

sys 311331

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

**DINÂMICA DO CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO AFETADA POR  
PREPAROS DO SOLO, SISTEMAS DE CULTURA E ADUBO NITROGENADO**

Thomé Lovato  
Engenheiro Agrônomo, M.Sc.

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

Porto Alegre (RS), Brasil  
Agosto, 2001

THOMÉ LOVATO  
Engenheiro Agrônomo - UFSM  
Mestre em Agronomia - UFSM

## TESE

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### DOUTOR EM CIÊNCIA DO SOLO

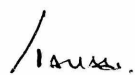
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 17.08.2001  
Pela Banca Examinadora


  
JOÃO MIELNICZUK  
Orientador-PPG-Ciência do Solo


  
CIMÉLIO BAYER  
PPG-Ciência do Solo

  
CELSO AITA  
UFSM

  
TELMO JORGE CARNEIRO AMADO  
UFSM

Homologado em: 21.11.2001  
Por

  
PEDRO ALBERTO SELBACH  
Coordenador do Programa  
de Pós-Graduação em Ciência  
do Solo

  
GILMAR A. B. MARODIN  
Diretor da Faculdade de  
Agronomia



## AGRADECIMENTOS

À Rosângela, minha esposa e companheira de todas as horas, e nossos filhos Giovanni, Pietro, Tobias, Maria Clara e Lorenzo pela oportunidade em participar intensamente das descobertas da vida, e da vida em família, pela acolhida sempre festiva, pelo solo moído em casa, pelas etiquetas que fabricamos, pelos momentos em que tivemos que interromper ou renunciar às brincadeiras, e também pelos momentos em que as pudemos fazer, e pelas reflexões e orações que fizemos juntos.

Ao Prof. João Mielniczuk, grande mestre de profissão e de vida, pela fidelidade ao seu carisma e pela paciência, compreensão, estímulo e lucidez, especialmente nos momentos críticos e a sua família, pela acolhida como mais um filho e irmão.

Ao Agricultor Brasileiro, pela persistência e amor à terra e motivo maior da minha opção profissional.

Aos colegas da UFSM Antônio C.R. de Brum, Flávio L.F. Eltz e Telmo J.C. Amado pelo exemplo profissional e de amizade e por assumirem minhas atribuições junto ao Departamento de Solos da UFSM durante meu afastamento.

Ao Sr. Romeu Klein e família pela acolhida e oferta da moradia em Porto Alegre e ao Gabriel, Elena e José Miguel Reichert pela satisfação em tê-los tido como moradores na nossa casa em Santa Maria.

Ao Colegiado e Chefia do Departamento de Solos/CCR-UFSM, na pessoa do Prof. Marcos Rubens Fries, pelo estímulo, apoio e liberação para realização do Curso.

À Sra. Marisa da Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da UFSM e aos funcionários do DS-UFSM F.V. Silva, G.T. Uberti e ex-funcionário do DS C.G. Vargas, pela gentileza e apoio administrativo, mesmo à distância.

Aos Funcionários Joni Filho, Adão, Marisa, José, Jorge, Prado, Jader, Marilda, Maria do Carmo, Denise, Antônia, Sueli, A. Mondardo e Augustinho pela gentileza e atenção e pelo auxílio em alguns momentos.

Aos professores do DS-FA-UFRGS pela oferta das disciplinas e ao PPGCS da UFRGS pela oferta do Curso.

À UFRGS pela oportunidade de realizar este trabalho e pelo orgulho de ter sido seu aluno.

À direção e funcionários da Estação Experimental Agronômica da UFRGS, pela colaboração e acolhida nos trabalhos de campo e RU.

À CAPES/PICD-UFSM pela bolsa de doutorado.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRGS (PPGCS) F.M. Vezzani, C.N. Pillon, L. Debarba, F.F. Fernandes, J. Diekow, irmãos de orientação, e aos demais colegas de curso J.A. Schlindwein, L. Kayser Vargas, C.H. Kray, V.L. Empinotti, C. Petre, V. Giongo, D.R. Santos, M. Boemi, L.S. Silva, L. Gaiviso, P.S.G. Almeida, R. Sousa, N. Horowitz, A.S. Amaral, A.V. Inda Jr., E. Soprano, J.R.B. Cantalice, M. Biassusi, J.A. Schmitz, M.S.L. Silva, R.S.D. Dalmolin, C.N. Gonçalves, M.H. Lunardi, H.R. Silva, D. Sacramento e D. Scolmeister pelo companheirismo, estímulo, parceria no chimarrão e demais detalhes e sutilezas com que cada um colaborou, em especial ao colega C.N. Pillon pelo exemplo de dedicação, capacidade de trabalho e persistência e pela troca de idéias.

Aos Profs. Egon Klamt, Humberto Bohnen e Cimélio Bayer pela participação na comissão examinadora do exame de qualificação e pelas contribuições e sugestões feitas.

Aos companheiros do futebol pelos momentos de descontração e alegria.

Aos meus pais Homildo e Élide e meus sogros Giuseppe e Clarita, pelo exemplo de trabalho e honestidade, pela torcida constante e apoio familiar, especialmente no cuidado com os nossos filhos.

Às nossas assistentes de serviços domésticos durante estes quatro anos em Porto Alegre, Sras. Sueli e Luiza, pela dedicação, paciência e cuidado com as crianças.

Às minhas irmãs Maria Helena Dellazzana, Maria Lúcia de Barcellos, Teresinha Maria Eick, Marta Lovato, Maristela Flôres, Bernardete Cichoski e Angelita L. da Silva e suas famílias, pelo carinho e estímulo, mesmo à distância.

Aos meus cunhados Francisco, Cesare e Constantino Marramarco e suas famílias, pela vibração, acolhida e atenção.

Ao Dr. Mário Francisco Juruena, pela amizade e assistência.

Aos amigos e "irmãos" Airton e Albina, Carlos Alberto e Ledi, Ernani e Ieda, Gabriel e Alvenir, Gilberto e Teresinha, Juarez e Tecla, Ochalides e Nair e Olindo e Marilene pelo apoio e exemplo na vida em família.

A Deus Criador e Pai de bondade pelo "dom da vida" e pelo chamado a colaborar e usufruir de sua obra.

A todos não citados, que de alguma forma colaboraram nesta jornada, meu agradecimento.

## DINÂMICA DO CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO AFETADA POR PREPAROS DO SOLO, SISTEMAS DE CULTURA E ADUBO NITROGENADO<sup>1</sup>

AUTOR: Thomé Lovato

ORIENTADOR: Prof. João Mielniczuk

### SINOPSE

O uso de modelos matemáticos regionalmente parametrizados permite avaliar no tempo o impacto de sistemas de manejo sobre a dinâmica do C e N do solo. Com este objetivo, ajustou-se um modelo exponencial unicompartmental aos dados de um experimento de longa duração, instalado em 1985 em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em Eldorado do Sul, (RS). O experimento constitui-se de três métodos de preparo (convencional-PC, reduzido-PR e plantio direto-PD), três sistemas de cultura (aveia/milho-A/M, vica/milho-V/M e aveia+vica/milho+caupi-A+V/M+C) e duas doses de N mineral no milho ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ -0 N e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$ -180 N). As adições anuais de C pelos sistemas de cultura, médias dos preparos de solo, variaram entre  $4,17 \text{ Mg ha}^{-1}$  em A/M 0 N e  $8,14 \text{ Mg ha}^{-1}$  em A+V/M+C 180 N. As adições anuais de N, incluindo a fertilização nitrogenada, variaram de 40 a  $283 \text{ kg ha}^{-1}$  nos mesmos tratamentos. Utilizando-se as taxas anuais médias de adição de C e N ao solo ( $k_1A$ ) e os conteúdos destes elementos no solo em 1985, 1990, 1994 e 1998, ajustou-se o modelo, obtendo-se as respectivas taxas de perda ( $k_2$ ). Estas variaram para o CO de  $0,0270 \text{ ano}^{-1}$  no PD até  $0,0494 \text{ ano}^{-1}$  no PC e, para o NT, de  $0,0180 \text{ ano}^{-1}$  no PD A/M 0 N até  $0,0900 \text{ ano}^{-1}$  no PC A+V/M+C 180 N. Utilizando os parâmetros obtidos estimou-se valores na estabilidade de carbono (Ce) e nitrogênio (Ne) no solo de  $17,17 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $1.400 \text{ kg ha}^{-1}$  para PC A/M 0 N e em  $58,00 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $4.583 \text{ kg ha}^{-1}$  para PD A+V/M+C 180 N, respectivamente. Os tratamentos de manejo com baixo revolvimento e alta adição de resíduos contribuíram para o acúmulo de CO e NT no solo. A presença de leguminosas nos sistemas de cultura e a adição de N mineral favoreceram o aumento nas adições de resíduos e contribuíram para compensar parte das perdas de CO e NT no solo sob PC e para aumentar os estoques sob preparos conservacionistas (PR e PD).

---

<sup>1</sup> Tese de Doutorado em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, (133p.) – Agosto /2001.

## SOIL CARBON AND NITROGEN DYNAMICS AS AFFECTED BY SOIL TILLAGE, CROPPING SYSTEMS AND NITROGEN FERTILIZER<sup>1</sup>

AUTHOR: Thomé Lovato

ADVISER: Prof. João Mielniczuk

### ABSTRACT

Mathematical models locally adjusted can be used to estimate the management effect on soil C and N dynamics. With this objective, one single compartment exponential model was adjusted to data obtained in a long-term experiment started in 1985, on a PALEUDULT soil, at the Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul, in Eldorado do Sul, RS, Brazil. The experiment comprises three soil tillage systems (conventional-CT, reduced-RT and no tillage-NT), three cropping systems (oats/corn-O/C, vetch/corn-V/C and oats+vetch/corn+cowpea-O+V/C+Co) and two rates of mineral N (0 (0N) and 180 kg ha<sup>-1</sup> of N (180N)) applied to corn. The annual C additions by the crop systems, average over soil tillage, varied from 4.17 Mg ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> in the O/C 0N to 8.14 Mg ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> in the O+V/C+Co 180N. The annual N additions, including N fertilization, ranged from 40 to 283 kg ha<sup>-1</sup> in the same treatments. Using this annual C and N additions and the soil C and N for the years of 1985, 1990, 1994 and 1998, the model was adjusted and the loss rates ( $k_2$ ) were obtained. This coefficients varied for C from 0.0270 year<sup>-1</sup> in the NT up to 0.0494 year<sup>-1</sup> in the CT. For N the coefficient ( $k_2$ ) varied from 0.0180 year<sup>-1</sup> in the NT O/C 0N to 0.0900 year<sup>-1</sup> in the CT O+V/C+Co 180N. Using this parameters in the model, the estimated values of  $C_e$  and  $N_e$  were 17.17 Mg ha<sup>-1</sup> and 1,400 kg ha<sup>-1</sup> for CT O/C 0N and 58 Mg ha<sup>-1</sup> and 4,583 kg ha<sup>-1</sup> for NT O+V/C+Co 180N. The conservation tillage and cropping systems with high residue addition increased C and N in the soil. The presence of legume crops in the crop system and the mineral nitrogen addition increased the crop residue addition and compensated the soil C and N losses under CT and increased its amount in soil under conservation tillage.

---

<sup>1</sup> Doctorate thesis in Soil Science. Agronomy Faculty, Federal University of Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS (133p.) – August, 2001.



## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Capacidade do solo em acumular C na forma de matéria orgânica.....	4
2.2. Uso de modelos no estudo da dinâmica da MO no solo.....	8
2.3. Utilização do modelo unicompartimental no estudo da dinâmica do C e do N no solo.....	10
2.4. Efeito do solo, clima e práticas de manejo sobre a dinâmica do C e do N no solo.....	14
2.4.1. Adição de C e N por sistemas de cultura e adubação com N (A).....	14
2.4.2. Taxa de conversão ( $k_1$ ) do C e N adicionados em C e N do solo.....	16
2.4.3. Taxa de perda do C do solo ( $k_2$ ).....	17
2.5. Hipótese.....	20
2.6. Objetivos.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1. Descrição resumida do experimento.....	21
3.2. Obtenção de dados para a utilização do modelo no estudo da dinâmica do C e do N no solo.....	25
3.3. Amostragem e preparo das amostras de solo e tecido vegetal.....	27
3.3.1. Amostras de solo.....	27
3.3.2. Amostras de tecido vegetal.....	28
3.4. Análises químicas.....	28
3.4.1. Análises de carbono orgânico e nitrogênio total no solo.....	28
3.4.2. Análises de Carbono e Nitrogênio no tecido vegetal e grãos de milho.....	29
3.5. Cálculo das adições de C e reciclagens, adições e retiradas de N.....	29
3.5.1. Adições de C.....	29
3.5.2. Reciclagens, adições e retiradas de N.....	29
3.5.2.1. Reciclagens e adições.....	29
3.5.2.2. Retiradas de N pelo milho.....	30
3.5.2.3. Saldo líquido de N adicionado.....	30
3.6. Análises dos resultados.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1. Rendimento de grãos do milho.....	33
4.2. Adições de carbono pelos sistemas de cultura.....	39
4.2.1. Culturas de cobertura.....	39
4.2.2. Milho.....	42
4.2.3. Total (culturas de cobertura e o milho).....	44

	Página
4.3. Reciclagem, adições e retiradas de N pelos sistemas de cultura.....	50
4.4. Carbono orgânico (CO) no solo.....	55
4.4.1. Carbono orgânico do solo no 13º ano experimental (1998).....	56
4.4.2. Relação entre C adicionado e CO no solo.....	56
4.4.3. Estimativas de perdas e acúmulos de CO pelo solo sob diferentes sistemas de cultura e intensidades de revolvimento.....	59
4.4.4. Distribuição do CO no perfil.....	62
4.4.4.1. Nos três sistemas de cultura, dentro de cada método de preparo do solo.....	62
4.4.4.2. Nos três métodos de preparo, dentro de cada sistema de cultura.....	64
4.4.4.3. Nos tratamentos com extremos revolvimentos e adições.....	64
4.5. Nitrogênio total (NT) no solo.....	68
4.5.1. No 13º ano experimental (1998).....	68
4.5.2. Relação entre saldo líquido de N adicionado em 13 anos e NT do solo no 13º ano nas camadas de 0-17,5 e 0-30cm.....	70
4.5.3. Estimativas de perdas e acúmulos de N pelos sistemas de cultura.....	72
4.5.4. Distribuição do NT no perfil do solo (0-30 cm) no 13º ano.....	75
4.5.4.1. Nos três sistemas de cultura, dentro de cada método de preparo do solo.....	75
4.5.4.2. Nos três métodos de preparo, dentro de cada sistema de cultura.....	77
4.5.4.3. Nos tratamentos com extremos revolvimentos e adições.....	79
4.6. Modelagem do CO.....	80
4.6.1. Retrospectiva do CO do solo, na camada de 0-17,5 cm, em 13 anos.....	82
4.6.2. Retrospectiva de CO no perfil do solo em 13 anos.....	84
4.6.3. Aplicação do modelo matemático aos estoques de CO no solo.....	86
4.7. Modelagem do NT.....	91
4.7.1. Retrospectiva do NT do solo, na camada 0-17,5 cm, em 13 anos.....	93
4.7.2. Retrospectiva de NT no perfil do solo em 13 anos.....	93
4.7.3. Aplicação do modelo matemático para o NT.....	97
5. CONCLUSÕES.....	103
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
7. APÊNDICES.....	110

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Sistemas de cultura utilizados nos anos agrícolas de 1985 a 1998.....	24
2. Rendimento de grãos de milho (12,5 % de H <sub>2</sub> O) em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), durante 13 anos, sob três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral. Médias de três métodos de preparo do solo e três repetições por preparo. EEA-UFRGS, 1998.....	34
3. Rendimento de grãos de milho (12,5 % H <sub>2</sub> O) em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob três métodos de preparo do solo, três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral (médias de três repetições). EEA-UFRGS, 1998.....	38
4. Carbono adicionado pelas culturas de cobertura, durante treze anos, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral ao milho. Médias de três métodos de preparo do solo e três repetições por preparo. EEA-UFRGS, 1998.....	40
5. Adição de carbono por culturas de cobertura em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob três métodos de preparo do solo, três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral ao milho. EEA-UFRGS, 1998.....	41
6. Adição anual de carbono pelo milho, no período experimental de 13 anos, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral. Médias de três métodos de preparo do solo e três repetições por preparo. EEA-UFRGS, 1998.....	43
7. Adição de carbono pelo milho em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob três métodos de preparo do solo, três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral. EEA-UFRGS, 1998.....	45
8. Carbono adicionado em treze anos pelos sistemas de cultura (milho+culturas de cobertura de inverno e verão) em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral no milho. Médias de cada sistema de cultura nos três métodos de preparo do solo. EEA-UFRGS, 1998.....	46

9. Adições de carbono, médias anuais e total em 13 anos, pelos sistemas de cultura em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd) sob três métodos de preparo e dois níveis de adição de N mineral. Médias de três repetições. EEA-UFRGS, 1998..... 47
10. Valores médios anuais estimados de nitrogênio total adicionado, reciclado e retirado pelos sistemas de cultura nos preparos do solo e níveis de N em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd) da EEA-UFRGS. Médias de 13 anos de observação e três repetições..... 51
11. Valores estimados de nitrogênio total adicionado, reciclado e retirado, em 13 anos, pelos sistemas de cultura nos preparos do solo e níveis de N em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd). Médias de três repetições. EEA-UFRGS, 1998..... 52
12. Conteúdo de carbono orgânico (CO) nas camadas de 0-17,5 e 0-30 cm de profundidade em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), no ano de instalação do experimento e 13 anos após, em solo submetido a três métodos de preparo, três sistemas de cultura e dois níveis de adubação nitrogenada no milho. Médias de três repetições. EEA-UFRGS, 1998..... 57
13. Conteúdo de nitrogênio total (NT) nas camadas de 0-17,5 cm e 0-30 cm de um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), no ano de instalação do experimento (1985) e 13 anos após (1998), em solo submetido a três métodos de preparo, três sistemas de cultura e dois níveis de adubação nitrogenada no milho. Médias de três repetições. EEA/UFRGS, 1998..... 69
14. Conteúdos de carbono orgânico (CO) do solo, na camada de 0-17,5 cm, de um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd) submetido a três métodos de preparo e três sistemas de cultura, no ano de instalação do experimento, cinco, nove e treze anos após e na condição de campo natural. Médias de três repetições.EEA-UFRGS,1998..... 83
15. Adição anual de carbono pelos sistemas de cultura (A),  $Ak_1$  ( $k_1$ =coeficiente isoúmico de  $0,20 \cdot \text{ano}^{-1}$ ), conteúdos de carbono orgânico no solo no ano de 1998 (CO determinado e estimado), teor de CO na estabilidade (Ce), taxa anual de saída de matéria orgânica ( $k_2$ ) e meia vida do CO ( $t_{1/2}$ ), na camada de 0-17,5 cm, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob três métodos de preparo, três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral. EEA-UFRGS, 1998..... 87



16. Relação C:N no tempo, dos conteúdos observados de CO e NT do solo, e relação Ce:Ne estimada, dos conteúdos de CO e NT no estado estável, na camada de 0-17,5 cm de um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), no ano de instalação do experimento, cinco, nove e treze anos após manejo sob três métodos de preparo e três sistemas de cultura e na condição de campo natural. Médias de três repetições. EEA-UFRGS, 1998..... 88
17. Conteúdos de nitrogênio total (NT) do solo, na camada de 0-17,5 cm, de um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd) submetido a três métodos de preparo e três sistemas de cultura, no ano de instalação do experimento, cinco, nove e treze anos após e na condição de campo natural. Médias de três repetições. EEA-UFRGS, 1998..... 94
18. Adição anual de nitrogênio pelos sistemas de cultura (A),  $Ak_1$  ( $k_1$ =coeficiente de conversão de 1,0), conteúdos de nitrogênio total (NT) no solo no ano de 1998 (Nsolo determinado e estimado), teor de NT na estabilidade (Ne), taxa anual de perda ( $k_2$ ) e meia vida ( $t_{1/2}$ ) na camada de 0-17,5 cm em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob três métodos de preparo, três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral..... 98
19. Coeficientes de perdas anuais de CO e NT do solo ( $k_2$ ), utilizados para a modelagem do CO e NT do solo, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd) sob três sistemas de cultura, três preparos do solo e dois níveis de N. Estação Experimental Agronômica da UFRGS, Eldorado do Sul, RS..... 101

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Distribuição dos tratamentos no experimento de preparos de solo e cobertura vegetal. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	23
2. Rendimento de grãos de milho (12,5 % H <sub>2</sub> O) em três sistemas de cultura, durante 13 anos, em um ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO (PVd), sem adição (a) e com adição (b) de 180 kg ha <sup>-1</sup> de N mineral no milho. Médias de três métodos de preparo do solo e três repetições por tratamento.....	35
3. Adição de carbono pelos resíduos de parte aérea, raízes e exsudatos dos sistemas de cultura em 13 anos. Médias dos métodos de preparo do solo. A=aveia, V=vica, M=milho e C=caupi. 0 N = sem N mineral e 180 N = 180 kg ha <sup>-1</sup> de N mineral no milho. EEA-UFRGS, 1998.....	48
4. Carbono adicionado em 13 anos ao solo por três sistemas de cultura, sob dois níveis de N mineral no milho, em três métodos de preparo do solo e carbono orgânico (CO) do solo, na camada de 0-17,5cm, no 13º ano experimental, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd). EEA-UFRGS, 1998.....	58
5. Saldo líquido de perda e acúmulo de carbono orgânico (CO) por um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), após 13 de manejo sob três sistemas de cultura, três métodos de preparo do solo e dois níveis de adubação nitrogenada mineral, na camada de 0-17,5 cm e CO perdido a partir da ruptura do campo natural (1970) até o início do experimento (1985). EEA-UFRGS, 1998.....	60
6. Saldo líquido de carbono orgânico (CO) acumulado e perdido por um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), após 13 de manejo sob três sistemas de cultura, três métodos de preparo do solo e dois níveis de adubação nitrogenada mineral, na camada de 0-30cm e CO perdido a partir da ruptura do campo natural (1970) até o início do experimento (1985). EEA-UFRGS, 1998.....	61
7. Teores de carbono orgânico (CO), em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), nos três sistemas de cultura, dentro de cada preparo de solo e nível de adição de N mineral, na camada de 0-30 cm. EEA-UFRGS, 1998.....	63

8. Teores de carbono orgânico (CO), em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), nos três sistemas de cultura, dentro de cada preparo de solo e nível de adição de N mineral, na camada de 0-30 cm. EEA-UFRGS, 1998..... 66
9. Carbono orgânico do solo (CO) nos tratamentos com situações extremas de revolvimento do solo e adições de carbono e nitrogênio, após 13 anos de manejo conhecido, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd). EEA-UFRGS, 1998..... 67
10. Relação entre nitrogênio adicionado (Nadic) por sistemas de cultura, com e sem N mineral no milho, em 13 anos, e nitrogênio total (NT) do solo, no 13º ano, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e plantio direto (PD). Estação Experimental Agronômica da UFRGS, 1998..... 71
11. Saldo líquido de nitrogênio total (NT) acumulado ou perdido por um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), após 13 de manejo sob três sistemas de cultura, três métodos de preparo do solo e dois níveis de adubação nitrogenada mineral, na camada de 0-17,5 cm e NT perdido a partir da ruptura do campo natural (1970) até o início do experimento (1985). Estação Experimental Agronômica da UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1998..... 73
12. Saldo líquido de nitrogênio total (NT) acumulado ou perdido por um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), após 13 de manejo sob três sistemas de cultura, três métodos de preparo do solo e dois níveis de adubação nitrogenada mineral, na camada de 0-30 cm e NT perdido a partir da ruptura do campo natural (1970) até o início do experimento (1985). Estação Experimental Agronômica da UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1998..... 74
13. Distribuição do nitrogênio total no perfil do solo sob três sistemas de cultura dentro dos métodos de preparo do solo, após 13 anos de manejo conhecido. EEA-UFRGS, 1998..... 76
14. Distribuição do nitrogênio total no perfil de um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd) determinada pela contribuição dos sistemas de cultura sob três métodos de preparo do solo, após 13 anos de manejo conhecido. EEA-UFRGS, 1998..... 78
15. Nitrogênio total do solo (NT) nos tratamentos com situações extremas de revolvimento do solo e adições de carbono e nitrogênio, após 13 anos de manejo conhecido. EEA-UFRGS, 1998..... 81

16. Retrospectiva da variação do carbono orgânico do solo (CO), na camada de 0-30 cm de profundidade, ao longo dos primeiros treze anos de manejo de um ARGISSOLO VERMELHO submetido aos métodos de preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), com os sistemas de cultura aveia/milho (A/M) e aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C). EEA-UFRGS, 1998. (0 N = sem adição de adubo nitrogenado e 180 N = adição anual de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral no milho). EEA-UFRGS, 1998..... 85
17. Modelagem do carbono orgânico (CO) em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd) submetido diferentes graus de revolvimento pelo preparo e diferentes adições de resíduo vegetais pelos sistemas de cultura. EEA-UFRGS, 1998..... 89
18. Efeito das leguminosas no sistema de culturas e da adubação nitrogenada mineral sobre o teor de carbono orgânico do solo na estabilidade (Ce), em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), manejado sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), na EEA-UFRGS, 1998..... 92
19. Retrospectiva da variação do nitrogênio total do solo (NT), na camada de 0-30 cm de profundidade, ao longo dos primeiros treze anos de manejo de um ARGISSOLO VERMELHO submetido aos métodos de preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), com os sistemas de cultura aveia/milho (A/M) e aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C). EEA-UFRGS, 1998. (0 N = sem adição de adubo nitrogenado e 180 N = adição anual de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral no milho)..... 96
20. Modelagem do nitrogênio total (NT) em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd) submetido diferentes graus de revolvimento pelo preparo e diferentes adições de resíduo vegetais pelos sistemas de cultura. EEA-UFRGS, 1998..... 99
21. Efeito das leguminosas no sistema de culturas e da adubação nitrogenada mineral sobre o teor de nitrogênio total do solo na estabilidade (Ne), em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), manejado sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), na EEA-UFRGS, em Eldorado do Sul, RS..... 102

## 1. INTRODUÇÃO

A rápida degradação do solo sob uso agrícola, especialmente nas regiões tropicais e subtropicais, juntamente com o reconhecimento do solo como uma importante fonte de liberação de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para a atmosfera, na medida em que a matéria orgânica está sendo decomposta de forma acelerada, em sistemas de utilização agrícola inadequados para estas regiões, tem provocado crescente preocupação na comunidade científica, na opinião pública e em setores governamentais de diversos países. Também são importantes, no conjunto das emissões provenientes da atividade agrícola, gases como o metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxido nítrico ( $\text{NO}_x$ ). Além destes gases, o íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), que pode ser perdido via lixiviação, já é bem conhecido como um contaminante potencial do ambiente através do lençol freático.

Já existe, em contrapartida, uma quantidade razoável de pesquisas (Lal, 1997, Lal et al., 1999, Amado et al., 2001) mostrando o grande potencial em transformar o solo em importante receptor de Carbono (C) e Nitrogênio (N), através da aplicação de práticas adequadas de manejo, aumentando ao mesmo tempo a sua capacidade produtiva.

Avaliações e adequações destas práticas de manejo necessitam ser realizadas em experimentos de longa duração, onde modelos do comportamento dos elementos no solo podem ser ajustados e validados.

No Estado do Rio Grande do Sul, pesquisas neste sentido foram iniciadas por Bayer (1996), utilizando os experimentos de longa duração, implantados em 1979, no Centro de Atividades Agrícolas e Florestais da COTRISA, em Santo Ângelo, em 1983 e 1985 na Estação Experimental de Agricultura da UFRGS, em Eldorado do Sul, e em 1991, na área experimental do Departamento de Solos da UFSM, em Santa Maria. Este autor utilizou o modelo matemático unicompartmental proposto por Henin & Dupuis (1945) e Woodruff (1949), porém não incluiu o efeito da adubação nitrogenada mineral sobre a dinâmica do carbono orgânico (CO) e do nitrogênio total (NT) no solo.

Com base nestas considerações, a presente pesquisa teve como finalidade avaliar a contribuição de preparos do solo, de sistemas de cultura e da adubação nitrogenada na cultura do milho para o acúmulo de CO e NT no solo, tendo como ferramenta de interpretação dos resultados o modelo proposto por Henin & Dupuis e Woodruff.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em regiões tropicais e subtropicais, quando a atividade agrícola tem caráter de exploração em detrimento do caráter de cultivo, o revolvimento excessivo do solo ao fazer parte dos sistemas de manejo, proporciona queda nos estoques de matéria orgânica do solo (MOS), e portanto, de CO e NT uma vez que, mesmo com elevadas adições de C e N via resíduos, as perdas normalmente são superiores às adições (Sanches, 1976; Dalal & Mayer, 1986a; Greenland et al., 1992; Piccolo, 1996; Mielniczuck, 1999). Em condições climáticas mais amenas e com adição de resíduos orgânicos oriundos de outras fontes, como palhas diversas, serragem, maravalha, esterco de curral e material submetido a compostagem observa-se aumentos no teor de matéria orgânica humificada, mesmo com revolvimento do solo (Rasmussen & Smiley, 1997).

O efeito do revolvimento na elevação das perdas de carbono do solo se dá pelo aumento da atividade microbiana devido a exposição da superfície e fratura dos agregados, oxigenação do ambiente interno do solo, favorecimento de acúmulo de maior quantidade de calor na camada superficial revolvida e sem cobertura, além de favorecer as perdas por erosão. A presença de água disponível, aliada a estas condições, favorece o ataque microbiano a todas as formas de MOS, com

decomposição mais acentuada das frações da MOS menos protegidas ou com menor grau de interação com a fração mineral do solo (Bayer & Mielniczuk, 1999).

Numa situação em que ocorrem baixas entradas de C e N há uma tendência de queda inicial acentuada nos seus estoques no solo. Com o passar do tempo a taxa de queda diminui gradativamente até que se aproxima de um teor muito baixo tendendo a um valor estável. Em condições de lavoura a extinção total da matéria orgânica humificada não ocorre devido à inacessibilidade da fração mais protegida aos microorganismos decompositores. Pöttker (1977), trabalhando com vários solos do Rio Grande do Sul, após 15 anos de lavouras manejadas sob preparo convencional, observou quedas próximas de 50 % dos teores iniciais de carbono orgânico do solo. Sob condições de clima temperado o revolvimento do solo promove menores taxas de queda nos conteúdos de CO e NT, exigindo um tempo maior para que ocorra igual decréscimo (Rasmussen & Smiley, 1997).

### **2.1. Capacidade do solo em acumular C na forma de matéria orgânica**

Como qualquer reservatório com limites definidos o solo tem capacidade limitada no tempo de acumular C. Esta capacidade varia de acordo com as características de cada tipo de solo, dos sistemas de cultura, do sistema de preparo de solo e das condições climáticas regionais, que favorecem ou retardam os processos de decomposição dos resíduos e de síntese e decomposição da matéria orgânica do solo (Sanchez, 1976).

O carbono fotossintetizado se encontra distribuído nos compartimentos biomassa vegetal viva, resíduos vegetais, raízes, exsudatos e matéria orgânica do solo protegida e não protegida (Paustian et al., 1987).



Os constituintes minerais e orgânicos do solo apresentam capacidade de interação entre si, variando em grau de intensidade de acordo com as características destas ligações, textura e composição mineralógica (teor, tipo de fração silte e argila reativos). A interação húmus-argila nos solos é um processo dinâmico, o qual tem sido estudado a partir de diferentes pontos de vista durante os últimos 50 anos, principalmente devido a sua complexidade e relevância teórica e prática. Estes estudos são, em parte, consequência da grande reatividade das superfícies de argilas e substâncias húmicas (SH) e seu papel fundamental nos processos físicos, químicos, bioquímicos e físico-químicos que ocorrem no solo (Cornejo e Hermosín, 1996). Estes autores citam os principais mecanismos de ligação entre superfícies orgânicas e minerais nos solos, como sendo os que envolvem forças de entalpia (as forças de Van der Waals, troca de cátion, protonação, troca de ânion, pontes de água, ponte de cátion, pontes de hidrogênio e troca de ligante) e forças de entropia (ligação hidrofóbica).

Parfitt et al. (1977) observaram interação das substâncias húmicas com superfícies oxídicas através de testes de adsorção, onde o mecanismo de adsorção preponderante foi a troca de ligantes. Gu et al. (1994), procurando elucidar os mecanismos de interação entre matéria orgânica natural e superfícies de óxidos de Fe (sintético) e desenvolver um modelo preditivo para a adsorção e dessorção de substâncias húmicas, obtiveram que a troca de ligantes entre os grupos funcionais carboxila e hidroxila da matéria orgânica e superfícies de óxidos de ferro foi o mecanismo de interação dominante, especialmente em condições ácidas ou levemente ácidas, comuns nos solos de regiões tropicais e subtropicais.

A relação direta entre os teores da fração argila e os teores de matéria orgânica em solos sob vegetação natural indica que solos argilosos apresentam maior capacidade de acumular carbono (Oades, 1988; Bayer, 1996). O grau de interação da

fração orgânica com a fração mineral, varia com as características das frações envolvidas, especialmente com a área superficial específica (ASE) da fração argila predominante (Parfitt et al. 1997).

Deve-se levar em conta que, por ser um processo dinâmico, o C contido na MO protegida possa ser liberado. Sabe-se que o solo emite continuamente CO<sub>2</sub> para a atmosfera pelos processos de respiração celular dos diversos organismos que nele vivem, especialmente os que atuam na decomposição da matéria orgânica. O C protegido tem um elevado tempo de permanência no solo uma vez que a capacidade dos microorganismos em acessá-lo é dificultada especialmente pela proteção física. Acredita-se que esta dificuldade de acesso influa mais no tempo de residência do C do que o grau de aromaticidade das moléculas protegidas contendo o C (Jastrow & Miller, 1997; Pillon, 2000).

Christensen (1996), por sua vez, classificou os mecanismos de estabilização da MO no solo em recalcitrância bioquímica, estabilização química e proteção física. A recalcitrância bioquímica pode ocorrer devido às características químicas próprias do substrato, tais como derivados de lignina (Stott et al., 1983, apud Jastrow & Miller, 1997) ou melaninas produzidas por fungos e outros organismos do solo (Martin & Heider, 1986), ou pode resultar de outras transformações durante a decomposição, incluindo a incorporação em excrementos da meso e micro fauna do solo (Kooistra & Woordwijk, 1996). A estabilização química ocorre devido às associações químicas e físico-químicas entre componentes, que de outro modo seriam decompostos, e os componentes minerais. A proteção física é determinada principalmente pela estrutura do solo, através do controle do acesso microbiano aos substratos.

Devido à proteção física possibilitada pela estrutura do solo, interações importantes surgem entre o CO do solo e a formação, estabilização e degradação de agregados do solo (Clough & Skjemstad, 2000). Em solos onde a MOS é o principal agente de ligação, as plantas crescem, cumprindo seu ciclo, e a decomposição dos resíduos adicionados leva ao desenvolvimento de uma hierarquia entre os agregados estruturais (Tisdal & Oades, 1982 e Oades & Waters, 1991, apud Jastrow & Miller, 1997). A natureza exata e a estabilidade desta estrutura em um determinado solo depende das quantidades e forças relativas dos vários tipos de associações organominerais que funcionam como agregados ligando e estabilizando agentes de cada nível hierárquico de organização. Ao mesmo tempo a natureza dessas associações organominerais e as suas localizações dentro da hierarquia dos agregados determinam o grau no qual o CO do solo está fisicamente protegido da decomposição e, conseqüentemente, resulta em compartimentos orgânicos com diferentes taxas de adição e transferência (Jastrow & Miller, 1997).

As associações organominerais podem ocorrer em uma variedade de escalas espaciais, com graus variáveis de estabilidade e resistência à degradação física, química ou biológica. Christensen (1996) dividiu os complexos organominerais em associações primárias e secundárias, sendo definidos como complexos organominerais primários aqueles encontrados na estrutura primária dos solos e associados com partículas primárias isoladas após dispersão do solo. Os complexos organominerais secundários foram definidos como aqueles constituídos de agregados de complexos organominerais primários que formam a estrutura secundária do solo. Jastrow & Miller (1997) consideram também a existência de associações organominerais secundárias dentro de macroagregados, porém localizados externamente aos microagregados, e aquelas existentes dentro de microagregados com diâmetro entre 2 e 250  $\mu\text{m}$ . Estes

autores consideram que estas associações organominerais promovem a estabilização dos agregados e da matéria orgânica do solo. Assim, na medida em que as associações organominerais primárias e secundárias interagem formando os agregados, maior se torna a estabilidade dos agregados, proporcionando maior proteção à substâncias húmicas associadas à fração mineral, o que favorece o crescimento nos estoques de matéria orgânica do solo.

## **2.2. Uso de modelos no estudo da dinâmica da MO no solo**

Estudos realizados em experimentos monitorados a longo prazo evidenciam a influência da adoção de práticas de cultivo, como adição de fertilizantes minerais e adição de resíduos orgânicos, e de mudanças do uso da terra e do método de preparo do solo na dinâmica da matéria orgânica do solo e na produtividade vegetal (Bayer, 1996; Bayer et al. 1997; Potter et al. 1998; Hyvönen et al. 1998; Stockfish et al. 1999; Yang & Wander, 1999; Silveira et al. 2000; Amado et al. 2001; Ghuman & Sur, 2001). Assim, sendo a MOS um componente dinâmico do solo, foram desenvolvidos, ao longo do tempo, vários modelos que descrevem as características da sua dinâmica no solo (Henin & Dupuis, 1945; Woodruff, 1949; Van Veen & Paul, 1981; Janssen, 1984; Dalal & Mayer, 1986a e 1986b; Parton et al., 1987). A complexidade dos modelos é variável. Existem os modelos que consideram a MO em um único compartimento, avaliado no período de 1 ano, e não levam em conta a dinâmica que ocorre ao longo do ano (intra-anual), como o proposto inicialmente por Henin & Dupuis (1945) e aplicado por Woodruff (1949) para o nitrogênio, Dalal & Mayer (1986a), Bayer (1996) e Andriullo et al. (1999) para o carbono. Existem modelos mais complexos, que consideram a matéria orgânica distribuída dentro de vários compartimentos, levando em conta a dinâmica ao longo do ano, como o modelo

Century, proposto por Parton et al. (1987).

Os modelos unicompartmentais de simulação da MOS apresentam como vantagens a simplicidade de considerar a matéria orgânica como uniforme no solo, o que facilita a sua aplicação e a verificação das predições e leva à obtenção de velocidades médias de mineralização e, conseqüentemente, taxas de perda de CO e NT específicas para cada local. Outras vantagens são a facilidade na obtenção dos dados e no cálculo das estimativas. O fato de considerarem a MO uniforme no solo, por outro lado, é uma limitação do modelo, pois sabe-se da sua distribuição em vários compartimentos, bem como da existência de diferentes velocidades de transferência de C entre os mesmos (Parton et al. 1987). As variações anuais e intra-aneais dos fatores de produção, muitas vezes difíceis de controlar, gera outra limitação ao uso do modelo unicompartmental, pois o mesmo considera as adições e perdas constantes ao longo do tempo. Isto pode acontecer em um sistema ao atingir o “estado estável”, onde ocorra igualdade entre adições e perdas e o teor de C no solo se mantenha estável ao longo dos anos. Porém, no transcurso de tempo até chegar a este estado, os sistemas que estão diminuindo os estoques de MOS apresentam adições decrescentes e diminuição gradativa nas taxas de perda. Por outro lado os sistemas que estão promovendo aumento nos estoques de MOS apresentam adições crescentes, proporcionalmente maiores que as taxas de perda. Isto demonstra a necessidade de avaliações e ajustes periódicos nas adições e taxas de perda, considerando o aumento do período de avaliação e aproximação dos teores estáveis. Apesar destas limitações a aplicação do modelo tem apresentado bom ajuste com os dados observados (Dalal & Mayer 1986a; Bayer, 1996).

O modelo Century considera a MOS dividida em vários compartimentos: o C contido nos resíduos de superfície, o C dos resíduos no interior do solo (metabólico

e estrutural), o C da biota do solo (ativo), o C das substâncias humificadas, dividido em C lento e C passivo, com interações e velocidades de transferência diferentes entre estes diversos compartimentos (Parton et al., 1987; Leal, 1996).

O aumento do número de compartimentos nos modelos proporciona um entendimento mais detalhado da dinâmica da MO no solo, uma vez que podem ser consideradas as diferentes frações em que ela está distribuída. Por outro lado as dificuldades na obtenção das velocidades de transferência entre os diversos compartimentos e no conhecimento das interações que ocorrem entre eles crescem com o aumento do número de compartimentos. Isto dificulta a validação dos resultados obtidos, pela falta de dados adequados que exigem monitoramento freqüente de um grande número de variáveis no sistema solo-planta-atmosfera, como emissão de CO<sub>2</sub>, atividade da biomassa microbiana, balanço hídrico, dinâmica de vários nutrientes, manejo de resíduos, adições de C via resíduos, raízes e exsudatos, teor de lignina, C e N nos resíduos e dados climáticos (Leal & De-Polli, 1999).

