

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

**LEGUMINOSAS E OS ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DO
SOLO EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO**

**Mirla Andrade Weber
(Dissertação)**

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

**LEGUMINOSAS E OS ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DO
SOLO EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO**

MIRLA ANDRADE WEBER
Engenheira-Agrônoma (UFSM)

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

Porto Alegre (RS) Brasil
Março de 2008

PÁGINA DE HOMOLOGAÇÃO

*Dedico este trabalho aos meus pais, **Antonio e Maria Elena,**
exemplos de esforço e amor, e aos meus irmãos,
Andrécio e Andriago.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre ao meu lado, protegendo-me e me dando força para que eu jamais desanime em minhas caminhadas.

Ao professor João Mielniczuk, pela acolhida neste PPG, pelos valiosos ensinamentos e orientação.

Ao PPG em Ciência do Solo/UFRGS, seus professores e funcionários, pela formação acadêmica e ajuda na realização desta pesquisa.

Ao CNPq, pela bolsa de mestrado.

Aos colegas e amigos, firmados nesta e em outras jornadas da minha vida, pela ajuda na realização desta pesquisa, pelos conhecimentos e emoções compartilhadas e pela companhia prazerosa.

Ao Michael, por estar ao meu lado.

Aos meus pais, Antonio e Maria Elena, e aos meus irmãos, Andrécio e Andrigo, pelo amor e confiança que sempre depositaram em mim.

LEGUMINOSAS E OS ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO^{1/}

Autor: Mirla Andrade Weber

Orientador: Prof. João Mielniczuk

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes sistemas de culturas e doses de nitrogênio (N) nos estoques de carbono (C) e N total do solo foi realizado este estudo em um experimento de longa duração instalado em um Argissolo Vermelho na Estação Experimental Agronômica da UFRGS em Eldorado do Sul, RS. Este experimento foi instalado em 1983 sob sistema plantio direto e consta de dez sistemas de culturas (aveia+vica/ milho revolvido, aveia/milho, aveia+vica/milho+caupi, lablabe+milho, aveia+vica/ milho, guandu+lablabe, guandu+milho, pousio/milho, pangola e descoberto) e duas doses de nitrogênio (0 e 180 kg ha⁻¹ ano⁻¹) aplicado na cultura do milho. Foram avaliados os estoques de C e N total do solo na camada de 0 – 20 cm no ano de 2005 e estimadas as quantidades de N fixadas pelas leguminosas e perdas do adubo nitrogenado mineral em 21 anos. Além disso, foi avaliada a quantidade de N acumulado pelo milho semeado em todas as parcelas do experimento com três doses de N no ano de 2005 e pela aveia preta cultivada em sucessão no ano de 2006. Os maiores estoques de C e N total foram encontrados nos sistemas com leguminosas e com adubação nitrogenada, entretanto esta teve menor efeito que as leguminosas no incremento dos estoques. Os sistemas com guandu e lablabe, leguminosas de verão, acumularam, em média, 13,56 Mg C ha⁻¹ e 970 kg N ha⁻¹ na ausência de adubação nitrogenada em relação ao início do experimento. A quantidade estimada de N fixada pelas leguminosas variou de 817 a 2092 kg ha⁻¹, enquanto que, dos 3180 kg N ha⁻¹ aplicados na cultura do milho em 21 anos, 1525 kg ha⁻¹ foram perdidos do sistema solo-planta. Na safra 2005/2006 a produção de matéria seca pela parte aérea, a quantidade de N acumulado e o rendimento de grãos de milho foi maior nos sistemas de culturas com leguminosas e na dose de 180 kg N ha⁻¹. Os maiores estoques de N total nos sistemas com leguminosas se refletiram nas maiores quantidades de N acumulado pela aveia. Os resultados encontrados neste trabalho demonstram o importante papel da leguminosas em manter e aumentar o conteúdo da matéria orgânica do solo, bem como aumentar o suprimento de N às gramíneas.

^{1/} Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (122 p.) Março, 2008. Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq.

LEGUMES AND SOIL CARBON AND NITROGEN STOCKS IN A LONG-TERM EXPERIMENT ^{1/}

Author: Mirla Andrade Weber

Adviser: Prof. João Mielniczuk

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of cropping systems and nitrogen fertilization on C and N accumulation in a Paleudult soil. This study was set up in a long-term experiment (22 years) at the Experimental Station of the Federal University of Rio grande do Sul, Eldorado do Sul, Brasil, that was established in 1983 constituted by ten no-till cropping systems (oat+vetch/corn revolved, oat/corn, oat+vetch/corn+cowpea, lablab+corn, oat+vetch/corn, pigeon pea+lablab, pigeon pea+corn, fallow/corn, Digitaria and bare soil) and two N rates applied to corn as urea (0 and 180 kg N ha⁻¹). To evaluate the C and N stocks in 2005 the soil was sampled in two layers down to 0,20 m depth. N fixed by legumes and N lost from fertilizer (urea) in 21 years were estimated. Moreover, N uptake by corn cultivated in all the plots with three N fertilizer rates in 2005 and N uptake by oat cultivated in succession in 2006 were evaluated. The legume cropping systems and N fertilization resulted in the greatest soil C and N stocks. The systems with lablab and pigeon pea, summer legumes, without N fertilization, increased, an average, 13,56 Mg C ha⁻¹ and 970 kg N ha⁻¹. Estimated N fixed varied from 817 to 2092 kg ha⁻¹, while, from 3180 kg N ha⁻¹ applied to corn in 21 years, 1525 kg ha⁻¹ were lost from the soil-plant system. Corn N uptake, dry mass and yield were greater in legume systems and with 180 kg N ha⁻¹. The greatest N stocks in legume systems reflected in greatest oat N uptake. The results found in this research stresses the important role of the legumes to maintain and increase soil organic matter, as well as to increase N supply for nonlegumes crops.

^{1/} Master of Science Dissertation in Soil Science – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (122 p.) March, 2008. This work had financial support from CNPq-Brazil.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Importância do nitrogênio em agroecossistemas.....	3
2.2 Fornecimento de nitrogênio às plantas pelo solo.....	4
2.3 Adubação mineral: uso e eficiência.....	5
2.4 O uso de plantas de cobertura na agricultura.....	7
2.5 Plantas de cobertura e a disponibilidade de nitrogênio.....	7
2.6 Sistemas de culturas e o acúmulo de carbono e nitrogênio total no solo.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS GERAL	15
3.1 Caracterização da área experimental.....	15
3.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	16
3.3 Detalhes experimentais nos anos de 2005 e 2006.....	21
4. ESTUDO I Estoques de carbono orgânico e nitrogênio total do solo em sistemas de culturas	23
4.1 Introdução.....	23
4.2 Material e métodos.....	24
4.2.1 Amostragem de solo.....	24
4.2.2 Análises de C e N e cálculos de seus estoques no solo.	24
4.2.3 Análise Estatística.....	27
4.3 Resultados e discussão.....	27
4.3.1 Estoques de C orgânico.....	27
4.3.2 Estoques de N total.....	35
4.3.3 Relação C/N.....	40
4.4 Conclusões.....	41
5. ESTUDO II Nitrogênio acumulado pelo milho e pela aveia em sistemas de culturas na safra 2005/2006	42
5.1 Introdução.....	42
5.2 Material e métodos.....	43
5.2.1 Avaliações realizadas na cultura do milho.....	44
5.2.1.1 Produção de matéria seca e quantidade de N acumulado pela parte aérea da planta de milho.....	44
5.2.1.2 Rendimento de grãos de milho e N acumulado pelo grão.....	44
5.2.2 Avaliações realizadas na cultura da aveia preta.....	44
5.2.2.1 Produção de matéria seca e quantidade de N acumulado pela parte aérea da aveia preta.....	44
5.2.3 Análise Estatística.....	45
5.3 Resultados e discussão.....	45
5.3.1 Produção de matéria seca e quantidade de N acumulado pela parte aérea da planta de milho.....	45
5.3.2 Rendimento de grãos e N acumulado pelo grão de milho.....	51

5.3.3	Produção de matéria seca e quantidade de N acumulado pela parte aérea da aveia preta.....	54
5.3.4	Quantidade aparente de N fornecido pelo sistema solo-coberturas.....	59
5.4	Conclusão.....	60
6.	ESTUDO III Balanço de nitrogênio em sistemas de culturas.....	61
6.1	Introdução.....	61
6.2	Material e métodos.....	63
6.2.1	Avaliações realizadas.....	63
6.2.1.1	Quantidade de N exportado pela colheita de milho das safras de 1984/1985 a 2004/2005.....	63
6.2.1.2	Variação no conteúdo de N total em 21 anos.....	63
6.2.2	Cálculos realizados.....	64
6.2.2.1	Estimativa do N exportado pela cultura do milho que foi absorvido abaixo dos 20 cm de profundidade em 21 anos.....	64
6.2.2.2	Estimativa do N fixado pelas leguminosas em 21 anos.....	65
6.2.2.3	Estimativa do N perdido do adubo mineral aplicado na cultura do milho em 21 anos.....	65
6.3	Resultados e discussão.....	66
6.3.1	N fixado pelas leguminosas em 21 anos.....	66
6.3.2	N perdido do adubo mineral aplicado na cultura do milho em 21 anos.....	69
6.3.3	Balanço de N.....	72
4.4	Conclusões.....	74
7.	CONCLUSÃO GERAL.....	75
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
9.	APÊNDICES	85

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
3.1. Sequência de culturas utilizadas no experimento de 1983 a 1993.....	17
3.2. Descrição das siglas e nomes comum e científico das espécies utilizadas no experimento.....	18
3.3. Seqüência de culturas utilizadas no experimento a partir de 1994.....	19
4.1. Densidade do solo nos tratamentos estudados em sistema plantio direto. EEA/UFRGS, 2005.....	25
4.2. Estoques de C nas camadas de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm dos sistemas de culturas sob plantio direto e dois níveis de adubação nitrogenada. EEA-UFRGS, 2005.....	28
4.3. Acúmulo absoluto em relação ao início do experimento e taxa anual de acúmulo de C na camada de 0 – 20 cm do solo dos sistemas de cultura sob plantio direto e com dois níveis de adubação nitrogenada. EEA-UFRGS, 2005.....	34
4.4. Estoques de N total nas camadas de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm dos sistemas de culturas sob plantio direto e dois níveis de adubação nitrogenada. EEA-UFRGS, 2005.....	36
4.5. Acúmulo absoluto e taxa anual de acúmulo de N na camada de 0 – 20 cm do solo dos sistemas de cultura sob plantio direto e com dois níveis de adubação nitrogenada. EEA-UFRGS, 2005.....	39
4.6. Relação C/N do solo sob 10 sistemas de culturas em duas profundidades. EEA-UFRGS, 2005.....	41
5.1. Produção de matéria seca da parte aérea do milho sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio. EEA-UFRGS, 2006.....	46
5.2. Nitrogênio acumulado pela parte aérea de milho sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio. EEA-UFRGS, 2006.....	47

5.3.	Quantidade de N disponibilizada pelo solo e pelos resíduos das culturas de cobertura nos tratamentos com ausência de adubação nitrogenada (0 kg N ha ⁻¹) na safra de milho 2005/2006.....	48
5.4.	Rendimento de grãos de milho (12,5% de H ₂ O) sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio. EEA-UFRGS, 2006.....	51
5.5.	Nitrogênio acumulado pelos grãos de milho sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio. EEA-UFRGS, 2006....	54
5.6.	Matéria seca da parte aérea da aveia preta sob 10 sistemas de culturas com diferentes doses residuais de N. EEA-UFRGS, 2006.....	55
5.7.	N acumulado pela parte aérea da aveia preta em 10 sistemas de culturas e diferentes doses de adubação nitrogenada residual. EEA-UFRGS, 2006.....	56
5.8.	Quantidade aparente de N fornecida pelo sistema solo-coberturas ao sistema milho-aveia. EEA-UFRGS, 2006.....	59
6.1.	Variação no estoque de N total, quantidade de N exportada pelos grãos de milho e quantidade de N exportada que foi absorvida abaixo dos 20 cm de profundidade pelo milho em 21 anos nos cinco sistemas de culturas.....	66
6.2.	Quantidade estimada de N fixado anualmente por leguminosas em 5 sistemas de culturas e na ausência de adubação nitrogenada.....	68
6.3.	Quantidade de N aplicada via fertilizante mineral na cultura do milho, variação no estoque de N total, quantidade de N exportada pelos grãos de milho e quantidade de N exportada que foi absorvida abaixo dos 20 cm de profundidade pelo milho em 21 anos em dois sistemas de culturas.....	70
6.4.	Quantidade de N perdida da adubação nitrogenada aplicada ao milho em 21 anos e N recuperado pelo sistema solo-planta.....	70

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
3.1. Sistemas de culturas atuais que compõem o experimento, conduzido em sistema de plantio direto. Adaptado de Vieira (2007).....	20
3.2. Doses de N aplicadas ao milho na safra 2005/2006.....	22
4.1. Estoques de C na camada de 0 – 20 cm do campo nativo, início do experimento (1983) e dos sistemas de culturas sob plantio direto com dois níveis de adubação nitrogenada em 2005. Letras maiúsculas comparam sistemas de culturas (média das duas doses de N) e letras minúsculas comparam níveis de adubação nitrogenada, através do Teste de Tukey ($P < 0,05$). A=aveia, C=caupi, CN=campo nativo, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, P=pousio, Pan=pangola, rev=revolvido e V=vica.....	30
4.2. Estoques de N total na camada de 0 – 20 cm do campo nativo, início do experimento e dos sistemas de culturas sob plantio direto com dois níveis de adubação nitrogenada em 2005. Letras maiúsculas comparam sistemas de culturas (média das duas doses de N) e letras minúsculas comparam níveis de adubação nitrogenada, através do Teste de Tukey ($P < 0,05$). A=aveia, C=caupi, CN=campo nativo, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, P=pousio, Pan=pangola, rev=revolvido e V=vica.....	38
5.1 Rendimento de grãos de milho em três doses de N nos sistemas Desc, G+LL e A+V/M rev. A=aveia, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, V=vica.	53
5.2. Relação entre a quantidade de acumulado pela parte aérea da aveia preta cultivada em 2006 e o estoque de N total da camada de 0 – 20 cm (camada equivalente) nas doses 0 e 60 kg N ha ⁻¹ aplicadas na cultura do milho em 2005.....	57
6.1. Quantidade líquida estimada de N fixada em 21 anos por leguminosas em diferentes sistemas de culturas na ausência de adubação nitrogenada. A=aveia, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, V=vica.....	67
6.2. Balanço comparativo de N entre diferentes sistemas de culturas. A=aveia, C=caupi, M=milho, P=pousio e V=vica.....	73

