1,1)
0.05	MRTFRAC	0.25000	CFRTC(2)	1.00000	CO2ICE(1,1,2)
0.01	SNFXMX(1)	0.75000	CFRTCW(1)	1.00000	CO2ICE(1,1,3)
-27	DEL13C	0.35000	CFRTCW(2)	1.15000	CO2ICE(1,2,1)
1.15	CO2IPR	400.00000	BIOMAX	1.00000	CO2ICE(1,2,2)
0.77	CO2ITR	30.00000	PRAMN(1,1)	1.00000	CO2ICE(1,2,3)
1	CO2ICE(1,1,1)	390.00000	PRAMN(2,1)	1.00000	CO2IRS
1	CO2ICE(1,1,2)	340.00000	PRAMN(3,1)	0.00300	CKMRSPMX(1)
1	CO2ICE(1,1,3)	70.00000	PRAMN(1,2)	0.00300	CKMRSPMX(2)
1.3	CO2ICE(1,2,1)	390.00000	PRAMN(2,2)	0.00000	CKMRSPMX(3)
1	CO2ICE(1,2,2)	340.00000	PRAMN(3,2)	0.00000	CMRSPNPP(1)
1	CO2ICE(1,2,3)	50.00000	PRAMX(1,1)	0.00000	CMRSPNPP(2)
1	CO2IRS	440.00000	PRAMX(2,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)
0.009125	CKMRSPMX(1)	440.00000	PRAMX(3,1)	1.00000	CMRSPNPP(4)
0.003	CKMRSPMX(2)	120.00000	PRAMX(1,2)	5.00000	CMRSPNPP(5)
0.16	CKMRSPMX(3)	440.00000	PRAMX(2,2)	1.50000	CMRSPNPP(6)
0	CMRSPNPP(1)	440.00000	PRAMX(3,2)	0.23000	CGRESP(1)
0	CMRSPNPP(2)	50.00000	PRBMN(1,1)	0.23000	CGRESP(2)
1.25	CMRSPNPP(3)	390.00000	PRBMN(2,1)	0.23000	CGRESP(3)
1	CMRSPNPP(4)	340.00000	PRBMN(3,1)	0.25000	NO3PREF(1)
4	CMRSPNPP(5)	0.00000	PRBMN(1,2)	4	CLAYPG
1.5	CMRSPNPP(6)	0.00000	PRBMN(2,2)	0.50000	CMIX
0.24	CGRESP(1)	0.00000	PRBMN(3,2)	10.00000	TMPGERM
0.24	CGRESP(2)	55.00000	PRBMX(1,1)	1500.00000	DDBASE
0.26	CGRESP(3)	420.00000	PRBMX(2,1)	10.00000	TMPKILL
0.25	NO3PREF(1)	420.00000	PRBMX(3,1)	10.00000	BASETEMP(1)
5	CLAYPG	0.00000	PRBMX(1,2)	35.00000	BASETEMP(2)
0.5	CMIX	0.00000	PRBMX(2,2)	100.00000	MNDDHRV
11	TMPGERM	0.00000	PRBMX(3,2)	200.00000	MXDDHRV
1225	DDBASE	0.02000	FLIGNI(1,1)	120.00000	CURGDYS
-4	TMPKILL	0.00120	FLIGNI(2,1)	0.50000	CLSGRES
10	BASETEMP(1)	0.26000	FLIGNI(1,2)	0.12000	CMXTURN
30	BASETEMP(2)	-0.00150	FLIGNI(2,2)	30.00000	WSCOEFF(1,1)
600	MNDDHRV	0.00120	FLIGNI(1,3)	-9.00000	WSCOEFF(1,2)
400	MXDDHRV	0.10000	FLIGNI(2,3)	1.00000	NPP2CS(1)
		0.10000	HIMAX		

Apêndice 17. Parâmetros das atividades de manejo, no arquivo CULT.100.

DISKH Offset_and_Tandem_Disks

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)
 1.50000 CLTEFF(1)
 2.70000 CLTEFF(2)
 2.70000 CLTEFF(3)
 2.70000 CLTEFF(4)

PLOW Moldboard_Plow

0.05000 CULTRA(1)
 0.05000 CULTRA(2)
 0.95000 CULTRA(3)
 0.05000 CULTRA(4)
 0.95000 CULTRA(5)
 0.95000 CULTRA(6)
 1.00000 CULTRA(7)
 1.50000 CLTEFF(1)
 3.75000 CLTEFF(2)
 3.75000 CLTEFF(3)
 2.50000 CLTEFF(4)

ADDEC Additional Decompositon

0.00000 CULTRA(1)
 0.00000 CULTRA(2)
 0.00000 CULTRA(3)
 0.00000 CULTRA(4)
 0.00000 CULTRA(5)
 0.00000 CULTRA(6)
 0.00000 CULTRA(7)
 1.20000 CLTEFF(1)
 1.20000 CLTEFF(2)
 1.20000 CLTEFF(3)
 1.20000 CLTEFF(4)

DSKPL Disk_Plow

0.05000 CULTRA(1)
 0.05000 CULTRA(2)
 0.95000 CULTRA(3)
 0.05000 CULTRA(4)
 0.95000 CULTRA(5)
 0.95000 CULTRA(6)
 1.00000 CULTRA(7)
 2.80000 CLTEFF(1)
 2.80000 CLTEFF(2)
 2.80000 CLTEFF(3)
 2.80000 CLTEFF(4)

HERB Herbicide

1.00000 CULTRA(1)
 0.00000 CULTRA(2)
 0.00000 CULTRA(3)
 0.00000 CULTRA(4)
 0.00000 CULTRA(5)
 0.20000 CULTRA(6)
 1.00000 CULTRA(7)
 1.00000 CLTEFF(1)
 1.00000 CLTEFF(2)
 1.00000 CLTEFF(3)
 1.00000 CLTEFF(4)

NOTIL No Till Drill

0.05000 CULTRA(1)
 0.05000 CULTRA(2)
 0.10000 CULTRA(3)
 0.10000 CULTRA(4)
 0.20000 CULTRA(5)
 0.10000 CULTRA(6)
 0.20000 CULTRA(7)
 1.05000 CLTEFF(1)
 1.05000 CLTEFF(2)
 1.05000 CLTEFF(3)
 1.05000 CLTEFF(4)