### **2.3. Utilização do modelo unicompartmental no estudo da dinâmica do C e do N no solo**

A atuação do solo como regulador do ciclo do carbono na natureza assume cada vez maior importância à medida em que é reconhecida sua capacidade em funcionar como fonte ou receptor de CO<sub>2</sub>, dependendo das suas características físico-químicas e do conjunto das práticas de manejo ao qual é submetido (Lal et al., 1995). A equação fundamental que resume a ação do solo sobre o ciclo do C pode ser escrita da seguinte forma (Greenland, 1995; Bayer, 1996):

$$\frac{dC}{dt} = k_1 A - k_2 C \quad (1)$$

Onde,  $dC/dt$  representa a taxa de variação do carbono no solo no período de um ano ( $Mg\ ha^{-1}$ );  $A$ , a adição de C pela fitomassa;  $C$ , a quantidade de carbono no solo ( $Mg\ ha^{-1}$ ) e  $k_1$  e  $k_2$  as constantes que representam a taxa de conversão do C da fitomassa em C do solo e a taxa de perda anual de C do solo, respectivamente.

Assim, pode-se dizer que o teor de carbono orgânico (CO) do solo em sistemas agrícolas depende da quantidade adicionada de C ( $k_1 A$ ) e da quantidade perdida de C do solo ( $-k_2 C$ ).

Em sistemas sem variação de C do solo ao longo do tempo ( $C_e$ ), ou seja,  $dC/dt = \text{zero}$ , os termos da Equação 1 podem ser rearranjados (Bayer, 1996), gerando as equações 2 e 3:

$$k_2 = \frac{k_1 A}{C_e} \quad (2)$$

∴

$$C_e = \frac{k_1 A}{k_2} \quad (3)$$

Em sistemas agrícolas que mantêm o teor de carbono constante no solo ( $C_e$ ), conhecendo-se  $k_1 A$ , é possível calcular  $k_2$  pela Equação 2.

Com o conhecimento de  $k_1$  e  $k_2$  pode ser utilizada a equação proposta por Henin & Dupuis (1945) e Woodruff (1949) para calcular a variação de C no solo com o tempo:

$$C_t = C_0 e^{-k_2 t} + \frac{k_1 A}{k_2} (1 - e^{-k_2 t}) \quad (4)$$

Onde  $C_t$  é o teor de C em um determinado tempo  $t$ , e  $C_0$  é o teor inicial de C do solo e  $e$  é a base natural dos logaritmos neperianos.

Substituindo a relação  $(k_1 A)/(k_2)$  por  $C_e$  da Equação 3 na Equação 4 e rearranjando os termos (Dalal & Mayer, 1986a,b), obtém-se:

$$C_t = C_e + (C_0 - C_e) e^{-k_2 t} \quad (5)$$

Esta equação permite o cálculo do teor de C no solo em qualquer tempo de utilização dos sistemas.

O tempo necessário para que ocorra a metade da diferença entre  $C_0$  e  $C_e$ , chamado  $t_{1/2}$  é obtido pela Equação 6.

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k_2} \quad (6)$$

A quantidade de nitrogênio total (NT) no solo sob utilização agrícola, assim como no caso do CO, depende da quantidade adicionada de nitrogênio pelos sistemas de culturas mais a quantidade contida na adubação mineral (A) e da quantidade perdida ou retirada de nitrogênio do solo ( $k_2 N$ ). O componente  $k_2$  significa a taxa anual de perda de nitrogênio total, contido na matéria orgânica do solo.

Em sistemas estáveis, ou seja, sem variação de N do solo ao longo do tempo ( $N_e$ ), têm-se:



$$k_2 N_e = A \quad (7)$$

∴

$$k_2 = \frac{A}{N_e} \quad (8)$$

∴

$$N_e = \frac{A}{k_2} \quad (9)$$

Em sistemas agrícolas que mantêm o teor de nitrogênio constante no solo ( $N_e$ ), conhecendo-se  $A$ , é possível calcular  $k_2$  pela Equação 8.

Com o conhecimento de  $k_2$  pode ser utilizada a equação proposta por Henin & Dupuis (1945) e utilizada por Woodruff (1949), Dalal & Mayer (1986a) e Bayer (1996) para calcular a variação de N no solo com o tempo:

$$N_t = N_0 e^{-k_2 t} + \frac{A}{k_2} (1 - e^{-k_2 t}) \quad (10)$$

Onde  $N_t$  é o teor de N em um determinado tempo  $t$ , e  $N_0$  é o teor inicial de N do solo.

Substituindo a relação  $A/k_2$  por  $N_e$  da Equação 9 na Equação 10 e rearranjando os termos (Bayer et al. 1996) obtém-se:

$$N_t = N_e + (N_0 - N_e) e^{-k_2 t} \quad (11)$$

Esta equação permite o cálculo do teor de N no solo em qualquer tempo de utilização dos sistemas. Para determinar o tempo necessário para que ocorra a metade da diferença entre  $N_0$  e  $N_e$  ( $t_{1/2}$ ) também utiliza-se a Equação 6, proposta anteriormente para  $t_{1/2}$  do C.

Nas estimativas dos teores futuros, tanto de CO como de NT, Bayer (1996) utilizou o mesmo valor para  $k_2$ , sendo considerado que na decomposição da matéria orgânica do solo ocorreram perdas proporcionalmente iguais de CO e NT. Em ambas as situações observou bom ajuste das equações, no entanto, para uma maior segurança no uso destas previsões, há necessidade de estimar com maior precisão as adições de C e N pelos sistemas (A) e a taxa de perda ( $k_2$ ), bem como os teores totais de C e N no solo em experimentos com períodos prolongados sob manejo conhecido.

#### **2.4. Efeito do solo, clima e práticas de manejo sobre a dinâmica do C e do N no solo**

Os termos da Equação 1 são significativamente afetados pelo clima, tipo de solo e práticas de manejo. A seguir serão discutidos os principais efeitos sobre os parâmetros A,  $k_1$ , e  $k_2$ .

##### **2.4.1. Adição de C e N por sistemas de cultura e adubação com N (A)**

A adição de C e N ao solo é afetada por todos os fatores determinantes da produtividade das culturas. Sendo um dos fatores de produção, os sistemas de cultura adotados promovem adição de C e N na medida em que aportam resíduos ao solo. Sistemas de produção de milho que contemplam a presença de leguminosas promovem grandes adições de resíduo ao solo. Experimentos de longa duração, conduzidos nas condições de clima subtropical da região sul do Brasil, têm evidenciado a importância

de sistemas de cultura com inclusão de leguminosas no elevado aporte de resíduos contendo C e N (Testa, 1989; Burle et al., 1997; Bayer et al., 2000). Além de aportarem N para o aumento da produtividade de grãos e matéria seca de resíduos das espécies gramíneas as leguminosas aportam, por si mesmas, elevadas quantidades de resíduos contendo C e N, configurando uma contribuição direta na adição destes elementos.

Em solos de regiões tropicais e subtropicais o N é o nutriente mais limitante ao aumento da produtividade das culturas, sendo obtidas respostas acentuadas à aplicação deste nutriente via adubação nitrogenada mineral, especialmente no caso de espécies gramíneas (Amado, 1997). Ao promover grandes aumentos na produtividade de grãos, no caso do milho, o N mineral contribui diretamente no aporte de C e N via resíduos, uma vez que os dados existentes mostram uma estreita relação entre as produtividades de grãos e matéria seca de resíduos (Freitas et al., 1996; Amado, 1997; Fernandes, 1998). Os trabalhos destes autores evidenciam o maior efeito do N mineral no rendimento de grãos e aporte de resíduos quando o sistema de cultura contém somente gramíneas, no caso uma sucessão aveia no inverno e milho no verão, sendo o adubo nitrogenado a principal fonte de N externo. A resposta adicional do milho ao N mineral é menor em sistemas com leguminosas, pois o N adicionado por estas permite ao milho sem N mineral partir de um patamar mais elevado de rendimento de grãos e matéria seca de resíduos quando comparado aos sistemas com a ausência destas espécies.

Além da contribuição dos sistemas de cultura e do uso de adubação nitrogenada mineral adequados à região climática, as adições também são influenciadas pela disponibilidade dos demais nutrientes e água, grau de luminosidade e calor, localização geográfica, potencial produtivo e época de semeadura das espécies,

população de plantas, presença de pragas e doenças e o grau de erosão. Em relação à regiões de clima temperado as regiões tropicais e subtropicais possuem potencial climático para produzir maior quantidade de biomassa vegetal pela otimização dos demais fatores de produção, configurando-se em maior adição de C e N ao solo pelos sistemas de cultura (Sanchez, 1976).

#### **2.4.2. Taxa de conversão ( $k_1$ ) do C e N adicionados em C e N do solo**

O coeficiente de humificação ( $k_1$ ), também conhecido como coeficiente isoúmico, é a taxa anual de conversão do C contido nos resíduos (parte aérea, raízes e exsudatos) em C da matéria orgânica do solo.

As várias partes dos resíduos aportados pelas culturas ao solo apresentam coeficientes de humificação próprios, os quais, no seu conjunto, podem ser representados por um único valor médio ponderado. Balesdent & Balabane (1996) estimaram que a taxa de conversão do C contido nos resíduos de raízes em C do solo é maior do que a taxa de conversão do C dos resíduos da parte aérea. A própria localização das raízes, bem como a sua constituição mais rica em C estrutural, favorece esta observação. Bolinder et al. (1999), utilizando dados de vários autores encontraram taxas médias para conversão de C de resíduos vegetais em CO do solo de 12,2 %, 21,1 % e 19,6 % para resíduos oriundos da parte aérea, das raízes e das raízes + parte aérea, respectivamente. Em seu próprio estudo, comparando a contribuição do sistema radicular do milho para silagem cultivado continuamente por 15 anos e em rotação de milho-cevada-cevada-trigo e milho-cevada-feno-feno, encontrou coeficientes isoúnicos médios de 14,4 %, 21,2 % e 16,1 % para resíduos oriundos da parte aérea, das raízes e das raízes + parte aérea, respectivamente.

Gregorich et al. (1995), obtiveram coeficiente isoúmico de 23 % para 100 Mg ha<sup>-1</sup> de C adicionado ao solo por resíduos de milho durante 25 anos de milho contínuo. Para a obtenção deste coeficiente os autores utilizaram técnica baseada na diferença da abundância natural do <sup>13</sup>C entre as plantas C<sub>4</sub>, no caso o milho, e plantas C<sub>3</sub>, no caso as espécies florestais, que contribuíram com seus resíduos para a síntese da matéria orgânica do solo original do solo estudado.

Estes valores médios para o  $k_1$  estão bem próximos aos 20 % obtido por Cerri (1986), que realizou o trabalho utilizando a cultura da cana-de-açúcar, cultivada durante 50 anos após a derrubada da floresta natural, em um Latossolo Vermelho, nas condições climáticas tropicais de Piracicaba, SP.

#### 2.4.3. Taxa de perda do C do solo ( $k_2$ )

O coeficiente  $k_2$  é considerado a perda percentual anual de CO ou NT do solo, provocada pela perda da matéria orgânica, sem levar em conta as adições anuais ( $k_1 A$ ).

O  $k_2$  varia de um solo para outro em função da textura e composição mineralógica da fração argila, das condições climáticas de disponibilidade de calor e água, da erosão e da intensidade e frequência de revolvimento a que o solo é submetido. Este coeficiente pode, para um mesmo solo, mesmas condições climáticas, sob manejo igual ano após ano (sistema de cultura, adubação, adições e manejo de resíduos, irrigação e grau de revolvimento), variar no tempo em função da saturação ou liberação de sítios (proteção química) da fração mineral para interações com a fração orgânica e do grau de quebra de macro e microagregados, que diminui a proteção física.

Dalal e Mayer (1986a,b) trabalhando com seis solos da Austrália, com teores de argila numa amplitude de 18 a 72 %, obtiveram valores de  $k_2$  inversamente proporcionais aos teores de argila, variando de 0,041 a 1,211 ano<sup>-1</sup> para o CO e de 0,059 a 0,274 ano<sup>-1</sup> para o NT. Buyanovsky et al. (1987) encontrou para o  $k_2$  valores de 0,0169 e 0,0187 ano<sup>-1</sup> para lavoura de trigo e pastagem nativa, respectivamente. Bayer (1996) e Bayer et al. (2000), obtiveram estimativas de  $k_2$  a partir de experimentos com preparos de solo e sistemas de cultura em três solos do Rio Grande do Sul. Os valores de  $k_2$  obtidos em solo Argissolo Vermelho foram mais elevados quando o solo foi lavrado e gradeado (0,054 ano<sup>-1</sup>) em relação ao sem preparo (0,029 ano<sup>-1</sup>), evidenciando o papel da mobilização no aumento da taxa de perda de CO do solo. Para o solo Latossolo Vermelho (680 g kg<sup>-1</sup> de argila), as respectivas taxas de decomposição reduziram-se para 0,014 ano<sup>-1</sup> (PC) e 0,012 ano<sup>-1</sup> (PD). As menores taxas de perda de C obtidas para o Latossolo Vermelho em relação ao Argissolo Vermelho é atribuída ao maior teor de argila presente no Latossolo Roxo, que propicia maior interação entre fração orgânica e a fração mineral, através da capacidade de proteção física e coloidal às moléculas orgânicas, dificultando o acesso de microorganismos decompositores. A menor amplitude de variação no  $k_2$  do solo argiloso após o revolvimento evidencia a maior resistência estrutural propiciada pela associação organomineral. Amado (1997), no solo Argissolo Vermelho, obteve taxas de perda de MOS de 0,011 ano<sup>-1</sup> para o plantio direto e 0,022 ano<sup>-1</sup> para os preparos reduzido e convencional, num período de 4 meses, o que equivaleria a valores de 0,033 ano<sup>-1</sup> e 0,066 ano<sup>-1</sup> no período de 1 ano, os quais situam-se um pouco acima dos valores obtidos por Bayer (1996), com exceção do preparo reduzido, cujo valor estimado por Amado (1997) para 4 meses, quando extrapolado para 1 ano, fica muito acima do obtido por Bayer (1996) que obteve valor de 0,039 ano<sup>-1</sup> para este preparo.

Esta estimativa a mais se deve ao fato de que os quatro meses de observação foram imediatamente após a escarificação, preparo em que a mobilização favorece a decomposição da MOS, e, ao mesmo tempo, momento que coincidiu com época do ano em que a temperatura média diária se eleva gradativamente, fator que também colabora para uma taxa de perda ( $k_2$ ) maior.

O conhecimento destes parâmetros para os sistemas de cultura e preparos do solo é importante para o desenvolvimento de sistemas que são mais eficientes em aumentar os estoques de carbono e nitrogênio do solo.

## **2.5. Hipótese**

A associação de adubação nitrogenada no milho, redução no revolvimento do solo e presença de leguminosas e gramíneas nos sistemas de cultura, ao aumentar a produção de biomassa vegetal, favorece o acúmulo de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) no solo.

## **2.6. Objetivos**

Determinar com maior precisão as adições (entradas) de CO e NT do solo visando melhorar a estimativa do coeficiente de perda da matéria orgânica do solo ( $k_2$ ) através do ajuste de um modelo exponencial unicompartmental da dinâmica destes elementos no solo.

Avaliar o efeito da utilização, durante 13 anos, de métodos de preparo, sistemas de cultura e adubação nitrogenada sobre os estoques de CO e NT de um Argissolo Vermelho distrófico.

A partir da parametrização do modelo com os dados obtidos nos 13 anos de condução do experimento, calcular os estoques estáveis de CO e NT nas diferentes combinações de preparos e culturas, com e sem adubação nitrogenada.

Verificar o ajuste do modelo matemático exponencial unicompartmental de simulação da dinâmica de CO e NT no solo em experimentos de longa duração sob manejo constante, através da comparação entre os estoques observados e os estimados pelo modelo.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Em um experimento de longa duração, instalado na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS), em Eldorado do Sul, foram recalculadas as taxas anuais de adição (A) de carbono (C) e nitrogênio (N) pelos sistemas de cultura e a quantidade de C e N acumulado no solo ao final de 13 anos de utilização dos sistemas, com o fim de melhorar a estimativa do coeficiente  $k_2$  (Equações 5 e 11) e, desta forma, melhorar as estimativas da dinâmica do CO e NT no solo em função dos manejos, seguindo a metodologia proposta por Bayer (1996).

#### 3.1. Descrição resumida do experimento

O experimento, intitulado “Preparos de Solo e Cobertura Vegetal como Alternativa de Conservação do Solo” foi implantado em abril de 1985, na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em Eldorado do Sul, RS, em um solo ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (Pvd) (Embrapa, 1999), anteriormente denominado Podzólico Vermelho-escuro (Paleudult na Classificação Americana e Acrisol pela Legenda da FAO), representativo da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Este solo apresenta textura franco-argilo-arenosa ( $310 \text{ g kg}^{-1}$  de argila) com  $36 \text{ g kg}^{-1}$  de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $103 \text{ g kg}^{-1}$  de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , sendo a caulinita o mineral predominante na fração argila (Brasil, 1973). Na oportunidade da implantação do experimento o solo encontrava-se com as características físicas degradadas pela exploração com lavoura

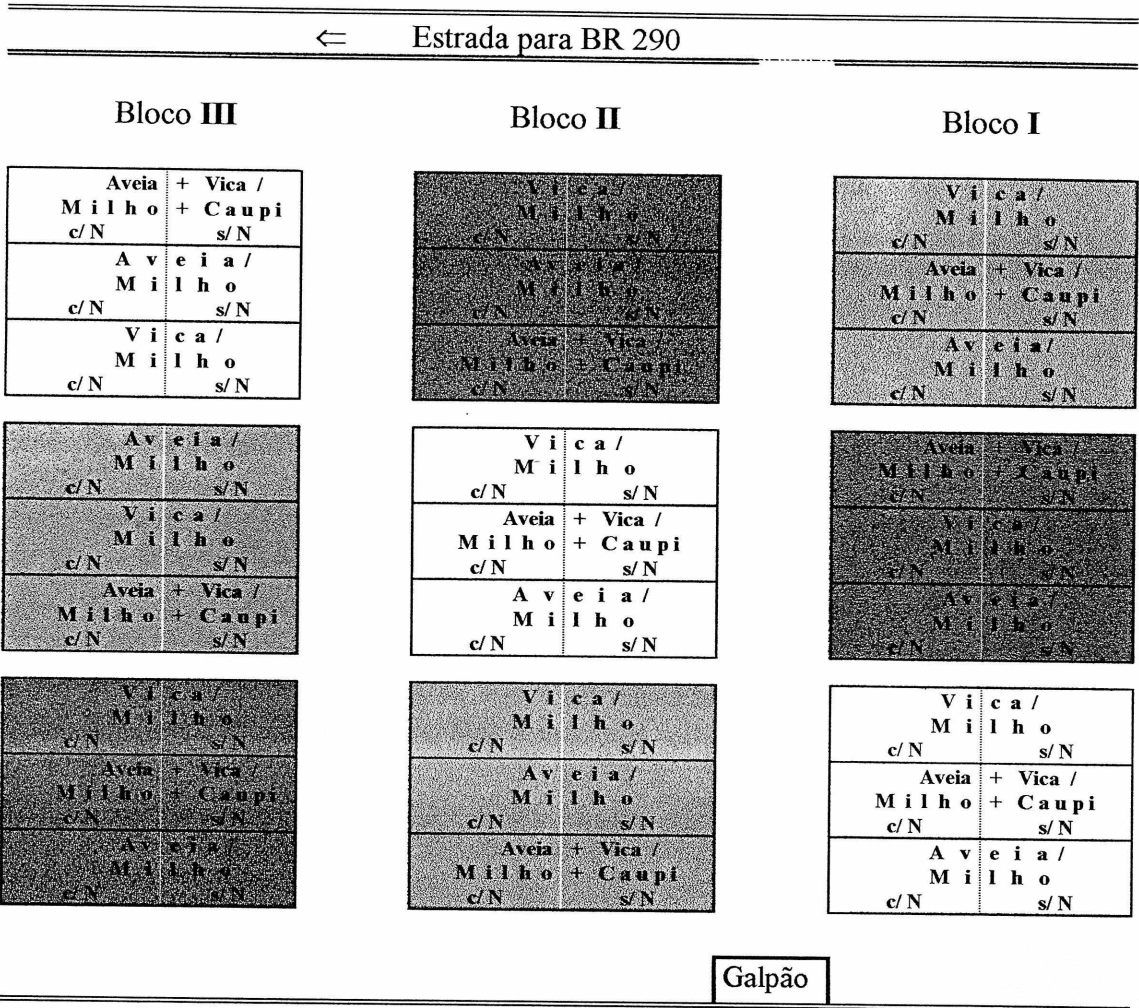
anual, sob preparo convencional, durante os 15 anos que precederam o início do experimento.

O experimento foi instalado em 1985, seguindo o delineamento experimental de blocos casualizados, com os tratamentos dispostos em um esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas principais (15 x 20 m) receberam três métodos de preparo do solo (preparo convencional-**PC**, preparo reduzido-**PR** e plantio direto-**PD**) e as subparcelas (5 x 20 m) consistiram em três sistemas de cultura (aveia preta (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays*) – **A/M**; vicia (*Vicia sativa*)/milho – **V/M** e aveia+vicia/milho+caupi (*Vigna unguiculata*) – **A+V/M+C**). Dois níveis de N (0 kg ha<sup>-1</sup> – **0 N** e 180 kg ha<sup>-1</sup> – **180 N**) foram aplicados em faixas nos blocos (sub-blocos com 45 x 10 m). O mapa do experimento, com a distribuição dos tratamentos nos blocos, pode ser visualizado na Figura 1.

O **PC** consiste de uma aração e duas gradagens efetuadas antes da implantação da cultura do milho. O **PR** consiste de uma escarificação realizada antes da semeadura do milho. O **PD** consiste da semeadura do milho com toda a palha das culturas de cobertura na superfície. Em todos os preparos os resíduos das culturas de cobertura e do milho são manejados com uma passagem de rolo-faca.

Durante a condução do experimento houveram variações nos consórcios de culturas de outono-inverno, conforme Tabela 1. De 1985 a 1994 (9 anos) os dois níveis de N mineral foram 0 e 120 kg ha<sup>-1</sup>. De 1994 a 1998 (4 anos) foram utilizados 0 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N. Os preparos, que são aplicados somente antes da implantação da cultura do milho, foram selecionados para que todo (**PC** com uma lavra e duas gradagens), parte (**PR** com escarificação) e nenhum (**PD**) resíduo das culturas de cobertura de inverno fosse incorporado ao solo.

← Norte



As parcelas medem 5 m no sentido Leste-Oeste e 20 m no sentido Norte-Sul

Preparo Convencional    
  Preparo Reduzido    
  Plantio Direto

FIGURA 1. Distribuição dos tratamentos no experimento de preparos de solo e cobertura vegetal. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

TABELA 1. Sistemas de cultura utilizados nos anos agrícolas de 1985 a 1998.

Seqüência de culturas	
Outono-Inverno	Primavera-Verão
Aveia	Milho
Vica <sup>(1)</sup>	Milho
Aveia+Vica <sup>(2)</sup>	Milho+Caupi

(1) Nos anos de 1985 a 1989, no período de outono-inverno, foi utilizado o consórcio de trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum*) + aveia (*Avena strigosa*). De 1990 a 1994 foi utilizado o consórcio de vica (*Vicia sativa*) + aveia. A partir de 1995 utilizou-se a vica solteira.

(2) Nos períodos de outono-inverno de 1985 a 1989 foi utilizado o consórcio aveia+trevo. A partir de 1990 o consórcio constou de aveia + vica.

A seleção dos sistemas de cultura objetivou níveis crescentes de aporte de C pela biomassa vegetal e de N por fixação simbiótica. Maiores detalhes da condução do experimento podem ser obtidos em Bayer (1992) e Bayer (1996).

### **3.2. Obtenção de dados para a utilização do modelo no estudo da dinâmica do C e do N no solo**

Na condução desta pesquisa foram utilizados dados de CO e NT no solo obtidos por Bayer (1996) para o 5º e 9º ano dos tratamentos de métodos de preparo e sistemas de cultura sem aplicação de N mineral. Detalhes das amostragens constam em Bayer (1996). No 13º ano (1998) foram amostrados todos os tratamentos, nos dois níveis de N, conforme metodologia descrita no item amostragem, apresentado no decorrer deste capítulo.

Os dados de adições de C e N foram obtidos nas Dissertações de Freitas (1988), Rosso (1989) e Bayer (1992) e nas Teses de Bayer (1996) e Amado (1997), além das determinações realizadas nesta pesquisa, nos anos de 1997 e 1998, respectivamente 12º e 13º anos.

A estimativa da matéria seca para o cálculo das adições de carbono pelo milho, nas safras em que esta não foi avaliada, foi realizada com base na relação entre o rendimento de grãos e a matéria seca na maturação fisiológica, dada pela equação determinada nas safras 97/98 e 98/99 (Apêndice 1):

$$Y = 2,91 + 0,96 X \quad (R^2 = 0,92) \quad (12)$$

Onde:

Y = Matéria seca na maturação fisiológica (Mg ha<sup>-1</sup>)

X = Rendimento de grãos (Mg ha<sup>-1</sup>)

Nos anos em que foi avaliada a matéria seca na floração, esta foi convertida em matéria seca na maturação fisiológica pela seguinte equação, obtida nas safras 97/98 e 98/99 (Apêndice 2):

$$Y = -0,074 + 1,20 X \quad (R^2 = 0,92) \quad (13)$$

Onde:

Y = Matéria seca na maturação fisiológica (Mg ha<sup>-1</sup>)

X = Matéria seca na floração (Mg ha<sup>-1</sup>)

Nos anos em que não avaliou-se o nitrogênio contido na palha do milho na maturação fisiológica, este foi calculado pela seguinte equação, obtida para a safra 98/99 (Apêndice 3):

$$Y = -6,52 + 11,53 X \quad (R^2 = 0,90) \quad (14)$$

Onde:

Y = Nitrogênio na matéria seca na maturação fisiológica (kg ha<sup>-1</sup>)

X = Rendimento de grãos (Mg ha<sup>-1</sup>)

O nitrogênio retirado pelos grãos em todas as safras foi calculado com base na relação entre MS e N nos grãos obtida na safra 1998/99 (Apêndice 4):

$$Y = -10,08 + 13,76 X \quad (R^2 = 0,92) \quad (15)$$

Onde:

Y = Nitrogênio retirado pelos grãos (kg ha<sup>-1</sup>)

X = Rendimento de matéria seca de grãos (Mg ha<sup>-1</sup>)

A matéria seca (~40 % de C) na fitomassa das culturas de cobertura foi obtida na maioria das safras. Porém, nas safras em que este parâmetro não foi determinado os valores foram estimados por interpolação entre os valores da safra anterior e da safra posterior.

O nitrogênio adicionado na fitomassa das culturas de cobertura, também determinado na maioria das safras, foi obtido pela média dos valores das safras avaliadas e adotado como média dos 13 anos de condução experimental.

### **3.3. Amostragem e preparo das amostras de solo e tecido vegetal**

#### **3.3.1. Amostras de solo**

Foram amostradas manualmente, em setembro de 1998 (13º ano), antes dos preparos para a implantação da cultura do milho, as camadas de 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-7,5; 7,5-12,5, 12,5-17,5; 17,5-30,0 cm de profundidade. Estas camadas foram coletadas numa faixa de solo, transversal às linhas do milho, de 10 cm de largura por 50 cm de comprimento.

O solo coletado foi homogeneizado, sub-amostrado e colocado a secar ao ar. Após foi triturado em moinho de solos, passando por peneira de malha de 2 mm, novamente homogeneizado e sub-amostrado. Esta última sub-amostra foi triturada manualmente em gral de porcelana, até passar totalmente por peneira de 50 mpp (malhas por polegada quadrada). Desta sub-amostra foi utilizada 1,000 g para análise de C orgânico e 0,500 g para análise de N total.

### **3.3.2. Amostras de tecido vegetal**

As amostras de tecido vegetal do milho foram obtidas na floração plena, em 1997 e 1998, com a coleta de quatro plantas por parcela. Nos mesmos anos a amostragem das plantas de cobertura (aveia e vica) foi feita com a coleta de 1 m<sup>2</sup> por parcela, na plena floração das culturas. Inicialmente as plantas foram secas ao ar, em casa de vegetação, e após em estufa ventilada, até atingir peso constante. O caupi não foi amostrado no presente trabalho. Optou-se por utilizar as avaliações já existentes para esta cultura, nos trabalhos de Freitas (1988), Rosso (1989) e Bayer (1992).

Foram também coletadas amostras de tecido vegetal de milho na maturação fisiológica para determinar o N absorvido após a plena floração. O teor de N na maturação fisiológica foi medido na parte aérea em dois compartimentos: folhas + colmo + sabugo e grãos.

Com dados de matéria seca, produtividade e teores de C e N foram obtidos os valores estimativos das adições anuais de C e N pela cultura do milho e pelas culturas de cobertura de inverno (aveia e vica).

## **3.4. Análises químicas**

### **3.4.1. Análises de carbono orgânico e nitrogênio total no solo**

As determinações dos teores de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) das amostras de solo foram feitas, respectivamente pelos métodos Walkley-Black modificado e semimicro Kjeldhal, descritos em Tedesco et al. (1995). Foi utilizado o valor 1,12, apresentado em Tedesco et al. (1995), como índice de correção das análises de carbono orgânico nas amostras de solo.



### **3.4.2. Análises de Carbono e Nitrogênio no tecido vegetal e grãos de milho**

As determinações de carbono nas amostras de tecido vegetal e nos grãos de milho foram feitas pelo método Walkley-Black com adição de calor externo e oxidação do C da amostra por dicromato de potássio em meio ácido, com titulação do  $\text{Cr}^{6+}$  em excesso e semi-micro Kjeldhal, descritos em Tedesco et al. (1995).

### **3.5. Cálculo das adições de C e reciclagens, adições e retiradas de N**

#### **3.5.1. Adições de C**

As adições de C pelos sistemas de cultura foram calculadas através da soma do C contido nos resíduos das culturas de cobertura de inverno e verão e os resíduos do milho, adicionando-se 30 % para raízes e exsudatos. Para o cálculo do C adicionado na matéria seca do tecido vegetal utilizou-se a concentração média de 40 % de C, conforme já mencionado anteriormente.

#### **3.5.2. Reciclagens, adições e retiradas de N**

##### **3.5.2.1. Reciclagens e adições**

Foram consideradas reciclagens as quantidades de N absorvidas do solo e devolvidas pelos resíduos de aveia e milho, acrescido de 20 % como contribuição do sistema radicular.

No cálculo das adições foi considerado o N aplicado como adubo e o fixado biologicamente. A quantidade fixada biologicamente pelas leguminosas foi

estimada descontando-se o N contido na aveia do sistema A/M do N contido na vica e aveia+vica dos sistemas V/M e A+V/M+C, para cada tratamento de preparo do solo.

A quantidade de N contido na fitomassa do caupi foi estimada com base em dados obtidos em anos anteriores, no mesmo experimento, e constam nas Dissertações de Freitas (1988), Rosso (1989) e Bayer (1992).

### **3.5.2.2. Retiradas de N pelo milho**

As retiradas foram calculadas com base no rendimento de grãos de milho obtidos anualmente e no teor de N no grão maduro, avaliado nas safras 97/98 e 98/99.

### **3.5.2.3. Saldo líquido de N adicionado**

A adição líquida de nitrogênio, ou saldo líquido médio anual e nos 13 anos, nos sistemas de cultura, nos preparos do solo e níveis de N adicionado foi determinada com base nas estimativas de entradas e saídas de nitrogênio nos diferentes tratamentos, conforme a equação a seguir.

$$N_{\text{LiqAD}} = \text{entradas de N} - \text{saídas de N} \quad (16)$$

Onde:

$N_{\text{LiqAD}}$  = Saldo líquido de N adicionado ao sistema.

As entradas de N representam a soma do N adicionado como adubo mais o N fixado biologicamente pelas leguminosas. A saída é representada pelo N contido nos grãos de milho, retirados anualmente.

### 3.6. Análises dos resultados

A contribuição dos sistemas de manejo, compostos pela associação de métodos de preparo, sistemas de cultura e adubação nitrogenada, sobre os teores de carbono orgânico e nitrogênio total do solo foi avaliada pelo modelo matemático unicompartmental para experimentos de longa duração, sob manejo conhecido, proposto por Henin & Dupuis (1945) e Woodruff (1949) e utilizado por Dalal e Mayer (1986a,b) e Bayer (1996), Equação 4.

$$C_t = C_0 e^{-k_2 t} + \frac{k_1 A}{k_2} (1 - e^{-k_2 t})$$

A taxa média de conversão do carbono dos resíduos em carbono orgânico (CO) do solo ( $k_1$ ), adotada para efeito dos cálculos das adições de C, foi de 20% (Cerri, 1986).

A taxa anual de perda do CO do solo ( $k_2$ ) foi ajustada para cada método de preparo do solo, independente da composição do sistema de cultura e aplicação de nitrogênio mineral, de modo que a estimativa do modelo se aproximasse do valor observado em 1998 (última avaliação) e a relação Ce:Ne se mantivesse com valores próximos aos obtidos para a relação C:N em 1998.

No modelo proposto para o nitrogênio, Equação 10, foi adotada uma taxa de conversão de 100 % do N adicionado pelos resíduos e pelo adubo em NT do solo, ou seja,  $k_1 = 1,0$ . Assim considerou-se que todo o N adicionado entrou no perfil do solo, não permanecendo necessariamente nas camadas avaliadas.

$$N_t = N_0 e^{-k_2 t} + \frac{k_1 A}{k_2} (1 - e^{-k_2 t})$$

A taxa anual de perda do NT do solo ( $k_2$ ) foi mantida flutuante dentro de cada preparo de solo em função da presença ou não de leguminosas e da aplicação de nitrogênio mineral de modo que em  $t_{13}$  o valor estimado de NT ficasse próximo do NT do solo em 1998 e a relação  $C_e:N_e$  fosse semelhante à relação C:N observada em 1998.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados de rendimento de grãos do milho, adições de carbono, reciclagens, adições e retiradas de nitrogênio e saldo de nitrogênio adicionado ao longo de 13 anos, os dados de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) do solo, no 13º ano de avaliação, e a aplicação de um modelo de simulação do carbono orgânico e nitrogênio total do solo.

### **4.1. Rendimento de grãos do milho**

Os rendimentos do milho, nos 13 anos do experimento, na média dos tratamentos de métodos de preparo do solo encontram-se na Tabela 2 e Apêndices 5 e 6. Para melhor visualização, os mesmos resultados constam na Figura 2. Observa-se que o rendimento de milho no sistema A/M 0 N permaneceu baixo e estável durante os 13 anos. No entanto a presença de leguminosas nos tratamentos sem N mineral, V/M 0 N e A+V/M+C 0 N, proporcionou aumentos de rendimento do milho ao longo do período considerado. A aplicação de N mineral determinou um aumento no rendimento em todos os sistemas de cultura estudados. Este aumento maior no sistema A/M, uma vez que os sistemas V/M e A+V/M+C, sem adubação nitrogenada mineral, adicionaram N via fixação simbiótica e partem de um patamar de rendimento superior ao A/M 0 N.

TABELA 2. Rendimento de grãos de milho (12,5 % de H<sub>2</sub>O) em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), durante 13 anos, sob três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral. Médias de três métodos de preparo do solo e três repetições por preparo. EEA-UFRGS, 1998.

Safrá	Ano	0 N			180 kg ha <sup>-1</sup> de N <sup>(1)</sup>		
		A/M	V/M	A+V/M+C	A/M	V/M	A+V/M+C
..... Mg ha <sup>-1</sup> .....							
85/86	1°	2,75	2,85	1,89	4,58	3,43	2,90
86/87	2°	1,35	2,25	1,96	5,81	5,69	5,74
87/88	3°	1,84	2,12	2,16	5,95	5,55	6,12
88/89	4°	2,82	4,61	4,86	5,72	6,30	5,98
89/90	5°	2,57	3,11	2,98	5,56	5,46	5,26
90/91	6°	2,73	3,87	3,56	5,47	4,77	5,36
91/92	7°	2,46	4,11	3,81	7,71	7,42	7,72
92/93	8°	1,52	2,43	2,99	4,34	4,72	4,86
93/94	9°	3,68	6,59	6,16	7,48	8,16	8,57
94/95	10°	1,94	4,40	4,05	6,07	6,80	6,10
95/96	11°	3,40	6,14	5,38	8,81	9,00	9,39
96/97	12°	1,54	5,07	4,63	7,70	7,55	7,14
97/98	13°	2,08	5,93	5,57	9,44	9,58	9,86
Total		30,69	53,49	49,99	84,64	84,42	84,98
Média anual		2,36	4,11	3,85	6,51	6,49	6,54

A = aveia, V = vica, M = milho e C = caupi.

(1) De 1985 a 1993 (9 safras) a adubação com N mineral no milho foi 120 kg ha<sup>-1</sup> e a partir de 1994 (4 safras) 180 kg ha<sup>-1</sup>.

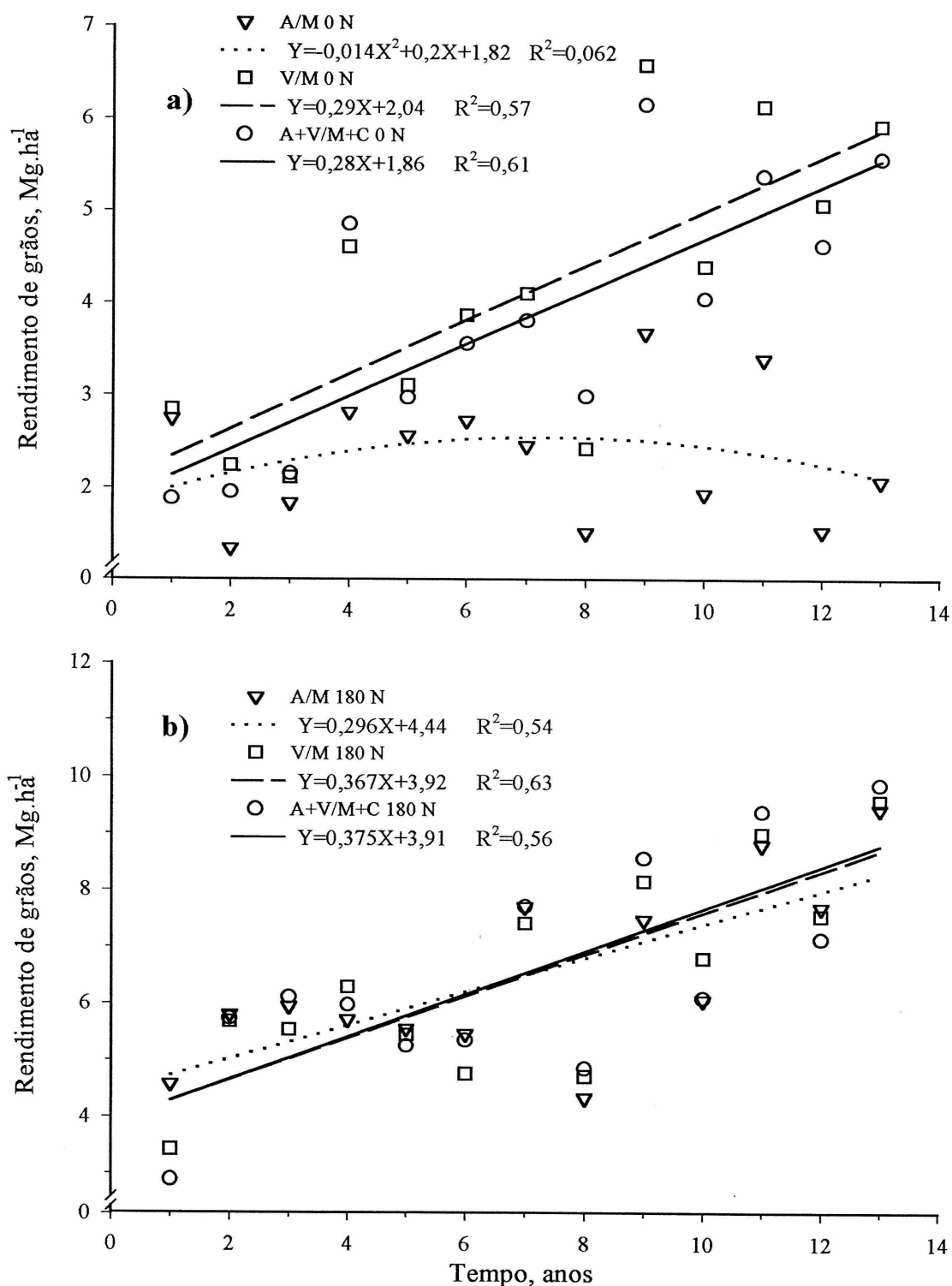


FIGURA 2. Rendimento de grãos de milho (12,5 % H<sub>2</sub>O) em três sistemas de cultura, durante 13 anos, em um ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO (PvD), sem adição (a) e com adição (b) de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral no milho (de 1985 a 1993 (9 safras) a adubação com N mineral no milho foi 120 kg ha<sup>-1</sup> e a partir de 1994 (4 safras) 180 kg ha<sup>-1</sup>). Médias de três métodos de preparo do solo e três repetições por tratamento. EEA-UFRGS, 1998.



Em avaliações no ano inicial, Medeiros (1985), em experimento adjacente, e Freitas (1988), no mesmo experimento deste trabalho, verificaram redução no rendimento do milho quando consorciado com o caupi (A+V/M+C), em comparação aos demais sistemas de cultura com milho solteiro no verão (A/M e V/M). Isto se verificou tanto na ausência como na presença de adubação nitrogenada mineral no milho. Estes autores atribuíram estas diferenças à competição por nutrientes, principalmente pelo N, e por água. Para minimizar o efeito de competição esses autores sugeriram a semeadura desta leguminosa em época mais próxima à fase de pré-florescimento do milho. Também com este objetivo foi adotada posteriormente a diminuição do espaçamento entre linhas do milho, diminuindo as chances de competição e prejuízo do caupi para o milho.