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Teores de carbono orgânico (CO), nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.....	86
2. Teores de nitrogênio total, nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.....	88
3. Estoques de carbono orgânico (CO), nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N, calculado pelo método da massa equivalente. EEA-UFRGS, 2005.....	90
4. Estoques de carbono orgânico (CO), nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N, calculado pelo método da camada equivalente. EEA-UFRGS, 2005.....	92
5. Estoques de nitrogênio total (NT), nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N, calculado pelo método da massa equivalente. EEA-UFRGS, 2005.....	94
6. Estoques de nitrogênio total (NT), nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N, calculado pelo método da camada equivalente. EEA-UFRGS, 2005.....	96
7. Relação C/N, apenas no lado descompactado. EEA-UFRGS, 2005.....	98
8. Matéria seca da parte aérea do milho cultivado sob 10 sistemas de culturas e três doses de N na safra 2005/2006. EEA-UFRGS, 2006.....	99
9. Quantidade de nitrogênio acumulado pela parte aérea de milho sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio na safra 2005/2006. EEA-UFRGS, 2006.....	100
10. Rendimento de grãos de milho (12,5% de umidade) sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio na safra 2005/2006. EEA-UFRGS, 2006.....	101

11.	Quantidade de nitrogênio acumulado pelos grãos de milho sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio na safra 2005/2006. EEA-UFRGS, 2006.....	102
12.	Produção de matéria seca da parte aérea da aveia preta sob 10 sistemas de culturas, cultivada no inverno de 2006. EEA-UFRGS, 2006.....	103
13.	Quantidade de N acumulado pela parte aérea da aveia preta cultivada no inverno de 2006. EEA-UFRGS, 2006.....	104
14.	Concentração de N no grão do milho (100% de matéria seca) na safra 2005/2006 em 7 sistemas de culturas e duas doses de N. EEA-UFRGS, 2006.....	105
15.	Rendimento de grãos de milho (12,5% umidade) em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 10 sistemas de culturas e duas doses de nitrogênio, em experimento conduzido há 24 anos. EEA-UFRGS, 2006.....	106
16.	Quantidade de N exportado pelos de grãos de milho em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 10 sistemas de culturas e duas doses de nitrogênio segundo a equação $Y = 10,08 + 13,76X$, descrita por Lovato (2001). EEA-UFRGS, 2006.....	107
17.	Quantidade de N exportado pelos de grãos de milho em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 10 sistemas de culturas e duas doses de nitrogênio, utilizando as concentrações de N no grão da safra 2005/2006. EEA-UFRGS, 2006.....	108
18.	Valores de pH em água nos blocos 1, 2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.....	109
19.	Valores de pH SMP nos blocos 1, 2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.....	111
20.	Valores de Al trocável nos blocos 1, 2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. Estação Experimental Agronômica da UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2005.....	113

21.	Teores de P nos blocos 1, 2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2006.....	115
22.	Teores de K nos blocos 1, 2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.....	117
23.	Teores de Ca nos blocos 1, 2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.....	119
24.	Teores de Mg nos blocos 1, 2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.....	121

1. INTRODUÇÃO GERAL

Manejos inadequados do solo resultam na deterioração das suas qualidades físicas, químicas e biológicas e na queda gradativa de seu potencial produtivo. Devido a isso, sistemas de manejo de solo, que visem a sua recuperação e conservação, estão sendo cada vez mais estudados pela comunidade científica e adotados pelos agricultores.

Entre os sistemas conservacionistas de manejo, o sistema plantio direto, que mantém os resíduos culturais na superfície do solo, constitui-se numa importante técnica para a manutenção e recuperação da capacidade produtiva dos solos degradados por manejos convencionais. No entanto, a eficiência destes sistemas depende de uma alta e contínua adição de resíduos, que só pode ser atingida com uma adequada combinação de culturas de cobertura e culturas comerciais de alto rendimento e produção de biomassa.

As plantas de cobertura, além de produzirem resíduos para a proteção do solo, devem possuir outras características como a reciclagem de nutrientes, principalmente do nitrogênio, e/ou a fixação simbiótica de N_2 , que é o caso das leguminosas.

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pelas gramíneas e, por isso, em muitas situações, se torna limitante ao rendimento. A principal fonte deste nutriente no solo para os vegetais é a matéria orgânica. Solos degradados, cujos baixos teores de matéria orgânica são uma de suas principais características, possuem uma menor capacidade de disponibilizar este nutriente às culturas.

O uso de sistemas de cultura que utilizem leguminosas como culturas de cobertura, em sucessão ou consorciadas com gramíneas e culturas comerciais, capazes de produzir altas quantidades de resíduos, permite o aumento do teor de nitrogênio total do solo, podendo aumentar a disponibilidade deste nutriente para as culturas, além de aumentar o conteúdo de matéria orgânica do solo, a qual é indispensável para o solo exercer suas funções nos sistemas agrícolas. Experimentos de longa duração são importantes ferramentas para o estudo da influência de sistemas de culturas na dinâmica da matéria orgânica, do nitrogênio total do solo e do fornecimento deste nutriente para as culturas comerciais.

O presente estudo tem a seguinte hipótese geral:

Sistemas de culturas que utilizem leguminosas proporcionam o acúmulo de carbono orgânico e nitrogênio total no solo e aumento na disponibilidade de nitrogênio as culturas.

O presente trabalho é constituído por três estudos que tem como objetivo geral:

Avaliar o efeito de diferentes sistemas de culturas em sistema plantio direto sobre os estoques de carbono e nitrogênio do solo e sobre o suprimento de nitrogênio às culturas não fixadoras de nitrogênio.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância do nitrogênio em agroecossistemas

O nitrogênio (N) é o elemento que apresenta maior concentração nas plantas, depois do carbono, do oxigênio e do hidrogênio, constituindo-se no elemento mineral que estas exigem em maiores quantidades. Ele é um nutriente que faz parte dos compostos de carbono, sendo constituinte de aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucléicos, nucleotídeos, coenzimas, hexoaminas, etc (Taiz & Zeiger, 2004). É também considerado o nutriente que mais limita o rendimento das culturas.

No solo, o N sofre inúmeras transformações bioquímicas, as quais são mediadas por uma diversidade de microrganismos do solo e influenciadas pelas condições ambientais existentes, como umidade, aeração, temperatura, pH, disponibilidade de outros nutrientes, entre outros. Além de serem dependentes do manejo do solo. Tais transformações, mineralização de compostos orgânicos, imobilização, nitrificação e denitrificação, são importantes elos no ciclo global do N. O N também pode sofrer várias perdas do sistema solo-planta, as quais estão relacionadas com as suas instabilidade no solo e que podem torná-lo poluente do ar e da água. Essas características fazem com que o N seja o nutriente de manejo mais complexo, entre os demais nutrientes.

O entendimento dessa dinâmica no solo é importante na busca de manejos que aumentem a racionalização do uso de fertilizantes minerais ou orgânicos, tanto do ponto de vista ambiental como econômico.

2.2 Fornecimento de nitrogênio às plantas pelo solo

Em condições naturais o solo é a principal fonte de N para as plantas não fixadoras de N. No solo, os estoques de N podem chegar a valores maiores que 4000 kg ha^{-1} dependendo das características do solo e do ambiente. Entretanto, grande parte deste elemento ocorre na forma orgânica, associado à matéria orgânica do solo, sendo que a proporção de N orgânico pode variar de 94 a 98 % do N total do solo (Oliveira et al, 2002).

A mineralização da MOS disponibiliza N na forma mineral para as plantas. Este processo é realizado por microrganismos do solo e é influenciado pelas condições ambientais do local, como pH, umidade, temperatura, disponibilidade de outros nutrientes e também pelo manejo do solo. Embora haja grandes quantidades de N total no solo, a fração que é disponibilizada às plantas, geralmente, não consegue atender à demanda das culturas exigentes nesse nutriente.

Segundo Mengel (1996) o N orgânico do solo é constituído pelas frações N-amino (peptídeos e proteínas), polímeros de aminoácidos e formas não identificadas, que podem ultrapassar 50% do N orgânico total. Esse N orgânico não caracterizado provavelmente seja N heterocíclico presente nos ácidos húmicos e fúlvicos, resistentes ao processo de mineralização. Por isso, a quantidade mineralizada de N no solo é pequena, a qual é originada principalmente das frações N-amino e polímeros de aminoácidos presentes na biomassa microbiana do solo. Além disso, pressupõe-se que o N orgânico potencialmente mineralizável diminui à medida que as plantas extraem esse nutriente do solo e o mesmo não é reciclado. Esta baixa acessibilidade do N orgânico ao processo de mineralização foi demonstrada por Garz & Chaanin (1990), citados por Mengel (1996), os quais encontraram em um experimento de longa duração, que mais de 90% do N orgânico não estava acessível ao processo de mineralização.

Em um experimento de longa duração, envolvendo preparos de solo e sistemas de culturas, localizado ao lado do experimento que trata a presente pesquisa Amado & Mielniczuk (2000) estimaram a mineralização do N total do solo, durante ciclo da cultura do milho. Estes autores encontraram que para os sistemas de preparo convencional e reduzido, 2,1% do N total foi mineralizado

durante o ciclo do milho e para o sistema plantio direto 1,1%. Nos sistemas de preparo convencional e reduzido, a mineralização foi estimulada pela maior oxigenação do sistema. Entretanto, os autores destacam que com o tempo o maior acúmulo de N total observado no sistema plantio direto deverá compensar sua menor taxa de mineralização.

Embora as quantidades de N disponibilizadas às plantas pelo solo sejam pequenas, em um manejo sustentável elas devem ser consideradas para a adequação da recomendação de adubação nitrogenada (Amado & Mileniczuk, 2000).

Diante disso, a matéria orgânica do solo consiste-se num reservatório de N para as plantas e técnicas de manejo que proporcionem sua conservação ou seu aumento no solo são importantes para se diminuir a necessidade de aporte externo de N.

2.3 Adubação Mineral: uso e eficiência

Devido ao baixo suprimento de N pelo solo e a alta exigência desse nutriente pelas culturas agrícolas, se torna, então, necessária à utilização de outras fontes de N para se obter os altos rendimentos requeridos pela agricultura moderna. Uma dessas fontes é o adubo nitrogenado mineral.

O adubo nitrogenado mineral é produzido a partir de NH_3 , o qual é produzido pelo processo Haber-Bosch. Esse processo é semelhante a uma fixação biológica de N, porém é realizado em condições de altas temperaturas e pressão, produzindo NH_3 a partir do N_2 atmosférico e do H, o qual é obtido de combustíveis fósseis.

Em 1995, a produção mundial de N reativo na forma de fertilizantes pelo processo Haber-Bosch foi de 100 Tg N (Galloway et al, 2004). Estes autores estimam que para 2050 a produção será de 165 Tg. No Brasil, segundo (Filoso et al., 2006), o consumo de N na forma de fertilizantes nitrogenados aumentou em 30 vezes de 1960 a 2002, sendo que neste ano o consumo foi de 2,5 Tg N. Entretanto, o maior incremento no uso de fertilizantes nitrogenados no Brasil ocorreu a partir dos anos 90, período que coincidiu com a grande expansão da agricultura na região do cerrado.

Com o advento do uso dos fertilizantes nitrogenados, houve um aumento na área cultivada, bem como na produtividade de várias culturas agrícolas. Esse aumento na oferta de alimentos associado às melhores condições de saúde promoveu um vertiginoso crescimento na população mundial. Entretanto a distribuição dos fertilizantes nitrogenados não é uniforme entre os países. Na Holanda, por exemplo, a aplicação média de adubos nitrogenados é de 300 kg ha^{-1} , sendo que são consumidos 180 kg de N por habitante, enquanto no Haiti se aplica 10 kg ha^{-1} de fertilizantes nitrogenados e cada habitante consome 2 kg de N . Já no Brasil, a aplicação nas lavouras é de 30 kg ha^{-1} e se consome 10 kg de N por habitante (Martinelli, 2007).

Embora o adubo nitrogenado seja utilizado em larga escala, quando utilizado em quantidades excessivas e, em condições desfavoráveis, pode tornar-se poluente das águas superficiais, subterrâneas e da atmosfera. Isso se deve aos diversos processos de perdas que o N sofre, tendo como destino o ambiente. Essas várias formas pelas quais o N é perdido resulta, muitas vezes, na baixa eficiência dos adubos nitrogenados.

Essa eficiência é traduzida como a quantidade recuperada pelas plantas do N que foi aplicado na forma mineral ou orgânica. Ela é estimada através de técnicas que utilizam N marcado ou pela diferença de N absorvido entre plantas adubadas e não adubadas com este nutriente.

A eficiência dos adubos nitrogenados, de uma maneira geral, é de 50%. Dobermann (2005), citado por Cantarella (2007), compilou dados de 850 experimentos obtidos na literatura mundial e observou que a recuperação após o primeiro cultivo do N aplicado em cereais na forma de fertilizante mineral estava ao redor de 50%. Entretanto, a eficiência da adubação nitrogenada depende de uma série de fatores como manejo, características do solo, culturas, variedades, fontes e doses de fertilizantes, incidências de pragas e doenças e das condições ambientais (Cantarella, 2007).

No Brasil, têm se encontrado diversos valores de recuperação de nitrogênio. Para arroz irrigado: 29% (Fageria, 2007), para milho: 82% (Reichardt et al., 1979), 67% (Villas Boas, 2005) e 44% (Gava et al., 2006).

Diante disso, é necessário que os processos envolvidos na incorporação, transformações do N, perdas dos fertilizantes sejam

compreendidos, para que se possam desenvolver estratégias de manejo que contribuam para aumentar a eficiência de aproveitamento do N do fertilizante.

2.4 O uso de plantas de cobertura na agricultura

As plantas de cobertura ou adubos verdes são utilizados desde a antiguidade, entretanto, nos últimos anos tem se dado um maior enfoque ao seu uso, devido às vantagens de sua utilização.

Planta de cobertura é aquela cultura que é cultivada com o objetivo de cobrir o solo. Podem ser anuais ou perenes, hibernais ou estivais, sendo cultivadas solteiras ou em consórcio. No início, o seu cultivo visava proteger o solo contra o ataque dos agentes erosivos. Entretanto, estas plantas são utilizadas devido aos diversos benefícios que proporcionam ao solo e às culturas comerciais utilizadas em rotação.

Os principais benefícios do uso de plantas de cobertura são a adição de resíduos ao solo, aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo, melhoria da estrutura do solo, adição de N ao sistema, aumento da atividade microbiana, reciclagem de nutrientes (Aita et al., 2001), ação de raízes em camadas diferenciadas do solo, conservação do solo, conservação da umidade e diminuição da temperatura do solo (Derpsch et al, 1985), supressão de invasoras e diminuição na incidência de pragas e doenças.