Com o ajuste da época de semeadura do caupi, sempre que possível, e a diminuição do espaçamento do milho foi possível, pelo maior e mais precoce sombreamento, minimizar a competição do caupi com o milho, o que pode ser observado na Tabela 2. Os dados obtidos permitem verificar que, na ausência de N mineral, a redução de produtividade do milho, verificada no ano inicial, foi atenuada nos anos seguintes, enquanto que com N mineral o rendimento passou a ser ligeiramente superior aos tratamentos com milho solteiro (Tabela 2). Isto pode ser atribuído ao fato de que as adições globais de N foram ampliadas pela adição do N mineral. As maiores adições globais proporcionaram, com o tempo, aumento nos estoques de N no solo, permitindo maior liberação de N pela mineralização da matéria orgânica, em relação aos sistemas de cultura que recebem N basicamente via fixação simbiótica. Isto indica que a presença de N mineral favoreceu nutrição plena em N, ou muito próxima desta, ao milho, refletindo-se em aumento gradativo de rendimento com o passar dos anos (Figura 2).

Os dados de produtividade média do milho dos três sistemas de cultura, dentro de cada preparo, em 13 anos, (Tabela 3) mostram que na ausência de N mineral o plantio direto apresentou uma redução de 9,6 % em relação ao preparo convencional. Esta redução é a diferença média no período avaliado, ressalvando-se, no entanto, que nas últimas safras tem-se observado rendimentos similares, com tendência a serem maiores sob plantio direto (Apêndice 6). Na média deste período, o maior rendimento médio do milho no PC pode ser atribuído, pelo menos em parte, à liberação de maior quantidade de N devido a maior taxa de mineralização da MOS neste método de preparo em relação aos preparos conservacionistas (PR e PD). Utilizando este mesmo experimento, no ano agrícola 1995/96, Amado e Mielniczuk (2000) obtiveram, durante o ciclo do milho, coeficientes de perda ( $k_2$ ) de N do solo de 0,021 (2,1 %) para PC e PR e 0,011 (1,1 %) para o PD, o que evidencia a menor mineralização e perda da MOS no sistema plantio direto. Os autores obtiveram o  $k_2$  referido, pela divisão da quantidade de N absorvido pela parte aérea do milho, em sub-parcela sem cultura de cobertura e sem adição de N mineral, pela quantidade de N total acumulada no solo na camada 0-17,5 cm, também sem adição de N mineral. Com a adição de N mineral os rendimentos médios obtidos pelo milho nos três métodos de preparo mantiveram-se praticamente iguais.

TABELA 3 . Rendimento de grãos de milho (12,5 % H<sub>2</sub>O) em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PvD), sob três métodos de preparo do solo, três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral (médias de três repetições). EEA-UFRGS, 1998.

Preparos	Culturas	0 N		180 kg ha <sup>-1</sup> de N <sup>(1)</sup>	
		Média anual	Total em 13 anos	Média anual	Total em 13 anos
		-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
PC	A/M	2,55	33,15	6,55	85,15
	V/M	4,45	57,85	6,59	85,67
	A+V/M+C	3,89	50,57	6,49	84,37
	Média	3,63	47,19	6,54	85,06
PR	A/M	2,43	31,59	6,67	86,71
	V/M	3,89	50,57	6,39	83,07
	A+V/M+C	3,91	50,83	6,49	84,37
	Média	3,41	44,33	6,52	84,72
PD	A/M	2,11	27,43	6,32	82,16
	V/M	4,00	52,00	6,50	84,50
	A+V/M+C	3,73	48,49	6,62	86,06
	Média	3,28	42,64	6,48	84,24

PC = preparo convencional, PR = preparo reduzido e PD = plantio direto.

A = aveia, V = vica, M = milho e C = caupi.

(1) De 1985 a 1993 (9 anos) a adubação com N mineral foi 120 kg ha<sup>-1</sup> e a partir de 1994 (4 anos) 180 kg ha<sup>-1</sup>.

## **4.2. Adições de carbono pelos sistemas de cultura**

Neste item considerou-se a adição de C pela parte aérea acrescida de 30 % devido à adição pelo sistema radicular e exsudatos.

### **4.2.1. Culturas de cobertura**

As quantidades de C adicionado pelas culturas de cobertura, obtidas na média dos três preparos do solo encontram-se na Tabela 4 e Apêndices 7 e 8. Observa-se que, de um modo geral, os sistemas com leguminosas adicionaram maiores quantidades de C, embora a aveia apresente uma pequena vantagem na adição média de C quando em tratamentos com adição de N mineral no milho em relação à adição de C observada em tratamentos sem aplicação de N mineral. O sistema com as leguminosas vica e caupi (A+V/M+C) tem apresentado maior adição anual de C na ausência de adubação nitrogenada, a qual pode ser atribuída à contribuição direta da matéria seca do caupi e ao fornecimento de N ao consórcio aveia+vica, que o sucede (Tabela 4).

Na comparação entre os métodos de preparo do solo (Tabela 5) verificam-se adições similares, porém com tendência a serem maiores no preparo convencional. Isto ocorre em função da incorporação dos resíduos culturais ao solo e maior mineralização dos mesmos e da matéria orgânica, provocadas pelo maior revolvimento neste método de preparo. Pela média dos sistemas de cultura dentro de cada método de preparo (Tabela 5) esta tendência se manteve. Na comparação das adições de C pela aveia do sistema A/M entre os dois níveis de N, observa-se uma tendência a maiores adições na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, embora o N tenha sido aplicado somente no milho. Isto evidencia o fornecimento de N pela mineralização da MOS e dos resíduos do milho.

TABELA 4. Carbono adicionado pelas culturas de cobertura, durante treze anos, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PvD), sob três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral ao milho. Médias de três métodos de preparo do solo e três repetições por preparo. EEA-UFRGS, 1998.

Safr	Ano	0 N			180 kg ha <sup>-1</sup> de N <sup>(1)</sup>		
		A/M	V/M	A+V/M+C	A/M	V/M	A+V/M+C
.....Mg ha <sup>-1</sup> .....							
85/86	1°	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
86/87	2°	1,00	2,06	3,29	1,67	2,48	3,38
87/88	3°	1,16	1,40	2,50	1,40	1,58	2,15
88/89	4°	1,27	3,65	3,83	1,42	3,27	3,63
89/90	5°	1,70	2,75	3,73	2,03	3,00	3,56
90/91	6°	2,12	3,32	3,96	2,34	3,61	3,89
91/92	7°	2,49	3,07	4,21	2,91	3,64	3,91
92/93	8°	2,18	3,01	4,56	2,48	3,43	4,42
93/94	9°	1,42	2,21	4,14	1,99	2,08	3,12
94/95	10°	1,48	2,28	4,16	1,33	3,04	3,29
95/96	11°	1,90	2,15	4,94	2,67	2,01	3,72
96/97	12°	1,92	2,57	4,18	2,67	2,40	3,15
97/98	13°	0,90	2,29	4,01	1,51	1,58	2,72
Total		20,88	32,09	48,85	25,75	33,45	42,29
Média anual		1,61	2,47	3,76	1,98	2,57	3,25

A = aveia, V = vica, M = milho e C = caupi.

(1) De 1985 a 1993 (9 anos) a adubação com N mineral no milho foi 120 kg ha<sup>-1</sup> e a partir de 1994 (4 anos) 180 kg ha<sup>-1</sup>.

TABELA 5. Adição de carbono por culturas de cobertura em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVD), sob três métodos de preparo do solo, três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral ao milho. EEA-UFRGS, 1998.

Preparos	Culturas	0 N		180 kg ha <sup>-1</sup> de N <sup>(1)</sup>	
		Média anual	Total em 13 anos	Média anual	Total em 13 anos
----- Mg ha <sup>-1</sup> -----					
PC	A/M	1,58	20,54	1,88	24,44
	V/M	2,61	33,93	2,74	35,62
	A+V/M+C	3,86	50,18	3,35	43,55
	Média	2,68	34,88	2,66	34,54
PR	A/M	1,60	20,80	2,04	26,52
	V/M	2,43	31,59	2,62	34,06
	A+V/M+C	3,76	48,88	3,31	43,03
	Média	2,60	33,76	2,66	34,54
PD	A/M	1,64	21,32	2,03	26,39
	V/M	2,36	30,68	2,36	30,68
	A+V/M+C	3,66	47,50	3,09	40,17
	Média	2,55	33,17	2,49	32,41

PC = preparo convencional, PR = preparo reduzido e PD = plantio direto.

A = aveia, V = vicia, M = milho e C = caupi.

(1) De 1985 a 1993 a adubação com N mineral ao milho foi de 120 kg ha<sup>-1</sup> e a partir de 1994 180 kg ha<sup>-1</sup>.

#### 4.2.2. Milho

As adições de carbono pelo milho ao longo dos treze anos de observação, na média dos preparos do solo, encontram-se na Tabela 6 e Apêndice 9. No sistema A/M sem N mineral, a adição de C foi próxima à metade do que A/M com adição de N, mostrando a grande contribuição do N mineral na produção de fitomassa pelo milho, embora não tenha ocorrido transferência de N, via fitomassa do milho, para a aveia subsequente. Na média do período avaliado a presença de leguminosas, tanto no sistema V/M como A+V/M+C, proporcionou, na ausência de N mineral, acréscimo de aproximadamente 42 % nas adições de C pelo milho em relação ao sistema A/M. Na presença de N mineral no milho este acréscimo chegou a 95 %. Nos últimos anos a contribuição relativa das leguminosas vem aumentando devido ao efeito cumulativo de N no solo. Como exemplo, observa-se que a contribuição das leguminosas no acréscimo da adição de carbono pelo milho, no 13º ano, foi de 123 % e quando associadas à aplicação de adubo nitrogenado foi de 176 % em relação ao sistema A/M 0 N. Com N mineral, o milho nos três sistemas de cultura apresentou adições similares de C, próximas a  $5 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . Na produção de grãos (Tabelas 2 e 3) o efeito das leguminosas foi de aproximadamente 67 % e, de 175 %, quando o N mineral foi associado às leguminosas. Estes resultados evidenciam que as maiores quantidades de N presentes foram preferencialmente utilizadas no aumento da produção de grãos (Tabelas 2, 3 e 4) em relação ao aumento produção de biomassa de resíduos contendo C.



TABELA 6. Adição anual de carbono pelo milho, no período experimental de 13 anos, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral. Médias de três métodos de preparo do solo e três repetições por preparo. EEA-UFRGS, 1998.

Safr	Ano	0 N			180 kg ha <sup>-1</sup> de N <sup>(1)</sup>		
		A/M	V/M	A+V/M+C	A/M	V/M	A+V/M+C
.....Mg ha <sup>-1</sup> .....							
85/86	1°	2,74	2,78	2,35	3,55	3,04	2,80
86/87	2°	1,63	1,99	1,87	2,97	3,02	3,28
87/88	3°	2,33	2,45	2,47	4,16	3,98	4,24
88/89	4°	2,64	4,49	4,97	5,46	6,42	6,19
89/90	5°	2,66	2,89	2,84	3,99	3,94	3,85
90/91	6°	1,72	2,52	2,47	5,04	4,85	4,88
91/92	7°	2,61	3,34	3,21	4,94	4,82	4,95
92/93	8°	2,19	2,59	2,84	3,44	3,61	3,68
93/94	9°	3,15	4,44	4,26	4,84	5,14	5,33
94/95	10°	2,37	3,47	3,32	4,22	4,54	4,23
95/96	11°	3,82	6,76	5,83	8,31	8,69	8,68
96/97	12°	2,20	3,77	3,57	4,94	4,87	4,69
97/98	13°	2,43	5,41	5,43	6,72	6,68	6,76
Em 13 anos		32,48	46,92	45,43	62,58	63,61	63,54
Média anual		2,50	3,61	3,49	4,81	4,89	4,89

A = aveia, V = vica, M = milho e C = caupi.

(1) De 1985 a 1993 a adubação com N mineral foi 120 kg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e a partir de 1994 180 kg ha<sup>-1</sup>.

Entre os preparos, houve uma pequena tendência a maiores adições de C nos preparos convencional e reduzido em relação ao plantio direto (Tabela 7), evidenciando que o maior revolvimento do solo, e conseqüente maior liberação de N da MOS, favoreceu maiores adições de C pelo milho. Este comportamento também foi verificado nas adições de C pelas culturas de cobertura, embora imediatamente antes destas o solo não tenha sido revolvido.

#### **4.2.3. Total (culturas de cobertura e o milho)**

A adição total de carbono pelo somatório das adições das culturas de cobertura e do milho, dentro de cada sistema de cultura, no período de 13 anos, consta nas Tabelas 8, 9, Apêndice 10 e na Figura 3. Estes dados evidenciam a superioridade do sistema de cultura A+V/M+C, tanto com como sem adição de N mineral no milho, na sua capacidade de aumentar a adição de C ao solo. Das 52,5 Mg ha<sup>-1</sup> a mais produzidas por este sistema, com N mineral, em relação ao A/M sem N, 11,6 Mg ha<sup>-1</sup> podem ser imputadas ao N mineral e 40,9 Mg ha<sup>-1</sup> às leguminosas vica e caupi.

A Figura 3 evidencia a variação das adições com o aumento de espécies no sistema de cultura. O N mineral adicionado e o N fixado pelas leguminosas favoreceram especialmente o aumento na biomassa de resíduos do milho, que sendo uma cultura de elevado potencial produtivo reflete positivamente a melhor condição de nutrição nitrogenada oferecida pela presença de leguminosas associadas à adição de N mineral no milho.

TABELA 7. Adição de carbono pelo milho em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob três métodos de preparo do solo, três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral. EEA-UFRGS, 1998.

Preparos	Culturas	0 N		180 kg ha <sup>-1</sup> de N <sup>(1)</sup>	
		Média anual	Total em 13 anos	Média anual	Total em 13 anos
----- Mg ha <sup>-1</sup> -----					
PC	A/M	2,65	34,45	4,79	62,27
	V/M	3,85	49,92	5,08	66,40
	A+V/M+C	3,66	47,58	5,04	65,52
	Média	3,39	43,98	4,97	64,73
PR	A/M	2,57	33,41	5,05	65,65
	V/M	3,55	46,15	4,85	63,05
	A+V/M+C	3,59	46,67	4,88	63,44
	Média	3,23	42,08	4,78	64,05
PD	A/M	2,28	29,64	4,60	59,80
	V/M	3,44	44,72	4,75	61,75
	A+V/M+C	3,24	42,12	4,74	61,62
	Média	2,99	38,83	4,70	61,06

PC = preparo convencional, PR =preparo reduzido e PD = plantio direto.

A = aveia, V = vica, M = milho e C = caupi.

(1) De 1985 a 1993 a adubação com N mineral no milho foi 120 kg ha<sup>-1</sup> e a partir de 1994 180 kg ha<sup>-1</sup>.

TABELA 8. Carbono adicionado em treze anos pelos sistemas de cultura (milho+culturas de cobertura de inverno e verão) em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral no milho. Médias de cada sistema de cultura nos três métodos de preparo do solo. EEA-UFRGS, 1998.

Safrá	Ano	0 N			180 kg ha <sup>-1</sup> de N <sup>(1)</sup>		
		A/M	V/M	A+V/M+C	A/M	V/M	A+V/M+C
.....Mg ha <sup>-1</sup> .....							
85/86	1°	4,07	4,12	3,69	4,89	4,37	4,14
86/87	2°	2,62	4,05	5,16	4,65	5,50	6,66
87/88	3°	3,49	3,85	4,97	5,56	5,56	6,39
88/89	4°	3,91	8,13	8,80	6,87	9,69	9,82
89/90	5°	4,36	5,65	6,56	6,02	6,94	7,42
90/91	6°	3,84	5,84	6,43	7,38	8,46	8,77
91/92	7°	5,10	6,41	7,42	7,85	8,45	8,86
92/93	8°	4,37	5,61	7,41	5,92	7,04	8,10
93/94	9°	4,57	6,66	8,40	6,83	7,22	8,44
94/95	10°	3,86	5,75	7,47	5,54	7,58	7,51
95/96	11°	5,72	8,91	10,77	10,97	10,70	12,40
96/97	12°	4,11	6,34	7,76	7,61	7,28	7,84
97/98	13°	3,33	7,70	9,44	8,23	8,26	9,48
Em 13 anos		53,37	79,01	94,28	88,32	97,07	105,83
Média anual		4,11	6,08	7,25	6,79	7,47	8,14

A = aveia, V = vica, M = milho e C = caupi.

(1) De 1985 a 1993 (9 anos) a adubação com N mineral foi de 120 kg ha<sup>-1</sup> e a partir de 1994 (4 anos) 180 kg ha<sup>-1</sup>.

TABELA 9. Adições de carbono, médias anuais e total em 13 anos, pelos sistemas de cultura em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (Pvd) sob três métodos de preparo e dois níveis de adição de N mineral. Médias de três repetições. EEA-UFRGS, 1998.

Preparos	Culturas	0 N		180 kg ha <sup>-1</sup> de N <sup>(1)</sup>	
		Média anual	Total em 13 anos	Média anual	Total em 13 anos
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----					
PC	A/M	4,23	54,99	6,67	86,71
	V/M	6,45	83,85	7,82	101,66
	A+V/M+C	7,52	97,76	8,39	109,07
	Média	6,07	78,87	7,63	99,15
PR	A/M	4,17	54,21	7,09	92,17
	V/M	5,98	77,74	7,47	97,11
	A+V/M+C	7,35	95,55	8,19	106,47
	Média	5,83	75,83	7,58	98,58
PD	A/M	3,92	50,96	6,63	86,19
	V/M	5,80	75,40	7,11	92,43
	A+V/M+C	6,90	87,70	7,83	101,79
	Média	5,35	69,55	7,19	93,47

PD = preparo convencional, PR = preparo reduzido e PD = plantio direto

A = aveia, V = vica, M = milho e C = caupi.

(1) De 1985 a 1993 (9 anos) a adubação com N mineral no milho foi 120 kg ha<sup>-1</sup> e a partir de 1994 (4 anos) 180 kg ha<sup>-1</sup>.

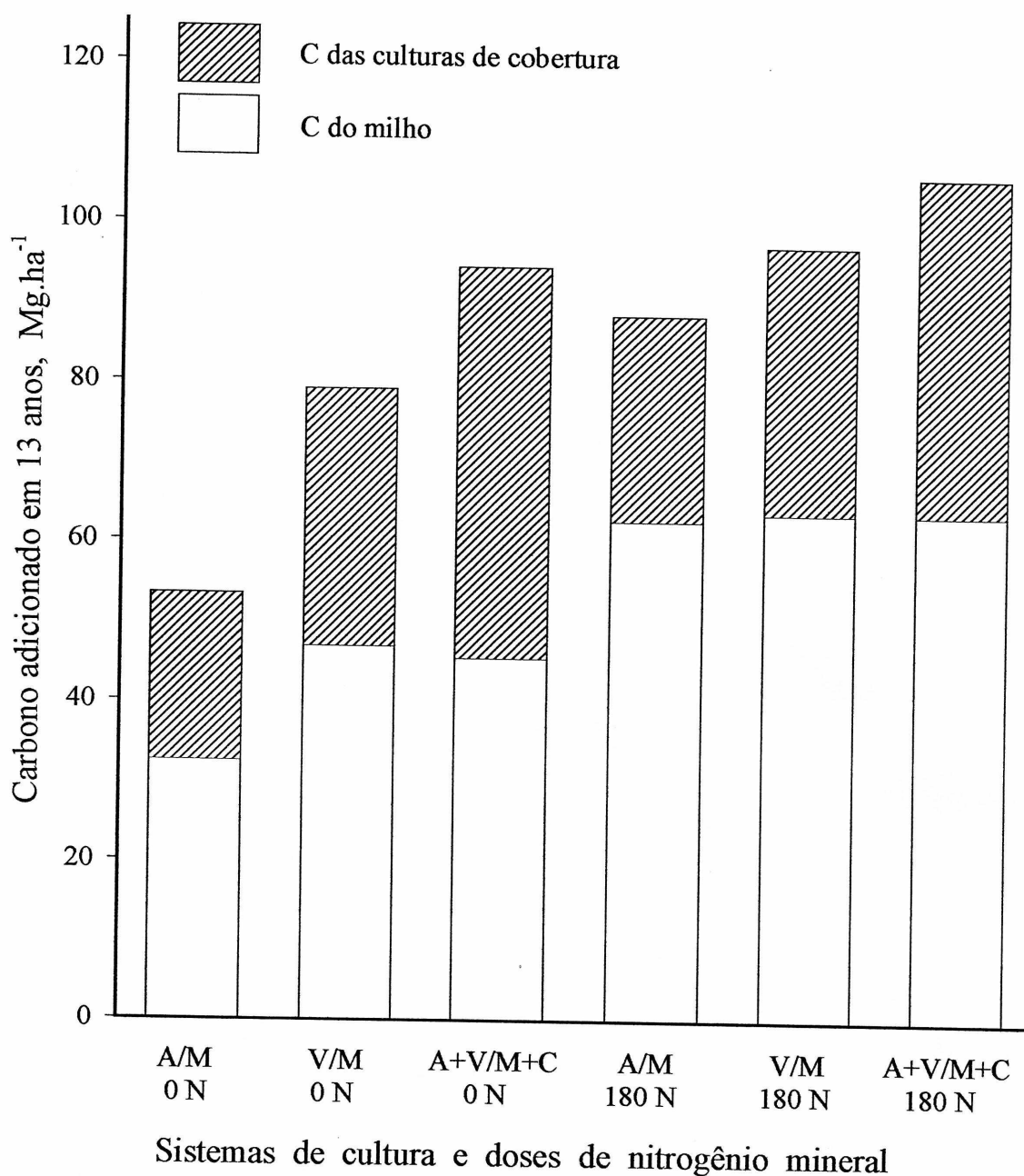


FIGURA 3. Adição de carbono pelos resíduos de parte aérea, raízes e exsudatos dos sistemas de cultura em 13 anos. Médias dos métodos de preparo do solo. A=aveia, V=vica, M=milho e C=caupi. 0 N = sem N mineral e 180 N = 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral no milho (de 1985 a 1993 (9 anos) a adubação com N mineral no milho foi 120 kg ha<sup>-1</sup> e a partir de 1994 (4 anos) 180 kg ha<sup>-1</sup>). EEA-UFRGS, 1998.

Fica clara, também na Figura 3, a contribuição do milho no sistema, devido à adição de resíduos e C ao solo, que é superior à adição das culturas de cobertura do solo no inverno, com exceção do tratamento A+V/M+C 0 N, onde a adição de C das culturas de cobertura foi superior à adição de C do milho. Esta situação pode ser atribuída a presença do caupi, que estando consorciado com o milho compete com o mesmo, ao mesmo tempo em que contribui com C no compartimento atribuído às culturas de cobertura.

Bayer et al. (2000), em trabalho realizado nos nove anos iniciais, no mesmo experimento deste estudo, obtiveram estimativas de adições de C similares às do presente trabalho. Estes autores realizaram suas estimativas a partir de dados de Burle et al. (1997), que utilizaram o experimento adjacente a este, com dez sistemas de cultura sob plantio direto. Isto evidencia o bom ajuste dos dados do presente trabalho. Gonçalves (1997), em pesquisa realizada em um experimento similar, porém com adição de N mineral equivalente à metade da utilizada neste trabalho, obteve adições de C de 2,01 Mg ha<sup>-1</sup> para a aveia preta, 1,58 Mg ha<sup>-1</sup> para a vica, 2,26 Mg ha<sup>-1</sup> para o milho após aveia e 2,74 Mg ha<sup>-1</sup> para o milho após vica. Os dados originais deste autor, que são para C adicionado pela parte aérea das culturas, aqui já estão citados com um acréscimo de 30 % para computar o C adicionado pelo conjunto de raízes mais exsudatos e possibilitar comparação com os dados do presente trabalho. Calculadas considerando cada sistema de cultura as somas da adição de C por aveia/milho e vica/milho foram respectivamente, 4,27 e 4,32 Mg ha<sup>-1</sup>. Estes dados foram obtidos com aplicação de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral no milho. No presente estudo, na média dos 13 anos as adições estimadas de C foram de 4,11 e 6,08 Mg ha<sup>-1</sup> sem N e 6,79 e 7,47 Mg ha<sup>-1</sup> com a aplicação média de 139 kg ha<sup>-1</sup> de N no milho, nos tratamentos A/M e V/M respectivamente. Considerando apenas os 6 primeiros anos (120 kg ha<sup>-1</sup> de N



mineral no milho) estas médias foram de 3,72, 5,27, 5,89 e 6,75 Mg ha<sup>-1</sup> para A/M e V/M 0 e 180 N respectivamente.

### **4.3. Reciclagem, adições e retiradas de N pelos sistemas de cultura**

Neste item serão apresentados e discutidos os resultados da reciclagem, adições e retiradas de N pelos sistemas de cultura. Para incluir a contribuição do sistema radicular e dos exsudatos considerou-se 20 % de acréscimo ao N da parte aérea.

Para o cálculo da reciclagem de N pelas culturas de cobertura foi adotado o valor de N absorvido pela aveia em cada um dos três métodos de preparo e nos dois níveis de N mineral (Tabela 10, coluna III, e Apêndice 11). Descontado este valor do N contido na biomassa da vica e do consórcio aveia+vica, o excedente foi considerado N adicionado pela fixação simbiótica da espécie leguminosa (Tabela 10, coluna IV). A aveia do sistema A/M (Tabelas 10 e 11), recicla quantidades semelhantes de N, tanto com adição de N como sem adição de N mineral, uma vez que a adição do N mineral via adubação é feita exclusivamente no milho. Este comportamento se diferencia no preparo reduzido, onde a aveia reciclou uma quantidade de N 28 % superior quando o milho recebeu N mineral.

No cálculo da reciclagem de N pela cultura do milho (Tabela 10, coluna V, e Apêndice 12), levou-se em conta que, como a aveia, o milho apenas recicla N do solo, retirando parte via grãos (Tabela 10, coluna VI, e Apêndice 13) e devolvendo quantidades importantes via resíduos.

TABELA 10. Valores médios anuais estimados de nitrogênio total adicionado, reciclado e retirado pelos sistemas de cultura nos preparos do solo e níveis de N em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PvD) da EEA-UFRGS. Médias de 13 anos de observação e três repetições.

Preparo	Sistemas Cultura	N aplicado via adubo (I)	Culturas de cobertura			Milho		Nitrogênio total reciclado <sup>(2)</sup> (VII)	Nitrogênio total adicionado <sup>(3)</sup> (VIII)	Nitrogênio total depositado sobre o solo <sup>(4)</sup> (IX)
			N total acumulado (II)	N absorvido pela Aveia (III)	N fixado <sup>(1)</sup> (IV)	N absorvido (V)	N retirado nos grãos (VI)			
..... kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> .....										
PC	A/M	0	40	40	0	23	21	63	-21	42
	V/M	0	133	40	93	47	44	87	49	136
	A+V/M+C	0	180	40	140	40	38	80	102	182
PR	A/M	0	36	36	0	22	20	58	-20	38
	V/M	0	125	36	89	40	38	76	51	127
	A+V/M+C	0	170	36	134	41	38	77	96	173
PD	A/M	0	37	37	0	18	16	55	-16	39
	V/M	0	114	37	77	42	39	79	38	117
	A+V/M+C	0	156	37	119	38	36	75	83	158
PC	A/M	139	42	42	0	73	70	115	69	184
	V/M	139	131	42	89	73	71	115	157	272
	A+V/M+C	139	150	42	108	72	69	114	178	292
PR	A/M	139	46	46	0	75	72	121	67	188
	V/M	139	132	46	86	71	68	117	157	274
	A+V/M+C	139	141	46	95	72	69	118	165	283
PD	A/M	139	42	42	0	70	67	112	72	184
	V/M	139	110	42	68	72	70	114	137	251
	A+V/M+C	139	134	42	92	74	71	116	160	276

PD = preparo convencional, PR = preparo reduzido e PD = plantio direto.

A = aveia, V = vica, M = milho e C = caupi.

(1) N fixado = Colunas II – III

(2) N total reciclado = Colunas III + V

(3) N total adicionado = Colunas (I + IV) – VI

(4) N total depositado sobre o solo = Colunas (I+II+V) – VI

TABELA 11. Valores estimados de nitrogênio total adicionado, reciclado e retirado, em 13 anos, pelos sistemas de cultura nos preparos do solo e níveis de N em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd). Médias de três repetições. EEA-UFRGS, 1998.

Preparo	Sistemas Cultura	N aplicado via adubo (I)	Culturas de cobertura			Milho		Nitrogênio total reciclado <sup>(2)</sup> (VII)	Nitrogênio total adicionado <sup>(3)</sup> (VIII)	Nitrogênio total depositado sobre o solo (IX)
			N total acumulado (II)	N absorvido pela Aveia (III)	N fixado <sup>(1)</sup> (IV)	N absorvido (V)	N retirado nos grãos (VI)			
..... kg ha <sup>-1</sup> em 13 anos .....										
PC	A/M	0	520	520	0	299	273	819	-273	546
	V/M	0	1729	520	1209	611	572	1131	637	1768
	A+V/M+C	0	2340	520	1820	520	494	1040	1326	2366
PR	A/M	0	468	468	0	286	260	754	-260	494
	V/M	0	1625	468	1157	520	494	988	663	1651
	A+V/M+C	0	2210	468	1742	533	494	1001	1248	2249
PD	A/M	0	481	481	0	234	208	715	-208	507
	V/M	0	1482	481	1001	546	507	1027	494	1521
	A+V/M+C	0	2028	481	1547	494	468	975	1079	2054
PC	A/M	1807	546	546	0	949	910	1495	897	2392
	V/M	1807	1703	546	1157	949	923	1495	2041	3536
	A+V/M+C	1807	1950	546	1404	936	897	1482	2314	3796
PR	A/M	1807	598	598	0	975	936	1573	871	2444
	V/M	1807	1716	598	1118	923	884	1521	2041	3561
	A+V/M+C	1807	1833	598	1235	936	897	1534	2145	3679
PD	A/M	1807	546	546	0	910	871	1456	936	2392
	V/M	1807	1430	546	884	936	910	1482	1781	3263
	A+V/M+C	1807	1742	546	1196	962	923	1508	2080	3588

PD = preparo convencional, PR = preparo reduzido e PD = plantio direto

A = aveia, V = vica, M = milho e C = caupi.

(1) N fixado = Colunas II – III

(2) N total reciclado = Colunas III + V

(3) N total adicionado = Colunas (I + IV) – VI

(4) N total depositado sobre o solo = Colunas (I+II+V) – VI

Sem a adubação nitrogenada a presença das leguminosas no sistema dobrou a quantidade de N nos resíduos do milho. Embora a adubação nitrogenada tenha proporcionado isoladamente um grande aumento na quantidade de N dos resíduos do milho, não foi observado efeito das leguminosas sobre esta variável, quando o N mineral foi aplicado.

No conjunto da reciclagem de N pelas culturas de cobertura e pelo milho, observa-se na Tabela 10, coluna VII, em algumas situações, a grande quantidade de N que é reciclado nos sistemas de manejo ano após ano e o total no período de 13 anos (Tabela 11). Isto pode ser motivo de preocupação uma vez que alterações no sistema de manejo, como aumento na intensidade de revolvimento do solo e diminuição no aporte de resíduos, podem propiciar perdas de N prejudiciais para o ambiente. Com base nesta preocupação surge a necessidade de manter culturas em atividade de absorção na maior parte do ano, especialmente nos períodos em que ocorrem maiores liberações de N dos resíduos e da decomposição da MOS.

A adição de N pelas culturas de cobertura ocorre pela deposição de resíduos contendo N na superfície e pela parte contida nas raízes e exsudatos. No sistema de cultura A/M sem adição de N mineral os aportes externos de N são mínimos, ocorrendo somente retiradas de N do solo pelas plantas. Parte deste N retorna ao solo pelos resíduos, correspondendo a reciclagem, e parte é exportado pelos grãos de milho colhidos, reduzindo a cada safra o conteúdo de NT do solo, uma vez que o N utilizado pelo milho é proveniente quase que exclusivamente da MOS via mineralização. Nos sistemas com leguminosas e nos tratamentos com adubação nitrogenada mineral ocorre adição real deste nutriente ao sistema solo - planta. Porém, para se configurar em aumento no NT do solo, é necessário que a soma da exportação

via grãos e das perdas para o ambiente por lixiviação e denitrificação sejam menores do que a adição realizada.

A vica e o caupi, especialmente quando estas espécies encontram-se presentes no mesmo sistema de cultura (A+V/M+C), têm proporcionado adições anuais elevadas de N, conforme dados da Tabela 10, coluna IV, em ambos os níveis de N mineral, com tendência a serem maiores na ausência de adubação nitrogenada no milho. A maior contribuição nas adições de N pelas culturas de cobertura no sistema de cultura A+V/M+C se deve à contribuição do N fixado pelo caupi e sua disponibilidade para a aveia que o sucede em consórcio com a vica.

A adição de N mineral pelo adubo nitrogenado foi, do 1º ao 9º ano, de 120 kg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, e, do 10º até o 13º ano, de 180 kg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, correspondendo no período de 13 anos a uma média de 139 kg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Tabela 10), e um total adicionado de 1807 kg ha<sup>-1</sup> no período (Tabela 11).

Em relação à adição total de N, anual e em 13 anos (Tabelas 10 e 11, coluna VIII), observa-se a capacidade do sistema A+V/M+C em adicionar mais N do que os demais sistemas nos dois níveis de N mineral, evidenciando a importância da presença, no mesmo sistema, de leguminosas de estação fria, como a vica, e de estação quente, como o caupi. Na média dos preparos do solo, este sistema foi superior em 52 % em relação ao sistema V/M sem adubo nitrogenado e em 22 % com adição de adubo. Comparando-se os dois níveis de N mineral adicionado, na média dos preparos de solo, observa-se que a presença de N mineral proporcionou uma diminuição de N adicionado pelas leguminosas em 6 e 24 %, respectivamente para os sistemas V/M e A+V/M+C. A diminuição mais acentuada no tratamento com caupi (A+V/M+C) pode ser atribuída ao efeito inibidor do N mineral na nodulação do caupi e, em parte, ao maior desenvolvimento inicial do milho, na presença de N mineral, que prejudicou o



desenvolvimento do caupi, gerando menor fixação de N e, em consequência, menor aporte ao solo via resíduos em relação ao sistema somente com vicia no inverno (V/M).

Os dados referentes as quantidades totais de nitrogênio depositadas na superfície do solo, na unidade de área em um ano, encontram-se na Tabela 10, coluna IX. As grandes quantidades observadas aumentam a preocupação com o manejo do nitrogênio não só no sentido de instrumento para produtividades elevadas dos sistemas de cultura, mas especialmente para a afirmação da necessidade do cuidado com possíveis excessos que retornam ao ambiente.

Nas Tabela 10 e 11, coluna VIII, encontram-se os balanços anual e em 13 anos entre as quantidades adicionadas anualmente e as retiradas via grãos, evidenciando-se grandes diferenças proporcionada pelos sistemas com presença de leguminosas. Saldos negativos foram observados no sistema A/M sem adição de N mineral.

Estudos similares apresentam uma razoável amplitude de variação nas quantidades adicionadas de N, variando em função de situações específicas de solo, clima, local, variedades e sistemas de cultura utilizados (Aita et al., 1994; Gonçalves et al., 1997).

#### **4.4. Carbono orgânico (CO) no solo**

O carbono orgânico do solo será apresentado e discutido levando-se em conta o estoque existente no 13<sup>o</sup> ano experimental, a relação entre a quantidade de C adicionado em 13 anos e o CO do solo no 13<sup>o</sup> ano, as estimativas de liberação e seqüestro de CO<sub>2</sub> pelos sistemas de cultura e a distribuição do CO no perfil do solo.

#### 4.4.1. Carbono orgânico do solo no 13º ano experimental (1998)

As quantidades de CO existentes no solo, no 13º ano, nas camadas 0-17,5 cm e 0-30 cm, nos tratamentos de métodos de preparo do solo, sistemas de cultura e doses de N mineral no milho constam na Tabela 12 e Apêndices 14 e 15. Estes dados mostram o aumento do CO do solo pela adubação nitrogenada e diminuição do revolvimento do solo e presença de culturas que propiciam elevadas adições de resíduos. Na camada de 0-17,5 cm, a variação observada no 13º ano, entre os tratamentos PC A/M 0 N e PD A+V/M+C 0 N, foi de 11,89 Mg ha<sup>-1</sup>. Bayer (1996), no 9º ano, observou nos mesmos tratamentos e camada de solo uma diferença de 11,00 Mg ha<sup>-1</sup>, representando uma taxa de acúmulo anual de 1,22 Mg ha<sup>-1</sup>. Considerando os tratamentos PC A/M 0 N e PD A+V/M+C 180 N, a diferença foi de 13,77 Mg ha<sup>-1</sup>, representando uma taxa de acúmulo anual de 1,06 Mg ha<sup>-1</sup>. O decréscimo na taxa de acúmulo média anual é esperado uma vez que há uma tendência à estabilização dos estoques de CO com o passar do tempo.

#### 4.4.2. Relação entre C adicionado e CO no solo

A Figura 4 mostra a relação entre as quantidades totais de carbono adicionadas pelos sistemas de cultura nos três métodos de preparo do solo em 13 anos e as quantidades de CO do solo no 13º ano, na camada de 0-17,5 cm de profundidade. Observa-se a existência de correlação geral entre o aumento das adições e o aumento dos estoques de CO no solo. O preparo reduzido apresentou uma tendência a menor conversão do C adicionado em CO do solo nas maiores adições de C. Considerando-se a camada de 0-17,5 cm o PD apresentou uma conversão do C adicionado 55 % maior do que o PR no aumento do CO, enquanto que na camada de 0-30 cm este valor aumentou para 76 %.

TABELA 12. Conteúdo de carbono orgânico (CO) nas camadas de 0-17,5 e 0-30 cm de profundidade em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), no ano de instalação do experimento e 13 anos após, em solo submetido a três métodos de preparo, três sistemas de cultura e dois níveis de adubação nitrogenada no milho. Médias de três repetições. EEA-UFRGS, 1998.

Preparos	Culturas	Anos					
		1985 <sup>(1)</sup>		1998			
		Carbono Orgânico					
		0-17,5cm		0-30cm			
0-17,5cm	0-30cm <sup>(2)</sup>	0 N	180 N	0 N	180 N		
----- Mg ha <sup>-1</sup> -----							
PC	A/M	32,55	51,61	25,87	29,88	44,98	51,62
	V/M			27,90	31,58	47,41	52,37
	A+V/M+C			30,26	31,84	49,63	51,34
	Média			28,91	31,10	47,34	51,78
PR	A/M	32,55	51,61	29,20	30,16	49,32	50,81
	V/M			32,08	33,76	52,27	53,60
	A+V/M+C			32,63	33,88	51,80	54,67
	Média			31,30	32,60	51,13	53,03
PD	A/M	32,55	51,61	32,63	34,84 <sup>0,18</sup>	51,74	54,82
	V/M			35,08	37,33	53,71	58,19
	A+V/M+C			37,76 <sup>0,40</sup>	39,64 <sup>0,54</sup>	56,86	59,08
	Média			35,16	37,27	54,10	57,36
Campo Natural				44,76	67,22		

PC= Preparo convencional, PR= Preparo reduzido e PD= Plantio Direto.

A/M = aveia/milho, V/M= vica/milho e A+V/M+C= aveia+vica/milho+caupi

0 N = sem N mineral e 180 N = adição anual de N de 180 kg ha<sup>-1</sup> na cultura do milho.

(1) Freitas (1988).

(2) Estimado proporcionalmente ao valor observado na camada 0-30 cm, do tratamento PD A/M 0 N, por apresentarem valores semelhantes na camada 0-17,5 cm e o solo não ter sido revolvido após o início do experimento.



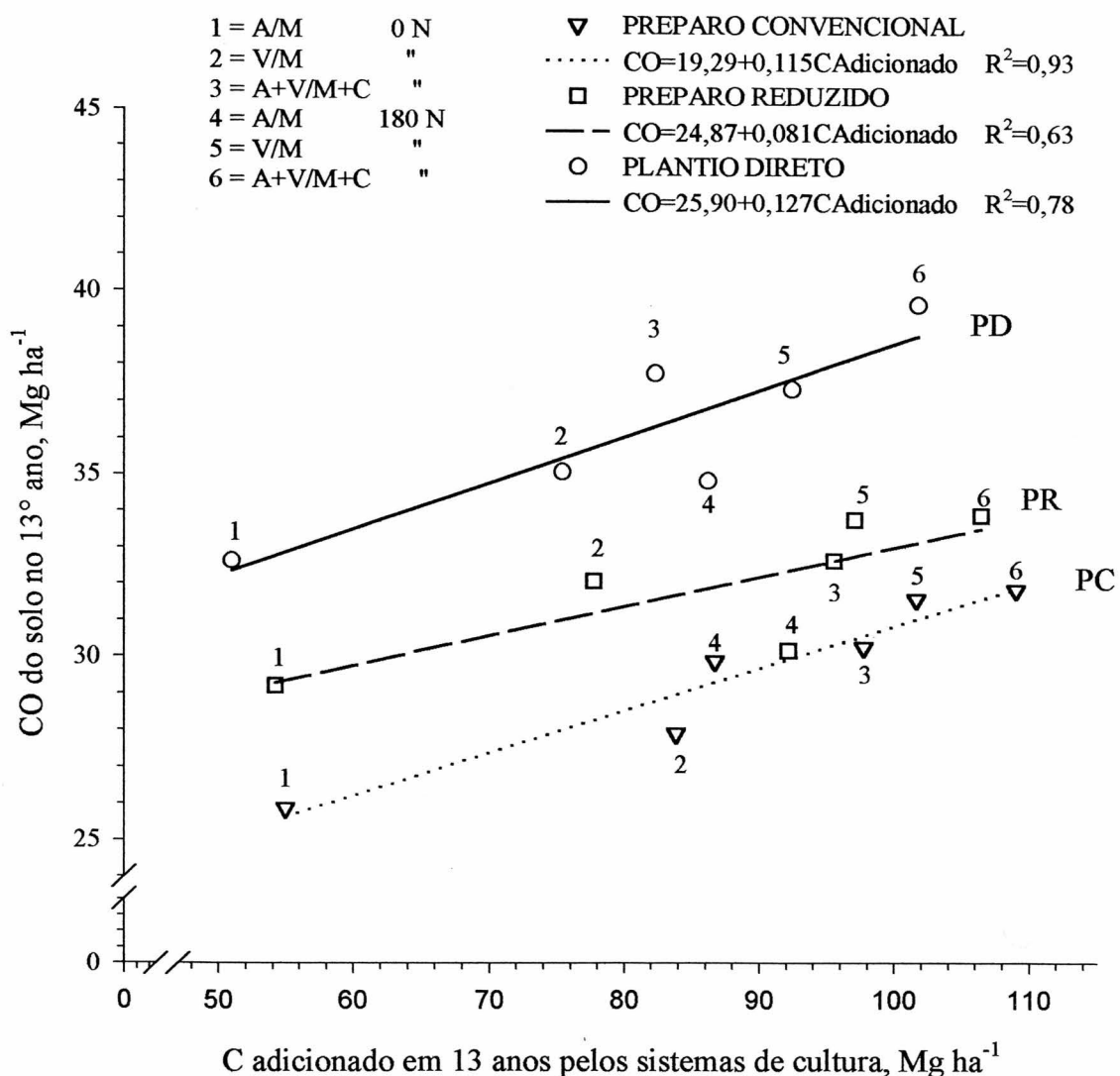


FIGURA 4. Carbono adicionado em 13 anos ao solo por três sistemas de cultura, sob dois níveis de N mineral no milho, em três métodos de preparo do solo e carbono orgânico (CO) do solo, na camada de 0-17,5cm, no 13º ano experimental, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd). EEA-UFRGS, 1998.

Em relação ao PC, o PD foi mais efetivo em 10 e 15 % para as camadas de 0-17,5 e 0-30 cm. O PC em relação ao PR foi superior em 42 e 52 % nas mesmas camadas (Tabela 12).

#### **4.4.3. Estimativas de perdas e acúmulos de CO pelo solo sob diferentes sistemas de cultura e intensidades de revolvimento**

Nas Figuras 5 e 6 constam os saldos líquidos estimados de perda e acúmulo de CO pelo solo nos sistemas de cultura sob diferentes métodos de preparo do solo. Inicialmente torna-se evidente a grande perda líquida ocorrida a partir do rompimento do campo natural (1970) até o início do experimento do presente estudo. Nesta situação e considerando a camada de 0-17,5 cm (Figura 5), o teor de CO partiu de 44,76 Mg ha<sup>-1</sup> e baixou para 32,55 Mg ha<sup>-1</sup>, correspondendo a uma perda líquida de 12,21 Mg ha<sup>-1</sup> de CO. Considerando-se a camada de 0-30 cm a perda líquida subiu para 15,61 Mg ha<sup>-1</sup> de CO.

Nos tratamentos estabelecidos a partir de 1985 (Figuras 5 e 6) verifica-se um aumento do acúmulo na medida em que aumenta a diversidade de culturas presentes no sistema e diminui o revolvimento do solo. Torna-se oportuno salientar que em todos os sistemas de cultura sob plantio direto, tanto com como sem adição de N mineral, o saldo foi positivo, isto é, ocorreu acúmulo de CO.

Na condição mais favorável, onde as perdas por erosão foram pequenas e as adições altas, como no caso do PD A+M/V+C 180 N, o acúmulo de CO no solo, na camada 0-17,5 cm, representa um seqüestro de 26,02 Mg ha<sup>-1</sup> de C-CO<sub>2</sub> em 13 anos, ou seja, 2,0 Mg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Os valores detalhados de C-CO<sub>2</sub> de todos os tratamentos encontram-se nos Apêndices 16, 17 e 18.

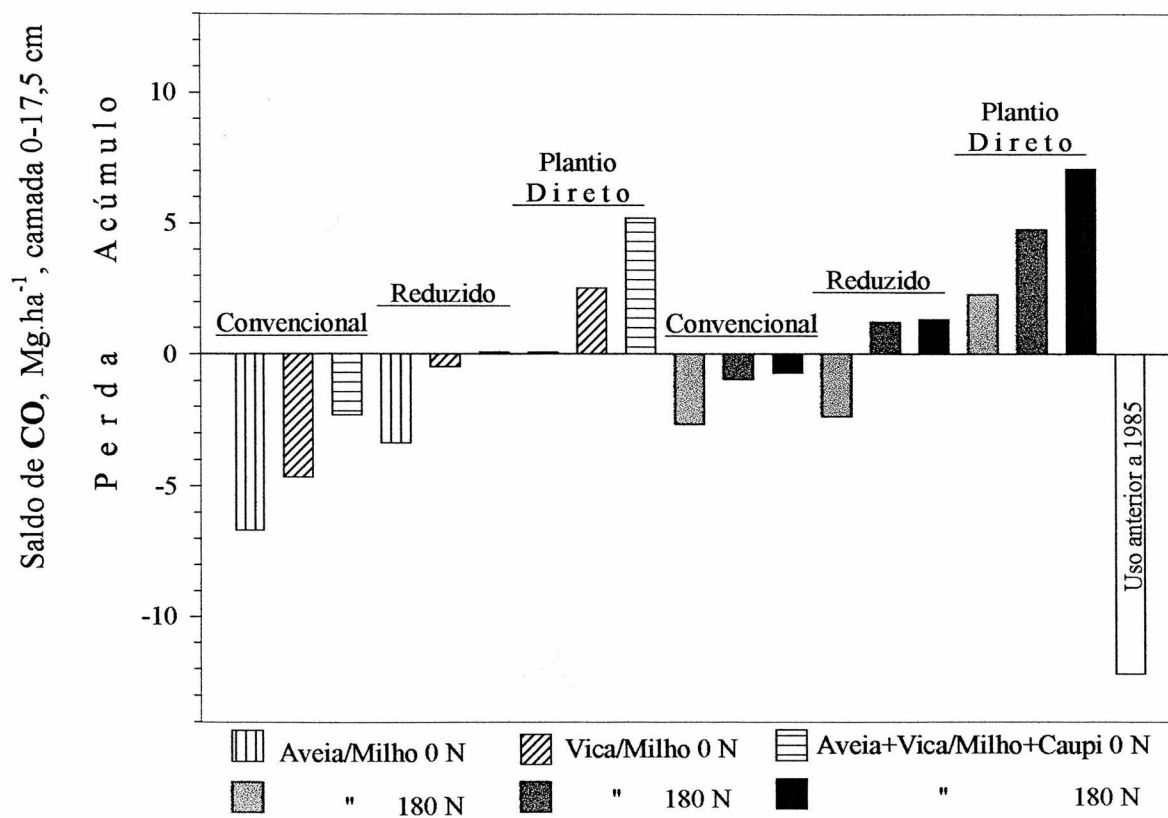


FIGURA 5. Saldo líquido de perda e acúmulo de carbono orgânico (CO) por um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (Pvd), após 13 de manejo sob três sistemas de cultura, três métodos de preparo do solo e dois níveis de adubação nitrogenada mineral, na camada de 0-17,5 cm e CO perdido a partir da ruptura do campo natural (1970) até o início do experimento (1985). EEA-UFRGS, 1998.

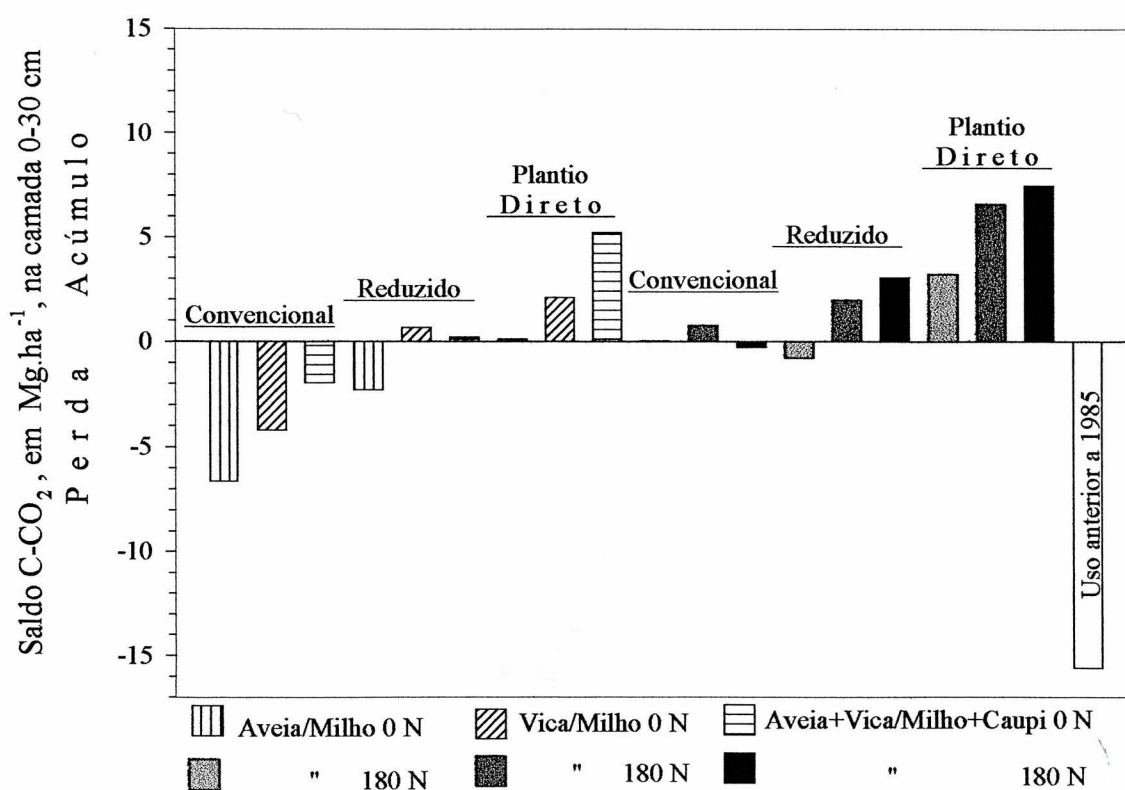


FIGURA 6. Saldo líquido de carbono orgânico (CO) acumulado e perdido por um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), após 13 de manejo sob três sistemas de cultura, três métodos de preparo do solo e dois níveis de adubação nitrogenada mineral, na camada de 0-30cm e CO perdido a partir da ruptura do campo natural (1970) até o início do experimento (1985). EEA-UFRGS, 1998.

#### **4.4.4. Distribuição do CO no perfil**

##### **4.4.4.1. Nos três sistemas de cultura, dentro de cada método de preparo do solo**

Na Figura 7 observa-se que os sistemas de cultura apresentaram uma tendência a promoverem maiores acúmulos de CO no solo em uma relação direta com as quantidades de C e N aportadas (Tabelas 8 e 11).

Em relação aos valores do ano inicial todos os sistemas de cultura, independente do preparo de solo utilizado, apresentaram adições insuficientes para impedir, no período considerado, decréscimos no CO nas sub-camadas mais profundas, isto comparando-se com o teor médio da área que foi feito com amostragem da camada 0-17,5 cm, não subdividida em sub-camadas. É provável que se a amostragem tivesse sido realizada nas mesmas sub-camadas das avaliações periódicas subsequentes seriam obtidos valores levemente decrescentes com a profundidade e seria possível uma comparação mais precisa com os valores atuais.

Comparando-se a capacidade de recuperação dos estoques de CO em relação ao campo natural, observa-se que os sistemas de cultura foram mais efetivos na medida em que diminuiu a intensidade de revolvimento do PC para o PD, especialmente quanto mais próxima da superfície estiver a sub-camada.



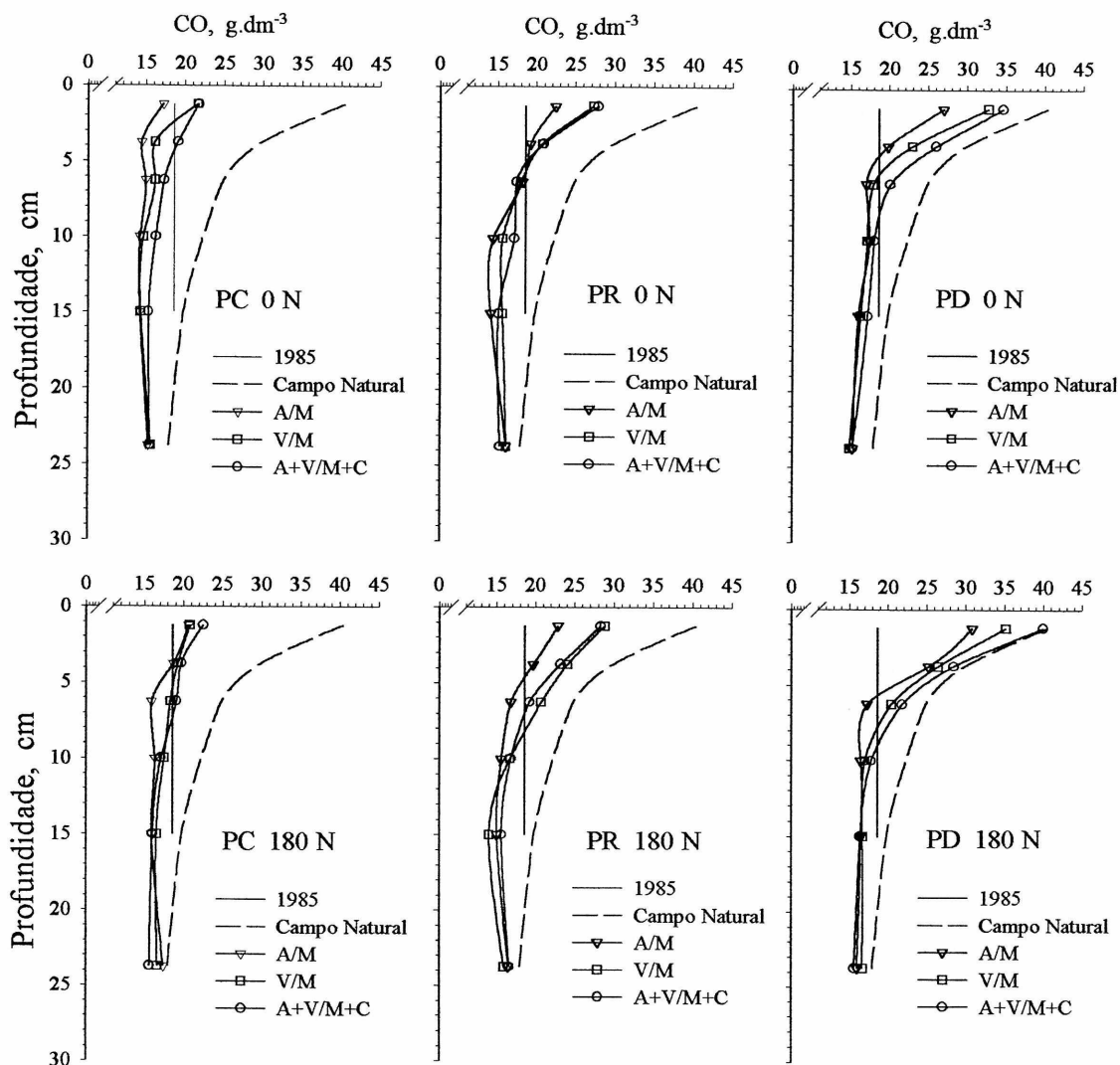


FIGURA 7. Teores de carbono orgânico (CO), em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), nos três sistemas de cultura, dentro de cada preparo de solo e nível de adição de N mineral, na camada de 0-30 cm. EEA-UFRGS, 1998.

Na Figura 7 evidencia-se também a contribuição da adubação nitrogenada no acúmulo de CO, com maior intensidade nos sistemas de cultura sob PD. Isto pode estar ocorrendo em função da menor taxa de mineralização da MOS, ocasionada pela baixa intensidade de revolvimento. Nesta condição o N do adubo nitrogenado tem seu aproveitamento maximizado em relação aos demais métodos de preparo, tanto na síntese da MOS como no favorecimento da produção de fitomassa contendo C e N.

#### **4.4.4.2. Nos três métodos de preparo, dentro de cada sistema de cultura**

Na Figura 8 pode-se observar que a intensidade de revolvimento do solo apresentou uma relação inversa com o acúmulo de CO, bem como sistemas de cultura com altas adições de C se destacaram na recuperação do CO do solo. A combinação de PD e alta adição de C, após 13 anos, praticamente se equívaleu ao campo nativo nas camadas superficiais.

#### **4.4.4.3. Nos tratamentos com extremos revolvimentos e adições**

Na Figura 9 pode-se visualizar a magnitude do efeito do grau de revolvimento do solo e das adições de C e N, comparando-se os tratamentos extremos, PC A/M 0 N e PD A+V/M+C 180 N. Considerando-se a camada 0-17,5 cm, estabeleceu-se uma diferença de 13,77 Mg ha<sup>-1</sup> no conteúdo de CO entre estes tratamentos. Entre os mesmos tratamentos (PC A/M e PD A+V/M+C), porém ambos com a aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, a diferença foi de 9,76 kg ha<sup>-1</sup>. A redução desta diferença de 11,89 Mg ha<sup>-1</sup> (PC A/M 0 N) para 9,76 Mg ha<sup>-1</sup> (PC A/M 180 N) deve-se ao maior efeito do N mineral sobre o acúmulo de CO no sistema de cultura A/M.

A diferença entre os tratamentos A/M 0 N e PD A+V/M+C 180 N na camada de 0-30 cm foi de 14,10 Mg ha<sup>-1</sup>. Embora um aumento de 12,5 cm em relação a camada 0-17,5 cm, correspondendo a 71 % de aumento na profundidade, o aumento de CO acumulado foi de 0,33 Mg ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 2,4 % do acumulado nos primeiros 17,5 cm..

Considerando-se a diferença de 14,10 Mg ha<sup>-1</sup> obtida nesta camada, no período de 13 anos, obtêm-se uma diferença média anual nos estoques de CO de 1,08 Mg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, para os tratamentos de menor (PC A/M 0 N) e maior (PD A+V/M+C 180 N) estoque respectivamente.



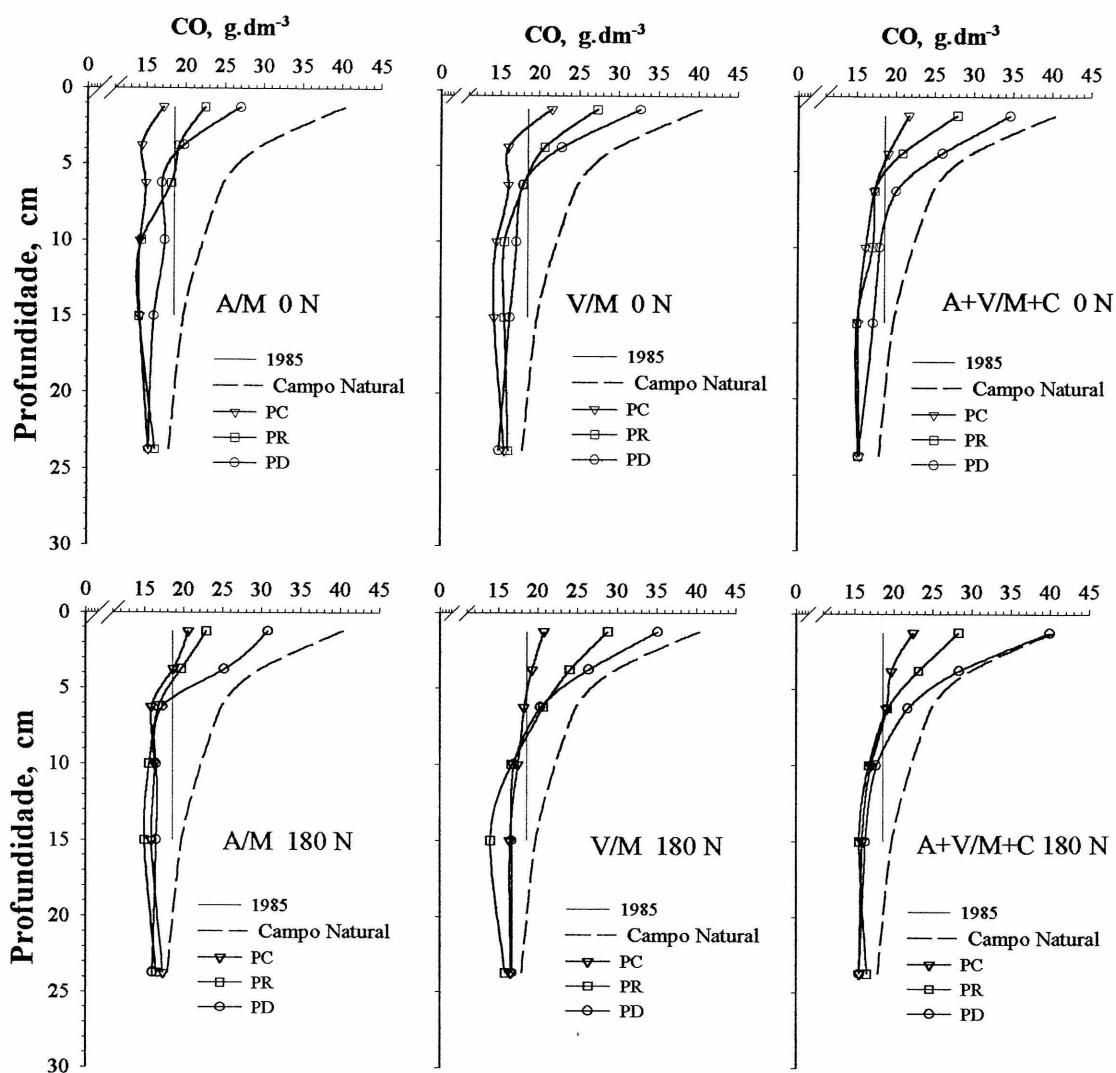


FIGURA 8. Teores de carbono orgânico (CO), em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PvD), nos três sistemas de cultura, dentro de cada preparo de solo e nível de adição de N mineral, na camada de 0-30 cm. EEA-UFRGS, 1998.

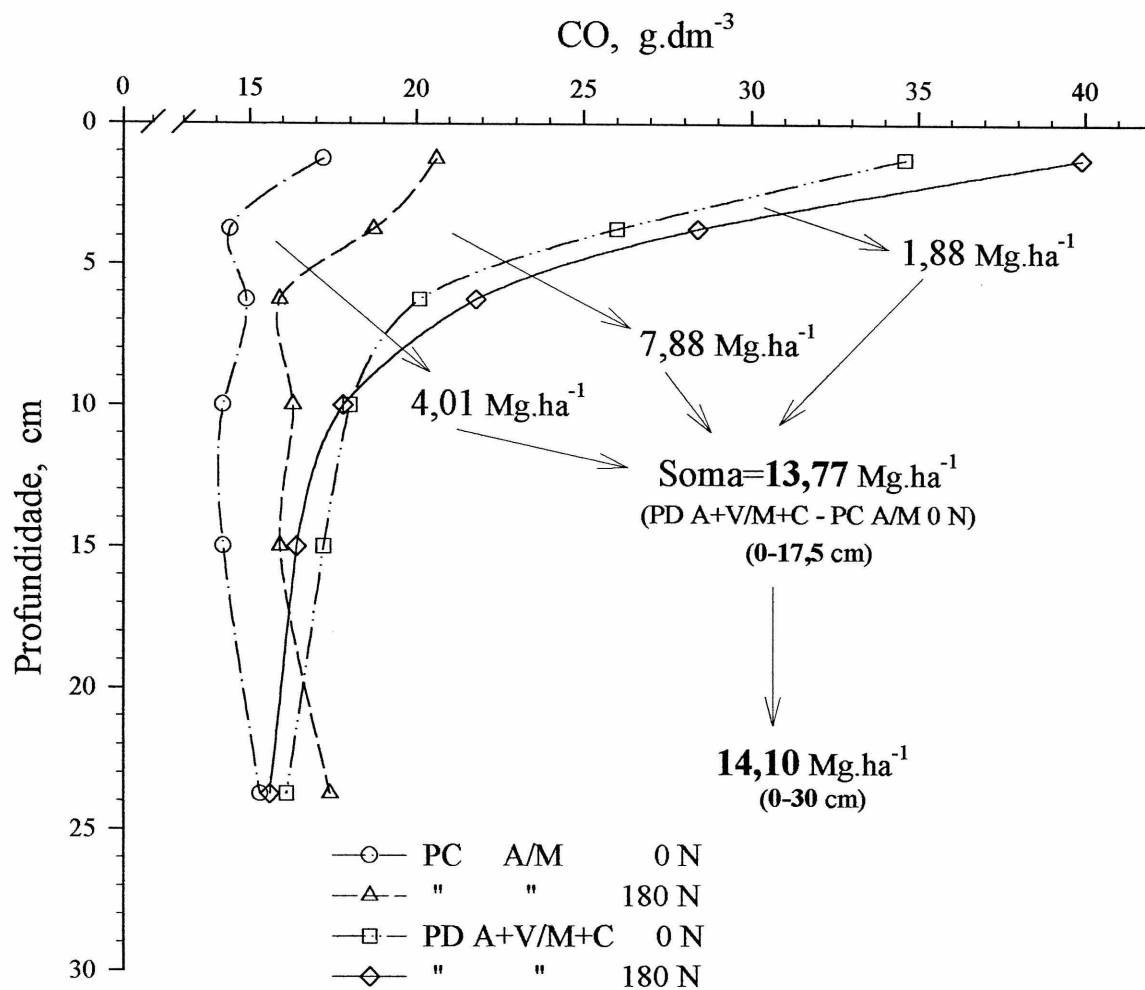


FIGURA 9. Carbono orgânico do solo (CO) nos tratamentos com situações extremas de revolvimento do solo e adições de carbono e nitrogênio, após 13 anos de manejo conhecido, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd). EEA-UFRGS, 1998.

#### **4.5. Nitrogênio total (NT) no solo**

##### **4.5.1. No 13º ano experimental (1998)**

Na Tabela 13 e Apêndices 19 e 20 encontram-se os valores de NT do solo no 13º ano nos tratamentos com e sem adição de N mineral no milho. Verifica-se que o N mineral adicionado foi suficiente para manter ou melhorar as reservas de NT na camada de 0-17,5 cm, com exceção do sistema de cultura aveia/milho, quando associado ao preparo convencional, que apresentou uma pequena diminuição (80 kg ha<sup>-1</sup> em 13 anos) em relação à quantidade no início do experimento. Os maiores acúmulos foram obtidos nos sistemas de cultura V/M e A+V/M+C associados ao plantio direto, que aumentaram respectivamente suas reservas NT no solo em 921 e 1087 kg ha<sup>-1</sup>, durante 13 anos, em relação ao sistema A/M associado ao preparo convencional, na camada 0-17,5 cm. As diferenças são ainda maiores quando são comparados o maior acúmulo obtido (PD A+V/M+C 180 N) com a situação de maior perda (PC A/M 0 N), com diferença de 1522 kg ha<sup>-1</sup>, no mesmo período. Com base nesta diferença obteve-se um aumento nos estoques de NT em uma taxa de 117 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

TABELA 13. Conteúdo de nitrogênio total (NT) nas camadas de 0-17,5 cm e 0-30 cm de um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (Pvd), no ano de instalação do experimento (1985) e 13 anos após (1998), em solo submetido a três métodos de preparo, três sistemas de cultura e dois níveis de adubação nitrogenada no milho. Médias de três repetições. EEA/UFRGS, 1998.

Preparos	Culturas	A n o s					
		1985 <sup>(1)</sup>		1998			
		Nitrogênio Total					
				0-17,5 cm		0-30 cm	
		0-17,5cm	0-30cm <sup>(2)</sup>	0 N	180 N	0 N	180 N
----- kg ha <sup>-1</sup> -----							
PC	A/M	2.713	4.336	2.197	2.632	3.594	4.306
	V/M			2.501	3.002	4.141	4.805
	A+V/M+C			2.762	3.030	4.429	4.724
	Média			2.487	2.888	4.055	4.612
PR	A/M	2.713	4.336	2.604	2.765	4.393	4.527
	V/M			2.848	3.088	4.670	4.769
	A+V/M+C			2.735	3.136	4.376	4.979
	Média			2.729	2.996	4.480	4.758
PD	A/M	2.713	4.336	2.551	3.025	4.077	4.638
	V/M			3.001	3.553	4.581	5.187
	A+V/M+C			3.265	3.719	4.804	5.541
	Média			2.939	3.432	4.487	5.122
Campo Natural				3.616		5.321	

PC= Preparo convencional, PR= Preparo reduzido e PD= Plantio direto.

A= Aveia, V= Vica, M= Milho e C= Caupi.

0 N = sem N mineral e 180 N = adição anual de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral.

(1) Freitas (1988).

(2) Estimado proporcionalmente ao valor observado na camada 0-30cm, no tratamento PD A/M 0 N, por apresentarem valores aproximados na camada de 0-17,5cm, o solo não ter sido revolvido e não ter ocorrido adição de N após o início do experimento.

3285  
- 2197  
-----  
1068

3025  
- 2632  
-----  
393

#### **4.5.2. Relação entre saldo líquido de N adicionado em 13 anos e NT do solo no 13° ano nas camadas de 0-17,5 e 0-30cm**

A correlação do saldo líquido de N adicionado em 13 anos (Tabela 11, coluna VIII) com as quantidades de NT do solo no 13° ano (Tabela 13) pode ser visualizada na Figura 10. Observa-se um comportamento análogo a esta mesma relação feita para o CO e C adicionado, porém com maior conversão do N adicionado em NT do solo do que C adicionado em CO do solo. Considerando-se a camada de 0-17,5 cm o PD proporcionou uma conversão de N adicionado em NT do solo 120 % maior do que o PR e 45 % maior que o PC, sendo este 65 % maior que o PR. Para a camada 0-30 cm os valores encontrados foram respectivamente 205, 29 e 137 %. Esta menor conversão do N adicionado em NT do solo no PR pode ser evidenciada pelo coeficiente menor ( $b=0,20$ ) em comparação ao do PD ( $b=0,48$ ) e PC ( $b=0,33$ ).

Uma característica do preparo reduzido (PR) adotado são os sulcos deixados pelo escarificador, que favorecem o deslocamento rápido de grande parte do adubo nitrogenado para maiores profundidades já no momento da sua aplicação. A água, tanto da chuva como da irrigação, associada à presença dos sulcos, favorece o deslocamento de N do adubo pela solubilização da uréia. Neste contexto do PR o adubo nitrogenado teve menor tempo de permanência junto as sub-camadas mais superficiais do solo o que pode ter afetado a sua conversão em N do solo na camada avaliada.

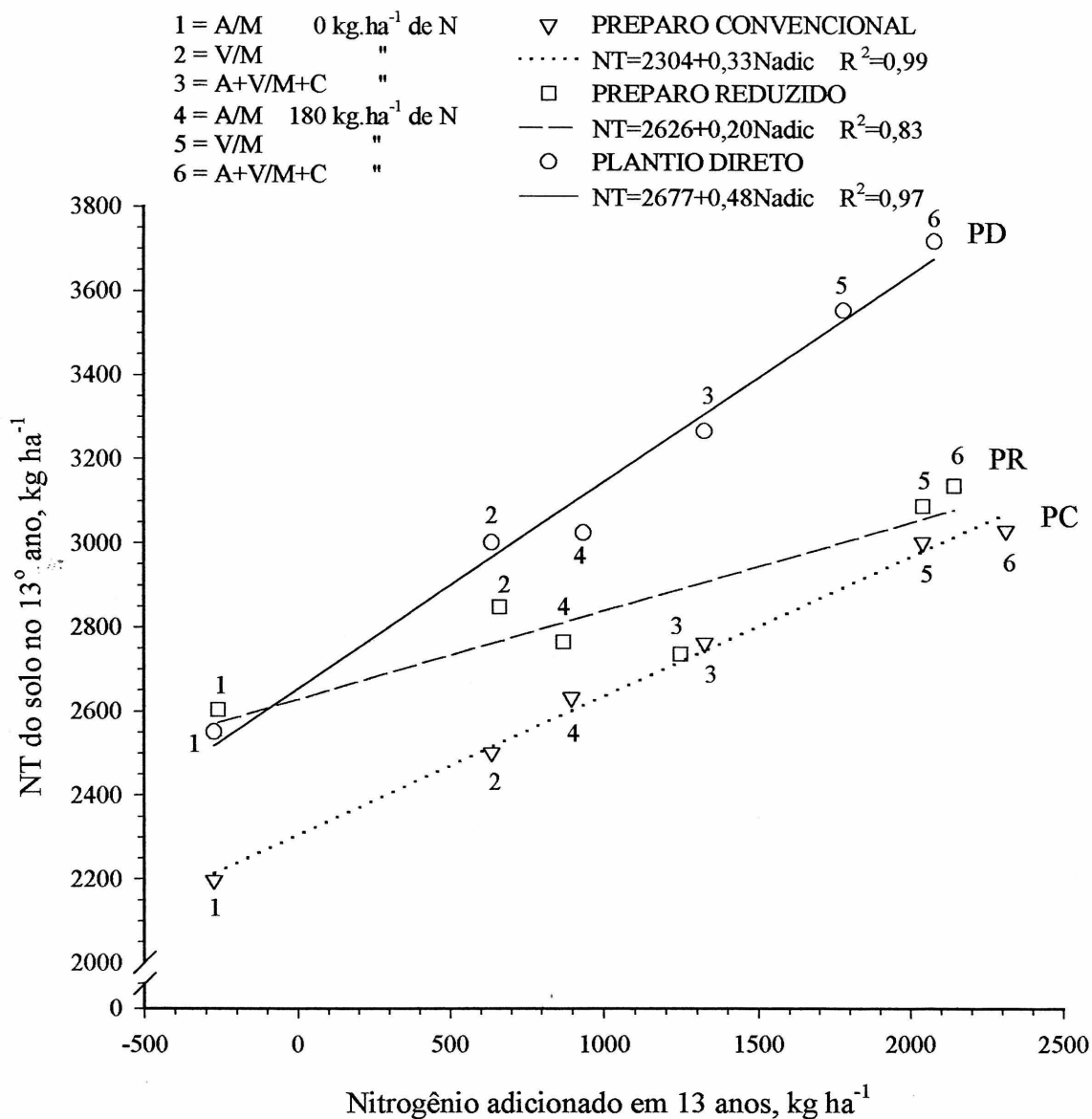


FIGURA 10. Relação entre nitrogênio adicionado (Nadic) por sistemas de cultura, com e sem N mineral no milho, em 13 anos, e nitrogênio total (NT) do solo, no 13º ano, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e plantio direto (PD). Estação Experimental Agronômica da UFRGS, 1998.

#### **4.5.3. Estimativas de perdas e acúmulos de N pelos sistemas de cultura**

Torna-se importante lembrar que o CO e o NT mantêm no solo uma relação com pouca variação, podendo-se dizer que na medida que diminui ou aumenta o CO também diminui ou aumenta o NT. No entanto se houver variação na proporção das adições de C e N, especialmente quando se adiciona crescentes quantidades de N para uma mesma adição de C, pode ocorrer alteração na relação C:N da MOS. O aumento ou diminuição nos estoques de nitrogênio no solo calculados a partir da Tabela 13 podem ser visualizados nas Figuras 11 e 12. Observa-se que somente houveram acúmulos em relação ao estoque inicial nas combinações de métodos de preparo e sistemas de cultura nas quais não ocorreu revolvimento do solo. A adição de N mineral, ao favorecer aumento das adições de resíduos contendo N, contribuiu para o acúmulo de N no solo.

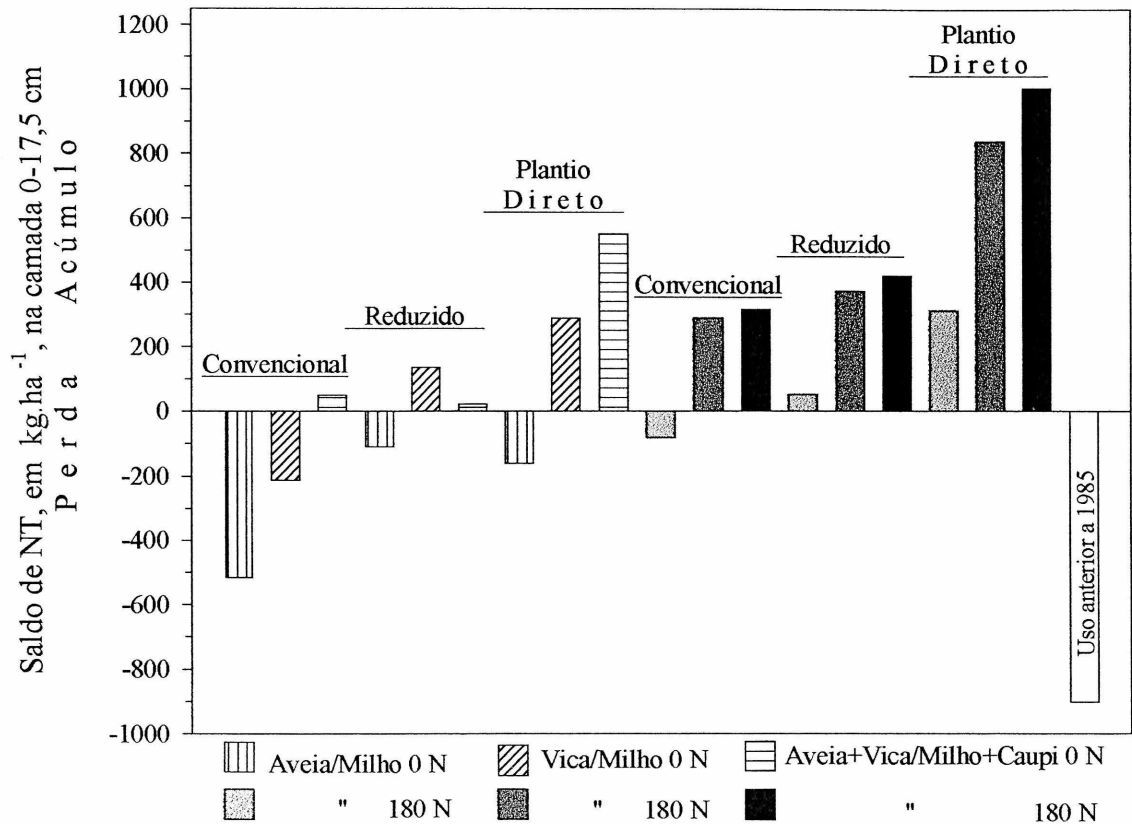


FIGURA 11. Saldo líquido de nitrogênio total (NT) acumulado ou perdido por um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVD), após 13 de manejo sob três sistemas de cultura, três métodos de preparo do solo e dois níveis de adubação nitrogenada mineral, na camada de 0-17,5 cm e NT perdido a partir da ruptura do campo natural (1970) até o início do experimento (1985). Estação Experimental Agronômica da UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1998.



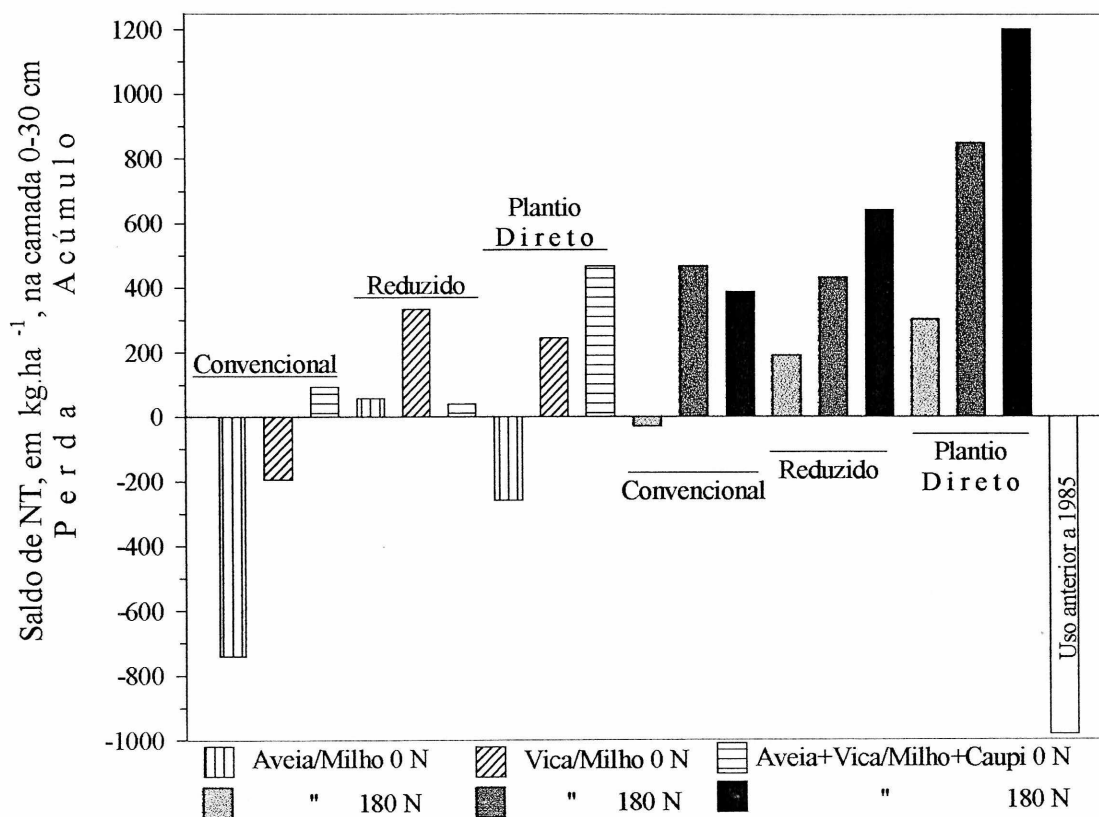


FIGURA 12. Saldo líquido de nitrogênio total (NT) acumulado ou perdido por um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVD), após 13 de manejo sob três sistemas de cultura, três métodos de preparo do solo e dois níveis de adubação nitrogenada mineral, na camada de 0-30 cm e NT perdido a partir da ruptura do campo natural (1970) até o início do experimento (1985). Estação Experimental Agrônômica da UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1998.