2.5 Plantas de cobertura e a disponibilidade de nitrogênio

As plantas de cobertura utilizadas em sistemas de culturas podem ser fixadoras de N ou não fixadoras. As fixadoras de N pertencem à família das leguminosas e as espécies de inverno utilizadas no sul do Brasil são a ervilhaca comum (*Vicia sativa*) e a peluda (*V. villosa*), o chícharo (*Lathyrus sativus* L.), o tremoços (*Lupinus* spp.) e a ervilha do campo (*Pisum sativum*). Já as de verão são o lablabe (*Lablab purpureum*), as crotalárias (*Crotalaria* spp.), o guandu (*Cajanus cajan*), o feijão de porco (*Canavalia ensiformis* DC), o caupi (*Vigna sinensis*) e as mucunas (*Stizobium* spp.). Dentre as não fixadoras de N tem-se a aveia-preta (*Avena sativa*), principal representante da família das

gramíneas, e o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), pertencente à família das crucíferas.

As leguminosas realizam simbiose com bactérias do grupo vulgarmente denominado “rizóbio”, as quais possuem a capacidade de reduzir o N_2 para a forma inorgânica combinada NH_3 , fornecendo, então, N à planta, e está fornecendo energia ao microrganismo. As quantidades de N fixadas pelas leguminosas podem variar de 146 a 221 $kg\ ha^{-1}$ para crotalaria juncea, 32 a 288 $kg\ ha^{-1}$ para o tremoço, 7 a 235 $kg\ ha^{-1}$ para o guandu e 9 a 201 $kg\ ha^{-1}$ para o feijão caupi (Peoples et al, 1995). Dessa maneira, as leguminosas possuem a capacidade de adicionar N ao sistema solo-planta, pois ao serem decompostas liberam N para a cultura em sucessão.

Já as gramíneas, como a aveia preta, ao absorverem o N do solo e ao incorporarem-no em seus tecidos tornam-o menos suscetível às perdas (Aita et al., 2001), como a lixiviação. Dessa forma, tais plantas atuam na reciclagem do N, como também de outros nutrientes.

Entretanto, a dinâmica da liberação de N dos resíduos é complexa e depende de uma série de características da planta, como relação C/N, teor de lignina e relação lignina/N (Aita & Giacomini, 2003), e das condições ambientais que poderão ou não favorecer o processo de decomposição desses resíduos, o qual, por ser realizado por microrganismos, depende do pH, da umidade, da temperatura, etc (Moreira & Siqueira, 2006).

Resíduos de leguminosas são decompostos mais rapidamente que os de gramíneas, isso se deve em parte, a baixa relação C/N (<25) que esses materiais apresentam. Materiais que apresentam relação C/N menor que 25 favorecem a mineralização do N durante seu processo de decomposição, disponibilizando N para a cultura em sucessão. Já as gramíneas devido a sua alta relação C/N (>25), durante seu processo de decomposição, imobilizam o N, que estava disponível no solo, na biomassa microbiana, diminuindo sua disponibilidade para a cultura em sucessão (Aita, 1997; Camargo & Sá, 2004).

Diversos estudos realizados no sul do Brasil demonstram o efeito de plantas de cobertura utilizadas em sistemas de culturas sobre o fornecimento de N à cultura do milho, o qual é altamente exigente neste nutriente (Heinzmann, 1985; Teixeira et al., 1994; Basso & Ceretta, 2000; Bortolini et al., 2000; Amado et al., 2000). Derpsch et al. (1985) estudaram o efeito de adubos

verdes na produção de milho em sistema plantio direto no Paraná. Neste estudo os adubos verdes tremoço branco, ervilhaca peluda, chícharo, centeio, aveia preta, nabo forrageiro, colza e girassol acumularam em sua biomassa 90, 61, 64, 56, 147, 135, 91 e 55 kg N ha⁻¹, respectivamente. Os melhores rendimentos foram obtidos sobre tremoço e ervilhaca, 6,4 e 6,3 Mg ha⁻¹, respectivamente, embora estas espécies não tivessem acumulado a maior quantidade de N. Isso é explicado pelas baixas relações C/N de seus resíduos que facilitaram a mineralização de N. Já sobre aveia preta, embora esta tenha acumulado a maior quantidade de N, 147 kg ha⁻¹, devido sua alta relação C/N, que promoveu a imobilização deste nutriente, o rendimento de grão de milho foi inferior, 3,5 Mg ha⁻¹.

No RS, Aita et al. (1994) também avaliaram o efeito de plantas de cobertura de inverno no suprimento de N ao milho em sistema de cultivo mínimo na ausência de adubo nitrogenado mineral. Estes autores encontraram acúmulo de N na biomassa da parte aérea das culturas chícharo, ervilhaca comum, ervilha forrageira, tremoço azul e aveia preta de 117, 90, 93, 93, 43 kg N ha⁻¹, respectivamente. Estes autores também obtiveram maiores rendimentos de milho sobre leguminosas, sendo que os tratamentos com chícharo e tremoço produziram os maiores rendimentos, 6,63 e 6,28 Mg ha⁻¹. Neste estudo o rendimento sobre aveia preta foi menor que o tratamento pousio invernal, o qual possuía uma população de plantas inexpressiva. Este fato evidencia o fenômeno da imobilização de N durante o processo de decomposição de resíduos da aveia preta, o que acabou diminuindo a disponibilidade deste nutriente para a cultura em sucessão.

Diante disso, Teixeira et al. (1994) ressaltam que a contribuição dos sistemas de culturas em N para o milho depende, entre outros fatores, de quatro fatores: capacidade de adicionar N₂ atmosférico ao solo; capacidade de reciclar N através da biomassa, especialmente no período intermediário dos cultivos de milho; taxa de mineralização dos resíduos culturais e da MOS e grau de coincidência do período de maior mineralização com o de absorção de N pelo milho.

Embora as leguminosas de inverno aportem elevada quantidade de N ao sistema, devido à rápida decomposição de seus resíduos, mantém o solo coberto por um menor período de tempo, o que favorece o ataque dos

agentes erosivos do solo. O contrário ocorre com as gramíneas, que devido à lenta decomposição de seus resíduos, mantém o solo coberto por mais tempo, mas não adicionam N ao sistema, podendo até diminuir sua disponibilidade à cultura em sucessão. Mas com o uso de consórcios entre gramíneas e leguminosas é possível controlar a velocidade de decomposição dos resíduos e ao mesmo tempo fornecer N ao sistema (Aita & Giacomini, 2003).

Nesse sentido, o acúmulo de N e rendimento de grãos de milho em sistema plantio direto em sucessão a culturas de coberturas puras e consorciadas foram avaliados por Giacomini et al. (2004). Estes autores encontraram valores intermediários de N acumulado pela parte aérea de milho em sucessão aos consórcios de aveia+ervilhaca em relação aos tratamentos com estas culturas utilizadas puras. Sendo que os consórcios de aveia+ervilhaca até uma proporção máxima de 30% de sementes de aveia, proporcionaram uma produtividade de grãos equivalente a 70% daquela obtida com o uso de 180 kg ha⁻¹ de N-uréia no pousio.

As leguminosas de verão, quando comparadas as de inverno, possuem maior produção de biomassa e acumulam mais N. Além de serem mais rústicas, desenvolvendo-se bem em solos ácidos e de baixa fertilidade. Essas características fazem dessas plantas culturas ideais para serem utilizados em solos com baixo teor de MOS e pobres em N e na recuperação de áreas degradadas (Aita, 1997). Entretanto, são pouco utilizadas por competirem por espaço com as culturas comerciais de verão. Seu efeito sobre o fornecimento de N à cultura do milho foi avaliado por Spagnollo et al. (2002) que estudaram o uso das leguminosas, feijão de porco, guandu anão, mucuna cinza e soja preta em cultivo intercalar, sobre o rendimento de grãos de milho. Estes autores observaram maior suprimento de N ao milho quando consorciado às leguminosas, com destaque para a mucuna cinza.

Com bases em todos esses estudos, é evidente que o uso de leguminosas pode suprir parcial ou totalmente o N requerido pela cultura do milho. Nesse sentido, com o objetivo de melhorar a recomendação da adubação nitrogenada para a cultura do milho no sul do Brasil, Amado & Mielniczuk (2000) recomendaram a inclusão do sistema de cultura utilizado na estimativa da recomendação de N a ser adicionado pela adubação.

Assim, o uso de plantas de cobertura pertencentes à família das leguminosas em sistemas de culturas se torna indispensável na redução da necessidade de aporte externo de N em sistemas agrícolas.

2.6 Sistemas de culturas e o acúmulo de carbono e nitrogênio total no solo

A matéria orgânica exerce papel fundamental na capacidade produtiva dos solos. Ela é importante no fornecimento de nutrientes às plantas, na retenção de cátions, na complexação de elementos tóxicos, na estabilidade da estrutura do solo, na infiltração e retenção de água, na aeração e atividade biológica do solo. Sendo considerada indicador chave da qualidade do solo, pois ela detecta alterações na qualidade em função do manejo (Mielniczuk, 1999).

Os principais constituintes da MOS são o C (52-58%), O (34-39%), H (3,3-4,8%) e N (3,7-4,1%) (Sparks, 1995). Ela é formada a partir da decomposição de resíduos orgânicos que são adicionados ao solo, cuja dinâmica é governada por uma série de transformações sob ação de agentes químicos, físicos e biológicos, com grande destaque para a microbiota do solo. Os estoques de MOS ou carbono orgânico total (COT) são determinados pela diferença entre as quantidades de carbono (C) que são adicionadas (k_1A) e perdidas (k_2), sendo sua variação no tempo expressa pela seguinte equação (Dalal & Mayer, 1986):

$$dC/dt = k_1.A - k_2.C \quad (2.1)$$

Nesta equação, A representa o C fotossintetizado pelas plantas e que é adicionado ao solo na forma de resíduos, exsudados radiculares e raízes ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), C representa o conteúdo de C na MOS (Mg ha^{-1}), os coeficientes k_1 e k_2 representam, respectivamente, a fração do C adicionado (A) que realmente se integra a MOS e a fração do C da MOS que é perdida pela decomposição, erosão, lixiviação, entre outros.

Os coeficientes k_1 e k_2 são afetados pelas condições edafoclimáticas (temperatura, umidade, textura e mineralogia do solo), além das práticas de

manejo (grau de revolvimento) (Bayer, 1996; Lovato, 2001; Mielniczuk et al., 2003). Dessa forma, esses coeficientes se comportam diferentemente entre as regiões tropicais e temperadas. Em regiões tropicais e subtropicais k_2 é mais elevado devido a maior temperatura que promove aumento da atividade microbiana, em relação a regiões temperadas. Já em solos argilosos com predomínio de minerais com carga variável (latossolos), a decomposição da MOS é menor do que solos arenosos e menos intemperizados. Essa menor taxa de decomposição nesses solos é devido à proteção da MO contra a decomposição microbiana que ocorre devido a MO estar associada aos óxidos de Fe, o que promove uma alta estabilidade química (Zinn et al., 2005).

Em sistemas naturais, as quantidades adicionadas e perdidas de C são iguais, mantendo o sistema em equilíbrio dinâmico, sem alteração nos estoques de C ao longo do tempo. Entretanto, com a introdução de práticas agrícolas ocorre alterações nos estoques de C, pois estas práticas modificam as quantidades adicionadas e perdidas de C do sistema solo.

A dinâmica dos estoques de N total no solo está ligada à dinâmica dos estoques de C, pois em torno de 95% de N ocorre na forma orgânica, associado à MOS. Então, práticas de manejo, que afetem o COT, acabarão por afetar o conteúdo de N total no solo. A quantidade de N total no solo em sistemas agrícolas também depende de uma quantidade adicionada de N, que pode ser através da fixação biológica de N realizada pelas leguminosas ou através da adubação mineral, e de uma quantidade perdida ou retirada de N do solo.

No sul do Brasil, o uso de uma agricultura baseada no revolvimento do solo e na baixa adição de resíduos por muitas décadas provocou grandes perdas de solo por erosão e diminuição no conteúdo de MOS, resultando numa baixa capacidade produtiva dos solos. Devido a isso, vários esforços por parte da pesquisa e da extensão foram feitos no intuito de reverter esse processo, o que se reflete atualmente em uma agricultura praticamente toda em sistema plantio direto (SPD) nessa região.

Diversos estudos foram e tem sido realizados com o objetivo de se estudar práticas de manejo que mantenham ou que aumentem os estoques de C e N total no solo, não apenas com o intuito de aumentar o conteúdo de MOS, mas também de utilizar o solo como um dreno, e não uma fonte, de gases do

efeito estufa (Lal et al., 1995). Isso é devido ao fato do C da MOS ser proveniente dos resíduos de plantas, as quais assimilam CO₂ da atmosfera através da fotossíntese.

Preparos de solo com intenso revolvimento provocam diminuição nos estoques de C e N total porque favorecem o processo de decomposição da MOS. Já sistemas sem revolvimento de solo e com altas adições de resíduos mantem ou até incrementam esses estoques.

Experimentos conduzidos no sul do Brasil têm demonstrado a importância do uso de sistemas de culturas utilizando leguminosas na adição de resíduos contendo C e N ao solo. Nessa região a recuperação do conteúdo da matéria orgânica do solo tem sido limitado pela baixa disponibilidade de N, o qual limita a produtividade das culturas e, conseqüentemente, reduz as adições de resíduos ao solo.

Esses efeitos foram observados por Lovato (2001), que estudou o efeito de sistemas de preparos e sistemas de culturas em um experimento com 13 anos de duração sobre os estoques de C e N total, o qual foi instalado em uma área que ha 14 anos estava sobre preparo convencional. Esse autor observou aumento no conteúdo de CO e NT com o decréscimo do revolvimento do solo e na presença de culturas que aportaram ao solo elevadas quantidades de resíduos. Neste estudo o uso de sistemas de culturas com leguminosas apresentou grande efeito no acúmulo de C e N no solo, devido à alta quantidade de C e N que esses sistemas aportaram ao solo. A adubação nitrogenada mineral também apresentou efeito positivo no acúmulo de C e N, devido ao aumento da produção de fitomassa, porém, com efeito no acúmulo de C e NT menos pronunciado que a utilização de leguminosas. O potencial de acumular C no solo foi observado no tratamento SPD aveia+ervilhaca/milho+caupi com adição de 180 kg ha⁻¹ de N por ano, que seqüestrou 26,02 Mg ha⁻¹ de C-CO₂ em 13 anos.

Estudos realizados por Sisti et al. (2004), também no sul do Brasil, em um experimento com dois sistemas de manejo e três sistemas de culturas instalado há 13 anos, não demonstraram diferença significativa no teor de matéria orgânica do solo sob sistema de preparo convencional e sob semeadura direta na sucessão trigo/soja, entretanto, nas rotações que incluíam vica as diferenças nos teores de CO e NT no solo foram significativamente

maiores sob sistema de semeadura direta. A razão, atribuída pelos autores, para que os estoques de C não tenham aumentado sob o sistema de semeadura direta comparado com o sistema de plantio convencional na sucessão trigo/soja provém da baixa adição de C e N ao solo por essas culturas.

3. MATERIAL E MÉTODOS GERAL

O presente estudo foi desenvolvido em um experimento de longa duração denominado “Cobertura Vegetal como Alternativa de Recuperação de Solos Degradados” instalado em 1983 na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (EEA/UFRGS).