#### **4.5.4. Distribuição do NT no perfil do solo (0-30 cm) no 13º ano**

A distribuição do NT no perfil do solo será apresentada e discutida comparando-se inicialmente os três sistemas de cultura, com e sem N, dentro de cada método de preparo do solo e comparando-se os três métodos de preparo dentro de cada sistema de cultura, com e sem N mineral no milho.

##### **4.5.4.1. Nos três sistemas de cultura, dentro de cada método de preparo do solo**

A Figura 13 mostra a distribuição do NT no perfil do solo, na camada de 0 a 30 cm, comparando-se os três sistemas de cultura, dentro de cada método de preparo do solo, nos dois níveis de N mineral. Fica evidente o incremento da amplitude do NT no perfil do solo entre as associações de sistemas de cultura com elevadas adições de resíduo (V/M e A+V/M+C, 0 e 180 N, e A/M 180 N) e métodos de preparo com baixo revolvimento do solo (PD) e as associação de sistemas de cultura com baixas adições de resíduo (A/M 0 N) e método de preparo com elevado revolvimento (PC). O PR apresentou situação intermediária em relação ao PD e PC, coerente com o grau intermediário de revolvimento do solo propiciada por este método de preparo do solo. As adições de resíduo foram semelhantes, sendo a variação nos estoques de N afetadas basicamente pela taxa anual de perda da matéria orgânica, que foi intermediária no PR em relação ao PD e PC. Situação semelhante foi observada por Bayer (1996), que avaliou o mesmo experimento até o 9º ano.

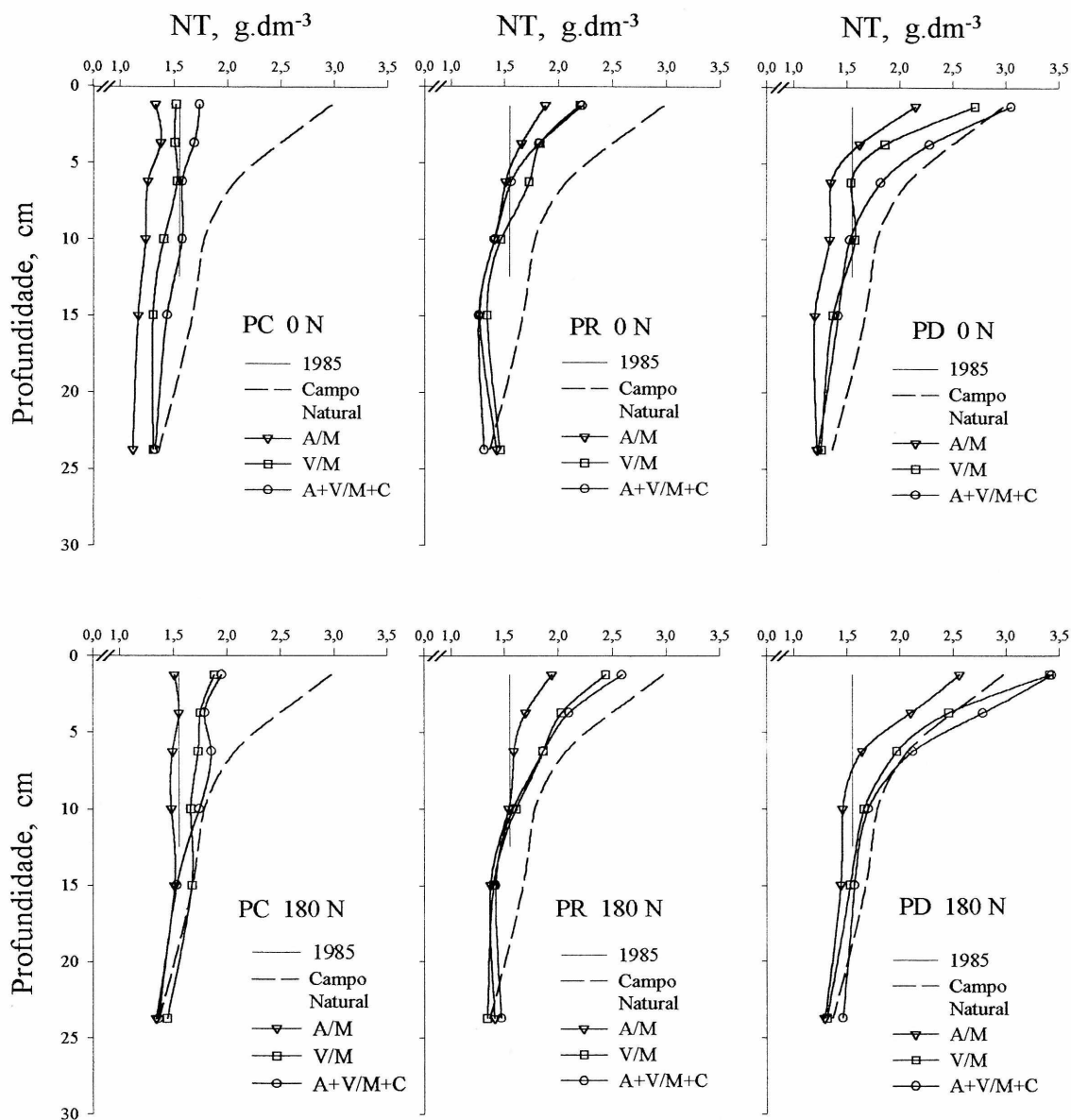


FIGURA 13. Distribuição do nitrogênio total no perfil do solo sob três sistemas de cultura dentro dos métodos de preparo do solo, após 13 anos de manejo conhecido. EEA-UFRGS, 1998

#### **4.5.4.2. Nos três métodos de preparo, dentro de cada sistema de cultura**

A comparação dos estoques de NT em cada sistema de cultura, afetada pelos preparos do solo pode ser visualizada na Figura 14, onde observa-se o acúmulo de NT inversamente proporcional ao grau de revolvimento do solo. A adição de N mineral no milho, em todos os sistemas de cultura favoreceu maiores acúmulos. No plantio direto e preparo reduzido, tanto sem como com N mineral no milho, os acúmulos foram maiores nas camadas mais próximas à superfície, com destaque nos tratamentos destes preparos associados ao sistema de cultura aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C). Este sistema de cultura sob PD, mesmo com adições totais de N 18,6 % menores no PD (Tabelas 10 e 11) em relação ao PC e 13,5 % menores em relação ao PR, apresentou no 13<sup>o</sup> ano um maior estoque de NT em relação aos demais preparos. Estes resultados evidenciam a grande contribuição da diminuição do revolvimento do solo no seqüestro não somente de CO<sub>2</sub> atmosférico pela MOS, mas também na incorporação ao solo do N<sub>2</sub> atmosférico via fixação biológica e N do adubo mineral, ou seja, o crescimento dos estoques de NT do solo nos tratamentos com os sistemas de cultura V/M e A+V/M+C, mesmo sem aplicação de N mineral, se deve à contribuição das espécies leguminosas na adição de N ao sistema.

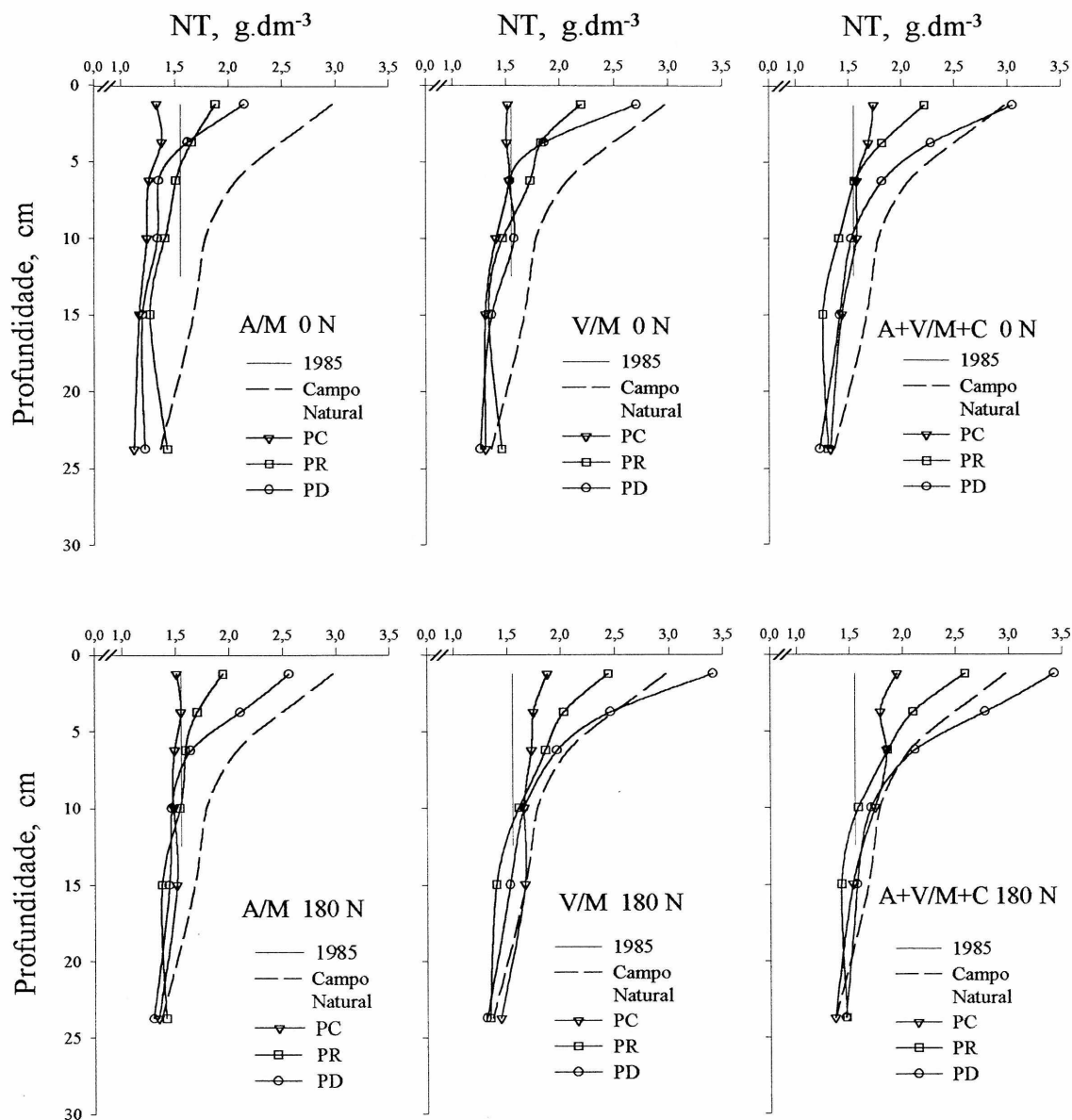


FIGURA 14. Distribuição do nitrogênio total no perfil de um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PvD) determinada pela contribuição dos sistemas de cultura sob três métodos de preparo do solo, após 13 anos de manejo conhecido. EEA-UFRGS, 1998.

#### 4.5.4.3. Nos tratamentos com extremos revolvimentos e adições

Na Figura 15 pode-se visualizar a magnitude do efeito do grau de revolvimento do solo e das adições de C e N, comparando-se os tratamentos extremos, PC A/M 0 N e PD A+V/M+C 180 N. Considerando-se a camada 0-17,5 cm, estabeleceu-se em 13 anos uma diferença de 1.522 kg ha<sup>-1</sup> no conteúdo de NT. Porém, na medida em que o tratamento PC A/M recebeu N mineral esta diferença se reduziu para 1.087 kg ha<sup>-1</sup>, evidenciando a contribuição da adubação nitrogenada na compensação das perdas de NT do solo. A diferença entre estes tratamentos na camada de 0-30,0 cm é de 1.974 kg ha<sup>-1</sup>. O aumento na camada avaliada de 12,5 cm, correspondendo a 71 %, proporcionou um aumento no NT acumulado de 425 kg ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 27,9 % da diferença acumulada na camada 0-17,5 cm. Esta diferença contrasta com a obtida para o carbono (Figura 9) que foi de 2,4 %. Considerando-se a diferença de 1.947 kg ha<sup>-1</sup> obtida nesta camada, no período de 13 anos, obtêm-se uma diferença média anual nos estoques de NT de 150 kg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, para os tratamentos de menor (PC A/M 0 N) e maior (PD A+V/M+C 180 N) estoque respectivamente.

A diferença total obtida nos estoques de NT, na camada 0-17,5 cm, entre os tratamentos extremos referidos, pode ser atribuída em 70,2 % ao efeito conjunto da redução no revolvimento e inclusão de leguminosas no sistema de culturas e em 29,8 % à adição de N via adubo mineral. Para o CO estes valores foram respectivamente de 86,3 % e 13,7 %.

Relacionando-se os valores médios anuais das diferenças máximas obtidas para CO (Figura 9) e NT (Figura 15) obteve-se relações CO:NT de 9,04 (1,06 Mg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>:117 kg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) na camada 0-17,5 cm e de 7,24 (1,08 Mg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>:149 kg ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), indicando que o estoque de NT no tratamento PD A+V/M+C 180 N está

aumentando a uma taxa maior do que o estoque de CO, especialmente considerando-se a camada de 0-30 cm (Tabelas 12 e 13).

#### **4.6. Modelagem do CO**

Inicialmente será feita uma retrospectiva dos resultados de CO do solo obtidos desde o início do experimento, onde será avaliada a dinâmica de variação dos teores de CO ao longo do tempo, dentro dos tratamentos resultantes das várias combinações entre intensidades de revolvimento do solo e taxas de adição de C e N. A seguir será feita uma retrospectiva do CO no perfil do solo, mostrando a dinâmica com que as modificações ocorreram ao longo do período avaliado, especialmente nos tratamentos onde houveram maiores acúmulos e naqueles em que houveram maiores perdas nos estoques de CO. Por fim será mostrada a aplicação da modelagem para o CO e estimativa de teores futuros deste elemento no solo.

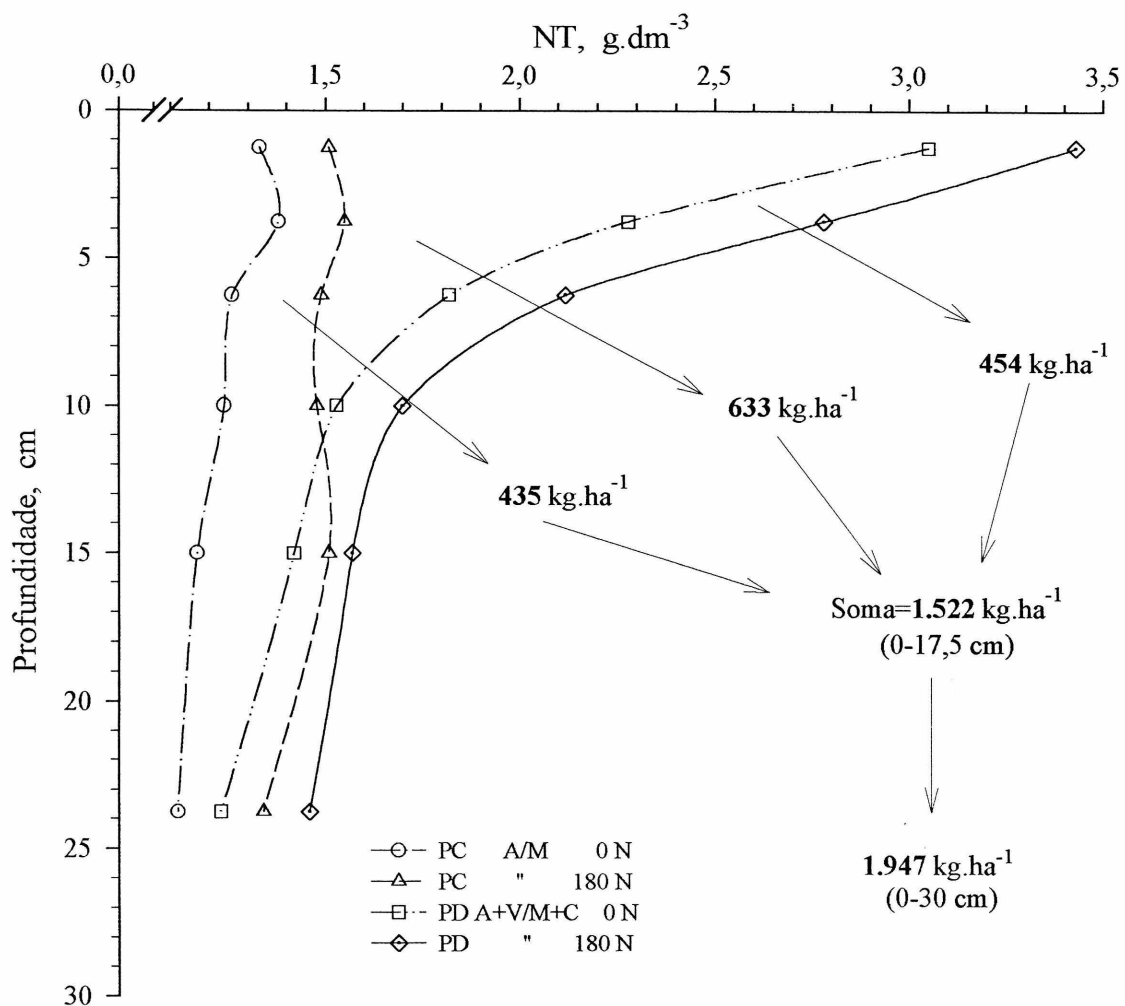


FIGURA 15. Nitrogênio total do solo (NT) nos tratamentos com situações extremas de revolvimento do solo e adições de carbono e nitrogênio, após 13 anos de manejo conhecido. EEA-UFRGS, 1998.



#### **4.6.1. Retrospectiva do CO do solo, na camada de 0-17,5 cm, em 13 anos**

Na Tabela 14 estão os teores de carbono orgânico (CO) do solo medidos ao longo dos 13 anos (inicial, 5º, 9º e 13º ano) de condução do experimento, na camada de 0-17,5 cm de profundidade, nos tratamentos sem adição de N mineral. Observa-se que em relação à quantidade inicial de 32,55 Mg ha<sup>-1</sup> existem sistemas de manejo com decréscimo, com estabilidade e com crescimento do teor de CO no solo, refletindo situações de adições do CO ao solo, respectivamente menores, iguais ou maiores do que as perdas. Nos tratamentos sem adição de N mineral, a adição de N via leguminosas tem gerado maiores adições de resíduo contendo C que, associadas à diminuições no revolvimento do solo, tem promovido acréscimos nos teores de CO. A atuação continuada dos sistemas gerou, após 13 anos, uma diferença de 11,89 Mg ha<sup>-1</sup> entre o tratamento com maiores perdas (PC A/M) e o tratamento com maiores acréscimos (PD A+V/M+C), confirmando a tendência observada por Bayer (1996) no 5º e 9º anos de avaliação, como pode ser observado na Tabela 14. Os demais sistemas de cultura associados aos preparos refletem situações intermediárias aos extremos antes referidos. O sistema de cultura PC A/M reflete a situação de decréscimo de CO no solo, que vinha ocorrendo na área experimental antes do início do experimento (1985), com elevado grau de revolvimento do solo e baixa adição de resíduos. Esta situação será visualizada no item modelagem do CO do solo.

TABELA 14. Conteúdos de carbono orgânico (CO) do solo, na camada de 0-17,5 cm, de um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd) submetido a três métodos de preparo e três sistemas de cultura, no ano de instalação do experimento, cinco, nove e treze anos após e na condição de campo natural. Médias de três repetições. EEA-UFRGS, 1998.

Preparos	Sistemas de cultura	Anos			
		1985 <sup>(1)</sup>	1990 <sup>(2)</sup>	1994 <sup>(3)</sup>	1998 <sup>(4)</sup>
		CO			
		Mg ha <sup>-1</sup>			
PC	A/M	32,55	30,78	26,60	25,87
	V/M		30,04	27,80	27,90
	A+V/M+C		28,56	30,40	30,26
PR	A/M	32,55	26,51	26,10	29,20
	V/M		28,59	27,80	32,08
	A+V/M+C		29,30	32,60	32,63
PD	A/M	32,55	29,89	29,60	32,63
	V/M		32,70	34,60	35,08
	A+V/M+C		32,52	38,00	37,76
Campo Natural					44,76

PC= Preparo convencional, PR= Preparo reduzido e PD= Plantio Direto.

A= Aveia, V= Vica, M= Milho e C= Caupi

Fontes: (1) Freitas (1988), (2) Bayer (1992), (3) Bayer (1996) e (4) Lovato, 1998 (dados não publicados).

#### 4.6.2. Retrospectiva de CO no perfil do solo em 13 anos

O CO inicial do solo, na implantação do experimento em 1985, foi determinado por subamostras da camada de 0-17,5 cm, que constituíram uma amostra única para obtenção de um valor médio de toda a área experimental. A partir de 1990 (5º ano) as parcelas foram avaliadas individualmente em sub-camadas na camada de 0-17,5 cm e de 1994 (9º ano) na camada de 0-30 cm. Por isso, na Figura 16 a 1ª e 2ª avaliações (1985 e 1990), as linhas correspondentes para CO e NT ao longo do perfil atingem profundidade menor, mas permitem a comparação visual.

A Figura 16 mostra a evolução do CO no perfil do solo durante os 13 anos iniciais de condução do experimento, para comparação dos tratamentos PC e PD A/M 0N e PC e PD A+V/M+C ON no 5º, 9º e 13º anos e 180 N somente no 13º ano. Estes dados, obtidos de amostragens realizadas no ano inicial (Freitas 1988), 5º ano (Bayer, 1992), 9º ano (Bayer, 1996) e 13º ano no presente trabalho, evidenciam as diferenças proporcionadas por alterações na intensidade de revolvimento do solo, na composição dos sistemas de cultura (quantidades adicionadas de C e N via resíduos) e na dose de N mineral (quantidades adicionadas de C e N via resíduos e N via adubo mineral). De forma geral os dados confirmam a contribuição da diminuição no revolvimento do solo e do aumento no aporte de resíduos para a diminuição das perdas de CO e o respectivo aumento do seu estoque no solo.

Observa-se que a diminuição das perdas ou o aumento dos estoques foram maiores entre as primeiras avaliações, com tendência de se estabilizar entre as últimas avaliações.

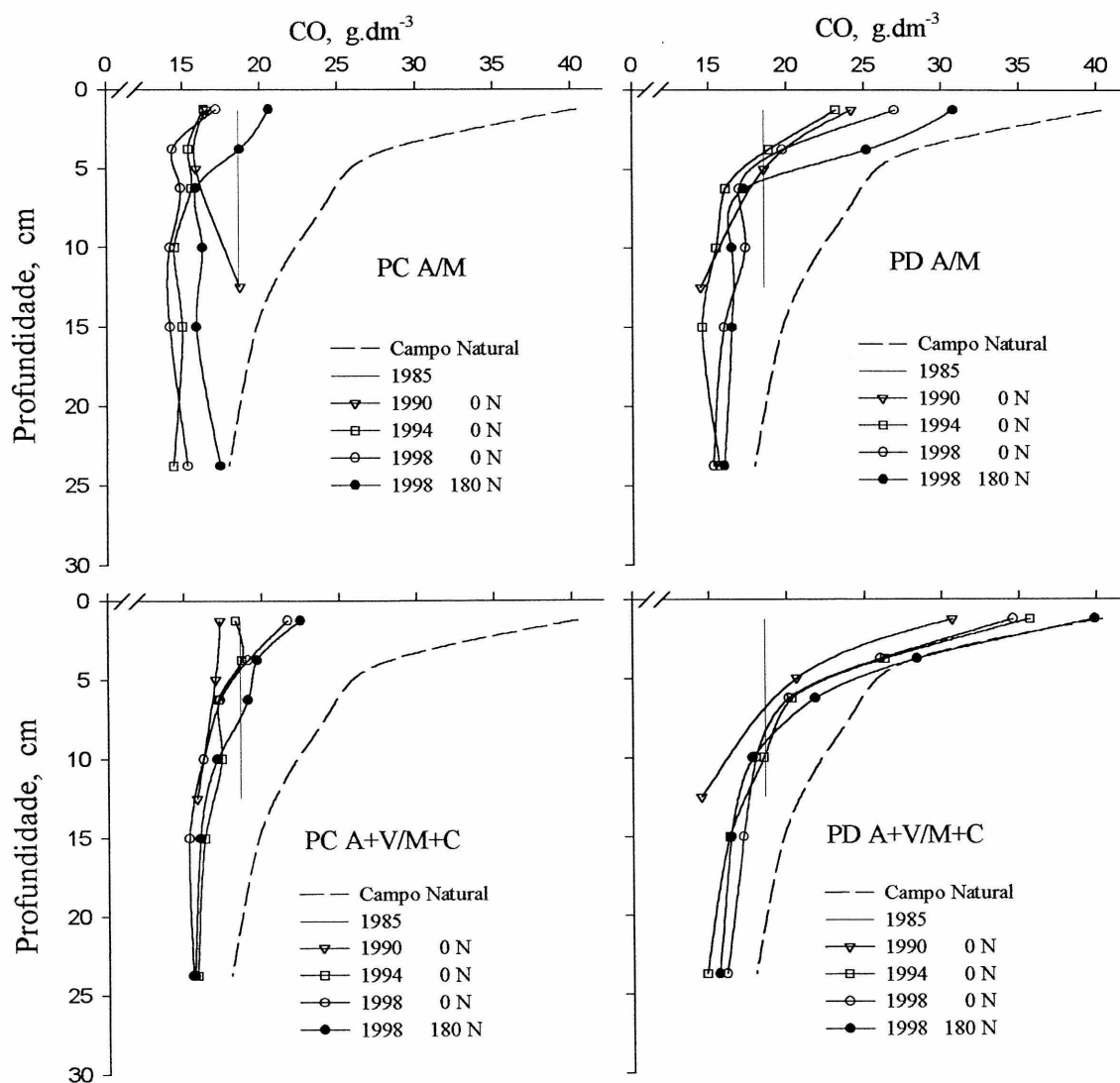


FIGURA 16. Retrospectiva da variação do carbono orgânico do solo (CO), na camada de 0-30 cm de profundidade, ao longo dos primeiros treze anos de manejo de um ARGISSOLO VERMELHO submetido aos métodos de preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), com os sistemas de cultura aveia/milho (A/M) e aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C). EEA-UFRGS, 1998. (0 N = sem adição de adubo nitrogenado e 180 N = adição anual de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral no milho). EEA-UFRGS, 1998.

#### 4.6.3. Ajuste do modelo matemático aos estoques de CO no solo

A partir do ajuste da Equação 4, reapresentada abaixo, aos estoques de CO no solo (Tabela 15) determinou-se o valor do coeficiente anual de perda ( $k_2$ ) de carbono do solo.

$$C_t = C_0 e^{-k_2 t} + \frac{k_1 A}{k_2} (1 - e^{-k_2 t})$$

Para esta operação utilizou-se  $C_0$  e  $A.k_1$  da Tabela 15, substituindo-os na Equação 4 e determinando-se o  $k_2$  através da planilha de cálculo do Excell 4.0, de forma que o valor estimado em  $t_{13}$  ficasse próximo ao valor observado para o CO no solo em 1998, para a maioria dos tratamentos. Como critério adicional manteve-se a relação C/N em  $C_e$  próxima à observada em 1998 (Tabela 16).

Com os valores de  $k_2$  obtidos para os três preparos do solo, independente do sistema de cultura e da dose de N mineral, estimou-se os valores de  $C_e$  pela Equação 3 e  $t_{1/2}$  pela Equação 6. Os resultados obtidos constam na Tabela 15 e Figura 17.

Verifica-se na Tabela 15 que os valores de  $k_2$  obtidos foram de 0,0494, 0,0395 e 0,0270.ano<sup>-1</sup> nos preparos convencional, reduzido e plantio direto. Estes valores são bastante próximos aos obtidos por Bayer (1996) e Bayer et al. (2000) e dentro da faixa de valores relatados por Dalal & Mayer (1986a).

Com estes valores de  $k_2$  foram estimados valores para o  $C_e$  diferentes em cada sistema de cultura, variando entre 17,17 Mg ha<sup>-1</sup> no PC A/M 0 N e 58,00 Mg ha<sup>-1</sup> no PD A+V/M+C 180 N.

TABELA 15. Adição anual de carbono pelos sistemas de cultura (A),  $Ak_1$  ( $k_1$ =coeficiente isoúmico de  $0,20.\text{ano}^{-1}$ ), conteúdos de carbono orgânico no solo no ano de 1998 (CO determinado e estimado), teor de CO na estabilidade (Ce), taxa anual de saída de matéria orgânica ( $k_2$ ) e meia vida do CO ( $t_{1/2}$ ), na camada de 0-17,5 cm, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob três métodos de preparo, três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral. EEA-UFRGS, 1998.

Métodos de preparo	Sistemas de cultura.	Dose de N mineral	A	$Ak_1$	CO 1998		Ce	$k_2$	$t_{1/2}$
					Determinado	Estimado			
		kg ha <sup>-1</sup>	-----		Mg ha <sup>-1</sup>		-----	Ano <sup>-1</sup>	Anos
PC	A/M	0	4,24	0,848	25,87	25,26	17,17	0,0494	14
	V/M		6,45	1,290	27,90	29,50	26,11	0,0494	14
	A+V/M+C		7,52	1,504	30,26	31,55	30,45	0,0494	14
PR	A/M		4,16	0,832	29,20	27,94	21,06	0,0395	18
	V/M		5,98	1,196	32,08	31,64	30,28	0,0395	18
	A+V/M+C		7,34	1,468	32,63	34,40	37,16	0,0395	18
PD	A/M		3,92	0,784	32,63	31,51	29,04	0,0270	26
	V/M		5,80	1,160	35,08	35,63	42,96	0,0270	26
	A+V/M+C		6,90	1,380	37,76	38,04	51,11	0,0270	26
PC	A/M	180	6,67	1,334	29,88	29,92	27,00	0,0494	14
	V/M		7,82	1,564	31,58	32,13	31,66	0,0494	14
	A+V/M+C		8,39	1,678	31,84	33,22	33,97	0,0494	14
PR	A/M		7,09	1,418	30,16	33,89	35,90	0,0395	18
	V/M		7,47	1,494	33,76	34,67	37,82	0,0395	18
	A+V/M+C		8,19	1,638	33,88	36,13	41,47	0,0395	18
PD	A/M		6,63	1,326	34,84	37,45	49,11	0,0270	26
	V/M		7,11	1,422	37,33	38,50	52,67	0,0270	26
	A+V/M+C		7,83	1,566	39,64	40,08	58,00	0,0270	26

PC = preparo convencional, PR = preparo reduzido e PD = plantio direto.  
A = aveia, V = vica, M = milho e C = caupi.

TABELA 16. Relação C:N no tempo, dos conteúdos observados de CO e NT do solo, e relação Ce:Ne estimada, dos conteúdos de CO e NT no estado estável, na camada de 0-17,5 cm de um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), no ano de instalação do experimento, cinco, nove e treze anos após manejo sob três métodos de preparo e três sistemas de cultura e na condição de campo natural. Médias de três repetições. EEA-UFRGS, 1998.

Preparos	Sistemas de cultura	Anos de avaliação				Rel. Ce:Ne
		1985 <sup>(1)</sup>	1990 <sup>(2)</sup>	1994 <sup>(3)</sup>	1998 <sup>(4)</sup>	
		----- Relação C:N -----				
PC	A/M	12,0	14,0	11,7	11,8	12,3
	V/M	12,0	12,3	11,6	11,2	11,5
	A+V/M+C	12,0	12,5	12,1	11,0	10,0
PR	A/M	12,0	12,6	12,2	11,2	11,1
	V/M	12,0	12,6	11,7	11,3	11,5
	A+V/M+C	12,0	12,8	12,6	11,9	10,4
PD	A/M	12,0	12,9	12,1	12,8	13,4
	V/M	12,0	12,2	11,8	11,7	12,0
	A+V/M+C	12,0	12,1	11,7	11,6	10,5
Campo Natural					12,4	12,4

PC= Preparo convencional, PR= Preparo reduzido e PD= Plantio Direto.

A= Aveia, V= Vica, M= Milho e C= Caupi.

Fontes dos dados para o cálculo: (1) Freitas (1988), (2) Bayer (1992), (3) Bayer (1996) e (4) Lovato, 1998 (dados não publicados).

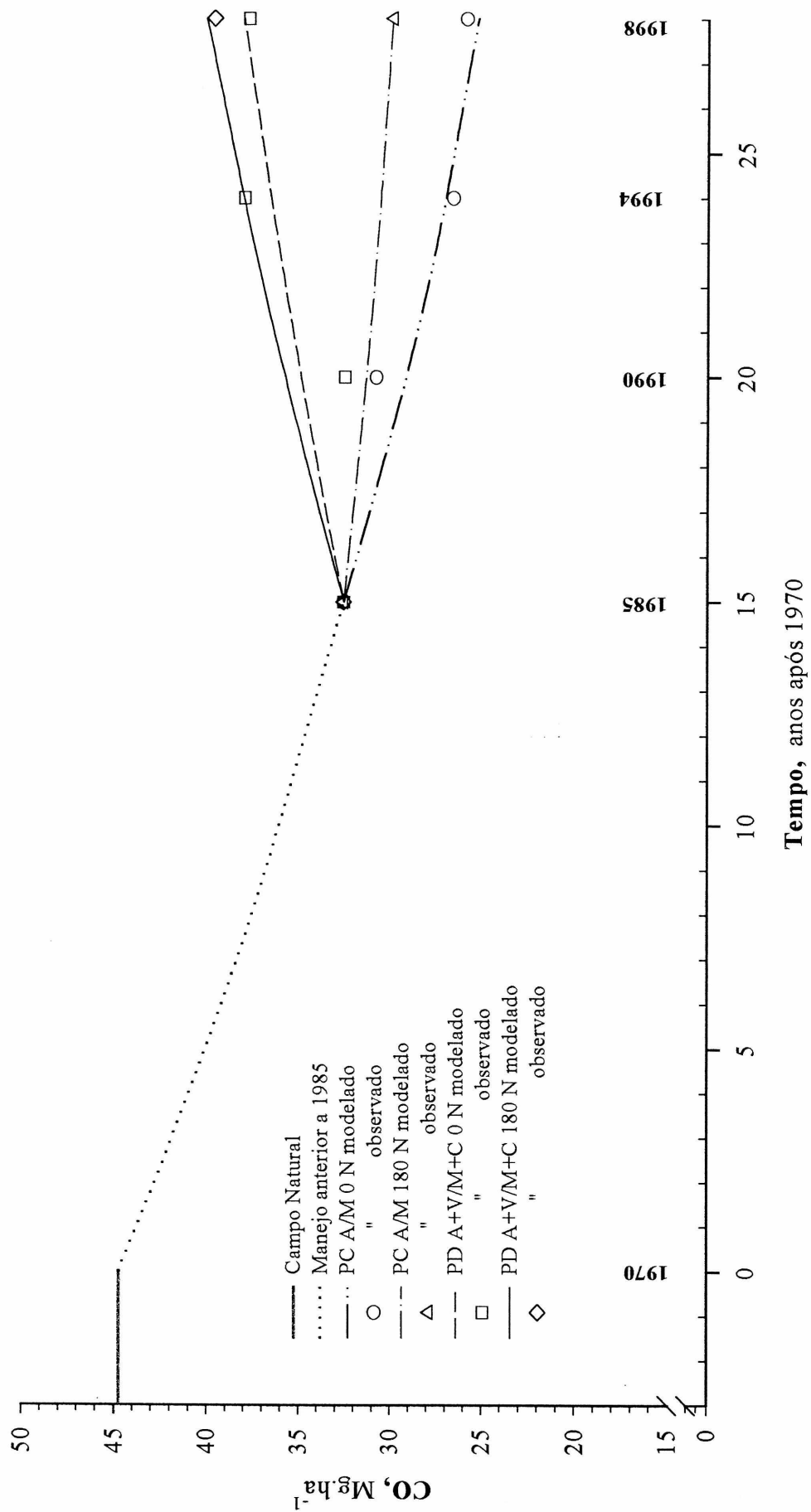


FIGURA 17. Modelagem do carbono orgânico (CO) em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (Pvd) submetido a diferentes graus de revolvimento pelo preparo e diferentes adições de resíduo vegetais pelos sistemas de cultura. EEA-UFRGS, 1998.



O  $t_{1/2}$ , tempo necessário para que ocorresse a metade da diferença entre  $C_0$  e  $C_e$ , variou de 14 anos no PC a 26 anos no PD.

Os valores obtidos para as adições de carbono (A) da Tabela 15 são médias do período, no entanto, conforme pode-se inferir a partir dos resultados apresentados Figura 2, estes valores apresentam tendência crescente no período experimental avaliado, com exceção do tratamento PC A/M 0 N.

Na Figura 17 está a curva estimada pelo modelo para a associação do preparo convencional com o sistema de cultura aveia/milho, sem adição de N mineral (PC A/M 0 N). Esta curva é representada pela linha tracejada e as observações reais feitas ao longo do tempo (1985, 1990, 1994 e 1998) são representadas pelos pontos. A linha horizontal inicial representa a condição original de campo natural, com estabilidade no teor de CO no solo, com adições iguais às perdas. Verifica-se um grande declínio do CO no solo a partir da ruptura do campo natural (1970) até o início do experimento (1985), o qual continuou durante a condução do experimento no tratamento com menor adição de C e maior grau de revolvimento (PC A/M 0 N). O bom ajuste encontrado entre os valores previstos pela equação e os pontos observados indicam que o intenso preparo do solo e a baixa adição de resíduos correspondem às condições adotadas no tratamento PC A/M 0 N. Este tratamento dentro do experimento representa a situação onde ocorre a maior perda líquida na reserva de CO em relação ao teor inicial em 1985, sendo que os demais encontram-se em situações gradativamente melhores na medida em que diminui-se o grau de revolvimento e aumentam-se as adições de C via resíduos.

Na Figura 18 está representado o efeito estimativo das leguminosas e da adubação mineral sobre o **Ce** do solo. Nota-se que a ação das leguminosas pelo aumento de adição de C pela sua própria matéria seca e pelo aumento de produtividade de matéria seca das gramíneas tem marcante efeito sobre o **Ce** nos dois preparos de solo.

#### **4.7. Modelagem do NT**

Inicialmente será apresentada uma retrospectiva dos resultados de NT do solo obtidos desde o início do experimento, onde será avaliada a dinâmica de variação dos teores de NT ao longo do tempo, dentro dos tratamentos resultantes das várias combinações entre intensidades de revolvimento do solo e taxas de adição de N (via leguminosas, N mineral e a combinação de leguminosas e N mineral). A seguir será feita uma retrospectiva do NT no perfil do solo, mostrando a dinâmica com que as modificações ocorreram ao longo do período avaliado, especialmente nos tratamentos onde houveram maiores acúmulos e naqueles em que houveram maiores perdas nos estoques de NT. Por fim será mostrada a aplicação da modelagem para o NT e estimativa de teores futuros deste elemento no solo.

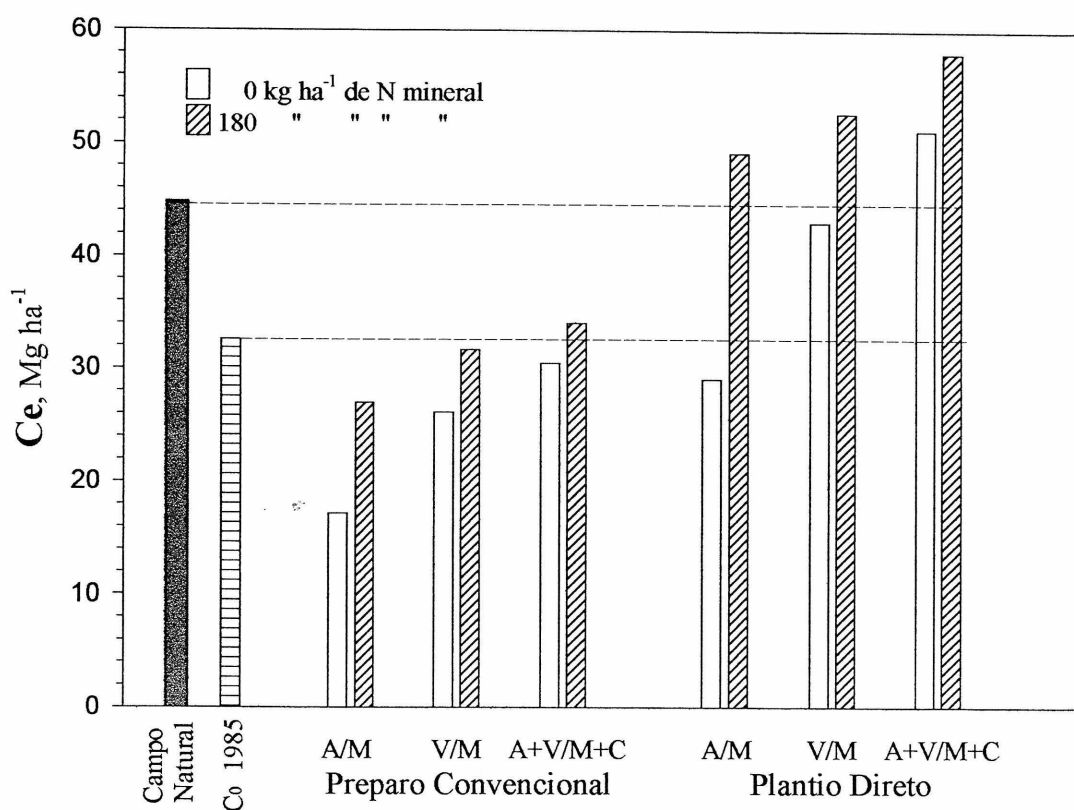


FIGURA 18. Efeito das leguminosas no sistema de culturas e da adubação nitrogenada mineral sobre o teor de carbono orgânico do solo na estabilidade (Ce), em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), manejado sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), na EEA-UFRGS, 1998.

#### **4.7.1. Retrospectiva do NT do solo, na camada 0-17,5 cm, em 13 anos**

Os conteúdos de NT do solo, no decorrer de 13 anos (inicial, 5º, 9º e 13º anos) de condução do experimento, na camada de 0-17,5 cm de profundidade, nos tratamentos sem adição de N mineral, encontram-se na Tabela 17. Observa-se a diminuição acentuada no NT apenas na associação do sistema de cultura aveia/milho com preparo convencional (PC A/M), onde a quantidade na camada de 0-17,5 cm baixou de 2.713 para 2.197 kg ha<sup>-1</sup>, uma vez que, além das retiradas pelos grãos, não foi adicionado N externo ao sistema, com exceção de pequenas quantidades via água da chuva e fixação assimbiótica pelas gramíneas, ocorrendo basicamente apenas reciclagem via resíduos do milho e da aveia. Nas adições ao longo do tempo tem-se observado lento declínio, porém gradativo, na adição de resíduos deste sistema de cultura. Entretanto, nos sistemas que incluem leguminosas houveram acréscimos no NT do solo no decorrer dos 13 anos experimentais, representando no sistema A+V/M+C 552 kg ha<sup>-1</sup>. No ano de 1998 a diferença entre os tratamentos de menor adição e maiores perdas (PC A/M 0 N) e de maiores adições e menores perdas (PD A+V/M+C 0 N) foi de 1.068 kg ha<sup>-1</sup>.

#### **4.7.2. Retrospectiva de NT no perfil do solo em 13 anos**

O NT inicial do solo, na implantação do experimento em 1985, foi determinado como um valor médio de toda a área experimental, na camada de 0-17,5 cm. Em 1990 (5º ano, 2ª avaliação) as parcelas foram avaliadas individualmente na camada de 0-17,5 cm, e em 1994 (9º ano, 3ª avaliação) na camada de 0-30 cm. Por isso nos gráficos da Figura 19 a 1ª e 2ª avaliações (1985 e 1990) as respectivas linhas atingem menor profundidade.

TABELA 17. Conteúdos de nitrogênio total (NT) do solo, na camada de 0-17,5 cm, de um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PvD) submetido a três métodos de preparo e três sistemas de cultura, no ano de instalação do experimento, cinco, nove e treze anos após e na condição de campo natural. Médias de três repetições. EEA-UFRGS, 1998.

Preparos	Sistemas de cultura	Anos			
		1985 <sup>(1)</sup>	1990 <sup>(2)</sup>	1994 <sup>(3)</sup>	1998 <sup>(4)</sup>
		NT			
		----- kg ha <sup>-1</sup> -----			
PC	A/M	2.713	2.200	2.278	2.197
	V/M		2.343	2.402	2.501
	A+V/M+C		2.290	2.519	2.762
PR	A/M	2.713	2.110	2.139	2.604
	V/M		2.265	2.377	2.848
	A+V/M+C		2.298	2.585	2.735
PD	A/M	2.713	2.320	2.441	2.551
	V/M		2.688	2.943	3.001
	A+V/M+C		2.690	3.260	3.265
Campo Natural					3.616

PC= Preparo convencional, PR= Preparo reduzido e PD= Plantio Direto.

A= Aveia, V= Vica, M= Milho e C= Caupi.

Fontes: (1) Freitas (1988), (2) Bayer (1992), (3) Bayer (1996) e (4) Lovato, 1998 (dados não publicados).

A Figura 19 permite visualizar a variação do NT do solo, na camada 0-30 cm, em resposta a algumas das opções de manejo adotadas. Verifica-se claramente a tendência de aumento dos estoques de NT na medida em que diminui a mobilização do solo e aumentam as adições de N. Raun et al. (1998), observaram incremento no N total do solo influenciado pela adição de N mineral, especialmente nas doses mais elevadas, em quatro locais avaliados.

A adição de N via adubo nitrogenado mineral, avaliada a partir deste trabalho, favoreceu o acúmulo de NT, tanto no preparo convencional como no plantio direto, assim como na presença ou ausência de leguminosas que adicionaram N via fixação simbiótica.

Os maiores acúmulos ocorreram no plantio direto e dentro deste, na presença de leguminosas de inverno e verão. Estes aumentos foram mais evidentes nas sub-camadas mais próximas da superfície. No caso do tratamento PD A+V/M+C 180 N as concentrações de NT ultrapassaram os teores obtidos para o campo natural nas camadas 0-2,5 e 2,5-5 cm. Resultado semelhante foi obtido por Amado et al. (2001), que observaram superação do campo natural no acúmulo de NT pelo PD já no oitavo ano de adoção do plantio direto em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico da Depressão Central do RS. Isto reforça a possibilidade de inferir que a saturação do potencial de acúmulo de matéria orgânica ainda não tenha sido atingida nestes solos sob condição de campo natural.

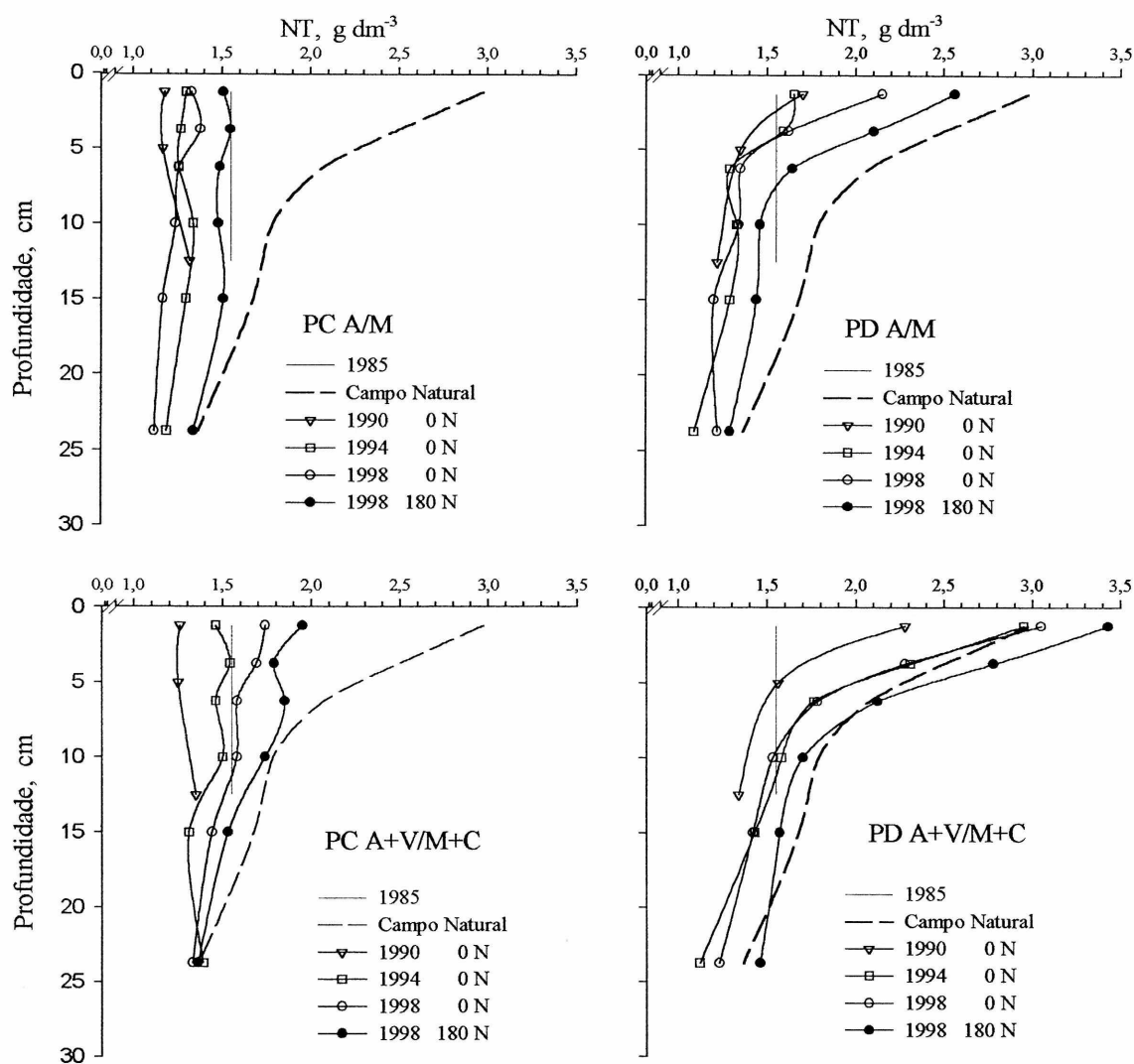


FIGURA 19. Retrospectiva da variação do nitrogênio total do solo (NT), na camada de 0-30 cm de profundidade, ao longo dos primeiros treze anos de manejo de um ARGISSOLO VERMELHO submetido aos métodos de preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), com os sistemas de cultura aveia/milho (A/M) e aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C). EEA-UFRGS, 1998. (0 N = sem adição de adubo nitrogenado e 180 N = adição anual de 180  $\text{kg ha}^{-1}$  de N mineral no milho).

#### 4.7.3. Aplicação do modelo matemático para o NT

Com os dados da Tabela 18 e o uso da Equação 10, abaixo, foi determinado o valor do coeficiente anual de perda ( $k_2$ ) de nitrogênio do solo.

$$N_t = N_0 e^{-k_2 t} + \frac{k_1 A}{k_2} (1 - e^{-k_2 t})$$

No presente estudo utilizou-se o valor unitário do  $k_1$ , obtendo-se desta forma valores de  $k_2$  diferenciados daqueles utilizados para a modelagem do CO.

Para esta operação utilizou-se  $N_0$  e  $A \cdot k_1$  da Tabela 18, substituindo-os na Equação 5 e determinando-se o  $k_2$  através da planilha de cálculo do Excell 4.0, de forma que a linha estimada pela Equação 10 passasse próxima ao ponto observado para o NT em 1998, com tempo  $t$  igual a 13 anos e os valores da relação C/N em  $C_e$ , próximos aos de 1998 (Tabela 16).

Com os valores de  $k_2$  obtidos para cada método de preparo do solo, levando-se em conta a presença de leguminosas e a dose de N mineral, estimou-se os valores de  $N_e$  pela Equação 9 e  $t_{1/2}$  pela Equação 6. Os resultados obtidos constam na Tabela 18, para todos os tratamentos, e na Figura 20 os dados obtidos estão demonstradas graficamente para o tratamento com máximo revolvimento associado a culturas não fixadoras de N, com e sem adição de N mineral (PC A/M 0 e 180 N), e para o tratamento com mínimo revolvimento associado a culturas fixadoras de N, com e sem adição de N mineral (PD A+V/M+C 0 e 180 N).



TABELA 18. Adição anual de nitrogênio pelos sistemas de cultura (A),  $Ak_1$  ( $k_1$ =coeficiente de conversão de 1,0), conteúdos de nitrogênio total (NT) no solo no ano de 1998 (Nsolo determinado e estimado), teor de NT na estabilidade (Ne), taxa anual de perda ( $k_2$ ) e meia vida ( $t_{1/2}$ ) na camada de 0-17,5 cm em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), sob três métodos de preparo, três sistemas de cultura e dois níveis de adição de N mineral.

Métodos de preparo	Sistemas de cultura.	Dose de N mineral	$A^{(1)}$	$Ak_1$	Nsolo 1998		Ne	$k_2$	$t_{1/2}$
					Determinado	Estimado			
		kg ha <sup>-1</sup>			kg ha <sup>-1</sup>		Ano <sup>-1</sup>	Anos	
PC	A/M	0	42	42	2.197	2.289	1.400	0,0300	10
	V/M		136	136	2.501	2.471	2.267	0,0600	8
	A+V/M+C		182	182	2.762	2.886	3.033	0,0600	8
PR	A/M		38	38	2.604	2.527	1.900	0,0200	12
	V/M		126	126	2.848	2.672	2.625	0,0480	8
	A+V/M+C		172	172	2.735	3.117	3.583	0,0480	8
PD	A/M		39	39	2.551	2.599	2.167	0,0180	15
	V/M		116	116	3.001	3.008	3.569	0,0325	12
	A+V/M+C		158	158	3.265	3.453	4.862	0,0325	12
PC	A/M	180	184	184	2.630	2.640	2.592	0,0710	23
	V/M		272	272	3.000	2.926	3.022	0,0900	12
	A+V/M+C		292	292	3.030	3.080	3.244	0,0900	12
PR	A/M		187	187	2.770	2.932	3.117	0,0600	35
	V/M		274	274	3.090	3.054	3.224	0,0850	14
	A+V/M+C		283	283	3.140	3.125	3.329	0,0850	14
PD	A/M		184	184	3.030	3.322	4.089	0,0450	39
	V/M		250	250	3.550	3.500	4.167	0,0600	21
	A+V/M+C		275	275	3.710	3.726	4.583	0,0600	21

PC = preparo convencional, PR = preparo reduzido e PD = plantio direto.

A = aveia, V = vica, M = milho e C = caupi.

(1) A = Colunas VII + VIII da Tabela 10

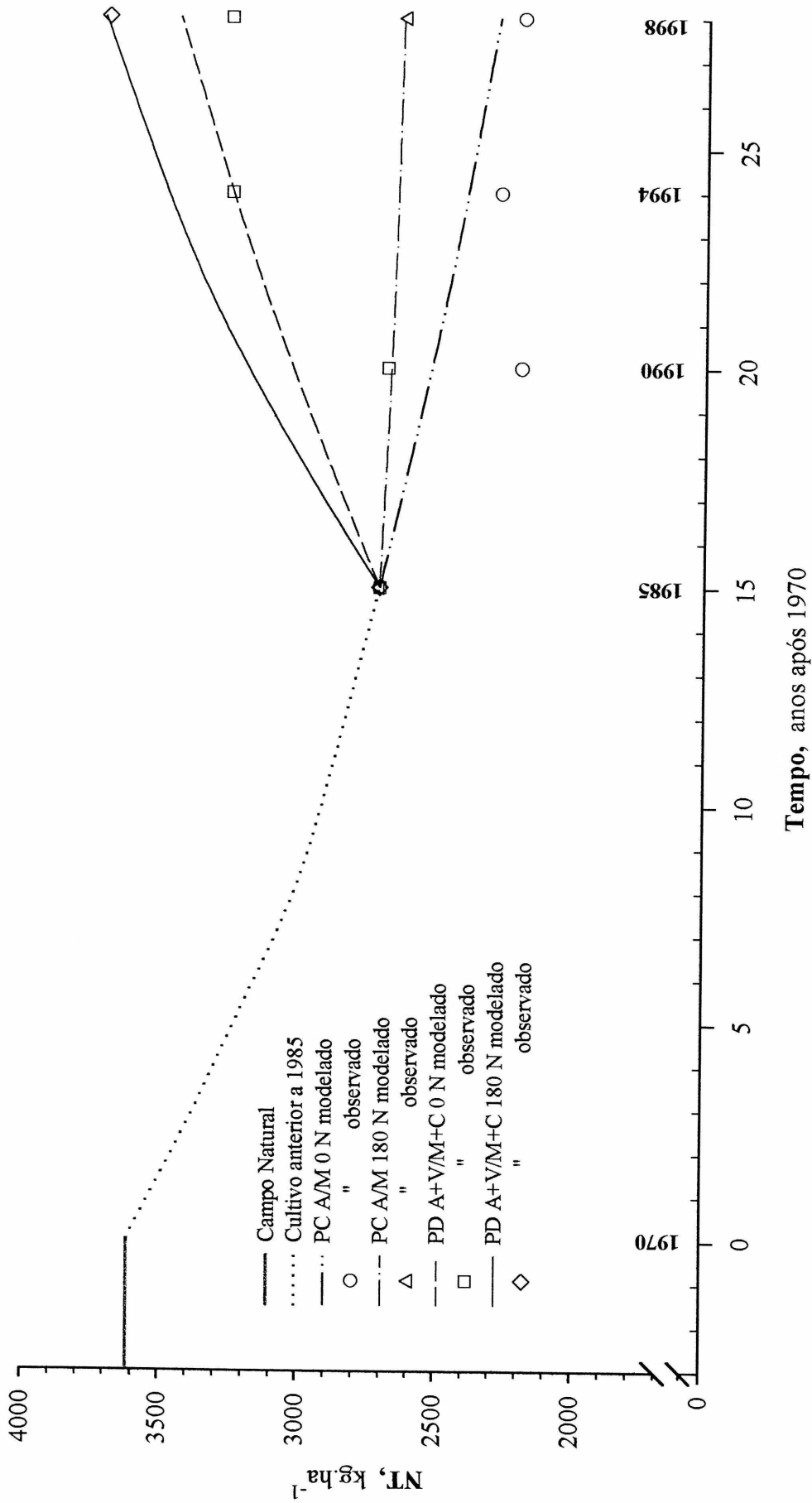


FIGURA 20. Modelagem do nitrogênio total (NT) em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd) submetido diferentes graus de revolvimento pelo preparo e diferentes adições de resíduo vegetais pelos sistemas de cultura. EEA-UFRGS, 1998.

Verifica-se na Tabela 18 que o valor de  $k_2$  no preparo convencional variou de  $0,0300 \text{ ano}^{-1}$  no PC A/M 0 N a  $0,0710 \text{ ano}^{-1}$  no mesmo tratamento com  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. No PD A+V/M+C o valor de  $k_2$  variou de  $0,0325$  a  $0,0600$ , respectivamente, sem e com adição de N mineral no milho. Estes valores, quando da adição de N mineral, são superiores aos observados para o C (Tabela 15), indicando haver perdas de N do sistema com a aplicação do adubo nitrogenado. Uma demonstração numérica destas diferenças encontra-se na Tabela 19.

Com estes valores de  $k_2$  foram estimados no PC A/M valores para o  $N_e$  iguais a  $1.400$  e  $2.592 \text{ kg ha}^{-1}$  e no PD A+V/M+C  $4.862$  e  $4.583 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente nas doses  $0$  e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral. Detalhamento destas diferenças encontra-se na Figura 20.

Na Figura 21 está representado o efeito das leguminosas e da adubação mineral sobre o  $N_e$  do solo. Observa-se que a ação das leguminosas pelo aumento de adição de N, fixado e reciclado, pela sua própria matéria seca e pelo aumento da produtividade das gramíneas, portanto mais N reciclado, tem acentuado efeito sobre o  $N_e$  nos dois preparos de solo.

TABELA 19. Coeficientes de perdas anuais de CO e NT do solo ( $k_2$ ), utilizados para a modelagem do CO e NT do solo, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PvD) sob três sistemas de cultura, três preparos do solo e dois níveis de N. Estação Experimental Agronômica da UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Preparo	Sistemas		$k_2$ para CO	$k_2$ para NT	Diferença entre $k_2$ do CO e NT <sup>(2)</sup>
	Cultura	Nível de N mineral			
		kg ha <sup>-1</sup>	.....	%ano <sup>-1</sup>	.....
PC	A/M	0	4,94	3,00	-1,94
	V/M	0	4,94	6,00	1,06
	A+V/M+C	0	4,94	6,00	1,06
PR	A/M	0	3,95	2,00	-1,95
	V/M	0	3,95	4,80	0,85
	A+V/M+C	0	3,95	4,80	0,85
PD	A/M	0	2,70	1,80	-0,90
	V/M	0	2,70	3,25	1,45
	A+V/M+C	0	2,70	3,25	1,45
PC	A/M	180	4,94	7,10	2,16
	V/M	180	4,94	9,00	4,06
	A+V/M+C	180	4,94	9,00	4,06
PR	A/M	180	3,95	6,00	2,05
	V/M	180	3,95	8,50	4,55
	A+V/M+C	180	3,95	8,50	4,55
PD	A/M	180	2,70	4,50	1,80
	V/M	180	2,70	6,00	3,30
	A+V/M+C	180	2,70	6,00	3,30

PD = preparo convencional, PR = preparo reduzido e PD = plantio direto  
 A = aveia, V = vicia, M = milho e C = caupi.

(1) Calculada pela fórmula: Diferença =  $k_2$  do NT -  $k_2$  do CO

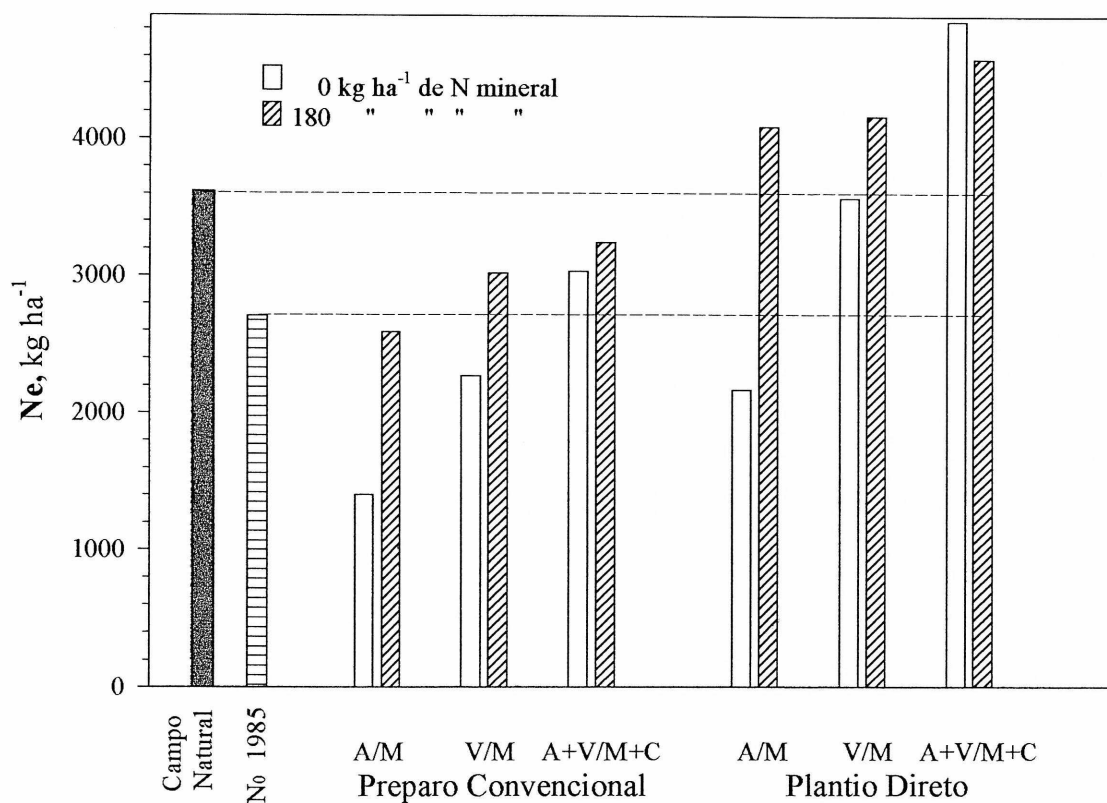


FIGURA 21. Efeito das leguminosas no sistema de culturas e da adubação nitrogenada mineral sobre o teor de nitrogênio total do solo na estabilidade (Ne), em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), manejado sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), na EEA-UFRGS, em Eldorado do Sul, RS.

## 5. CONCLUSÕES

1 - A presença de leguminosas nos sistemas de cultura proporcionou aumento no rendimento, na adição de C e N e acúmulo destes elementos no solo. O mesmo efeito foi observado com a adubação nitrogenada, sendo este efeito mais pronunciado nos sistemas de cultura sem leguminosas.

2 - A redução da intensidade de revolvimento do solo refletiu-se na redução das taxas de perda ( $k_2$ ) do CO e do NT.

3 - Na estabilidade (Ce e Ne) os estoques estimados de carbono e nitrogênio do solo superam os do campo natural, nos três sistemas de cultura sob plantio direto e adubação nitrogenada, sendo que resultado semelhante foi obtido pelo sistema aveia + vica / milho + caupi, sob plantio direto, sem adubação nitrogenada.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- + AITA, C.; CERETTA, C.A.; THOMAS, A.L.; PAVINATO, A.; BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.101-108, 1994.
- + AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. Porto Alegre, 1997. 201f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- † AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.553-560, 2000.
- † AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.189-197, 2001.
- ANDRIULLO, A.; MARY, B.; GUERIF, J. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. **Agronomie**, Paris, v.19, p.365-377, 1999.
- \* BALESSENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v.28, p.1261-1263, 1996.
- BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. Porto Alegre, 1992. 183f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992.

- ✕ BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre, 1996. 240f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.599-607, 2000.
- BOLINDER, M.A.; ANGERS, D.A.; GIROUX, M.; LAVERDIÈRE, M.R. Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea mays* L.). **Plant and Soil**, The Hage, v.215, p.85-91, 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul**. Recife. 431p. 1973. (Boletim Técnico, 30).
- BURLE, M.L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant and Soil**, The Hage, v.190, p.309-316, 1997.
- BUYANOVSKY, G.A., C.L. KUCERA, C.L.; WAGNER, G.H. Comparative analyses of carbon dynamics in native and cultivated ecosystems. **Ecology**, Washington, DC, v.68, p.2023-2031, 1987.
- CERRI, C.C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo no agroecossistema cana-de-açúcar**. Piracicaba, 1986. 197p. Tese (Livre Docência) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.
- CHRISTENSEN, B.T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Eds.) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p.97-165.
- CLOUGH, A; SKJEMSTAD, J.O. Physical and chemical protection of soil organic carbon in three agricultural soils with different contents of calcium carbonate. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.38, p.1005-1016, 2000.
- CORNEJO, J.; HERMOSÍN, M.C. Interaction of humic substances and soil clays. In: PICCOLO, A (Ed.). **Humic Substances in Terrestrial Ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p.595-624.
- DALAL, R.C.; MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. II Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.24, p.281-292, 1986a.



- DALAL, R.C.; MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. V Rate of loss of total nitrogen from the soil profile and changes in carbon: nitrogen ratios. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.24, p.493-504, 1986b.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ), Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.
- ✕ FERNANDES, S.B.V. **Disponibilidade e eficiência de uso do nitrogênio pelo milho em sistemas de cultura**. Porto Alegre, 1998. 137f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1998.
- ✕ FREITAS, V.H. **Eficiência de sistemas de preparo do solo e de culturas no fornecimento de nitrogênio para o milho**. Porto Alegre, 1988. 148f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1988.
- ✕ FREITAS, V.H.; ROSSO, A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Efeito de métodos de preparo do solo e sistemas de cultura na absorção de nitrogênio e rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto alegre, v.2, n.1, p.69-77, 1996.
- ✕ GONÇALVES, C.N. **Plantas de cobertura de solo no inverno e seus efeitos sobre carbono, nitrogênio e fósforo do solo e na produtividade do milho em sucessão, sob plantio direto**. Santa Maria, 1997. 115f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Biodinâmica de Solos) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 1997.
- GHUMAN, B.S.; SUR, H.S. Tillage and residue management effects on soil properties and yields of rainfed maize and wheat in a subhumid subtropical climate. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.58, p.1-10, 2001.
- GREENLAND, D.J. Land use and soil carbon in different agroecological zones. In: LAL, R.; KIMBLE, J. LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Eds.) **Advances in Soil Science: soil management and greenhouse effect**. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, 1995. p.9-24.
- GU, B.; SHIMITT, J.; CHEN, Z.; ILANG, L.; MCCARTHY, J.F. Adsorption and desorption of natural organic matter on iron oxide: mechanisms and models. **Environmental Science and Technology**, Washington, v.28, p.38-46, 1994.
- HENIN, S.; DUPUIS, M. Essai de bilan de la matière organique du sol. **Annales Agronomiques**, Paris, v.15, p.17-29, 1945.
- HYVÖNEN, R.; AGREN, G.I.; BOSATTA, E. Predicting long-term soil carbon storage from short-term information. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.62, p.1000-1005, 1998.

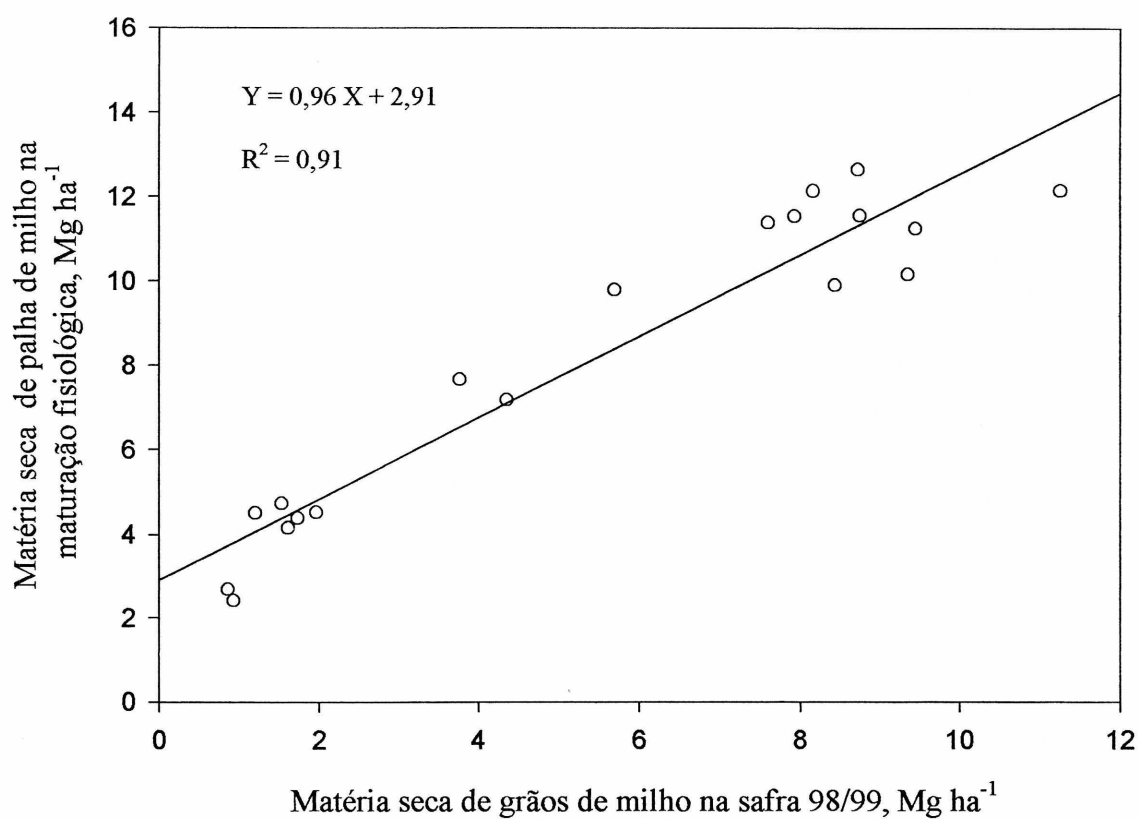
- JANSSEN, B.H. A simple method for calculating decomposition and accumulation of "young" soil organic matter. **Plant and Soil**, The Hage, v.76, p.297-305, 1984.
- JASTROW, J.D.; MILLER, R.M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organo-mineral associations. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A. (Eds.) **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p.207-223.
- KOOISTRA, M.J.; VAN NOORDWIJK, M. Soil architecture and distribution of organic matter. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Eds.), **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p.15-56.
- LAL, R.; KIMBLE, J. LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Eds.) **Advances in Soil Science: soil management and greenhouse effect**. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, 385p. 1995.
- LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.43, p.81-108, 1997.
- LAL, R.; FOLLETT, R.F.; KIMBLE, J.; COLE, C.V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.54, n.1, p.374-381, 1999.
- LEAL, M.A.A. **Proposta de modelo de simulação no estudo da dinâmica da matéria orgânica do solo**. Seropédica, 1996. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1996.
- LEAL, M.A.A.; DE-POLLI, H. Aplicação de modelos ao estudo da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.245-263.
- MARTIN, J.P.; HAIDER, K. Influence of mineral colloids on turnover rates of soil organic carbon. In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Eds.) **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**. Soil Science Society of America. Special Publication, 17. ASA, Madison, 1986. p.283-304.
- MEDEIROS, J.C. **Sistemas de culturas adaptados à produtividade, recuperação e conservação do solo**. Porto Alegre, 1985. 89f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.1-8.

- OADES, J.M. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.5, p.35-70, 1981.
- PARFITT, R.L.; FRASER, A.R.; FARMER, V.C. Adsorption on hydrous oxides. III. Fulvic acid and humic acid on goethite, gibbsite and imogolite. **Journal of Soil Science**, [Oxford], v.28, p.289-296, 1977.
- PARFITT, R.L.; THENG, B.K.G.; WHITTON, J.S.; SHEPHERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, Amsterdam, v.75, p.1-12 1997.
- PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.1173-1179, 1987.
- \* PAVINATTO, A. **Teores de carbono e nitrogênio do solo e produtividade de milho afetados por sistemas de cultura**. Porto Alegre, 1993. 122f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.
- PICCOLO, A. Humus and soil conservation. In: Piccolo, A. (Ed.) **Humic Substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p.225-264.
- PILLON, C.N. **Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de cultura em plantio direto**. Porto Alegre, 2000. 248f. Tese (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, 2000.
- POTTER, K.N.; TORBERT, H.A.; JONES, O.R.; MATOCHA, J.E.; MORRISON Jr., J.E.; UNGER, P.W. Distribution and amount of soil organic C in long-term management systems in Texas. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam., v.47, p.309-321, 1998.
- PÖTTKER, D. **Efeito do tipo de solo, tempo de cultivo e da calagem sobre a mineralização da matéria orgânica em solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1977. 128f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1977.
- RASMUSSEN, P.E.; SMILEY, R.W. Soil carbon and nitrogen change in long-term agricultural experiments at Pendleton, Oregon. In: PAUL, E.A.; PUSTIAN, K.; ELLIOT, E.T.; COLE, C.V. (Eds.) **Soil organic matter in temperate agroecosystems: long-term experiments in North America**. CRC Press, Boca Raton, 1997. p.353-360.

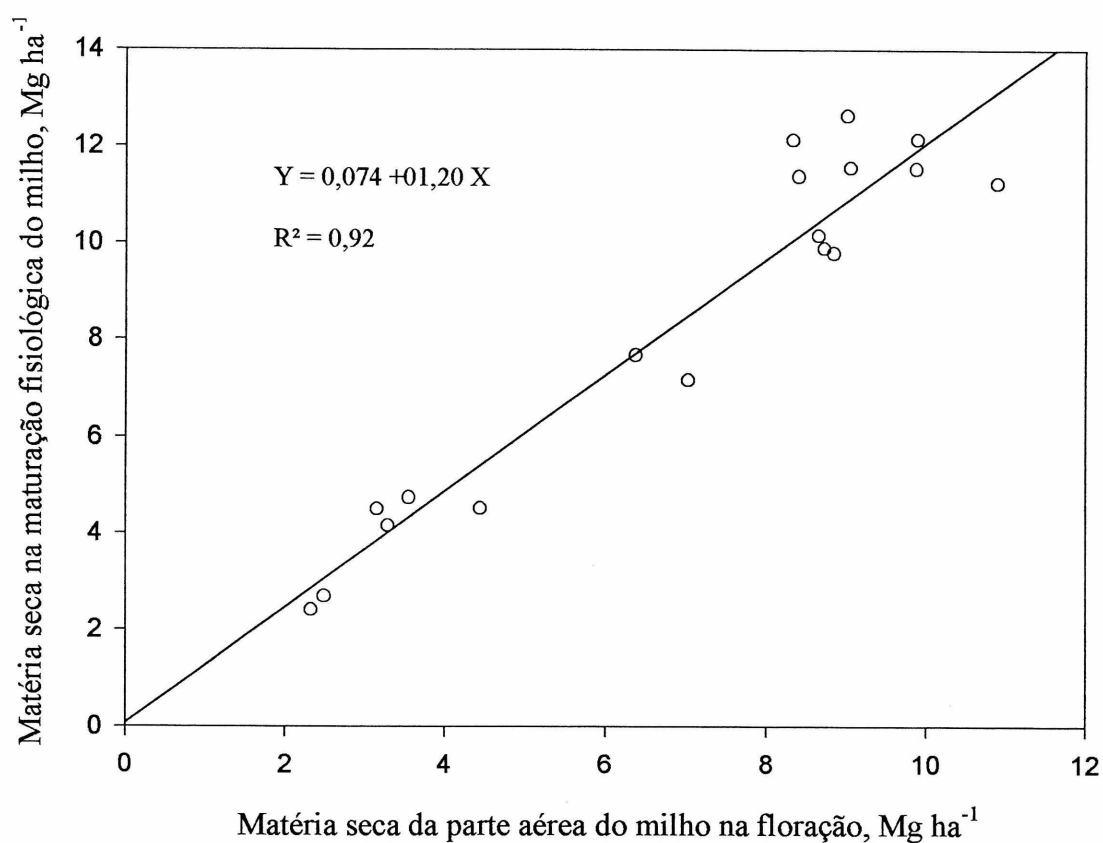
- RAUN, W.R., JOHNSON, G.V., PHILLIPS, S.B. & WESTERMAN, R.L. Effect of long-term N fertilization on soil organicC and total N in continuous wheat under conventional tillage in Oklahoma. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam., v.47, p.323-330, 1998.
- ROSSO, A. **Manejo de culturas de cobertura do solo no inverno e sua relação com a produtividade do milho**. Porto Alegre, 1989. 117f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- SANCHEZ, P.A. Soil organic matter. In: SANCHEZ, P.A. (Ed.) **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley, 1976. p.162-183.
- SILVEIRA, A.M.; VICTORIA, R.L.; BALLESTER, M.V.; CAMARGO, P.B.; MARTINELLI, L.A.; PICCOLO, M.C. Simulação dos efeitos das mudanças do uso da terra na dinâmica de carbono no solo na bacia do rio Piracicaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.389-399, 2000.
- STOCKFISCH, N.; FORSTREUTER, T.; EHLERS, W. Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam., v.52, p.92-101, 1999.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. rev. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p.
- TESTA, V.M. **Características químicas de um podzólico vermelho escuro, nutrição e rendimento do milho afetados por sistemas de culturas**. Porto Alegre, 1989. 134f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- VAN VEEN, J.A.; PAUL, E.A. Organic carbon dynamics in grassland soil. I Background information and computer simulation. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v.61, p.185-201, 1981.
- \* WOODRUFF, C.M. Estimating the nitrogen delivery of soil from the organic matter determination as reflected by sanborn field. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.14, p.208-212, 1949.
- YANG, X.M.; WANDER, M.M. Tillage effects on soil organic carbon distribution and storage in a silt loam soil in Illinois. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.52, p.1-9, 1999.