3.1 Caracterização da área experimental

A área experimental localiza-se no município de Eldorado do Sul-RS na região climática da Depressão Central (30° 51' S, 51° 38' W). O clima predominante é o subtropical úmido de verão quente do tipo fundamental Cfa, conforme a classificação de Köppen (Moreno, 1961). A precipitação média anual é de 1490 mm, com médias mensais variando de 95,2 a 168 mm. As médias mensais de temperatura variam entre 13,9° e 24,9°C, com uma média anual de 19,4°C (Bergamaschi & Guadagnin, 1990). O experimento foi instalado em um Argissolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 1999) de textura franco-argilo-arenosa, o qual possui na camada de 0 – 15 cm de profundidade 540 g kg⁻¹ de areia, 240 g kg⁻¹ de silte e 220 g kg⁻¹ de argila (Silva & Mielniczuk, 1997). A mineralogia da fração argila apresenta 720 g kg⁻¹ de caulinita, 109 g kg⁻¹ de óxidos de Fe e 171 g kg⁻¹ de outros minerais (Bayer, 1996).

O solo, anterior à instalação do experimento, encontrava-se com sinais de degradação física, devido ao cultivo por 14 anos de colza e girassol sob sistema plantio convencional (Medeiros, 1985). No início do experimento, o

solo na camada de 0 – 10 cm apresentava 19 mg dm^{-3} de P, 130 mg dm^{-3} de K, 23 mg kg^{-1} de MO e pH 5,8 (Medeiros, 1985).

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental é o de blocos casualizados com parcelas subdivididas. As parcelas principais (16 x 5 m) são constituídas de dez sistemas de culturas sob semeadura direta (Tabelas 1 e 2). As subparcelas (8 x 5 m) foram constituídas de dois graus de compactação (descompactadas, as quais sofreram uma descompactação profunda na instalação do experimento, e compactadas, com compactação original) e as sub-subparcelas (4 x 5 m) de duas doses de nitrogênio aplicadas na cultura do milho no estágio V6, na forma de uréia: 0 e 120 kg ha^{-1} de 1983 a 1993 e 0 e 180 kg ha^{-1} a partir de 1994. A descompactação e as doses de N foram aplicadas em faixas perpendiculares às parcelas principais (Figura 3.1)

TABELA 3.1 Sequência de culturas utilizadas no experimento de 1983 a 1993.

nº	83/84	84	84/85	85	85/86	86	86/87	87	87/88	88	88/89	89	89/90	90	90/91	91	91/92	92	92/93	93
	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
1	So	Tri	So	Tri	So	Tri	So	Tri	Tr Go	Po	M	Tr Go	M	Tr Go	M	Tr Go	M	Tr Go	M	V Go
2	Sg	A Tm	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A
3	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A
	C	V	C	V	C	V	C	V	C	V	C	V	C	V	C	V	C	V	C	V
4	M Lb	Po	M Lb	Po	M Lb	Po	M Lb	Po	M Lb	Po	M Lb	Po	M Lb	Po	M Lb	Po	M Lb	Po	M Lb	Po
5	Mi	Tr A	M	Tr A	M	Tr A	M	Tr A	M	Tr A	M	Tr A	M	Tr A	M	Tr A	M	Tr A	M	A V
6	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S M	S	S	S	S	S	S	S	S	S
7	G C	G	G M	G	G M	G	G M	G	G M	G	G M	G	G M	G	G M	G	G M	G	G M	G
8	Po	Po	M	Po	M	Po	M	Po	M	Po	M	Po	M	Po	M	Po	M	Po	M	Po
9	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	M	P	P	P	P	P	P	P	P	P
10	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	M	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

Legenda: Vide Tabela 3.2

TABELA 3.2 Descrição das siglas e nomes comum e científico das espécies utilizadas no experimento.

Sigla	Nome comum	Nome científico
Tr	Trevo subterrâneo	<i>Trifolium subterraneum</i> L.
Go	Gorga	<i>Spergula arvensis</i> L.
Mi	Milheto	<i>Pennisetum americanum</i>
So	Soja	<i>Glycine max</i> (L.) Merrill
Sg	Sorgo	<i>Sorghum vulgare</i>
M	Milho	<i>Zea mays</i> L.
A	Aveia	<i>Avena strigosa</i> Schreb
V	Vica	<i>Vicia sativa</i> L.
C	Caupi	<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.
Lb	Lablabe	<i>Lablab purpureus</i> (L.) Sweet
S	Siratro	<i>Macroptilium atropurpureum</i>
G	Guando	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Milsp.
P	Pangola	<i>Digitaria decumbens</i> Stent
Tri	Trigo	<i>Triticum aestivum</i> L.
Tm	Tremoço	<i>Lupinus angustifolius</i>
Po	Pousio	-
Sd	Solo descoberto	-

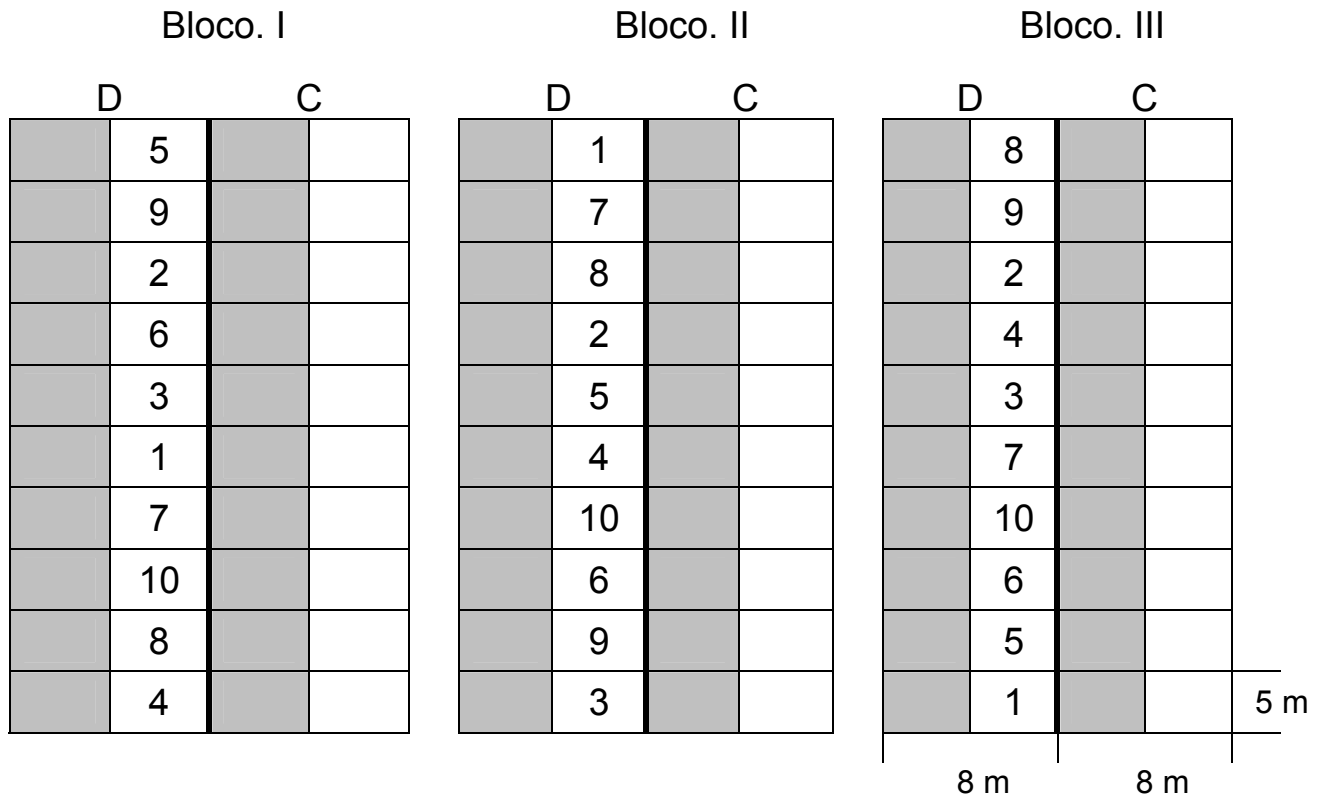
TABELA 3.3 Seqüência de culturas utilizadas no experimento a partir de 1994.

Nº	Seqüência de culturas	
	Inverno	Verão
1	Aveia + Vica ¹	Milho
2	Aveia	Milho
3	Aveia + Vica	Milho + Caupi
4	Lablabe	Lablabe+Milho
5	Aveia + Vica	Milho
6	Siratro ³	Siratro ³ /Milho ²
7	Guandu	Guandu+Milho
8	Pousio	Milho
9	Pangola	Pangola/Milho ²
10	Descoberto	Descoberto/Milho ²

¹ Em outubro de 1994 este tratamento sofreu correção de acidez e fósforo e revolvimento até 70 cm na subparcela descompactada.

² Nestes tratamentos o milho foi cultivado nas safras 1988/89, 1993/94, 1995/96, 1996/97 e 2005/06.

³ A partir de 1997 a cultura do siratro foi substituída pelas culturas de guandu e lablabe.



Legendas:

Compactação:

D = descompactado

C = compactado

Adubação nitrogenada:



0 kg ha⁻¹ N



180 kg ha⁻¹ N

Sistemas de culturas

1. Aveia + vica / milho (revolvido)
2. Aveia / milho
3. Aveia + vica / milho + caupi
4. Lablabe + milho
5. Aveia + vica / milho
6. Guandu + lablabe
7. Guandu + milho
8. Pousio / milho
9. Pangola
10. Solo descoberto

Siglas

- A+V/M rev
 A/M
 A+V/M+C
 LL+M
 A+V/M
 G+LL
 G+M
 P/M
 Pan
 Desc

FIGURA 3.1 Sistemas de culturas atuais que compõem o experimento, conduzido em sistema de plantio direto. Adaptado de Vieira (2007).

Neste experimento as culturas de inverno aveia preta e ervilhaca são semeadas com semeadora adubadora em abril e manejadas com rolo-faca em setembro para posterior semeadura do milho. No tratamento P/M durante o inverno há apenas o desenvolvimento de vegetação espontânea. A semeadura do milho ocorre nos meses de setembro ou outubro, sendo realizada com semeadora adubadora com espaçamento de 0,90 m nas entrelinhas. As leguminosas de verão caupi, guandu e lablabe são semeadas nas entrelinhas do milho entorno de 1 mês após a semeadura deste. O caupi e o lablabe continuam seu desenvolvimento após a colheita do milho até sua senescência no inverno devido às geadas. Já o guandu é renovado a cada dois ou três anos.

Durante a semeadura do milho se realiza uma adubação com 50 kg de K_2O e 50 kg de P_2O_5 incorporados na linha de semeadura.

Em outubro de 1997 foi aplicado calcário na superfície somente nas subparcelas descompactadas na base de $2,0 t ha^{-1}$.

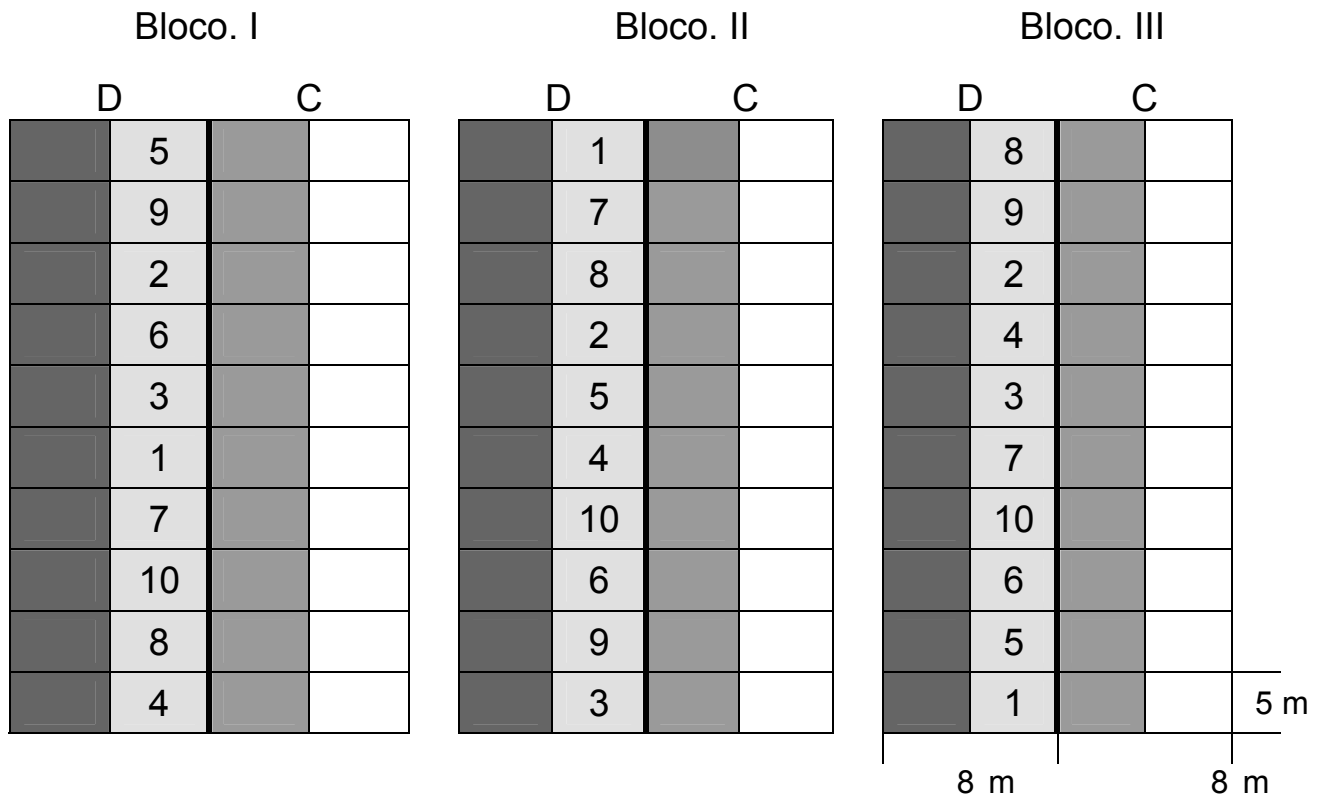
Maiores detalhes sobre o experimento encontram-se em Medeiros (1985), Fernandes (1998) e Vieira (2006).

3.3 Detalhes experimentais nos anos de 2005 e 2006

Na segunda quinzena de novembro de 2005 a cultura do milho (Híbrido Pioneer 32R21) foi semeada em todas as parcelas de todos os tratamentos, a população constituiu-se entre 55000 e 60000 plantas ha^{-1} . Neste ano, as parcelas principais foram divididas em quatro subparcelas, relativas a quatro doses de N (0, 60, 120 e 180 $kg ha^{-1}$) aplicadas na cultura do milho. As doses de N de 0 e 120 $kg ha^{-1}$ foram aplicadas nas subparcelas com compactação original, coincidindo o 0 com a sub-subparcela residual de 0 e a de 120 com a sub-subparcela residual de 180 $kg ha^{-1}$. As doses de N de 60 e 180 $kg ha^{-1}$ foram aplicadas nas subparcelas descompactadas coincidindo a dose de 60 com a de 0 residual e a de 180 com a de 180 $kg ha^{-1}$ residual (Figura 3.2).