## **7. APÊNDICES**

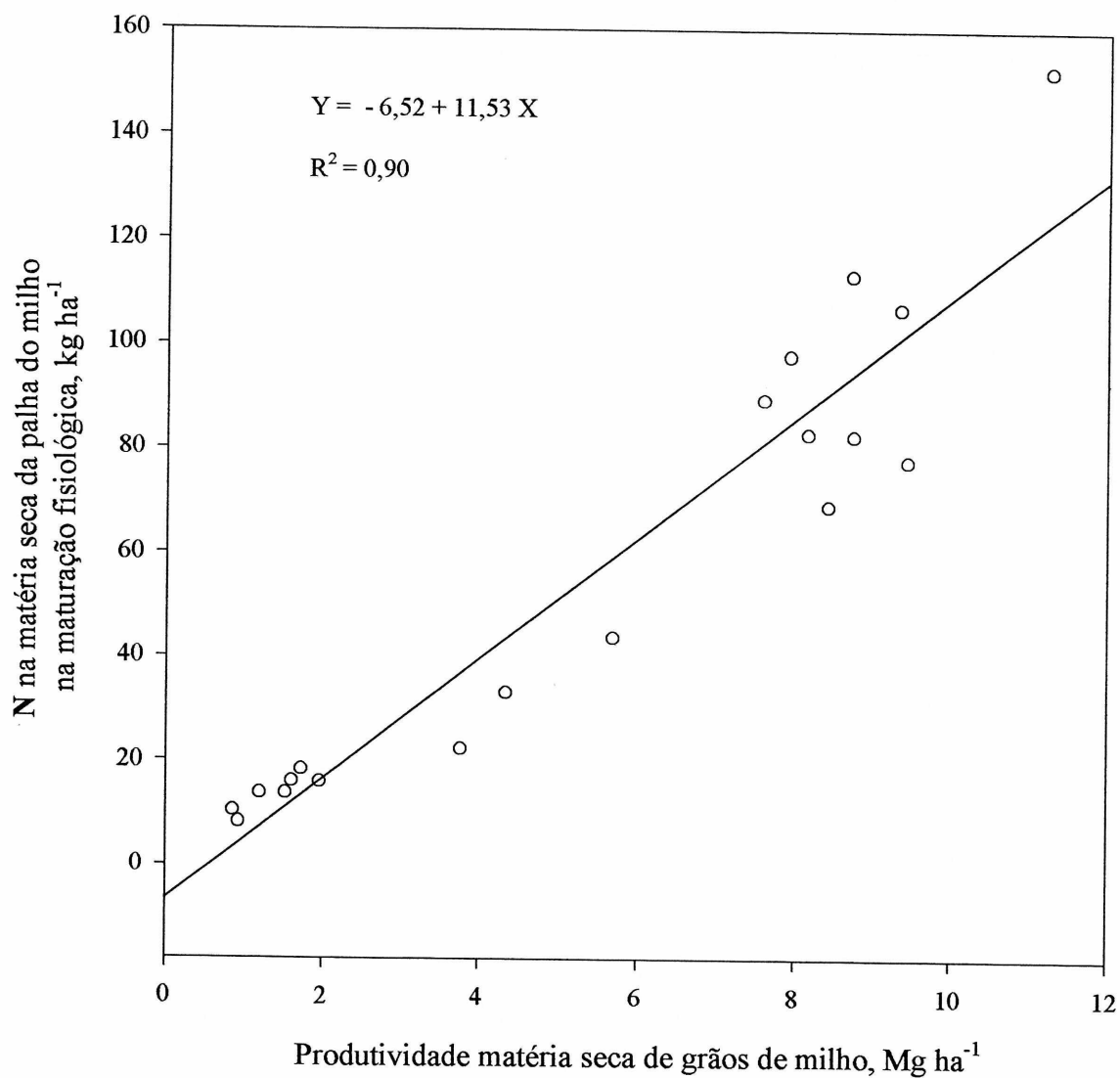
Apêndice 1. Relação entre matéria seca do milho na maturação fisiológica e produtividade de matéria seca de grãos, no ano agrícola de 98/99, em experimento com três métodos de preparo do solo, três sistemas de cultura e duas dois níveis de N mineral, na Estação Experimental Agronômica da UFRGS.



Apêndice 2. Relação entre matéria seca de plantas de milho na floração e matéria seca na maturação fisiológica, no ano agrícola de 98/99, em experimento com três métodos de preparo do solo, três sistemas de cultura e duas dois níveis de N mineral, na Estação Experimental Agronômica da UFRGS.

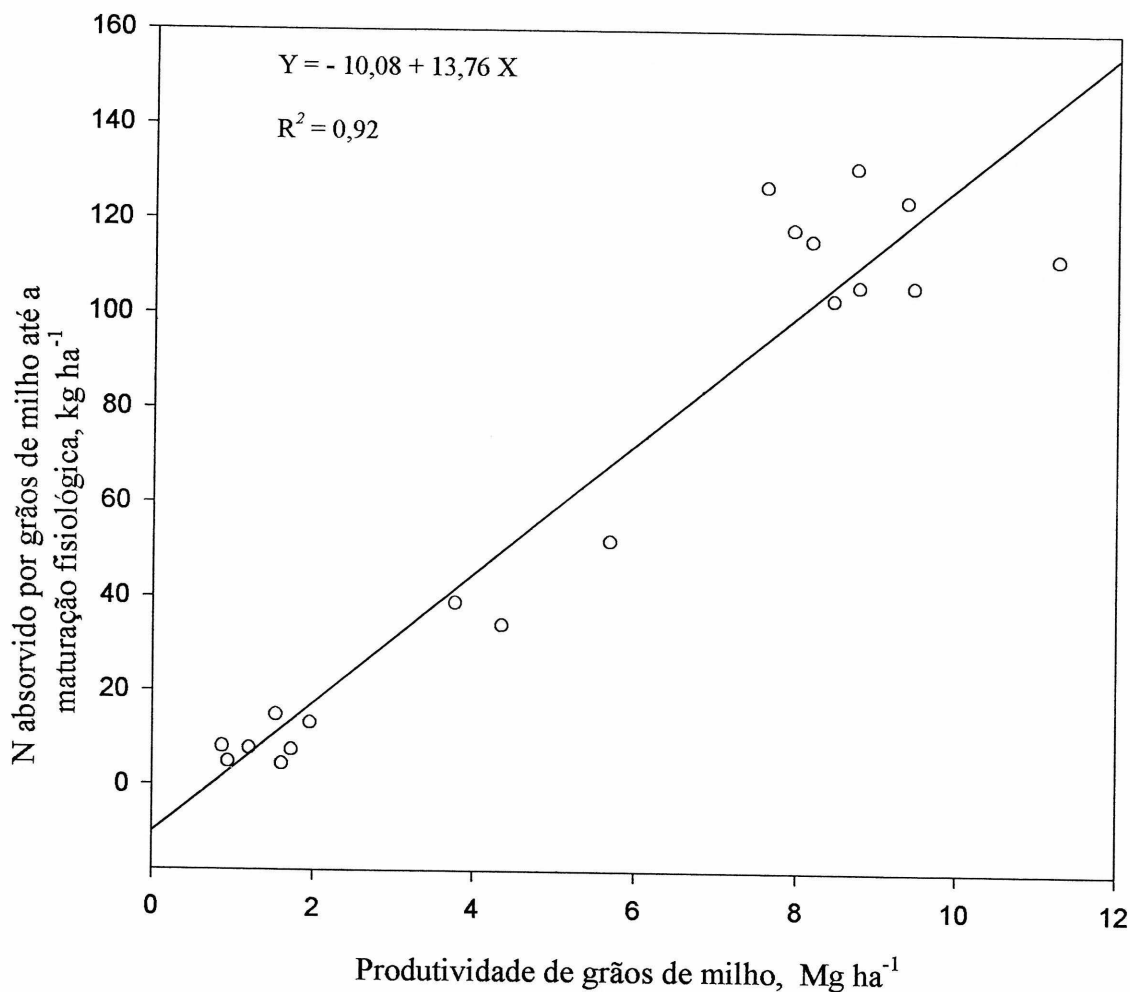


Apêndice 3. Relação entre produtividade de matéria seca de grãos de milho e nitrogênio na matéria seca do milho na maturação fisiológica, no ano agrícola de 98/99, em experimento com três métodos de preparo do solo, três sistemas de cultura e duas dois níveis de N mineral, na Estação Experimental Agronômica da UFRGS.





Apêndice 4. Relação entre a produtividade de grãos de milho e nitrogênio absorvido pelos grãos até a maturação fisiológica, no ano agrícola de 98/99, em experimento com três métodos de preparo do solo, três sistemas de cultura e dois níveis de N mineral, na Estação Experimental Agronômica da UFRGS.



Apêndice 5. Rendimento de matéria seca de grãos de milho em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 níveis de N mineral, em experimento conduzido há 14 anos na EEA-FA-UFRGS.

Preparos N (kg/ha)	Preparo Convencional						Preparo Reduzido						Plantio Direto						
	0		180		180		0		180		180		0		180		180		
Culturas	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	
Safra	Ano -----Mg/ha-----																		
85/86	1°	3,04	2,76	1,97	4,18	2,84	2,60	2,24	2,72	1,40	3,94	3,08	2,51	2,05	2,13	1,68	4,09	3,23	2,61
86/87	2°	1,36	2,36	1,68	5,21	5,48	5,55	1,04	1,96	1,55	5,37	4,91	4,64	1,21	1,68	1,99	4,91	4,78	5,12
87/88	3°	1,75	2,10	1,85	4,86	5,17	5,20	1,64	1,67	1,96	5,57	4,92	5,67	1,51	1,88	1,96	5,44	4,71	5,45
88/89	4°	2,68	4,36	4,00	4,90	5,49	5,11	2,42	3,67	4,76	5,31	5,46	5,14	2,42	4,28	4,20	5,05	5,84	5,69
89/90	5°	2,18	3,00	3,04	5,32	5,29	4,78	2,41	2,76	2,56	5,01	4,17	5,04	2,28	2,52	2,34	4,50	5,10	4,20
90/91	6°	2,59	3,84	3,50	4,80	4,31	4,84	2,56	3,09	3,16	4,95	4,25	5,08	2,12	3,39	2,82	4,84	4,16	4,37
91/92	7°	2,79	4,20	3,64	7,06	6,88	7,08	2,05	3,33	3,34	6,97	6,26	6,93	1,72	3,44	3,18	6,53	6,65	6,57
92/93	8°	1,30	2,25	2,38	3,76	3,72	4,19	1,42	2,20	2,58	3,91	4,48	4,24	1,34	2,04	3,00	3,89	4,38	4,53
93/94	9°	4,28	6,80	6,00	7,00	7,20	7,51	3,14	4,92	5,35	6,69	7,22	7,49	2,40	5,85	5,08	6,24	7,33	7,84
94/95	10°	1,49	4,12	3,93	5,12	6,14	5,62	1,83	3,64	3,52	5,35	5,54	4,76	1,84	3,99	3,36	5,72	6,46	5,89
95/96	11°	2,92	5,61	4,55	7,82	8,08	7,99	3,70	5,61	5,51	7,86	7,96	8,46	2,46	5,16	4,28	7,82	7,96	8,58
96/97	12°	1,69	4,84	3,10	7,24	7,15	5,91	1,22	3,90	4,38	7,31	6,76	6,60	1,21	4,79	4,86	5,98	6,22	6,52
97/98	13°	1,36	5,17	5,31	8,36	8,39	8,66	2,40	5,51	5,16	8,81	8,83	8,48	1,80	5,13	4,38	8,00	8,32	9,15
98/99	14°	1,11	4,03	4,63	8,67	9,46	10,23	1,22	4,57	4,60	8,44	9,86	9,40	1,74	4,98	5,25	8,82	10,36	8,70
<b>Soma</b>		29,4	51,4	45,0	75,6	76,1	75,0	28,1	45,0	45,2	77,0	73,8	75,0	24,4	46,3	43,1	73,0	75,2	76,5
<b>Média</b>		2,26	3,95	3,46	5,82	5,86	5,77	2,16	3,46	3,48	5,93	5,68	5,77	1,87	3,56	3,32	5,62	5,78	5,89

Apêndice 6. Rendimento de grãos de milho (12,5% H<sub>2</sub>O) em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 níveis de N mineral, em experimento conduzido há 14 anos na EEA-FA-UFRGS.

Preparos	Preparo Convencional						Preparo Reduzido						Plantio Direto						
	0		180		180		0		180		180		0		180		180		
N (kg/ha)	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	
<b>Culturas</b>																			
<b>Safra</b>	-----Mg/ha-----																		
85/86	1°	3,42	3,10	2,22	4,70	3,19	2,93	2,52	3,06	1,57	4,43	3,47	2,82	2,31	2,40	1,89	4,60	3,63	2,94
86/87	2°	1,53	2,66	1,89	5,86	6,16	6,24	1,17	2,21	1,74	6,04	5,52	5,22	1,36	1,89	2,24	5,52	5,38	5,76
87/88	3°	1,97	2,36	2,08	5,47	5,82	5,85	1,85	1,88	2,20	6,27	5,53	6,38	1,70	2,11	2,20	6,12	5,30	6,13
88/89	4°	3,02	4,90	4,50	5,51	6,18	5,75	2,72	4,13	5,36	5,97	6,14	5,78	2,72	4,81	4,72	5,68	6,57	6,40
89/90	5°	2,45	3,37	3,42	5,99	5,95	5,38	2,71	3,11	2,88	5,64	4,69	5,67	2,56	2,84	2,63	5,06	5,74	4,72
90/91	6°	2,91	4,32	3,94	5,40	4,85	5,45	2,88	3,48	3,56	5,57	4,78	5,72	2,39	3,81	3,17	5,45	4,68	4,92
91/92	7°	3,14	4,72	4,10	7,94	7,74	7,97	2,31	3,75	3,76	7,84	7,04	7,80	1,93	3,87	3,58	7,35	7,48	7,39
92/93	8°	1,46	2,53	2,68	4,23	4,19	4,71	1,60	2,48	2,90	4,40	5,04	4,77	1,51	2,29	3,38	4,38	4,93	5,10
93/94	9°	4,81	7,65	6,75	7,88	8,10	8,45	3,53	5,53	6,02	7,53	8,12	8,43	2,70	6,58	5,72	7,02	8,25	8,82
94/95	10°	1,68	4,63	4,42	5,76	6,91	6,32	2,06	4,09	3,96	6,02	6,23	5,35	2,07	4,49	3,78	6,44	7,27	6,63
95/96	11°	3,28	6,31	5,12	8,80	9,09	8,99	4,16	6,31	6,20	8,84	8,96	9,52	2,77	5,80	4,81	8,80	8,96	9,65
96/97	12°	1,90	5,44	3,49	8,14	8,04	6,65	1,37	4,39	4,93	8,22	7,61	7,42	1,36	5,39	5,47	6,73	7,00	7,34
97/98	13°	1,53	5,82	5,97	9,41	9,44	9,74	2,70	6,20	5,80	9,91	9,93	9,54	2,02	5,77	4,93	9,00	9,36	10,29
98/99	14°	1,25	4,53	5,21	9,75	10,64	11,51	1,37	5,14	5,18	9,50	11,09	10,58	1,96	5,60	5,91	9,92	11,66	9,79
Soma 14 anos		34,4	62,3	55,8	94,8	96,3	95,9	33,0	55,8	56,1	96,2	94,2	95,0	29,4	57,7	54,4	92,1	96,2	95,9
Média 14 anos		2,45	4,45	3,99	6,77	6,88	6,85	2,35	3,98	4,00	6,87	6,73	6,79	2,10	4,12	3,89	6,58	6,87	6,85
Total 13 anos		33,1	57,8	50,6	85,1	85,7	84,4	31,6	50,6	50,9	86,7	83,1	84,4	27,4	52,1	48,5	82,2	84,6	86,1
Média 13 anos		2,55	4,45	3,89	6,55	6,59	6,49	2,43	3,89	3,91	6,67	6,39	6,49	2,11	4,00	3,73	6,32	6,50	6,62

Apêndice 7. Matéria seca de culturas de cobertura de inverno em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 níveis de N mineral, na EEA--UFRGS.

Preparos	Preparo Convencional						Preparo Reduzido						Plantio Direto					
	0		180		180		0		180		180		0		180		180	
(kg/ha)	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC
<b>Inverno Ano</b>	-----Mg/ha-----																	
85	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57
86	2,13	4,47	4,77	3,68	5,01	5,32	1,88	3,74	5,02	3,08	5,24	5,98	1,74	3,68	4,29	2,88	4,03	5,33
87	2,37	2,91	3,16	2,38	3,13	3,22	2,12	2,62	2,83	2,88	2,96	3,12	2,20	2,53	3,51	2,79	3,04	3,21
88	2,67	7,76	5,41	2,91	6,49	6,66	2,08	6,33	6,45	2,50	5,77	5,85	2,57	6,94	5,33	2,77	6,60	5,55
89	3,30	5,38	5,22	3,85	5,96	6,07	3,05	5,18	5,73	3,72	5,68	5,95	3,47	5,31	5,64	4,17	5,66	5,68
90	4,05	5,69	5,49	3,91	6,92	6,40	4,03	6,92	5,84	4,38	6,95	6,74	4,16	6,54	6,63	5,19	6,95	6,46
91	3,70	5,66	5,72	4,75	7,09	6,83	4,68	5,63	6,81	5,50	6,77	6,32	5,98	6,40	6,84	6,54	7,12	6,56
92	4,89	5,77	6,77	5,46	7,12	7,98	3,50	5,86	7,44	3,97	6,41	7,68	4,19	5,74	7,22	4,85	6,24	6,98
93	2,50	4,71	6,76	3,23	4,51	5,04	2,98	4,26	6,20	4,14	4,28	5,53	2,73	3,79	6,04	4,11	3,22	4,56
94	2,92	6,04	8,44	2,43	7,51	6,09	3,35	5,22	6,50	4,03	7,11	7,32	2,29	1,90	4,13	1,19	2,91	2,68
95	3,32	4,63	8,76	4,29	4,44	6,53	4,12	3,74	6,46	5,74	3,76	5,76	3,55	4,03	8,36	5,35	3,42	6,31
96	3,61	5,17	6,29	4,65	4,96	4,69	3,70	4,67	6,20	5,15	4,69	5,53	3,74	4,96	6,75	5,63	4,21	5,09
97	1,55	4,43	5,61	2,80	2,87	4,36	1,87	4,12	6,77	3,24	3,22	4,12	1,78	4,69	5,87	2,68	3,04	4,37
98	1,12	3,26	4,70	1,98	2,79	3,52	1,84	3,57	5,05	2,53	2,63	4,90	2,27	3,36	5,11	2,03	2,50	4,35
Soma	40,7	68,5	79,7	48,9	71,4	75,3	41,8	64,4	79,9	53,4	68,0	77,4	43,2	62,4	78,3	52,8	61,5	69,7
Média 14 anos	2,91	4,89	5,69	3,49	5,10	5,38	2,98	4,60	5,71	3,82	4,86	5,53	3,09	4,46	5,59	3,77	4,39	4,98
C adição anual	1,51	2,54	2,96	1,82	2,65	2,80	1,55	2,39	2,97	1,98	2,53	2,87	1,61	2,32	2,91	1,96	2,28	2,59
C adic. Caupi			1,54		1,45				1,54			1,49						
C cult cobertura.	1,51	2,54	4,50	1,82	2,65	4,25	1,55	2,39	4,51	1,98	2,53	4,37	1,61	2,32	4,42	1,96	2,28	3,94

Apêndice 8. Carbono adicionado por culturas de cobertura (Aveia, Vicia e Caupi) em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 níveis de N mineral, em experimento conduzido há 14 anos na EEA-FA-UFRGS.

Preparos (kg/ha)	Preparo Convencional						Preparo Reduzido						Plantio Direto						
	0		180		180		0		180		180		0		180		180		
Culturas	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	
Inverno	-----Mg/ha-----																		
Ano																			
85	1°	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
86	2°	1,11	2,32	3,41	1,91	2,61	3,29	0,98	1,94	3,44	1,60	2,72	3,56	0,90	1,91	3,02	1,50	2,10	3,29
87	3°	1,23	1,51	2,57	1,24	1,63	2,19	1,10	1,36	2,30	1,50	1,54	2,07	1,14	1,32	2,62	1,45	1,58	2,19
88	4°	1,39	4,04	3,74	1,51	3,37	3,98	1,08	3,29	4,18	1,30	3,00	3,49	1,34	3,61	3,56	1,44	3,43	3,41
89	5°	1,72	2,80	3,64	2,00	3,10	3,68	1,59	2,69	3,81	1,93	2,95	3,54	1,80	2,76	3,72	2,17	2,94	3,47
90	6°	2,11	2,96	3,78	2,03	3,60	3,85	2,10	3,60	3,87	2,28	3,61	3,95	2,16	3,40	4,24	2,70	3,61	3,88
91	7°	1,92	2,94	3,90	2,47	3,69	4,07	2,43	2,93	4,37	2,86	3,52	3,74	3,11	3,33	4,35	3,40	3,70	3,93
92	8°	2,54	3,00	4,45	2,84	3,70	4,67	1,82	3,05	4,70	2,06	3,33	4,44	2,18	2,98	4,54	2,52	3,24	4,15
93	9°	1,30	2,45	4,45	1,68	2,35	3,14	1,55	2,22	4,05	2,15	2,23	3,33	1,42	1,97	3,93	2,14	1,67	2,89
94	10°	1,52	3,14	5,32	1,26	3,91	3,69	1,74	2,71	4,21	2,10	3,70	4,26	1,19	0,99	2,94	0,62	1,51	1,91
95	11°	1,73	2,41	5,49	2,23	2,31	3,92	2,14	1,94	4,19	2,98	1,96	3,45	1,85	2,10	5,14	2,78	1,78	3,80
96	12°	1,88	2,69	4,20	2,42	2,58	2,96	1,92	2,43	4,05	2,68	2,44	3,33	1,94	2,58	4,30	2,93	2,19	3,17
97	13°	0,81	2,30	3,85	1,46	1,49	2,79	0,97	2,14	4,35	1,68	1,67	2,59	0,93	2,44	3,84	1,39	1,58	2,79
98	14°	0,58	1,70	3,37	1,03	1,45	2,35	0,96	1,86	3,46	1,32	1,37	3,00	1,18	1,75	3,45	1,06	1,30	2,78
Soma		20,6	33,9	50,1	24,4	35,7	43,6	20,8	31,6	48,9	26,5	34,0	43,1	21,3	30,7	47,5	26,4	30,7	40,2
C adição anual		1,58	2,61	3,86	1,88	2,74	3,35	1,60	2,43	3,76	2,04	2,62	3,31	1,64	2,36	3,66	2,03	2,36	3,09

Apêndice 9. Matéria seca na maturação fisiológica do milho em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e dois níveis de N mineral, em experimento conduzido há 14 anos na EEA-FA-UFRGS. MSmatfisiol=(0,9633 MS de Grãos)+2,9063 e MSmatfisiol=(MSfloração-0,6757) / 0,752

Preparos	Preparo Convencional						Preparo Reduzido						Plantio Direto					
	0		180		180		0		180		180		0		180		180	
(kg/ha)	AM	VM	AV/MC	AM	VM	AV/MC	AM	VM	AV/MC	AM	VM	AV/MC	AM	VM	AV/MC	AM	VM	AV/MC
<b>Culturas</b>	AM	VM	AV/MC	AM	VM	AV/MC	AM	VM	AV/MC	AM	VM	AV/MC	AM	VM	AV/MC	AM	VM	AV/MC
<b>Safras</b>	-----Mg/ha-----																	
85/86	5,8	5,6	4,8	6,9	5,6	5,4	5,1	5,5	4,3	6,7	5,9	5,3	4,9	5,0	4,5	6,8	6,0	5,4
86/87	4,0	4,5	4,3	6,0	6,7	7,5	3,1	3,6	4,1	6,6	6,1	6,0	2,3	3,3	2,5	4,5	4,6	5,4
87/88	4,6	4,9	4,7	7,6	7,9	7,9	4,5	4,5	4,8	8,3	7,6	8,4	4,4	4,7	4,8	8,1	7,4	8,2
88/89	5,6	9,2	8,9	10,5	12,8	12,7	5,5	8,9	10,9	11,9	12,9	12,9	4,2	7,7	8,8	9,1	11,3	10,1
89/90	5,0	5,8	5,8	8,0	8,0	7,5	5,2	5,6	5,4	7,7	6,9	7,8	5,1	5,3	5,2	7,2	7,8	6,9
90/91	4,2	6,3	6,9	9,7	11,1	10,8	3,4	4,1	3,5	10,7	8,1	9,1	2,3	4,1	3,8	8,7	8,7	8,2
91/92	5,6	6,9	6,4	9,7	9,5	9,7	4,9	6,1	6,1	9,6	8,9	9,6	4,6	6,2	6,0	9,2	9,3	9,2
92/93	4,2	5,1	5,2	6,5	6,5	6,9	4,3	5,0	5,4	6,7	7,2	7,0	4,2	4,9	5,8	6,7	7,1	7,3
93/94	7,0	9,5	8,7	9,7	9,8	10,1	5,9	7,6	8,1	9,4	9,9	10,1	5,2	8,5	7,8	8,9	10,0	10,5
94/95	4,3	6,9	6,7	7,8	8,8	8,3	4,7	6,4	6,3	8,1	8,2	7,5	4,7	6,8	6,1	8,4	9,1	8,6
95/96	7,6	13,5	12,4	16,4	16,6	17,8	9,0	12,5	12,3	16,8	17,4	16,1	5,4	13,0	8,9	14,8	16,1	16,1
96/97	4,5	7,6	5,9	9,9	9,8	8,6	4,1	6,7	7,1	9,9	9,4	9,3	4,1	7,5	7,6	8,7	8,9	9,2
97/98	3,9	10,3	10,7	11,0	13,7	12,7	4,4	12,1	11,5	13,9	12,7	12,9	5,7	8,9	9,2	13,9	12,2	13,3
98/99	2,8	9,4	8,4	9,6	11,1	11,6	3,1	9,3	9,0	10,7	10,7	11,0	4,8	8,9	11,1	10,7	10,2	12,3
Soma 13°	66,4	96,0	91,5	119,7	127,0	126,1	64,1	88,8	89,6	126,3	121,3	122,0	56,9	86,0	81,0	115,0	118,7	118,5
Média 13°	5,1	7,4	7,0	9,2	9,8	9,7	4,9	6,8	6,9	9,7	9,3	9,4	4,4	6,6	6,2	8,8	9,1	9,1
C adição anual	2,65	3,84	3,66	4,79	5,08	5,04	2,57	3,55	3,59	5,05	4,85	4,88	2,28	3,44	3,24	4,60	4,75	4,74
MS mays+cciv	8,0	12,3	12,7	12,7	14,9	15,1	7,9	11,4	12,6	13,5	14,2	14,9	7,5	11,1	11,8	12,6	13,5	14,1

Apêndice 10. Carbono adicionado pelo Milho e pelas culturas de cobertura (Aveia, Vicia e Caupi) em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 níveis de N mineral, em experimento conduzido há 14 anos na EEA-FA-UFRGS.

Preparos (kg/ha)	Preparo Convencional						Preparo Reduzido						Plantio Direto						
	0		180		180		0		180		180		0		180		180		
Culturas	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	
Inverno	-----Mg/ha-----																		
Ano																			
85	1°	4,37	4,23	3,84	4,94	4,27	4,15	3,97	4,21	3,55	4,82	4,39	4,10	3,88	3,92	3,69	4,90	4,46	4,16
86	2°	3,18	4,66	5,63	5,02	6,09	7,18	2,60	3,84	5,55	5,06	5,92	6,70	2,10	3,65	4,31	3,86	4,49	6,10
87	3°	3,62	4,08	5,01	5,18	5,73	6,31	3,44	3,71	4,79	5,80	5,51	6,42	3,41	3,77	5,11	5,69	5,45	6,43
88	4°	4,31	8,82	8,39	6,99	10,03	10,57	3,93	7,94	9,87	7,47	9,72	10,22	3,50	7,64	8,14	6,16	9,33	8,68
89	5°	4,32	5,81	6,68	6,18	7,26	7,58	4,30	5,59	6,60	5,96	6,55	7,58	4,46	5,54	6,41	5,93	7,01	7,09
90	6°	4,29	6,25	7,36	7,07	9,39	9,49	3,88	5,74	5,70	7,84	7,84	8,67	3,36	5,53	6,23	7,22	8,16	8,16
91	7°	4,83	6,56	7,24	7,52	8,64	9,13	4,97	6,11	7,56	7,86	8,17	8,72	5,48	6,56	7,45	8,18	8,54	8,73
92	8°	4,70	5,64	7,15	6,23	7,08	8,28	4,04	5,66	7,50	5,53	7,09	8,08	4,36	5,52	7,56	5,98	6,95	7,93
93	9°	4,95	7,37	8,96	6,70	7,46	8,41	4,63	6,19	8,25	7,02	7,35	8,59	4,13	6,41	7,99	6,77	6,86	8,33
94	10°	3,78	6,71	8,80	5,34	8,49	8,01	4,17	6,05	7,48	6,29	7,98	8,15	3,62	4,50	6,13	5,00	6,26	6,38
95	11°	5,66	9,42	11,95	10,75	10,96	13,18	6,83	8,45	10,56	11,71	10,98	11,83	4,67	8,88	9,79	10,45	10,17	12,19
96	12°	4,23	6,62	7,27	7,55	7,67	7,43	4,05	5,89	7,76	7,85	7,34	8,14	4,06	6,49	8,25	7,44	6,82	7,95
97	13°	2,84	7,64	9,42	7,16	8,62	9,41	3,28	8,41	10,31	8,93	8,25	9,32	3,87	7,05	8,60	8,60	7,90	9,72
98	14°	2,06	6,58	7,75	6,00	7,24	8,38	2,55	6,71	8,11	6,86	6,92	8,74	3,67	6,38	9,24	6,60	6,61	9,17
Soma		55,1	83,8	97,7	86,6	101,7	109,1	54,1	77,8	95,5	92,1	97,1	106,5	50,9	75,4	89,7	86,2	92,4	101,8
C adição anual		4,24	6,45	7,52	6,67	7,82	8,39	4,16	5,98	7,34	7,09	7,47	8,19	3,92	5,80	6,90	6,63	7,11	7,83





Apêndice 12. N reciclado na palha do milho em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 níveis de N mineral, em experimento conduzido há 14 anos na EEA-FA-UFRGS.  $Y = -6,5212 + 11,5278X$  (Y=N na palha+sabugo na maturação fisiológica e X=rendimento de matéria seca de grãos)

Preparos	Preparo Convencional			Preparo Reduzido			Plantio Direto												
	0	180	180	0	180	180	0	180	180										
N (kg/ha)	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC							
Culturas	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC							
Safra	-----kg/ha-----																		
Ano	-----																		
85/86	1°	28,5	25,2	16,2	41,6	26,2	23,5	19,3	24,8	9,6	38,9	29,0	22,4	17,1	18,1	12,8	40,6	30,7	23,6
86/87	2°	9,2	20,7	12,8	53,5	56,6	57,4	5,5	16,1	11,3	55,4	50,0	47,0	7,4	12,8	16,4	50,0	48,6	52,5
87/88	3°	13,7	17,7	14,8	49,5	53,1	53,4	12,4	12,7	16,0	57,7	50,1	58,9	10,9	15,1	16,0	56,2	47,8	56,3
88/89	4°	24,4	43,7	39,6	49,9	56,8	52,4	21,4	35,8	48,4	54,7	56,4	52,7	21,4	42,8	41,8	51,7	60,8	59,1
89/90	5°	18,6	28,0	28,5	54,9	54,4	48,6	21,2	25,3	23,0	51,3	41,5	51,6	19,7	22,6	20,4	45,3	52,3	41,8
90/91	6°	23,3	37,7	33,9	48,8	43,2	49,3	23,0	29,1	30,0	50,6	42,5	52,1	18,0	32,5	26,0	49,3	41,4	43,9
91/92	7°	25,7	41,8	35,5	74,8	72,8	75,1	17,1	31,9	32,0	73,8	65,6	73,4	13,3	33,1	30,2	68,8	70,1	69,2
92/93	8°	8,4	19,4	20,9	36,8	36,4	41,7	9,9	18,9	23,2	38,6	45,1	42,4	9,0	16,9	28,1	38,4	44,0	45,7
93/94	9°	42,8	71,9	62,6	74,2	76,5	80,1	29,7	50,1	55,2	70,6	76,7	79,9	21,1	60,9	52,1	65,4	78,0	83,9
94/95	10°	10,7	40,9	38,8	52,5	64,3	58,2	14,6	35,4	34,1	55,2	57,3	48,3	14,7	39,5	32,2	59,5	68,0	61,4
95/96	11°	27,1	58,1	45,9	83,7	86,6	85,6	36,1	58,1	57,0	84,1	85,3	91,0	21,9	52,9	42,8	83,7	85,3	92,4
96/97	12°	12,9	49,2	29,2	76,9	75,9	61,6	7,5	38,5	44,0	77,7	71,5	69,5	7,4	48,7	49,5	62,4	65,2	68,7
97/98	13°	9,2	53,1	54,7	89,9	90,2	93,3	21,1	57,0	52,9	95,0	95,2	91,2	14,2	52,6	44,0	85,7	89,4	98,9
98/99	14°	6,3	39,9	46,9	93,4	102,5	111,4	7,5	46,1	46,6	90,8	107,1	101,9	13,6	50,9	54,0	95,1	113,0	93,8
Soma		254	508	434	787	793	780	239	434	437	803	766	780	196	449	412	757	782	797
Média		19,6	39,0	33,3	60,5	61,0	60,0	18,4	33,4	33,6	61,8	58,9	60,0	15,1	34,5	31,7	58,2	60,1	61,3

Apêndice 13. N retirado por grãos de milho em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 níveis de N mineral, em experimento conduzido há 14 anos na EEAF-FA-UFRGS.  $Y=0,6757 + 0,752X$  ( $Y=N$  grãos na maturação fisiológica e  $X$  = matéria seca de grãos nas safras 85/86 a 98/99).

Preparos	Preparo Convencional			Preparo Reduzido			Plantio Direto												
	0	180	180	0	180	180	0	180	180										
N (kg/ha)	AM	V/M	AV/MC	AM	V/M	AV/MC	AM	V/M	AV/MC	AM	V/M	AV/MC							
Safra	-----kg/ha-----																		
Ano																			
85/86	1°	31,8	27,8	17,1	47,4	28,9	25,8	20,7	27,4	9,1	44,1	32,4	24,4	18,2	19,3	13,0	46,2	34,3	25,9
86/87	2°	8,6	22,5	13,0	61,6	65,3	66,3	4,2	17,0	11,2	63,8	57,4	53,8	6,6	13,0	17,3	57,4	55,7	60,4
87/88	3°	14,0	18,8	15,4	56,8	61,1	61,5	12,6	12,9	16,8	66,6	57,6	68,0	10,7	15,7	16,8	64,8	54,8	64,9
88/89	4°	26,9	49,9	45,0	57,3	65,5	60,3	23,2	40,4	55,5	63,0	65,0	60,6	23,2	48,8	47,7	59,4	70,3	68,2
89/90	5°	19,9	31,1	31,8	63,2	62,7	55,7	23,1	28,0	25,2	58,9	47,3	59,3	21,2	24,7	22,1	51,8	60,1	47,7
90/91	6°	25,5	42,8	38,1	56,0	49,3	56,6	25,2	32,5	33,5	58,1	48,4	59,9	19,2	36,5	28,7	56,6	47,2	50,1
91/92	7°	28,3	47,7	40,1	87,0	84,6	87,4	18,2	35,8	35,9	85,8	76,0	85,3	13,5	37,3	33,7	79,8	81,4	80,3
92/93	8°	7,8	20,9	22,7	41,7	41,2	47,5	9,5	20,3	25,4	43,7	51,6	48,3	8,4	17,9	31,3	43,5	50,2	52,3
93/94	9°	48,8	83,5	72,5	86,3	89,0	93,3	33,1	57,6	63,6	82,0	89,3	93,0	22,9	70,4	59,9	75,8	90,8	97,8
94/95	10°	10,5	46,6	44,0	60,4	74,4	67,2	15,1	40,0	38,4	63,6	66,1	55,4	15,2	44,8	36,2	68,7	78,9	71,0
95/96	11°	30,0	67,1	52,6	97,6	101,1	99,9	40,8	67,1	65,8	98,1	99,5	106,4	23,8	60,9	48,8	97,6	99,5	108,0
96/97	12°	13,2	56,5	32,6	89,5	88,3	71,3	6,7	43,6	50,2	90,5	83,0	80,7	6,6	55,9	56,8	72,2	75,6	79,7
97/98	13°	8,6	61,1	63,0	105,0	105,4	109,1	22,9	65,8	60,9	111,1	111,4	106,6	14,6	60,5	50,2	100,0	104,4	115,8
98/99	14°	5,2	45,3	53,7	109,2	120,1	130,7	6,7	52,8	53,3	106,1	125,6	119,3	13,9	58,4	62,2	111,3	132,6	109,7
Soma	13°	274	576	488	910	917	902	255	488	491	929	885	902	204	506	463	874	903	922
Média	13°	21,1	44,3	37,5	70,0	70,5	69,4	19,6	37,6	37,8	71,5	68,1	69,4	15,7	38,9	35,6	67,2	69,5	70,9

Apêndice 14. Teores de carbono orgânico (CO), nas repetições I, II e III e na média, densidade do solo (DS) e concentração de CO nas camadas ( $\text{g dm}^{-3}$ ), no experimento de métodos de preparo do solo, sistemas de cultura e doses de N mineral. Estação Experimental Agronômica da UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 15 e 17/09/1998.

	Dose de N	0 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio no milho								180 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio no milho							
		Repetições			Carbono orgânico					Repetições			Carbono orgânico				
		Camadas (cm)	I	II	III	Média (%)	DS	gdm <sup>-3</sup>	Mgha <sup>-1</sup>	Soma	I	II	III	Média (%)	gdm <sup>-3</sup>	Mgha <sup>-1</sup>	Soma
PC A/M	0-2,5	1,20	1,12	1,26	1,19	1,44	17,2	4,296	4,30	1,45	1,40	1,44	1,43	20,6	5,15	5,15	0,85
	2,5-5	0,98	1,01	0,82	0,94	1,54	14,4	3,606	7,90	1,22	1,26	1,17	1,22	18,7	4,68	9,83	1,93
	5-7,5	1,05	1,05	0,81	0,97	1,54	14,9	3,735	11,64	1,04	1,08	0,97	1,03	15,9	3,97	13,80	2,16
	7,5-12,5	0,96	0,86	0,99	0,94	1,52	14,2	7,119	18,76	1,07	1,12	1,03	1,07	16,3	8,16	21,96	3,20
	12,5-17,5	0,94	1,03	0,84	0,94	1,52	14,2	7,119	25,87	1,12	1,08	0,93	1,04	15,9	7,93	29,88	4,01
PC V/M	17,5-30	1,00	0,94	0,89	0,94	1,62	15,3	19,10	44,98	0,96	1,16	1,10	1,07	17,4	21,74	51,62	6,64
	0-2,5	1,51	1,49	1,50	1,50	1,44	21,6	5,400	5,40	1,32	1,48	1,53	1,44	20,8	5,20	5,20	-0,20
	2,5-5	1,02	1,08	1,03	1,04	1,54	16,1	4,017	9,42	1,17	1,35	1,23	1,25	19,3	4,81	10,01	0,59
	5-7,5	1,03	1,05	1,05	1,04	1,54	16,1	4,017	13,43	1,12	1,22	1,22	1,19	18,3	4,57	14,58	1,14
	7,5-12,5	0,92	1,01	0,96	0,96	1,52	14,6	7,321	20,76	1,12	1,12	1,21	1,15	17,5	8,74	23,32	2,56
PC A+V/M+C	12,5-17,5	1,00	0,93	0,89	0,94	1,52	14,3	7,144	27,90	0,93	1,19	1,14	1,09	16,5	8,26	31,58	3,68
	17,5-30	0,95	0,99	0,95	0,96	1,62	15,6	19,51	47,41	0,90	1,08	1,10	1,03	16,6	20,79	52,37	4,96
	0-2,5	1,47	1,68	1,37	1,51	1,44	21,7	5,424	5,42	1,76	1,58	1,34	1,56	22,5	5,62	5,62	0,19
	2,5-5	1,37	1,15	1,20	1,24	1,54	19,1	4,774	10,20	1,45	1,27	1,12	1,28	19,7	4,93	10,54	0,35
	5-7,5	1,26	0,98	1,13	1,12	1,54	17,3	4,325	14,52	1,28	1,30	1,14	1,24	19,1	4,77	15,32	0,80
PR A/M	7,5-12,5	1,15	0,92	1,13	1,07	1,52	16,2	8,107	22,63	1,17	1,12	1,08	1,12	17,1	8,54	23,86	1,23
	12,5-17,5	0,99	0,90	1,12	1,00	1,52	15,3	7,625	30,26	1,05	1,07	1,03	1,05	16,0	7,98	31,84	1,58
	17,5-30	0,97	0,96	0,94	0,96	1,62	15,5	19,37	49,63	0,99	0,99	0,91	0,96	15,6	19,51	51,34	1,72
	0-2,5	1,64	1,55	1,49	1,56	1,44	22,5	5,616	5,62	1,70	1,52	1,56	1,59	22,9	5,74	5,74	0,12
	2,5-5	1,28	1,35	1,34	1,32	1,45	19,2	4,797	10,41	1,41	1,30	1,37	1,36	19,7	4,93	10,67	0,25
PR V/M	5-7,5	1,27	1,23	1,27	1,26	1,45	18,2	4,555	14,97	1,14	1,10	1,23	1,16	16,8	4,19	14,86	-0,11
	7,5-12,5	0,93	0,98	1,06	0,99	1,45	14,4	7,178	22,15	1,12	1,02	1,08	1,07	15,6	7,78	22,64	0,49
	12,5-17,5	0,92	0,97	1,03	0,97	1,45	14,1	7,057	29,20	1,13	0,99	0,99	1,04	15,0	7,52	30,16	0,95
	17,5-30	0,96	1,09	0,93	0,99	1,62	16,1	20,12	49,32	1,05	1,00	1,01	1,02	16,5	20,66	50,81	1,49
	0-2,5	1,78	1,92	1,99	1,90	1,44	27,3	6,828	6,83	2,00	2,14	1,87	2,00	28,8	7,21	7,21	0,38
PR A+V/M+C	2,5-5	1,39	1,56	1,34	1,43	1,45	20,7	5,184	12,01	1,94	1,70	1,35	1,66	24,1	6,03	13,24	1,23
	5-7,5	1,29	1,26	1,18	1,24	1,45	18,0	4,507	16,52	1,55	1,49	1,24	1,43	20,7	5,17	18,41	1,89
	7,5-12,5	0,94	1,24	1,04	1,07	1,45	15,6	7,782	24,30	1,36	1,15	0,94	1,15	16,7	8,34	26,75	2,45
	12,5-17,5	1,06	1,10	1,06	1,07	1,45	15,6	7,782	32,08	1,10	0,96	0,84	0,97	14,0	7,01	33,76	1,68
	17,5-30	0,97	1,08	0,94	1,00	1,62	16,1	20,18	52,27	1,04	1,01	0,89	0,98	15,9	19,85	53,60	1,34
PD A/M	0-2,5	1,96	1,84	2,01	1,94	1,44	27,9	6,972	6,97	2,27	1,84	1,78	1,96	28,3	7,07	7,07	0,10
	2,5-5	1,44	1,38	1,51	1,44	1,45	20,9	5,232	12,20	1,75	1,52	1,54	1,60	23,2	5,81	12,88	0,68
	5-7,5	1,18	1,08	1,34	1,20	1,45	17,4	4,350	16,55	1,45	1,19	1,34	1,33	19,2	4,81	17,69	1,14
	7,5-12,5	1,20	1,08	1,25	1,18	1,45	17,1	8,531	25,08	1,27	1,08	1,13	1,16	16,8	8,41	26,10	1,01
	12,5-17,5	1,01	0,98	1,13	1,04	1,45	15,1	7,540	32,63	1,13	1,19	0,90	1,07	15,6	7,78	33,88	1,26
PD V/M	17,5-30	0,85	1,02	0,97	0,95	1,62	15,3	19,17	51,80	1,08	1,10	0,90	1,03	16,6	20,79	54,67	2,88
	0-2,5	1,73	1,95	1,55	1,74	1,55	27,0	6,755	6,76	1,99	1,92	2,05	1,99	30,8	7,70	7,70	0,94
	2,5-5	1,38	1,26	1,12	1,25	1,58	19,8	4,951	11,71	1,32	1,43	2,04	1,60	25,2	6,31	14,01	2,30
	5-7,5	1,08	1,16	0,98	1,07	1,58	17,0	4,240	15,95	1,10	1,01	1,17	1,09	17,3	4,32	18,32	2,38
	7,5-12,5	1,05	1,10	0,95	1,03	1,68	17,4	8,680	24,63	0,93	1,04	0,98	0,98	16,5	8,26	26,58	1,96
PD A+V/M+C	12,5-17,5	1,00	0,98	0,88	0,95	1,68	16,0	8,008	32,63	0,82	1,08	1,05	0,98	16,5	8,26	34,84	2,21
	17,5-30	0,90	0,95	0,98	0,94	1,62	15,3	19,10	51,74	0,82	1,13	1,01	0,99	16,0	19,98	54,82	3,09
	0-2,5	1,93	2,21	2,19	2,11	1,55	32,7	8,176	8,18	1,98	2,40	2,42	2,27	35,1	8,78	8,78	0,61
	2,5-5	1,18	1,67	1,50	1,45	1,58	22,9	5,728	13,90	1,77	1,79	1,46	1,67	26,4	6,61	15,39	1,49
	5-7,5	1,08	1,21	1,10	1,13	1,58	17,9	4,464	18,37	1,37	1,37	1,14	1,29	20,4	5,11	20,50	2,13
PD A+V/M+C	7,5-12,5	0,98	1,03	1,05	1,02	1,68	17,1	8,568	26,94	1,01	1,10	0,92	1,01	17,0	8,48	28,99	2,05
	12,5-17,5	0,97	1,04	0,90	0,97	1,68	16,3	8,148	35,08	0,98	0,98	1,02	0,99	16,7	8,34	37,33	2,25
	17,5-30	0,79	1,06	0,91	0,92	1,62	14,9	18,63	53,71	1,01	0,97	1,11	1,03	16,7	20,86	58,19	4,47
	0-2,5	2,25	2,48	1,96	2,23	1,55	34,6	8,641	8,64	2,31	2,71	2,70	2,57	39,9	9,97	9,97	1,33
	2,5-5	1,68	1,68	1,58	1,65	1,58	26,0	6,504	15,15	1,76	1,78	1,86	1,80	28,4	7,11	17,08	1,94
PD A+V/M+C	5-7,5	1,37	1,19	1,26	1,27	1,58	20,1	5,030	20,18	1,35	1,32	1,47	1,38	21,8	5,45	22,53	2,36
	7,5-12,5	1,13	1,03	1,05	1,07	1,68	18,0	8,988	29,16	1,14	1,04	1,00	1,06	17,8	8,90	31,44	2,27
	12,5-17,5	1,02	1,00	1,05	1,02	1,68	17,2	8,596	37,76	0,98	0,99	0,96	0,98	16,4	8,20	39,64	1,88
	17,5-30	0,94	0,94	0,95	0,94	1,62	15,3	19,10	56,86	0,94	1,02	0,92	0,96	15,6	19,44	59,08	2,22

Apêndice 15. Carbono orgânico (CO) em campo natural no ano de 1998 (Setembro), em cinco locais, com duas repetições por local, da Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em Eldorado do Sul, RS.