A aplicação de N no milho ocorreu em duas épocas. No estágio de 4 folhas foi aplicado 1/3 da dose e no estágio de 8 folhas foi aplicado 2/3 da dose.

Neste ano não foram cultivadas as leguminosas de verão caupi, guandu e lablabe em consórcio com o milho.



Adubação nitrogenada:

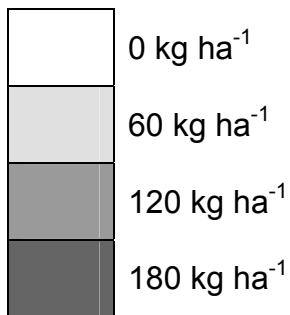


FIGURA 3.2 Doses de N aplicadas ao milho na safra 2005/2006.

Em abril de 2006, após a colheita, as plantas de milho foram manejadas com rolo faca. Posterior a esta prática, foi semeada aveia preta sem adição de N em todas as parcelas de todos os tratamentos. Foram utilizados 80 kg ha⁻¹ de semente de aveia preta, sendo a semeadura realizada com semeadora em linhas.

4. ESTUDO I

ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO E NITROGÊNIO TOTAL DO SOLO EM SISTEMAS DE CULTURAS

4.1 Introdução

A matéria orgânica do solo exerce papel fundamental na capacidade produtiva dos solos, devido às diversas funções que exerce neste sistema. Devido a MOS ser constituída principalmente por C, busca-se sistemas de manejo que mantenham ou aumentem os estoques de C no solo. Essa capacidade do solo em acumular C na forma de MOS, o torna um dreno de CO₂, o que é importante na mitigação do impacto do aumento dos gases de efeito estufa na atmosfera. O acúmulo de N total no solo também é importante, pois na ausência de adubação nitrogenada mineral ou orgânica, o solo se constitui na principal fonte deste nutriente para as plantas.

O efeito de sistemas de culturas e adubação nitrogenada sobre o acúmulo de C orgânico e N total no solo no sul do Brasil tem sido bastante estudado (Amado, 1997, Lovato, 2001, Diekow, 2003). Nesses diversos estudos se verifica a importância do uso de leguminosas e adubação nitrogenada na manutenção ou incremento dos estoques de C orgânico e N total do solo em sistemas de culturas.

Embora se conheça os efeitos dos sistemas de culturas sobre o acúmulo de C orgânico e N total no solo, ainda não se conhece o potencial total dos solos em acumular esses elementos. Para isso, o uso de experimentos de longa duração com diferentes manejos de solo é fundamental.

Este estudo baseia-se nas seguintes hipóteses:

- Sistemas de culturas com presença de leguminosas em sistema plantio direto aumentam os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total no solo em relação a sistemas de culturas baseados apenas em gramíneas;
- A utilização da adubação nitrogenada mineral contribui para manter ou aumentar os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total no solo.

Os objetivos deste estudo foram:

- Avaliar o efeito de sistemas de culturas com e sem adubação nitrogenada mineral sobre os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total no solo.
- Quantificar o acúmulo de C e N total no solo por sistemas de culturas após 22 anos de uso.

4.2 Material e métodos

Este estudo foi realizado apenas no tratamento descompactado de todos os sistemas de culturas.

4.2.1 Amostragem de solo

Para a análise de carbono e nitrogênio total do solo foram utilizadas amostras de solo coletadas na camada de 0 – 10 e de 10 – 20 cm em todas as parcelas na segunda quinzena de outubro de 2005, antes da semeadura do milho. As amostras de solo foram secas ao ar e moídas até passagem em peneira de 2 mm de diâmetro e armazenadas em potes plásticos.

4.2.2 Análises de C e N e cálculos de seus estoques no solo

As amostras de solo (<2mm) foram moídas em almofariz de ágata e submetidas à análise de C orgânico, a qual foi realizada por combustão seca em equipamento SHIMADZU TOC-V CSH. As análises de N foram realizadas

através de digestão ácida e destilação de arraste de vapor em semimicro Kjeldhal, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Os estoques de C orgânico e N total foram calculados em função da camada e da massa equivalente de solo. Este último método foi escolhido para se evitar a superestimativa do acúmulo de C orgânico e N total nos tratamentos com maior densidade (Ellert & Bettany, 1995). Os estoques calculados por camada equivalente se baseiam na profundidade e na densidade do solo de cada camada amostrada (Tabela 4.1):

$$\text{Estoque} = \text{Conc.} \times \rho_{\text{solo}} \times E \times 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \times 0,001 \text{ Mg ha}^{-1} \quad (4.1)$$

onde:

Estoque = Massa de C orgânico ou N total por unidade de área (Mg ha^{-1})

Conc. = Concentração de C orgânico ou N total no solo (kg Mg^{-1} solo)

ρ_{solo} = Densidade do solo da camada amostrada (Mg m^{-3}), segundo Bayer (1996) (Tabela 4.1)

E = Espessura da camada de solo amostrada (m)

TABELA 4.1 Densidade do solo nos tratamentos estudados em sistema plantio direto. EEA/UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Densidades (Mg m^{-3})	
	0 – 10 cm	10 – 20 cm
A+V/M ¹ rev	1,57 ²	1,61
A/M	1,57	1,61
A+V/M+C	1,59	1,66
LL+M	1,62	1,64
A+V/M	1,59	1,66
G+LL	1,62	1,64
G+M	1,60	1,65
P/M	1,57	1,62
Pangola	1,41	1,60
Descoberto	1,55	1,60

¹ A=aveia, Desc=descoberto, C=caupi, G=guandu, LL=lalabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, V=vica;

² Estimados para as camadas de 0 – 10 e 10 – 20 cm a partir de Bayer (1996).

Para calcular os estoques pelo método da massa equivalente se leva em conta a massa relativa de uma área de referência em cada tratamento estudado:

$$M_{\text{solo}} = \rho_{\text{solo}} \times E \times 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \quad (4.2)$$

onde:

M_{solo} = Massa de solo por unidade de área (Mg ha^{-1})

Neste estudo foi escolhida a área de campo nativo adjacente ao experimento como a área de referência. Nesta área a densidade do solo é de 1,54 e 1,63 Mg m^{-3} para as camadas de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm, respectivamente (Lovato, 2001). Esta área de referência é necessária para se calcular as camadas de solo a serem adicionadas ou subtraídas de cada tratamento com o objetivo de igualizar as massas de solo dos tratamentos. A camada de solo a ser adicionada ou subtraída foi calculada através da seguinte equação:

$$E_{\text{ad/sub}} = (M_{\text{ref.}} - M_{\text{Trat.}}) \times 0,0001 \text{ ha m}^{-2} / \rho_{\text{Trat.}} \quad (4.3)$$

onde:

$E_{\text{ad/sub}}$ = Espessura de solo a ser adicionada ou subtraída de determinada camada do tratamento para se obter a massa de solo equivalente a da área de referência (m)

$M_{\text{ref.}}$ = Massa equivalente de solo da respectiva camada na área de referência (Mg ha^{-1})

M_{Trat} = Massa equivalente de solo da respectiva camada do tratamento (Mg ha^{-1})

$\rho_{\text{Trat.}}$ = Densidade do solo na camada do tratamento (Mg m^{-3})

Os estoques de C orgânico e N total em massa equivalente em Mg ha^{-1} foram obtidos da seguinte maneira:

$$\text{Estoque} = \text{Conc.} \times \rho_{\text{solo}} \times (E \pm E_{\text{ad/sub}}) \times 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \times 0,001 \text{ Mg kg}^{-1}$$

(4.4)

Os estoques de C orgânico e de N total do campo nativo foram obtidos a partir dos dados de Lovato (2001), sendo estimados em 46,40 Mg C ha⁻¹ e 3957 kg N ha⁻¹, para a camada de 0 – 20 cm de profundidade. Em relação ao início do experimento (1983), o estoque de C (33,4 Mg C ha⁻¹) foi obtido de Zanatta (2006), e o estoque de N total (3038 kg N ha⁻¹) estimado a partir dos dados de Lovato (2001).

Para os estoques de C orgânico do ano de 1983 e do campo nativo, os quais foram analisados anteriormente ao ano de 2003 pelo método Walkley Black, foi utilizado um fator de correção de 0,9422. Essa correção foi utilizada, pois segundo Diekow et al. (2005) os teores de C orgânico analisados pelo método da combustão seca são 6,65% menores que aqueles determinados pelo método Walkley Black.

4.2.3 Análise Estatística

O efeito dos sistemas de culturas e da adubação nitrogenada nos estoques de C e N total no solo teve sua significância avaliada pela análise de variância realizada através do programa Sisvar 4.3. As diferenças entre médias de tratamentos foram analisadas através do teste de Tukey, com nível de significância de 5%.

4.3 Resultados e discussão

Neste item serão discutidos apenas os estoques de C orgânico e N total calculados por massa equivalente. Os estoques calculados pelo método da camada equivalente encontram-se nos Apêndices 4 e 6.

4.3.1 Estoques de C orgânico

A camada de 0 – 10 cm apresentou maiores estoques de C orgânico do que a camada de 10 – 20 cm em todos os sistemas de culturas (Tabela 4.2). Embora não tenha sido realizada análise estatística entre as profundidades, é

evidente a diferença entre os estoques de C orgânico entre as duas profundidades. Neste estudo 65% do estoque de C orgânico da camada de 0 – 20 cm estava na camada de 0 – 10 cm. Estes maiores estoques de C orgânico na camada mais superficial do solo estão relacionados com as características do sistema plantio direto, no qual não há revolvimento do solo e a maior parte dos resíduos orgânicos encontram-se sobre a superfície do solo (Vieira, 2007). O mesmo não ocorre em sistema plantio convencional, que devido ao revolvimento do solo, a concentração de C orgânico é similar ao longo do perfil (Bayer et al., 2002; Souza & Melo, 2003).

TABELA 4.2 Estoques de C nas camadas de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm dos sistemas de culturas sob plantio direto e dois níveis de adubação nitrogenada. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Camada de solo considerada					
	0 – 10 cm			10 – 20 cm		
	0 ¹	180	Média	0	180	Média
	----- Mg ha ⁻¹ -----					
A+V/M ² rev	25,15 a ⁴	25,67 a	25,40 DE ³	14,60 a	14,66 a	14,63 BC
A/M	19,97 a	22,43 a	21,20 EF	12,55 a	13,58 a	13,07 CD
A+V/M+C	27,77 a	27,36 a	27,57 CD	14,43 b	15,79 a	15,11 AB
LL+M	28,13 b	34,19 a	31,16 BC	14,07 b	16,67 a	15,37 AB
A+V/M	23,82 a	23,72 a	23,77 DEF	13,54 a	14,06 a	13,80 BCD
G+LL	31,78 a	34,75 a	33,27 B	14,61 a	14,66 a	14,64 BC
G+M	36,65 b	42,91 a	39,78 A	15,63 a	16,84 a	16,24 A
P/M	19,76 a	22,33 a	21,05 EF	12,74 a	13,68 a	13,21 CD
Pan	23,05 a	25,77 a	24,41 DEF	13,49 a	14,15 a	13,82 BC
Desc	19,46 a	19,87 a	19,67 F	12,12 a	12,35 a	12,24 D
Média	25,55 b	27,90 a	26,73	13,75 b	14,64 a	14,20

¹ 0 e 180 = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente;

² A=aveia, Desc=descoberto, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, V=vica;

³ Letras maiúsculas, na coluna, comparam sistemas de culturas, média de duas doses de N ($P < 0,05$, teste de Tukey).

⁴ Letras minúsculas, na linha, comparam níveis de adubação nitrogenada dentro de cada sistema de culturas ($P < 0,05$, teste de Tukey).

Em estudo realizado por Costa et al. (2004) em um experimento de longa duração (21 anos) sobre um Latossolo Bruno aluminico câmbico, 55% do estoque de C orgânico da camada de 0 -20 cm estava na camada de 0 – 10 cm

em sistema plantio direto, enquanto em sistema plantio convencional 48% do estoque de C orgânico encontrava-se na camada de 0 – 10 cm. Esta tendência, entretanto, não foi observada por Puget & Lal (2005) em um experimento com 8 anos de duração sobre um Mollisol nos EUA. Estes autores verificaram que 52 e 54% do estoque de C orgânico da camada de 0 – 20 cm estava na camada de 0 – 10 cm em sistema com revolvimento e sem revolvimento do solo, respectivamente. Porém, em sistema com pastagens, 69% do estoque de C orgânico dessa camada encontrava-se nos primeiros 10 cm de profundidade, o que foi reflexo da alta densidade de raízes encontrada nos primeiros 5 cm de profundidade nesse sistema.

Os estoques de C orgânico nas camadas de 0 – 10 cm, 10 – 20 cm e 0 – 20 cm foram influenciados significativamente pelos sistemas de culturas e doses de N utilizados de 1983 a 2005, porém não foi observada interação entre os sistemas e doses de N (Tabela 4.2 e Figura 4.1).

Com a instalação do experimento e adoção do sistema plantio direto na área que encontrava-se altamente degradada pelo cultivo em sistema plantio convencional, dois comportamentos foram observados após 22 anos de uso dos diferentes sistemas de culturas, menores estoques de C orgânico que o inicial (1983) na camada de 0 - 20 cm nos sistemas Desc, P/M 0 N e A/M 0 N e aumento nos demais sistemas. Este efeito dos sistemas de culturas sobre os teores e estoques de C orgânico já tinha sido evidenciado por Burle et al. (1997), Diekow et al. (2005) e Vieira (2007), após 10, 17 e 19 anos de uso dos diferentes sistemas de culturas neste experimento.

A perda de C orgânico da camada de 0 – 20 cm nos tratamentos Desc 0 N e Desc 180 N foi de 1,82 e 1,18 Mg ha⁻¹ em relação ao estoque inicial. As perdas neste sistema estão relacionadas com a adição mínima de resíduos, 0,66 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ (Bayer, 1996), que não consegue contrabalancear as perdas de C ocorridas por oxidação microbiana. Já nos sistemas A/M 0 N e P/M 0 N as perdas de C foram de 0,88 e 0,90 Mg ha⁻¹, o que também está relacionado com a baixa adição de resíduos por estes sistemas, que no segundo sistema, P/M 0 N, é de 2,61 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ (Vieira, 2007). Segundo este autor, nas condições onde se localiza este experimento, sob clima tropical, solo com baixo teor de argila (220 g kg⁻¹) e mínimo revolvimento do solo há a necessidade de se adicionar ao solo anualmente

3,70 Mg ha⁻¹ de C pelos resíduos vegetais para se manter o estoque inicial de C. Já, segundo Zanatta et al. (2007), são necessárias adições anuais de 5,40 Mg ha⁻¹ de C para as condições ambientais deste experimento para se manter os estoques iniciais de C orgânico.

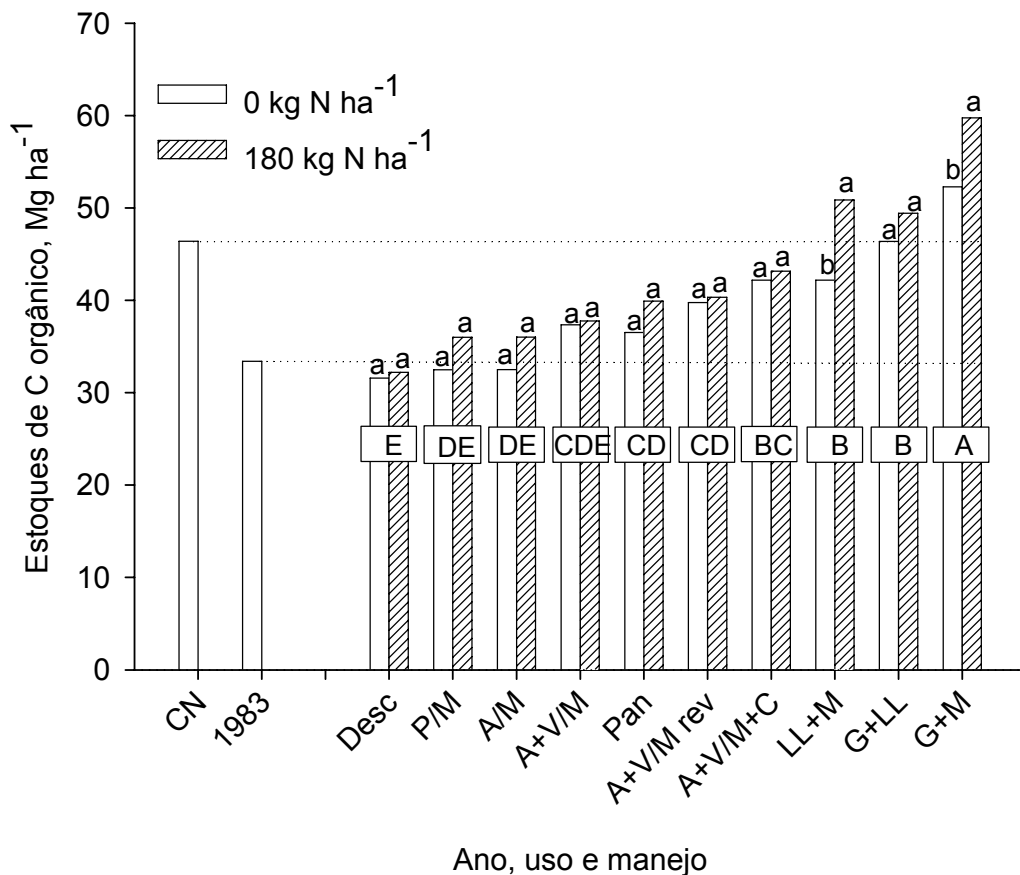


FIGURA 4.1 Estoques de carbono na camada de 0 – 20 cm do campo nativo (CN), início do experimento (1983) e dos sistemas de culturas sob plantio direto com dois níveis de adubação nitrogenada em 2005. Letras maiúsculas comparam sistemas de culturas (média das duas doses de N) e letras minúsculas comparam níveis de adubação nitrogenada, através do Teste de Tukey ($P < 0,05$). A=aveia, C=caupi, CN=campo nativo, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabee, M=milho, P=pousio, Pan=pangola, rev=revolvido e V=vica.

Já os sistemas A/M 180 N, P/M 180 N e Pan 0 N determinaram em média um aumento de aproximadamente 3 Mg C ha⁻¹ no estoque de C em 22 anos de utilização. Este fato está relacionado com a adição de C ao solo por estes sistemas de cultura que varia de 3,78 (Pan) a 5,60 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (A/M 180 N) (Vieira, 2007), maiores que a adição dos sistemas anteriores.

Em relação aos demais sistemas de culturas, sem adubação nitrogenada, houve um acúmulo de C na camada de 0 – 20 cm que variou de 3,96 no sistema A+V/M a 18,88 Mg ha⁻¹ no sistema G+M. Todos esses sistemas apresentam uma leguminosa como planta intercalar ou de cobertura. A presença de leguminosas em sistemas de culturas determina o aporte de N ao sistema devido à fixação biológica de N realizada por essas plantas, o que aumenta a disponibilidade deste nutriente para as gramíneas em consórcio ou em sucessão, favorecendo a produção de fitomassa e, por consequência, maior aporte de C ao solo. Estudos realizados por Vieira (2007) neste mesmo experimento e por Lovato (2001) em experimento adjacente demonstram a existência de uma correlação entre o aumento das adições de C pelos resíduos de sistemas de culturas com o aumento dos estoques de C orgânico no solo. Dessa maneira, a utilização de leguminosas em sistemas de culturas, além de seu aporte de C, favorece o acúmulo de C orgânico no solo por aumentar o aporte de C pela gramínea em sucessão. Batjes (1998) e Swift (2001) afirmam que para aumentar o conteúdo de C orgânico do solo, além de minimizar o revolvimento do solo, deve-se reduzir a utilização de pousio e favorecer práticas de manejo que envolvam alta produção e adição de resíduos vegetais ao solo. Aumentos no conteúdo de C do solo pela utilização de leguminosas também foram obtidos no Paquistão por Shafi et al. (2007), embora sem diferenças significativas entre os sistemas de culturas, o que pode ser devido ao curto período de duração do experimento, 2 anos, e também por Sainju et al. (2002) nos Estados Unidos em relação ao tratamento testemunha que não possuía plantas de cobertura em um primeiro experimento e também num segundo experimento onde foi observado que o uso da ervilhaca como planta de cobertura por 5 anos determinou um acúmulo de C de 1,46 Mg ha⁻¹ superior ao sistema sem essa leguminosa.

Dentre as leguminosas em estudo, aquelas de ciclo estival se destacaram no acúmulo de C, sendo que os sistemas que utilizaram guandu conseguiram aumentar os estoques de C a valores similares e até maiores que o de campo nativo (Figura 4.1). Este comportamento está relacionado com as maiores quantidades de N fixado por estas culturas e pela grande produção de fitomassa por esses sistemas (Burle et al., 1997; Diekow et al., 2005) em relação às leguminosas de inverno. Os sistemas com leguminosas de verão

também se destacaram no acúmulo de C orgânico em subsuperfície (10 – 20 cm), onde os sistemas G+M, LL+M e A+V/M+C acumularam nesta camada 4,00, 3,13 e 2,87 Mg C ha⁻¹, respectivamente, a mais que o sistema Desc (média das duas doses de N). Este comportamento pode estar relacionado a uma maior contribuição do sistema radicular dessas leguminosas, estabilidade biológica e deslocamento de compostos orgânicos no perfil por percolação. Maiores estoques de C orgânico em sistemas de culturas com leguminosas de ciclo estival em sistema plantio direto também foram observados por Amado et al. (2001). Em seu estudo sob condições ambientais semelhantes após 8 anos de adoção do sistema plantio direto, o sistema milho + mucuna incrementou os estoques de C orgânico a valores maiores que o de campo nativo. Amado et al. (2006) também obtiveram maiores estoques de C em sistema plantio direto com leguminosas estivais em quatro locais da região sul do Brasil com características edafoclimáticas distintas.

A aplicação de adubo nitrogenado apresentou tendência de aumento dos estoques de C orgânico na camada de 0 – 20 cm em todos os sistemas de culturas (Figura 4.1), embora, apenas nos tratamentos G+M e LL+M tenha ocorrido diferença significativa entre as doses de N. Assim como a utilização de leguminosas, a adubação nitrogenada aumenta a disponibilidade de N e, por conseguinte, aumenta a adição de resíduos ao solo (Lovato et al., 2004). Assim como ocorre para o C orgânico total, segundo Shah et al. (2003) o C lábil também é aumentado pela manutenção dos resíduos sobre o solo e pela adição de N ao sistema, seja por fertilizantes minerais ou fixação biológica de N.

A adubação nitrogenada teve efeito positivo no acúmulo de C em ambas camadas, 0 -10 cm e 10 – 20 cm, porém este efeito foi mais positivo na camada mais superficial. Considerando a camada de 0 – 20 cm, a aplicação de N mineral via adubo teve efeito mais pronunciado no acúmulo de C nos tratamentos LL+M e G+M, seguido dos tratamentos P/M e A/M, com pequeno efeito nos tratamentos A+V/M, A+V/M rev e A+V/M+C, considerando apenas os sistemas que receberam adubação nitrogenada em todos os anos desde a instalação do experimento. Nos sistemas LL+M e G+M a adição de N mineral promoveu um aumento no estoque de C da camada de 0 – 20 cm de 20,5 e

14,4%, respectivamente, em relação à ausência desta prática. Já nos sistemas P/M e A/M esse aumento foi de 10,8%.

Dados compilados por Alvarez (2005) de 137 locais com taxas variadas de adição de N mostram que o fertilizante nitrogenado aumenta o C orgânico do solo, porém somente quando os resíduos retornam ao solo, sendo que o seu efeito depende da aplicação cumulativa de N, da rotação, do clima e da textura do solo. Com dados de todos esses locais este autor obteve uma variação positiva no estoque de C de 2 Mg ha⁻¹ para cada 1 Mg ha⁻¹ de N aplicada, porém com um baixo coeficiente de determinação.

Destaque deve ser dado ao sistema Pan 0 N, que mesmo sem presença de leguminosa e adubação nitrogenada, apresentou estoques de C orgânico superiores ao início do experimento. Este fato está relacionado com as características de pastagem perene da pangola, como alta densidade de raízes. As pastagens acumulam grande quantidade de C, sua maior parte, abaixo da superfície do solo devido a grande alocação de C no sistema radicular (Salton et al., 2005). Segundo Roscoe et al. (2006) sistemas com pastagens bem manejadas, associados ao não revolvimento do solo, favorecem o acúmulo de C no solo. Entretanto, a produção de resíduos pelas pastagens está associada a uma série de fatores inerentes à própria espécie, sistema radicular e as condições ambientais. Segundo estes autores, pastagens bem manejadas com adubação de manutenção favorecem o acúmulo de C. Este fato pode ser observado no tratamento Pan 180 N que com adição de adubação nitrogenada em apenas 4 anos, a qual ocorreu na cultura do milho, apresentou um acúmulo de C de 3,39 Mg ha⁻¹ em relação ao Pan 0 N. Convém ressaltar que, embora a pangola seja uma pastagem perene, neste experimento esse sistema não foi pastejado por animais.

As taxas de acúmulo de C variaram de -0,08 a 1,20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ na camada de 0 – 20 cm (Tabela 4.3). Aplicando essa mesma forma de cálculo para os dados obtidos por Vieira (2007) após 19 anos, obtem-se taxas semelhantes, as encontradas após 22 anos, para os tratamentos P/M 0 e 180 N (-0,08 e 0,08 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e A+V/M 0 N (0,14 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Para os sistemas A/M 0 N, A/M 180 N, A+V/M 180 N, LL+M 0 N e LL+M 180 N essas taxas encontradas em 2002 foram de 0,01, 0,22, 0,24, 0,77 e 0,89 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, superiores as encontradas neste trabalho (-0,04, 0,12, 0,20, 0,40 e 0,79 Mg

ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente). Essas diferenças podem estar relacionadas à camada de solo considerada, que no estudo de Vieira (2007) era de 0 – 17,5 cm e neste é de 0 – 20 cm, e também ao fato de que segundo Zanatta (2006) as taxas de acúmulo de C são maiores nos anos iniciais, decrescendo com o tempo.

TABELA 4.3 Acúmulo absoluto em relação ao início do experimento e taxa anual de acúmulo de C na camada de 0 – 20 cm do solo dos sistemas de cultura sob plantio direto e com dois níveis de adubação nitrogenada. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Níveis de adubação nitrogenada (kg ha ⁻¹)			
	0 ²		180	
	Acúmulo absoluto ¹ (Mg C ha ⁻¹)	Taxa de acúmulo ¹ (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Acúmulo absoluto (Mg C ha ⁻¹)	Taxa de acúmulo (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)
A+V/M ³ rev	6,36	0,29	6,93	0,31
A/M	-0,88	-0,04	2,62	0,12
A+V/M+C	8,80	0,40	9,75	0,44
LL+M	8,80	0,40	17,46	0,79
A+V/M	3,96	0,18	4,37	0,20
G+LL	12,99	0,59	16,02	0,73
G+M	18,88	0,86	26,36	1,20
P/M	-0,90	-0,04	2,61	0,12
Pan	3,13	0,14	6,52	0,30
Desc	-1,82	-0,08	-1,18	-0,05

¹Calculados em relação ao estoque inicial do experimento, 33,4 Mg C ha⁻¹ (Zanatta, 2006);

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente;

³A=aveia, Desc=descoberto, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, V=vica.

Lovato (2001) estudou o efeito dos sistemas A+V/M+C 0 N e A+V/M+C 180 N em plantio direto no acúmulo de C em experimento com 13 anos de condução, porém na camada de 0 – 17,5 cm. Este autor encontrou taxas anuais de acúmulo de C de 0,40 e 0,54 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, para os respectivos tratamentos. O primeiro tratamento apresentou taxa semelhante à encontrada neste estudo (0,40 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), porém o segundo apresentou maior taxa (0,44 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), o que também pode ser devido à camada

considerada como também ao tempo de condução do experimento (Tabela 4.3).

Altas taxas de acúmulo de C orgânico em sistemas com leguminosas de verão também foram obtidos por Bayer et al. (2003) em Santa Catarina em um experimento conduzido por 5 anos em sistema de preparo reduzido implantado sobre um latossolo que há 23 anos era conduzido em plantio convencional. As taxas variaram de 0,39 a 2,23 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Todos estes resultados evidenciam o potencial de seqüestro de C pelo solo em sistema plantio direto. Neste estudo, o acúmulo de C na camada de 0 - 20 cm variou de 2,61 a 26,36 Mg ha⁻¹ em 22 anos de condução do experimento, o que corresponde a uma retenção de CO₂ de 9,57 a 96,65 Mg ha⁻¹. Entretanto, para um efetivo acúmulo de C no solo, ou seqüestro de CO₂, práticas de manejo como a adubação nitrogenada e o uso de leguminosas em associação a gramíneas é de fundamental importância para aumentar o conteúdo de MOS e mitigar gases de efeito estufa.