Profundidade cm	Volume m <sup>3</sup>	DS g cm <sup>-3</sup>	CO %	CO g kg <sup>-1</sup>	CO g dm <sup>-3</sup>	CO camada Mg ha <sup>-1</sup>	CO acumulado Mg ha <sup>-1</sup>
<b>I Disjuntor</b>							
0-2,5	250	1,49	2,62	26,20	39,04	9,76	9,76
2,5-5	250	1,51	1,93	19,30	29,14	7,29	17,05
5-7,5	250	1,51	1,77	17,70	26,73	6,68	23,73
7,5-12,5	500	1,63	1,55	15,50	25,27	12,63	36,36
12,5-17,5	500	1,63	1,19	11,90	19,40	9,70	46,06
17,5-30	1250	1,63	1,03	10,30	16,79	20,99	67,04
<b>II Disjuntor</b>							
0-2,5	250	1,49	2,30	23,00	34,27	8,57	8,57
2,5-5	250	1,51	1,40	14,00	21,14	5,29	13,85
5-7,5	250	1,51	0,94	9,40	14,19	3,55	17,40
7,5-12,5	500	1,63	0,83	8,30	13,53	6,76	24,17
12,5-17,5	500	1,63	0,73	7,30	11,90	5,95	30,12
17,5-30	1250	1,63	0,66	6,60	10,76	13,45	43,56
<b>Média</b>							
0-2,5	250	1,49	2,46	24,60	36,65	9,16	9,16
2,5-5	250	1,51	1,67	16,65	25,14	6,29	15,45
5-7,5	250	1,51	1,36	13,55	20,46	5,12	20,56
7,5-12,5	500	1,63	1,19	11,90	19,40	9,70	30,26
12,5-17,5	500	1,63	0,96	9,60	15,65	7,82	38,09
17,5-30	1250	1,63	0,85	8,45	13,77	17,22	55,30
<b>I Guarda</b>							
0-2,5	250	1,49	2,56	25,60	38,14	9,54	9,54
2,5-5	250	1,51	1,92	19,20	28,99	7,25	16,78
5-7,5	250	1,51	1,55	15,50	23,41	5,85	22,64
7,5-12,5	500	1,63	1,33	13,30	21,68	10,84	33,47
12,5-17,5	500	1,63	1,22	12,20	19,89	9,94	43,42
17,5-30	1250	1,63	1,10	11,00	17,93	22,41	65,83
<b>II Guarda</b>							
0-2,5	250	1,49	2,67	26,70	39,78	9,95	9,95
2,5-5	250	1,51	1,91	19,10	28,84	7,21	17,16
5-7,5	250	1,51	1,67	16,70	25,22	6,30	23,46
7,5-12,5	500	1,63	1,14	11,40	18,58	9,29	32,75
12,5-17,5	500	1,63	1,22	12,20	19,89	9,94	42,69
17,5-30	1250	1,63	1,07	10,70	17,44	21,80	64,50
<b>Média</b>							
0-2,5	250	1,49	2,62	26,15	38,96	9,74	9,74
2,5-5	250	1,51	1,92	19,15	28,92	7,23	16,97
5-7,5	250	1,51	1,61	16,10	24,31	6,08	23,05
7,5-12,5	500	1,63	1,24	12,35	20,13	10,07	33,11
12,5-17,5	500	1,63	1,22	12,20	19,89	9,94	43,06
17,5-30	1250	1,63	1,09	10,85	17,69	22,11	65,16
<b>I Pl. Lavoura</b>							
0-2,5	250	1,49	2,88	28,80	42,91	10,73	10,73
2,5-5	250	1,51	2,24	22,40	33,82	8,46	19,18
5-7,5	250	1,51	1,89	18,90	28,54	7,13	26,32
7,5-12,5	500	1,63	1,52	15,20	24,78	12,39	38,71
12,5-17,5	500	1,63	1,37	13,70	22,33	11,17	49,87
17,5-30	1250	1,63	1,30	13,00	21,19	26,49	76,36
<b>II Pl. Lavoura</b>							
0-2,5	250	1,49	2,68	26,80	39,93	9,98	9,98
2,5-5	250	1,51	1,91	19,10	28,84	7,21	17,19
5-7,5	250	1,51	1,64	16,40	24,76	6,19	23,38
7,5-12,5	500	1,63	1,41	14,10	22,98	11,49	34,88
12,5-17,5	500	1,63	1,35	13,50	22,01	11,00	45,88
17,5-30	1250	1,63	1,28	12,80	20,86	26,08	71,96
<b>Média</b>							
0-2,5	250	1,49	2,78	27,80	41,42	10,36	10,36
2,5-5	250	1,51	2,08	20,75	31,33	7,83	18,19
5-7,5	250	1,51	1,77	17,65	26,65	6,66	24,85
7,5-12,5	500	1,63	1,47	14,65	23,88	11,94	36,79
12,5-17,5	500	1,63	1,36	13,60	22,17	11,08	47,88
17,5-30	1250	1,63	1,29	12,90	21,03	26,28	74,16

## Continuação do Apêndice 15.

	$m^3$	$g\ cm^{-3}$	%	$g\ kg^{-1}$	$g\ dm^{-3}$	$Mg\ ha^{-1}$	$Mg\ ha^{-1}$
I Curva Estrada							
0-2,5	250	1,49	2,78	27,80	41,42	10,36	10,36
2,5-5	250	1,51	2,09	20,90	31,56	7,89	18,25
5-7,5	250	1,51	1,96	19,60	29,60	7,40	25,64
7,5-12,5	500	1,63	1,73	17,30	28,20	14,10	39,74
12,5-17,5	500	1,63	1,49	14,90	24,29	12,14	51,89
17,5-30	1250	1,63	1,27	12,70	20,70	25,88	77,76
II Curva Estrada							
0-2,5	250	1,49	2,69	26,90	40,08	10,02	10,02
2,5-5	250	1,51	2,06	20,60	31,11	7,78	17,80
5-7,5	250	1,51	1,67	16,70	25,22	6,30	24,10
7,5-12,5	500	1,63	1,46	14,60	23,80	11,90	36,00
12,5-17,5	500	1,63	1,31	13,10	21,35	10,68	46,68
17,5-30	1250	1,63	1,08	10,80	17,60	22,01	68,68
Média							
0-2,5	250	1,49	2,74	27,35	40,75	10,19	10,19
2,5-5	250	1,51	2,08	20,75	31,33	7,83	18,02
5-7,5	250	1,51	1,82	18,15	27,41	6,85	24,87
7,5-12,5	500	1,63	1,60	15,95	26,00	13,00	37,87
12,5-17,5	500	1,63	1,40	14,00	22,82	11,41	49,28
17,5-30	1250	1,63	1,18	11,75	19,15	23,94	73,22
I Cerca							
0-2,5	250	1,49	3,34	33,40	49,77	12,44	12,44
2,5-5	250	1,51	2,10	21,00	31,71	7,93	20,37
5-7,5	250	1,51	1,67	16,70	25,22	6,30	26,67
7,5-12,5	500	1,63	1,37	13,70	22,33	11,17	37,84
12,5-17,5	500	1,63	1,09	10,90	17,77	8,88	46,72
17,5-30	1250	1,63	1,07	10,70	17,44	21,80	68,52
II Cerca							
0-2,5	250	1,49	2,56	25,60	38,14	9,54	9,54
2,5-5	250	1,51	2,20	22,00	33,22	8,31	17,84
5-7,5	250	1,51	1,68	16,80	25,37	6,34	24,18
7,5-12,5	500	1,63	1,31	13,10	21,35	10,68	34,86
12,5-17,5	500	1,63	1,16	11,60	18,91	9,45	44,31
17,5-30	1250	1,63	1,16	11,60	18,91	23,64	67,95
Média							
0-2,5	250	1,49	2,95	29,50	43,96	10,99	10,99
2,5-5	250	1,51	2,15	21,50	32,47	8,12	19,11
5-7,5	250	1,51	1,68	16,75	25,29	6,32	25,43
7,5-12,5	500	1,63	1,34	13,40	21,84	10,92	36,35
12,5-17,5	500	1,63	1,13	11,25	18,34	9,17	45,52
17,5-30	1250	1,63	1,12	11,15	18,17	22,72	68,24
Média Total							
0-2,5	250	1,49	2,71	27,08	40,35	10,09	10,09
2,5-5	250	1,51	1,98	19,76	29,84	7,46	17,55
5-7,5	250	1,51	1,64	16,44	24,82	6,21	23,75
7,5-12,5	500	1,63	1,37	13,65	22,25	11,12	34,88
12,5-17,5	500	1,63	1,21	12,13	19,77	9,89	44,76
17,5-30	1250	1,63	1,10	11,02	17,96	22,45	67,22

Apêndice 16 Conteúdo de carbono, estimado na forma de CO<sub>2</sub>, emitido (sinal negativo) ou sequestrado (positivo) pelo solo, nas camadas de 0-17,5 e 0-30 cm de profundidade, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (PVd), após 13 anos de instalação do experimento, em solo submetido a três métodos de preparo, três sistemas de cultura e dois níveis de adubação nitrogenada no milho. Médias de três repetições. EEA-UFRGS, 1998.

		D i ó x i d o de C a r b o n o (CO <sub>2</sub> )			
Dose de N mineral		0 N		180 N	
Preparos	Culturas	0-17,5cm	0-30cm	0-17,5cm	0-30cm
----- Mg ha <sup>-1</sup> -----					
PC	A/M	-24,52	-24,33	-9,80	0,04
	V/M	-17,07	-15,41	-3,56	2,79
	A+V/M+C	-8,51	-7,27	-2,61	-0,99
PR	A/M	-12,29	-8,40	-8,77	-2,94
	V/M	-1,72	2,42	4,44	7,30
	A+V/M+C	0,29	0,70	4,88	11,23
PD	A/M	0,29	0,48	8,40	11,78
	V/M	9,29	7,71	17,54	24,15
	A+V/M+C	19,12	19,27	26,02	27,41

Os valores com sinal negativo significam as quantidades de carbono orgânico do solo perdidas, expressadas em CO<sub>2</sub>

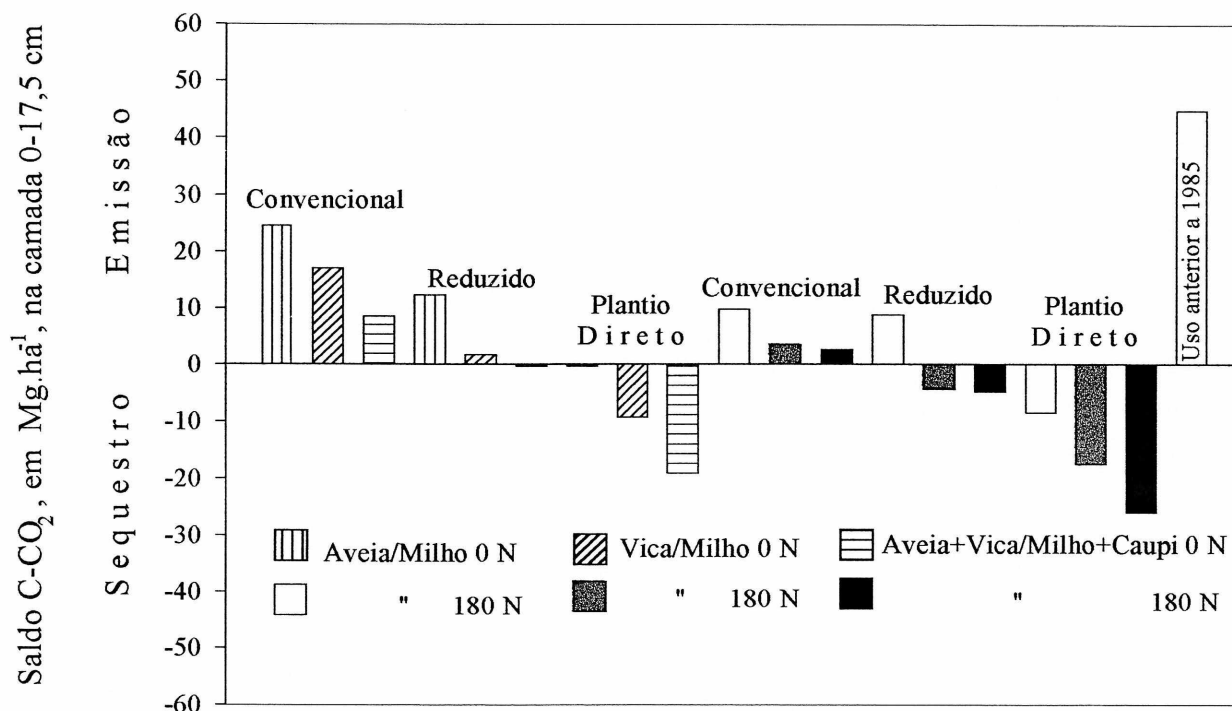
PC= Preparo convencional, PR= Preparo reduzido e PD= Plantio Direto.

A/M = aveia/milho, V/M= vica/milho e A+V/M+C= aveia+vica/milho+caupi

0 N = sem N mineral e 180 N = adição anual de N de 180 kg ha<sup>-1</sup> na cultura do milho.

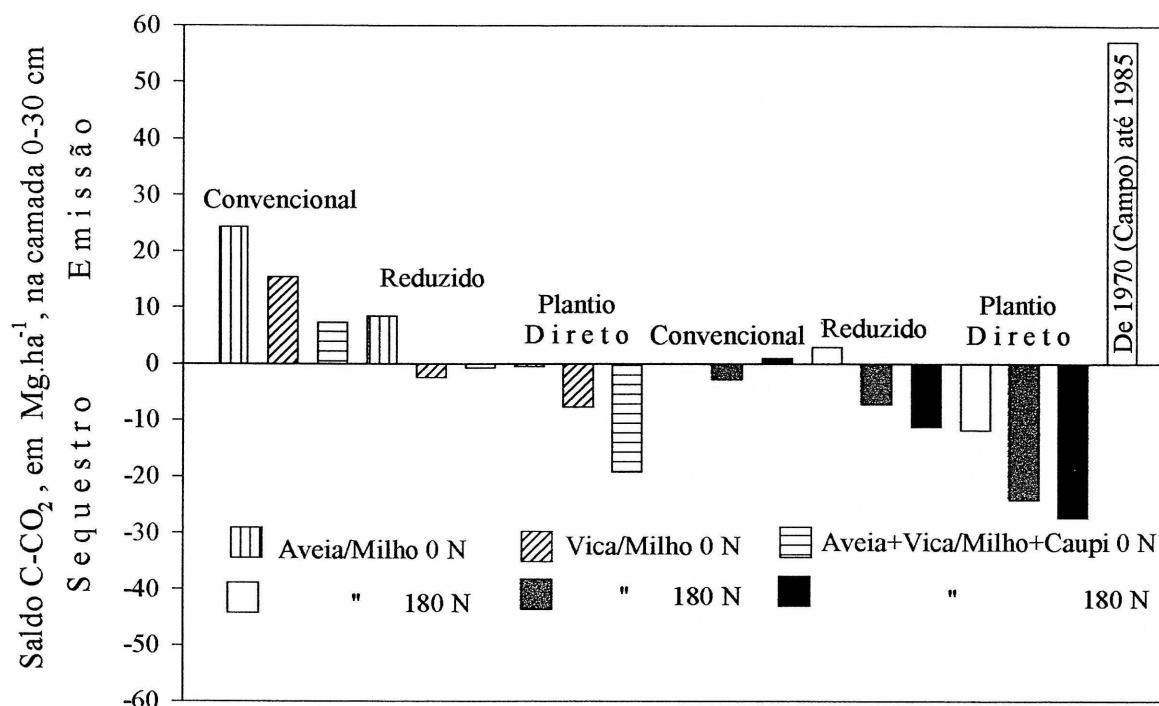
(1) Freitas (1988).

Apêndice 17. Saldo líquido de emissão<sup>(1)</sup> e seqüestro de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (Pvd), após 13 de manejo sob três sistemas de cultura, três métodos de preparo do solo e dois níveis de adubação nitrogenada mineral, na camada de 0-17,5 cm e CO<sub>2</sub> liberado a partir da ruptura do campo natural (1970) até o início do experimento (1985). Estação Experimental Agronômica da UFRGS, Eldorado do Sul, RS. 1998.



(1) No cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> considerou-se que toda a perda de C foi por emissão de CO<sub>2</sub> devido à mineralização. As perdas por erosão foram compensadas pela inclusão da camada inferior do solo. Esta forma de cálculo superestima a emissão de CO<sub>2</sub> pelos sistemas de manejo onde ocorrem grandes perdas por erosão.

Apêndice 18. Saldo líquido de emissão<sup>(1)</sup> e sequestro de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico (Pvd), após 13 de manejo sob três sistemas de cultura, três métodos de preparo do solo e dois níveis de adubação nitrogenada, na camada de 0-30cm e CO<sub>2</sub> liberado a partir da ruptura do campo natural (1970) até o início do experimento (1985). Estação Experimental Agronômica da UFRGS, Eldorado do Sul, RS.



(1) No cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> considerou-se que toda a perda de C foi por emissão de CO<sub>2</sub> devido à mineralização. As perdas por erosão foram compensadas pela inclusão da camada inferior do solo. Esta forma de cálculo superestima a emissão de CO<sub>2</sub> pelos sistemas de manejo onde ocorrem grandes perdas por erosão.



Apêndice 19. Teores de nitrogênio total, nas repetições I, II e III e na média, densidade do solo (DS) e concentração de NT nas camadas ( $\text{g dm}^{-3}$ ), no experimento de métodos de preparo do solo, sistemas de cultura e doses de N mineral. Estação Experimental Agronômica da UFRGS, em Eldorado do Sul (RS). Amostragem do solo em 15 e 17/09/1998.

Dose de N	0 $\text{kg ha}^{-1}$ de nitrogênio no milho								180 $\text{kg ha}^{-1}$ de nitrogênio no milho								
	Camada	Repetições			Média (%)	Nitrogênio total			Soma	Repetições			Média (%)	Nitrogênio total			
		I (%)	II (%)	III (%)		DS	g. $\text{dm}^{-3}$	kg. $\text{ha}^{-1}$		I (%)	II (%)	III (%)		g. $\text{dm}^{-3}$	kg. $\text{ha}^{-1}$	Soma	Dife- rença
A/M	0-2,5	0,092	0,099	0,087	0,093	1,44	1,33	334	334	0,106	0,105	0,104	0,105	1,51	378	378	44
	2,5-5	0,088	0,092	0,088	0,089	1,54	1,38	344	678	0,102	0,104	0,095	0,100	1,55	386	764	87
	5-7,5	0,090	0,080	0,076	0,082	1,54	1,26	316	993	0,102	0,095	0,094	0,097	1,49	373	1.138	145
	7,5-12,5	0,086	0,081	0,077	0,081	1,52	1,24	618	1.611	0,099	0,094	0,099	0,097	1,48	740	1.877	266
PC	12,5-17,5	0,076	0,080	0,075	0,077	1,52	1,17	585	2.197	0,099	0,105	0,094	0,099	1,51	755	2.632	436
	17,5-30	0,076	0,062	0,069	0,069	1,62	1,12	1.397	3.594	0,080	0,084	0,084	0,083	1,34	1.674	4.306	713
	0-2,5	0,109	0,105	0,102	0,105	1,44	1,52	379	379	0,154	0,115	0,122	0,130	1,88	469	469	90
	2,5-5	0,100	0,099	0,096	0,098	1,54	1,51	379	758	0,129	0,095	0,116	0,113	1,75	436	906	148
VM	5-7,5	0,095	0,098	0,105	0,099	1,54	1,53	382	1.140	0,115	0,104	0,118	0,112	1,73	432	1.338	198
	7,5-12,5	0,087	0,094	0,098	0,093	1,52	1,41	707	1.847	0,105	0,111	0,111	0,109	1,66	828	2.166	319
	12,5-17,5	0,076	0,091	0,091	0,086	1,52	1,31	654	2.501	0,101	0,116	0,113	0,110	1,67	836	3.002	502
	17,5-30	0,077	0,080	0,086	0,081	1,62	1,31	1.640	4.141	0,083	0,094	0,090	0,089	1,44	1.802	4.805	664
PC A+VM+C	0-2,5	0,114	0,132	0,116	0,121	1,44	1,74	434	434	0,139	0,134	0,134	0,136	1,95	488	488	54
	2,5-5	0,113	0,111	0,105	0,110	1,54	1,69	422	857	0,126	0,115	0,108	0,116	1,79	448	936	80
	5-7,5	0,107	0,098	0,103	0,103	1,54	1,58	395	1.252	0,136	0,115	0,109	0,120	1,85	462	1.398	146
	7,5-12,5	0,111	0,093	0,107	0,104	1,52	1,58	788	2.040	0,119	0,119	0,105	0,114	1,74	869	2.267	227
PC A+VM+C	12,5-17,5	0,097	0,089	0,099	0,095	1,52	1,44	722	2.762	0,101	0,098	0,102	0,100	1,53	763	3.030	268
	17,5-30	0,077	0,082	0,088	0,082	1,62	1,33	1.667	4.429	0,084	0,084	0,083	0,084	1,36	1.694	4.724	295
	0-2,5	0,141	0,119	0,131	0,130	1,44	1,88	469	469	0,139	0,122	0,144	0,135	1,94	486	486	17
	2,5-5	0,112	0,112	0,120	0,115	1,45	1,66	416	885	0,122	0,099	0,130	0,117	1,70	424	910	25
PR	5-7,5	0,109	0,105	0,099	0,104	1,45	1,51	378	1.263	0,113	0,098	0,118	0,110	1,59	398	1.308	45
	7,5-12,5	0,104	0,090	0,098	0,097	1,45	1,41	706	1.969	0,115	0,095	0,109	0,106	1,54	771	2.079	110
	12,5-17,5	0,081	0,088	0,094	0,088	1,45	1,27	636	2.604	0,090	0,095	0,099	0,095	1,37	686	2.765	161
	17,5-30	0,079	0,096	0,090	0,088	1,62	1,43	1.789	4.393	0,084	0,085	0,092	0,087	1,41	1.762	4.527	134
VM	0-2,5	0,155	0,159	0,145	0,153	1,44	2,20	551	551	0,157	0,185	0,167	0,170	2,44	611	611	60
	2,5-5	0,130	0,128	0,121	0,126	1,45	1,83	458	1.009	0,150	0,137	0,133	0,140	2,03	508	1.118	110
	5-7,5	0,134	0,121	0,103	0,119	1,45	1,73	433	1.441	0,153	0,122	0,109	0,128	1,86	464	1.582	141
	7,5-12,5	0,107	0,107	0,090	0,101	1,45	1,47	735	2.176	0,125	0,112	0,097	0,111	1,61	807	2.389	213
PR	12,5-17,5	0,095	0,107	0,076	0,093	1,45	1,34	672	2.848	0,111	0,097	0,081	0,096	1,40	698	3.088	240
	17,5-30	0,098	0,092	0,080	0,090	1,62	1,46	1.823	4.670	0,084	0,092	0,073	0,083	1,34	1.681	4.769	98
	0-2,5	0,153	0,155	0,155	0,154	1,44	2,22	556	556	0,202	0,174	0,164	0,180	2,59	648	648	92
	2,5-5	0,120	0,128	0,129	0,126	1,45	1,82	456	1.011	0,167	0,134	0,134	0,145	2,10	526	1.174	162
PC A+VM+C	5-7,5	0,109	0,107	0,107	0,108	1,45	1,56	390	1.401	0,151	0,111	0,122	0,128	1,86	464	1.638	236
	7,5-12,5	0,095	0,092	0,105	0,097	1,45	1,41	706	2.107	0,125	0,102	0,099	0,109	1,58	788	2.425	318
	12,5-17,5	0,088	0,086	0,086	0,087	1,45	1,26	628	2.735	0,112	0,090	0,092	0,098	1,42	711	3.136	401
	17,5-30	0,076	0,080	0,087	0,081	1,62	1,31	1.640	4.376	0,098	0,088	0,087	0,091	1,47	1.843	4.979	603
A/M	0-2,5	0,151	0,148	0,118	0,139	1,55	2,15	539	539	0,167	0,167	0,161	0,165	2,56	639	639	101
	2,5-5	0,113	0,103	0,091	0,102	1,58	1,62	404	943	0,147	0,122	0,129	0,133	2,10	524	1.163	221
	5-7,5	0,087	0,086	0,083	0,085	1,58	1,35	337	1.280	0,115	0,102	0,095	0,104	1,64	411	1.574	294
	7,5-12,5	0,077	0,090	0,072	0,080	1,68	1,34	669	1.949	0,090	0,090	0,081	0,087	1,46	731	2.305	356
PD	12,5-17,5	0,075	0,068	0,072	0,072	1,68	1,20	602	2.551	0,090	0,090	0,077	0,086	1,44	720	3.025	474
	17,5-30	0,076	0,071	0,079	0,075	1,62	1,22	1.526	4.077	0,074	0,088	0,077	0,080	1,29	1.613	4.638	561
	0-2,5	0,170	0,178	0,177	0,175	1,55	2,71	678	678	0,196	0,244	0,220	0,220	3,41	853	853	174
	2,5-5	0,103	0,129	0,122	0,118	1,58	1,86	466	1.144	0,162	0,172	0,133	0,156	2,46	615	1.467	323
VM	5-7,5	0,095	0,103	0,094	0,097	1,58	1,54	384	1.529	0,127	0,139	0,108	0,125	1,97	492	1.960	431
	7,5-12,5	0,090	0,096	0,096	0,094	1,68	1,58	790	2.318	0,105	0,099	0,092	0,099	1,66	829	2.789	470
	12,5-17,5	0,080	0,081	0,083	0,081	1,68	1,37	683	3.001	0,095	0,090	0,088	0,091	1,53	764	3.553	552
	17,5-30	0,079	0,072	0,083	0,078	1,62	1,26	1.580	4.581	0,080	0,081	0,081	0,081	1,31	1.634	5.187	606
PC A+VM+C	0-2,5	0,200	0,215	0,175	0,197	1,55	3,05	762	762	0,190	0,232	0,241	0,221	3,43	856	856	94
	2,5-5	0,143	0,149	0,140	0,144	1,58	2,28	569	1.331	0,176	0,165	0,186	0,176	2,78	694	1.550	219
	5-7,5	0,118	0,117	0,111	0,115	1,58	1,82	456	1.786	0,139	0,127	0,137	0,134	2,12	531	2.081	294
	7,5-12,5	0,091	0,092	0,091	0,091	1,68	1,53	767	2.554	0,108	0,105	0,091	0,101	1,70	851	2.932	378
PD	12,5-17,5	0,084	0,080	0,090	0,085	1,68	1,42	711	3.265	0,098	0,092	0,091	0,094	1,57	787	3.719	454
	17,5-30	0,068	0,081	0,079	0,076	1,62	1,23	1.539	4.804	0,092	0,094	0,084	0,090	1,46	1.823	5.541	738

Apêndice 20. Nitrogênio total (NT) em campo natural no ano de 1998 (Setembro), em cinco locais, com duas repetições por local, da EEA-UFRGS, em Eldorado do Sul, RS.

Profundidade cm	Volume m <sup>3</sup>	DS g cm <sup>-3</sup>	NT %	NT g kg <sup>-1</sup>	NT g dm <sup>-3</sup>	NT camada kg ha <sup>-1</sup>	NT acumulado kg ha <sup>-1</sup>
<b>I Disjuntor</b>							
0-2,5	250	1,49	0,190	1,900	2,831	708	708
2,5-5	250	1,51	0,160	1,600	2,416	604	1.312
5-7,5	250	1,51	0,132	1,320	1,993	498	1.810
7,5-12,5	500	1,63	0,108	1,080	1,760	880	2.691
12,5-17,5	500	1,63	0,090	0,900	1,467	734	3.424
17,5-30	1250	1,63	0,081	0,810	1,320	1.650	5.074
<b>II Disjuntor</b>							
0-2,5	250	1,49	0,162	1,620	2,414	603	603
2,5-5	250	1,51	0,150	1,500	2,265	566	1.169
5-7,5	250	1,51	0,087	0,870	1,314	328	1.498
7,5-12,5	500	1,63	0,076	0,760	1,239	619	2.117
12,5-17,5	500	1,63	0,071	0,710	1,157	579	2.696
17,5-30	1250	1,63	0,062	0,620	1,011	1.263	3.959
<b>Média</b>							
0-2,5	250	1,49	0,176	1,760	2,622	656	656
2,5-5	250	1,51	0,155	1,550	2,341	585	1.241
5-7,5	250	1,51	0,110	1,095	1,653	413	1.654
7,5-12,5	500	1,63	0,092	0,920	1,500	750	2.404
12,5-17,5	500	1,63	0,081	0,805	1,312	656	3.060
17,5-30	1250	1,63	0,072	0,715	1,165	1.457	4.517
<b>I Guarda</b>							
0-2,5	250	1,49	0,199	1,990	2,965	741	741
2,5-5	250	1,51	0,157	1,570	2,371	593	1.334
5-7,5	250	1,51	0,141	1,410	2,129	532	1.866
7,5-12,5	500	1,63	0,122	1,220	1,989	994	2.860
12,5-17,5	500	1,63	0,105	1,050	1,712	856	3.716
17,5-30	1250	1,63	0,085	0,850	1,386	1.732	5.448
<b>II Guarda</b>							
0-2,5	250	1,49	0,213	2,130	3,174	793	793
2,5-5	250	1,51	0,178	1,780	2,688	672	1.465
5-7,5	250	1,51	0,141	1,410	2,129	532	1.997
7,5-12,5	500	1,63	0,099	0,990	1,614	807	2.804
12,5-17,5	500	1,63	0,116	1,160	1,891	945	3.749
17,5-30	1250	1,63	0,081	0,810	1,320	1.650	5.400
<b>Média</b>							
0-2,5	250	1,49	0,206	2,060	3,069	767	767
2,5-5	250	1,51	0,168	1,675	2,529	632	1.399
5-7,5	250	1,51	0,141	1,410	2,129	532	1.932
7,5-12,5	500	1,63	0,111	1,105	1,801	901	2.832
12,5-17,5	500	1,63	0,111	1,105	1,801	901	3.733
17,5-30	1250	1,63	0,083	0,830	1,353	1.691	5.424
<b>I Pl, Lavoura</b>							
0-2,5	250	1,49	0,227	2,270	3,382	846	846
2,5-5	250	1,51	0,178	1,780	2,688	672	1.518
5-7,5	250	1,51	0,160	1,600	2,416	604	2.122
7,5-12,5	500	1,63	0,130	1,300	2,119	1.060	3.181
12,5-17,5	500	1,63	0,111	1,110	1,809	905	4.086
17,5-30	1250	1,63	0,104	1,040	1,695	2.119	6.205
<b>II Pl, Lavoura</b>							
0-2,5	250	1,49	0,206	2,060	3,069	767	767
2,5-5	250	1,51	0,146	1,460	2,205	551	1.318
5-7,5	250	1,51	0,125	1,250	1,888	472	1.790
7,5-12,5	500	1,63	0,108	1,080	1,760	880	2.670
12,5-17,5	500	1,63	0,102	1,020	1,663	831	3.502
17,5-30	1250	1,63	0,095	0,950	1,549	1.936	5.437
<b>Média</b>							
0-2,5	250	1,49	0,217	2,165	3,226	806	806
2,5-5	250	1,51	0,162	1,620	2,446	612	1.418
5-7,5	250	1,51	0,143	1,425	2,152	538	1.955
7,5-12,5	500	1,63	0,119	1,190	1,940	970	2.925
12,5-17,5	500	1,63	0,107	1,065	1,736	868	3.793
17,5-30	1250	1,63	0,100	0,995	1,622	2.027	5.821

## Continuação do Apêndice 20.

I Curva Estrada	m3	g/cm3	%	g/kg	g/dm3	kg/ha	Kg/ha
0-2,5	250	1,49	0,195	1,950	2,906	726	726
2,5-5	250	1,51	0,147	1,470	2,220	555	1.281
5-7,5	250	1,51	0,139	1,390	2,099	525	1.806
7,5-12,5	500	1,63	0,120	1,200	1,956	978	2.784
12,5-17,5	500	1,63	0,105	1,050	1,712	856	3.639
17,5-30	1250	1,63	0,084	0,840	1,369	1.712	5.351
II Curva Estrada							
0-2,5	250	1,49	0,202	2,020	3,010	752	752
2,5-5	250	1,51	0,164	1,640	2,476	619	1.371
5-7,5	250	1,51	0,137	1,370	2,069	517	1.888
7,5-12,5	500	1,63	0,119	1,190	1,940	970	2.858
12,5-17,5	500	1,63	0,104	1,040	1,695	848	3.706
17,5-30	1250	1,63	0,081	0,810	1,320	1.650	5.356
Média							
0-2,5	250	1,49	0,199	1,985	2,958	739	739
2,5-5	250	1,51	0,156	1,555	2,348	587	1.326
5-7,5	250	1,51	0,138	1,380	2,084	521	1.847
7,5-12,5	500	1,63	0,120	1,195	1,948	974	2.821
12,5-17,5	500	1,63	0,105	1,045	1,703	852	3.673
17,5-30	1250	1,63	0,083	0,825	1,345	1.681	5.354
I Cerca							
0-2,5	250	1,49	0,189	1,890	2,816	704	704
2,5-5	250	1,51	0,182	1,820	2,748	687	1.391
5-7,5	250	1,51	0,157	1,570	2,371	593	1.984
7,5-12,5	500	1,63	0,104	1,040	1,695	848	2.831
12,5-17,5	500	1,63	0,094	0,940	1,532	766	3.597
17,5-30	1250	1,63	0,084	0,840	1,369	1.712	5.309
II Cerca							
0-2,5	250	1,49	0,213	2,130	3,174	793	793
2,5-5	250	1,51	0,190	1,900	2,869	717	1.510
5-7,5	250	1,51	0,153	1,530	2,310	578	2.088
7,5-12,5	500	1,63	0,109	1,090	1,777	888	2.976
12,5-17,5	500	1,63	0,130	1,300	2,119	1.060	4.036
17,5-30	1250	1,63	0,080	0,800	1,304	1.630	5.666
Média							
0-2,5	250	1,49	0,201	2,010	2,995	749	749
2,5-5	250	1,51	0,186	1,860	2,809	702	1.451
5-7,5	250	1,51	0,155	1,550	2,341	585	2.036
7,5-12,5	500	1,63	0,107	1,065	1,736	868	2.904
12,5-17,5	500	1,63	0,112	1,120	1,826	913	3.817
17,5-30	1250	1,63	0,082	0,820	1,337	1.671	5.488
Média Total							
0-2,5	250	1,49	0,200	1,996	2,974	744	744
2,5-5	250	1,51	0,165	1,652	2,495	624	1.368
5-7,5	250	1,51	0,137	1,372	2,072	518	1.886
7,5-12,5	500	1,63	0,110	1,095	1,785	892	2.778
12,5-17,5	500	1,63	0,103	1,028	1,676	838	3.616
17,5-30	1250	1,63	0,084	0,837	1,364	1.705	5.321

## VITA

Thomé Lovato, filho de Homildo Antônio Lovato e Élide Peters Lovato, nasceu em Restinga Seca, Rio Grande do Sul, em 2 de março de 1959.

Cursou ensino primário no Colégio Estadual "Coronel Pillar", ensino ginásial no Colégio Estadual Manoel Ribas "Maneco" e segundo grau no Colégio Agrícola de Santa Maria (CASM), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde diplomou-se Técnico em Agropecuária, em 1976.

Em 1977 ingressou no Curso de Agronomia da UFSM, onde graduou-se como Engenheiro Agrônomo em 1982. Interrompeu temporariamente o Curso de Agronomia em 1978, quando foi convocado a prestar o serviço militar no Núcleo de Preparação de Oficiais da Reserva do 3º GAC-AP, graduando-se 2º Tenente R2 da Arma de Artilharia. Nos anos de 1981 e 1982 foi bolsista de iniciação científica do CNPq, sob orientação do Prof. Afrânio Almir Righes.

Desde 1983 é membro da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), Sociedade de Agronomia de Santa Maria (SASM) e Sociedade de Agronomia do Rio Grande do Sul (SARGS).

Em 1983 e 84 elaborou e acompanhou a execução projetos de reflorestamento para o IBDF, hoje IBAMA.

Em janeiro 1985 prestou concurso público para professor auxiliar do Departamento de Solos da UFSM, onde ingressou em abril de 1985, no setor de Uso, Manejo e Conservação do Solo. Em 1986 exerceu as atividades de vice-coordenador do Curso de Agronomia e assessor da Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis.

Foi Secretário de Cultura da Sociedade de Agronomia de Santa Maria no biênio 1985/86.

Em 1987 concluiu o Curso de Mestrado em Agronomia/UFSM, área de Biodinâmica e Produtividade do Solo, sob a orientação do Prof. Maurélio Morelli.

De janeiro de 1987 a fevereiro de 1995 dirigiu o Núcleo de Treinamento Agrícola da UFSM, onde colaborou na fundação e estabelecimento da Escola Municipal Agrícola de Jaguari (1987), 5ª a 8ª Série, a qual dirigiu no mesmo período por força de convênio entre a UFSM e a Prefeitura Municipal de Jaguari, RS.

Em 1995 e 1996 participou do Conselho do Projeto Esperança, do Banco da Esperança, Diocese de Santa Maria, RS, tendo desde 1986 participado como consultor voluntário deste Projeto Comunitário.

Em março de 1997, iniciou seus estudos de Doutorado em Ciência do Solo - Área de Concentração Manejo do Solo, sob orientação do Prof. João Mielniczuk, junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

É casado com Rosângela Marramarco e pai de Giovanni, Pietro, Tobias, Maria Clara e Lorenzo.