Neste estudo foram avaliadas apenas as camadas mais superficiais, 0 – 10 e 10 – 20 cm. As camadas superficiais possuem maior concentração de C, entretanto estudos mostram que se pode encontrar C orgânico a mais de 2 m de profundidade (Mikhailova et al., 2001). Diekow (2003) estudou o efeito de sistemas de culturas sobre o estoque de C até 107,5 cm de profundidade, porém este autor não encontrou diferença significativa entre os sistemas abaixo dos 17,5 cm. Já Mikhailova et al. (2001) observaram perdas de C até 100 cm de profundidade quando o solo foi submetido a pousio por 50 anos. Embora, a grande maioria dos estudos sobre o efeito de sistemas de preparo e de culturas na dinâmica da MOS se restringe às camadas superficiais do solo, o seu estudo em subsuperfície é importante, não apenas na busca de melhorar a qualidade do solo, mas também de alocar C neste ambiente, com o intuito de aumentar o seqüestro de CO₂ pelo solo.

4.3.2 Estoques de N total

Os estoques de N total nas camadas de 0 - 10 cm e 10 – 20 cm encontram-se na Tabela 4.4. O comportamento dos estoques de N total nos diferentes sistemas de culturas e doses de N foi similar ao observado nos

estoques de C orgânico. Este fato se deve ao ciclo do N estar ligado ao ciclo do C. Os sistemas de culturas e doses de N apresentaram diferença significativa sobre os estoques de N total em todas as camadas analisadas, não sendo observada interação entre estas práticas.

A maior parte do estoque do N total da camada de 0 – 20 cm, 62%, foi encontrado na camada de 0 – 10 cm. Este fato, a semelhança do C orgânico, também está relacionado às características do sistema plantio direto, onde o maior acúmulo de MO ocorre nas camadas mais superficiais devido os resíduos vegetais serem depositados na superfície e não ocorrer revolvimento do solo, como ocorre em sistema plantio convencional.

TABELA 4.4 Estoques de N total nas camadas de 0 – 10 cm e 10 – 20 cm dos sistemas de culturas sob plantio direto e dois níveis de adubação nitrogenada. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Camada de solo considerada					
	0 – 10 cm			10 – 20 cm		
	0 ¹	180	Média	0	180	Média
	----- Mg ha ⁻¹ -----					
A+V/M ² rev	2006 a ⁴	2006 a	2006 CD ³	1235 a	1257 a	1246 BC
A/M	1627 a	1799 a	1713 DE	1190 a	1292 a	1241 BC
A+V/M+C	2306 a	2294 a	2300 BC	1344 b	1482 a	1413 AB
LL+M	2409 b	2817 a	2613 B	1394 b	1596 a	1495 A
A+V/M	1992 a	1964 a	1978 CD	1255 a	1322 a	1288 BC
G+LL	2563 a	2710 a	2637 B	1349 a	1377 a	1363 ABC
G+M	2899 a	3232 a	3065 A	1410 b	1577 a	1493 A
P/M	1619 a	1798 a	1709 DE	1149 a	1300 b	1225 CD
Pan	1801 a	2074 a	1938 CD	1234 a	1339 a	1287 BC
Desc	1493 a	1534 a	1513 E	1038 a	1063 a	1050 D
Média	2072 b	2223 a	2147	1260 b	1361 a	1310

¹ 0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente;

² A=aveia, Desc=descoberto, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, V=vica;

³ Letras maiúsculas, na coluna, comparam sistemas de culturas, média de duas doses de N ($P < 0,05$, teste de Tukey).

⁴ Letras minúsculas, na linha, comparam níveis de adubação nitrogenada dentro de cada sistema de culturas ($P < 0,05$, teste de Tukey).

O efeito dos sistemas de culturas sobre o teor de N no solo pode ser observado já em 1986, 3 anos após a instalação do experimento, quando

Teixeira et al. (1994) encontraram diferenças significativas no teor de N total apenas na camada de 0 – 0,025 m entre os sistemas utilizados. Porém em 1988 o efeito dos sistemas de culturas sobre o teor de N total foi observado até a profundidade de 0 – 0,175 m.

Observando a Figura 4.2 verifica-se que os maiores estoques de NT estão nos tratamentos com leguminosas. Maiores estoques de NT em sistemas de culturas com leguminosas também foram observados por Bayer & Mielniczuk (1997), Lovato et al. (2004) e Diekow et al. (2005). Semelhante ao que ocorre com a dinâmica de acúmulo de C orgânico no solo, o NT do solo é determinado pela relação entre a taxa de adição de N ao solo e a de perda (Dalal & Mayer, 1986). Dessa forma os maiores estoques de N nos sistemas com leguminosas é devido a maior entrada de N no sistema solo-planta, o qual é proveniente da fixação biológica de N realizada por estas plantas (Teixeira et al., 1994). Lovato et al. (2004) também observaram boa relação entre o N adicionado ao solo pelos sistemas de culturas e a variação nos estoques e que 50% do N adicionado foi retido como N total em sistema plantio direto.

Dentre as leguminosas, as de ciclo estival apresentaram destaque no acúmulo de N total no solo. Os sistemas sem adubação nitrogenada A+V/M+C, LL+M, G+LL e G+M acumularam em relação ao início do experimento, em mais de duas décadas de utilização, 612, 765, 875 e 1270 kg N ha⁻¹, respectivamente. O maior efeito das leguminosas de verão sobre os estoques de N total também foi observado por Amado et al. (2001) que encontraram, após 8 anos de uso em Santa Maria, RS, estoques de 4,87 Mg ha⁻¹ para o sistema Mucuna+milho, 630 (13%) e 680 kg ha⁻¹ (16%) a mais que os sistemas com leguminosas de inverno Aveia+ervilhaca/milho e Tremoço (azevém+ervilhaca)/milho, respectivamente, e 1280 kg ha⁻¹ (36%) a mais que o Pousio/milho. Os autores atribuíram o maior estoque de N total do sistema Mucuna+milho à maior adição anual de N ao solo pela parte aérea das culturas desse sistema, 217 kg ha⁻¹, contra 141 e 117 kg ha⁻¹ dos sistemas com leguminosas de inverno anteriormente citados, respectivamente.

A adubação nitrogenada também favoreceu o acúmulo de N total no solo. Em média, esta prática aumentou os estoques de N total em 7,6%. Lovato et al. (2004) também observou aumento dos estoques de N total com esta prática. Observando apenas os sistemas P/M e A/M (Figura 4.2) verifica-se que

em média a adubação nitrogenada determinou um acúmulo de 305 kg ha^{-1} nestes sistemas, o que promoveu a manutenção do estoque inicial de NT, pois na ausência desta prática nestes sistemas houve um decréscimo de mais de 200 kg N ha^{-1} na camada de $0 - 20 \text{ cm}$ de profundidade, o qual é proveniente da exportação de N pela colheita de grãos de milho. Este fato evidencia a importância da adubação nitrogenada em sistemas baseados exclusivamente em gramíneas em se evitar o esgotamento deste nutriente no solo.

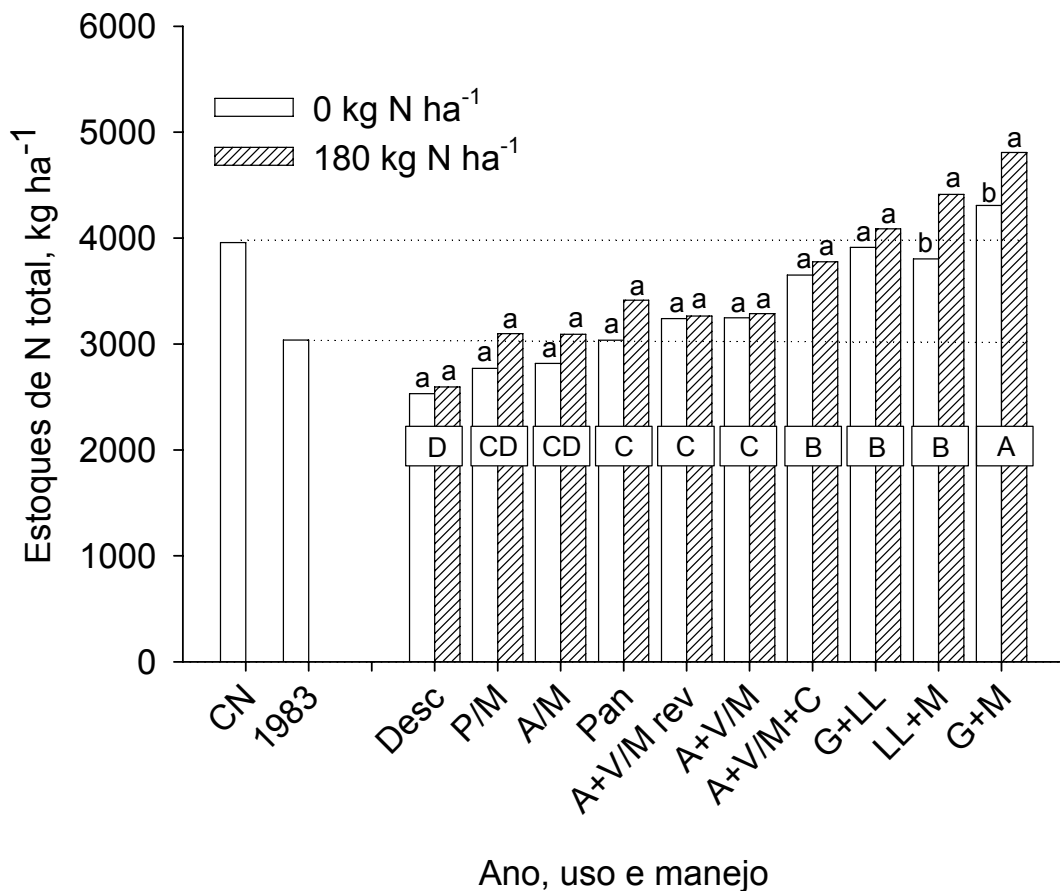


FIGURA 4.2 Estoques de N total na camada de $0 - 20 \text{ cm}$ do campo nativo (CN), início do experimento (1983) e dos sistemas de culturas sob plantio direto com dois níveis de adubação nitrogenada em 2005. Letras maiúsculas comparam sistemas de culturas (média das duas doses de N) e letras minúsculas comparam níveis de adubação nitrogenada, através do Teste de Tukey ($P < 0,05$). A=aveia, C=caupi, CN=campo nativo, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, P=pousio, Pan=pangola, rev=revolvido e V=vica.

As taxas de acúmulo de N no solo variaram de $-23,1$ a $80,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Tabela 4.5). As taxas negativas dos sistemas P/M 0 N e A/M 0 N são devido a exportação de N pela colheita, como exposto anteriormente.

Entretanto no sistema Desc a grande queda no estoque de NT se deve em menor parte a exportação pela colheita, pois esta ocorreu apenas em 4 anos, mas sim ao processo de erosão do solo, pois este mantém-se descoberto ao longo do ano, o que facilita este processo, e à lixiviação, pois como neste sistema não há plantas em desenvolvimento que possam acumular em sua biomassa o N que é mineralizado da MOS, este acaba sendo levado para camadas mais profundas pelo movimento de percolação da água. Já as taxas positivas de acúmulo de N estão relacionadas com as entradas de N pela fixação biológica de N realizada pelas leguminosas, sendo maiores nos sistemas com leguminosas estivais. Amado et al. (2001) obteve para o sistema mucuna+milho uma taxa de acúmulo de N de 91 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em 8 anos de utilização deste sistema em plantio direto.

TABELA 4.5 Acúmulo absoluto e taxa anual de acúmulo de N na camada de 0 – 20 cm do solo dos sistemas de cultura sob plantio direto e com dois níveis de adubação nitrogenada. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Níveis de adubação nitrogenada (kg ha ⁻¹)			
	0 ²		180	
	Acúmulo absoluto ¹ (kg N ha ⁻¹)	Taxa de acúmulo ¹ (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Acúmulo absoluto (kg N ha ⁻¹)	Taxa de acúmulo (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)
A+V/M ³ rev	203	9,2	226	10,3
A/M	-221	-10,1	53	2,4
A+V/M+C	612	27,8	738	33,5
LL+M	765	34,8	1375	62,5
A+V/M	209	9,5	249	11,3
G+LL	875	39,8	1049	47,7
G+M	1270	57,7	1771	80,5
P/M	-269	-12,2	60	2,7
Pan	-2	-0,1	375	17,1
Desc	-507	-23,1	-442	-20,1

¹Calculados em relação ao estoque do início do experimento, 3038 kg ha⁻¹ na camada de 0 – 20 cm (Lovato, 2001); ² 0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Aplicando o coeficiente de mineralização ($k_1 = 0,011$) do N total do solo em sistema plantio direto encontrado por Amado & Mielniczuk (2000), durante o ciclo do milho e nas mesmas condições ambientais deste estudo, nos

estoques de N total do solo sob os diferentes sistemas de culturas deste estudo verifica-se que poderiam ser disponibilizados pelo solo deste 27,8 kg N ha⁻¹ no Desc 0 N a 52,9 kg N ha⁻¹ no sistema G+M 180 N, respectivamente, para o milho cultivado nestes sistemas. Comparando apenas estes dois tratamentos verifica-se uma diferença de 25,1 kg ha⁻¹ de N, ou uma economia de 55 kg ha⁻¹ de uréia na cultura do milho cultivada no sistema com histórico de uso com uma leguminosa de verão em relação a um sistema com mínima adição de N ao solo.

Diante dos dados apresentados, fica evidente a importância do uso de leguminosas, principalmente, de ciclo estival, no aumento das reservas de N no solo e, conseqüentemente, no aumento da disponibilidade deste nutriente pelo solo às culturas.

4.3.3 Relação C/N

Os sistemas de culturas apresentaram pouco efeito sobre a relação C/N do solo, sendo que a adubação nitrogenada não apresentou diferença significativa. Porém ocorreu diferença significativa entre as profundidades em todos os sistemas de culturas (Tabela 4.6).

A diminuição da relação C/N com a profundidade é devido à diminuição da matéria orgânica particulada (MOP), a qual possui maior relação C/N que a matéria orgânica associada aos minerais (MOAM) (Diekow, 2003). A MOP possui maior relação C/N por ainda possuir muitas características dos resíduos culturais das culturas utilizadas, enquanto a MOAM é um material que sofreu mais transformações pela microbiota do solo, o que diminuiu a sua relação C/N.

TABELA 4.6 Relação C/N do solo sob 10 sistemas de culturas em duas profundidades. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Profundidade (cm)	
	0 – 10 ¹	10 – 20
A+V/M ² rev	12,7 a ⁴ AB ³	11,8 b A
A/M	12,4 a AB	10,6 b C
A+V/M+C	12,0 a B	10,7 b C
LL+M ²	11,9 a B	10,3 b C
A+V/M	12,0 a B	10,7 b C
G+LL	12,6 a AB	10,8 b BC
G+M	12,9 a A	10,9 b ABC
P/M	12,3 a AB	10,8 b BC
Pan	12,6 a AB	10,8 b BC
Desc	13,0 a A	11,7 b AB
Média	12,4 a	10,9 b

¹ Média das duas doses de N;

² A=aveia, Desc=descoberto, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, V=vica;

³ Letras maiúsculas, na coluna, comparam sistemas de culturas ($P < 0,10$, teste de Tukey).

⁴ Letras minúsculas, na linha, comparam profundidades dentro de cada sistema de culturas ($P < 0,05$, teste de Tukey).

4.4 Conclusões

Sistemas de culturas que utilizam leguminosas apresentam maiores estoques de C orgânico e N total no solo do que sistemas baseados apenas em gramíneas. Dentre as leguminosas, as de ciclo estival apresentam maior potencial em acumular C orgânico e N total no solo.

A utilização de adubação nitrogenada em sistemas de culturas também promove aumento nos estoques de C orgânico e NT no solo, em relação à ausência desta prática, principalmente nos sistemas com leguminosas tropicais guandu e lablabe.

5. ESTUDO II

NITROGÊNIO ACUMULADO PELO MILHO E PELA AVEIA EM SISTEMAS DE CULTURAS NA SAFRA 2005/2006

5.1 Introdução

O uso de plantas de cobertura em rotação a culturas comerciais é importante quando se deseja adicionar resíduos ao solo, com o objetivo de proteger o solo contra os agentes erosivos e também de aumentar o conteúdo de MOS. Entretanto, essas plantas de cobertura também devem ser capazes de reciclar e adicionar N ao sistema, visto que este é o nutriente mais caro e que mais limita o rendimento das culturas que não fixam N. Além do fato de que sistemas baseados apenas na adubação nitrogenada mineral não são sustentáveis, pois para a fabricação desses adubos é utilizada uma grande quantidade de energia derivada do gás natural, o qual não é um recurso renovável.

As leguminosas têm papel fundamental no fornecimento de N em sistemas de culturas, diminuindo a necessidade de adicionar adubos nitrogenados (Amado et al., 2000). O uso destas plantas também incrementa o conteúdo de N total no solo, o qual se constitui numa reserva de N e é a principal fonte deste nutriente para a planta quando não se dispõe de outras fontes.

As gramíneas, embora não adicionem N ao sistema via fixação biológica, possuem importante papel na reciclagem deste nutriente, impedindo que o mesmo seja perdido para outros ecossistemas. A aveia preta, por

exemplo, devido a sua alta produção de biomassa e absorção de N, pode identificar as situações onde ha maior disponibilidade deste nutriente no solo.

Diante disso, a identificação de sistemas de culturas que promovam o aumento da disponibilidade de N para as culturas não fixadoras é indispensável na busca de uma agricultura sustentável a longo prazo.

Este estudo baseia-se nas seguintes hipóteses:

- O uso de leguminosas em sistemas de culturas aumenta o fornecimento de N à cultura do milho, o que se reflete num alto rendimento e N acumulado por esta cultura;
- O efeito do uso de leguminosas sobre o N total do solo em sistemas de culturas se reflete em alta produção de matéria seca e N acumulado pela aveia preta cultivada em sucessão ao milho;
- A aveia preta, devido sua alta produção de matéria seca, pode reciclar grandes quantidades de N.

Este estudo teve como objetivos:

- Avaliar o efeito de sistemas de culturas sobre o N acumulado na fitomassa e rendimento de grãos da cultura do milho;
- Avaliar o efeito de sistemas de culturas sobre a produção de matéria seca e N acumulado pela aveia preta cultivada em sucessão ao milho;
- Avaliar o potencial da aveia preta em reciclar N.

5.2 Material e métodos

As determinações descritas a seguir foram realizadas em amostras de tecido coletadas durante o período de desenvolvimento da cultura do milho semeado em 2005 e da cultura da aveia preta semeada em abril de 2006, ambas realizadas em todas as parcelas do experimento. Porém este estudo foi realizado apenas nos tratamentos que receberam 0, 60 e 180 kg N ha⁻¹ de todos os sistemas de culturas na safra 2005/2006.

5.2.1 Avaliações realizadas na cultura do milho

5.2.1.1 Produção de matéria seca e quantidade de N acumulado pela parte aérea da planta de milho

A produção de matéria seca de plantas de milho foi avaliada através da amostragem da parte aérea de 4 plantas em cada parcela ocorrida na floração plena da cultura. As amostras coletadas foram secas a 60°C em estufa com circulação de ar por 96 horas, pesadas, moídas em triturador e guardadas em potes plásticos.

A determinação dos teores de N no tecido das plantas de milho foi realizada nas amostras secas e moídas através da digestão ácida e destilação de arraste de vapor em semimicro Kjeldhal, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

5.2.1.2 Rendimento de grãos de milho e N acumulado pelo grão

O rendimento de grãos de milho foi avaliado através da colheita das espigas de milho numa área de 5,4 m² em março de 2006. Os grãos foram pesados e sua umidade foi corrigida para 12,5%. Uma subamostra de grãos foi coletada para posterior moagem e análise de N.

A concentração de N no grão, para o cálculo do N acumulado pelo grão, foi realizada nas subamostras moídas através da digestão ácida e destilação de arraste de vapor em semimicro Kjeldhal, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

5.2.2 Avaliações realizadas na cultura da aveia preta

5.2.2.1 Produção de matéria seca e quantidade de N acumulado pela parte aérea da aveia preta

A produção de matéria seca foi avaliada através da amostragem da parte aérea de plantas de aveia preta no estágio de grão leitoso numa área de

0,50 x 1,00 m. As amostras foram secas em estufa com circulação de ar a 60°C por 96 horas, moídas em triturador e guardadas em potes plásticos.

O N acumulado pela biomassa da aveia preta foi obtido através da determinação da concentração deste nutriente realizada nas amostras secas e moídas através da digestão ácida e destilação de arraste de vapor em semimicro Kjeldhal, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

5.2.3 Análise Estatística

O efeito dos sistemas de culturas e da adubação nitrogenada na produção de matéria seca da parte aérea do milho, quantidade de N acumulado pela parte aérea do milho, rendimento de grãos de milho, N acumulado nos grãos de milho, produção de matéria seca pela parte aérea da aveia preta e N acumulado pela parte aérea da aveia preta tiveram sua significância avaliada pela análise de variância realizada através do programa Sisvar 4.3. A diferença entre médias de tratamentos foi obtida pelo teste de Tukey a 5%.

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Produção de matéria seca e quantidade de N acumulado pela parte aérea da planta de milho

O efeito dos sistemas de culturas e doses de N sobre a produção de matéria seca e N acumulado pela parte aérea do milho encontram-se nas Tabelas 5.1 e 5.2. Os sistemas de culturas e doses de N apresentaram diferença significativa quanto à produção de matéria seca pelo milho, sendo que foi observada interação entre as duas práticas. Quanto ao N acumulado pelo milho, houve diferença significativa entre os sistemas de culturas e doses de N, não havendo interação entre estas práticas.

A produção de matéria seca da parte aérea do milho variou de 3,54 a 9,57 Mg ha⁻¹, sendo que os sistemas A+V/M rev, LL+M, G+LL e G+M produziram a maior quantidade de matéria seca (Tabela 5.1). Quanto à

quantidade de N acumulado pela parte aérea, os sistemas com leguminosas determinaram os maiores acúmulos (Tabela 5.2).

TABELA 5.1 Produção de matéria seca da parte aérea do milho sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Adubação nitrogenada (kg N ha ⁻¹)		
	0 ¹	60	180
	-----kg ha ⁻¹ -----		
A+V/M ² rev	4,75 b ³ C ⁴	9,57 a A	8,59 a AB
A/M	4,46 a C	6,04 a BC	5,88 a BCD
A+V/M+C	5,01 a C	7,18 a ABC	6,35 a ABCD
LL+M	8,29 a AB	8,23 a AB	8,96 a AB
A+V/M	5,15 b C	7,67 a ABC	5,38 ab CD
G+LL	9,26 a A	8,45 a AB	8,33 a ABC
G+M	8,84 a A	9,32 a A	9,04 a A
P/M	5,48 a BC	7,11 a ABC	7,05 a ABCD
Pan	3,54 b C	4,90 b C	7,90 a ABC
Desc	3,78 a C	4,61 a C	4,28 a D

¹ 0, 60 e 180 = 0, 60 e 180 kg N-uréia, respectivamente, aplicados na cultura do milho na safra 2005/2006;

² A=aveia, Desc=descoberto, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, V=vica;

³ Letras minúsculas, na linha, comparam níveis de adubação nitrogenada dentro de cada sistema de culturas ($P < 0,05$, teste de Tukey);

⁴ Letras maiúsculas, na coluna, comparam sistemas de culturas ($P < 0,05$, teste de Tukey).

Tanto a maior produção de matéria seca como a maior quantidade de N acumulado pelo milho em sistemas de culturas com leguminosas estão relacionadas com o aumento da disponibilidade de N nestes sistemas, que é devido ao aporte de N ao sistema solo-planta que as leguminosas possibilitam através do processo de fixação biológica de N (Aita, 1997; Amado, 1997). No presente trabalho esse aumento da disponibilidade de N é devido ao efeito direto do cultivo de leguminosas ao milho cultivado em sucessão somado ao efeito residual do uso de mais de duas décadas dessas plantas.

TABELA 5.2 Nitrogênio acumulado pela parte aérea de milho sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Adubação nitrogenada (kg N ha ⁻¹)			Média
	0 ¹	60	180	
	-----kg ha ⁻¹ -----			
A+V/M ² rev	65,3 b ³	125,7 a	136,8 a	109,2 ABC ⁴
A/M	35,7 b	56,8 ab	95,4 a	62,6 D
A+V/M+C	46,3 b	86,7 a	115,1 a	81,7 CD
LL+M	119,8 ab	110,6 b	158,5 a	129,6 A
A+V/M	61,7 b	91,5 ab	109,6 a	87,6 BCD
G+LL	125,2 a	109,2 a	141,5 a	125,3 AB
G+M	106,7 b	127,1 ab	160,5 a	131,4 A
P/M	41,5 b	71,9 b	117,1 a	76,8 CD
Pan	31,5 b	46,8 b	118,4 a	65,5 D
Desc	34,7 b	55,9 ab	81 a	57,2 D
Média	66,5 c	88,2 b	123,4 a	92,7

¹ 0, 60 e 180 = 0, 60 e 180 kg N-uréia, respectivamente, aplicados na cultura do milho na safra 2005/2006;

² A=aveia, Desc=descoberto, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, V=vica;

³ Letras minúsculas, na linha, comparam níveis de adubação nitrogenada dentro de cada sistema de culturas ($P < 0,05$, teste de Tukey);

⁴ Letras maiúsculas, na coluna, comparam sistemas de culturas, na média das três doses de N ($P < 0,05$, teste de Tukey).

O efeito da utilização das leguminosas sobre o N disponibilizado pelo solo pode ser observado na Tabela 5.3. Nesta tabela verifica-se que nos sistemas com maiores estoques de N total, aqueles com leguminosas, houve maior quantidade de N disponibilizado pelo solo. Entretanto esta quantidade não foi medida, mas estimada pelo coeficiente de mineralização (k_1) desenvolvido por Amado e Mielniczuk, 2000. Nesta mesma tabela observa-se que os resíduos das plantas de cobertura disponibilizaram N ao milho na safra 2005/2006, sendo as maiores quantidades nos sistemas com leguminosas.

TABELA 5.3 Quantidade de N disponibilizada pelo solo e pelos resíduos das culturas de cobertura nos tratamentos com ausência de adubação nitrogenada (0 kg N ha^{-1}) na safra de milho 2005/2006.

Sistemas de culturas	N acumulado pelo milho	N disponibilizado pelo solo ¹	N disponibilizado pelo resíduo ²
	-----kg ha ⁻¹ -----		
A+V/M ³ rev	65,3	35,2	30,1
A/M	35,7	33,5	2,2
A+V/M+C	43,3	37,2	9,1
LL+M	119,8	43,9	75,9
A+V/M	61,7	35,8	25,9
G+LL	125,2	48,4	76,8
G+M	106,7	52,4	54,3
P/M	41,5	30,8	10,7
Pan ³	31,5	34,8	0
Desc	34,7	27,2	7,5

¹ Segundo Amado & Mielniczuk (2000), $N \text{ disponibilizado pelo solo} = N \text{ total} * 0,0011$;

² $N \text{ disponibilizado pelo resíduo} = N \text{ acumulado pelo milho} - N \text{ disponibilizado pelo solo}$;

³ A=aveia, Desc=descoberto, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, V=vica.

No RS, Amado et al. (2000), em Eldorado do Sul, e Da Ros & Aita (1996), em Santa Maria, encontraram maior quantidade de N acumulado pelo milho cultivado em sucessão a leguminosas. Varco et al. (1989) nos Estados Unidos observou o mesmo comportamento em milho cultivado em sucessão a ervilhaca em relação ao milho cultivado sobre resíduos de milho.

A importância do uso de leguminosas no aumento do suprimento de N ao milho pode ser observados nos estudos realizados por Bortolini et al. (2000) e Giacomini et al. (2004), que observaram o efeito de diferentes proporções de sementes de aveia e ervilhaca utilizadas em consórcio no N acumulado pelo milho em sucessão. Em ambos os estudos o aumento da proporção de sementes de ervilhaca determinou aumento na quantidade de N acumulado. No presente trabalho os sistemas A+V/M e A+V/M rev foram mais eficientes que os sistemas Desc, A/M, Pan e P/M no suprimento de N ao milho, sendo que estes últimos, na ausência de adubação nitrogenada,

proporcionaram, em média, uma quantidade de N acumulado pelo milho 28 kg ha^{-1} menor que os primeiros.

Pode ser observado que o sistema P/M foi superior aos sistemas A/M e Pan na produção de matéria seca e N acumulado pela parte aérea do milho, embora não tenha havido diferença estatística (Tabela 5.1 e 5.2). Estudos referentes ao fornecimento de N por plantas de cobertura ao milho indicam que tanto a matéria seca quanto a quantidade de N acumulado são menores em milho cultivado em sucessão a cereais do que ao pousio (Heinzmann, 1985; Da Ros & Aita, 1996 e Giacomini et al., 2004). Este fato é explicado pela alta relação C/N das gramíneas, pois para os microrganismos utilizarem o carbono da palha da aveia para a biossíntese e como fonte de energia, eles acabam imobilizando o N mineral do solo, diminuindo a disponibilidade para o milho (Aita et al., 2001), como observado na Tabela 5.3. Para diminuir esse efeito Sá (1989) recomenda aumentar a dose desse nutriente na semeadura de milho sobre resteva de aveia. Já Silva et al. (2006b) recomenda, além do aumento do nível de N mineral a ser aplicado na semeadura do milho, atrasar a época de semeadura após a dessecação da aveia.

Entretanto, neste trabalho o grande destaque no fornecimento de N ao milho foram os sistemas com leguminosas estivais LL+M e G+M. Nesta safra estas leguminosas não foram cultivadas nas entrelinhas do milho, entretanto, durante o inverno anterior à semeadura do milho, estas plantas ficaram se desenvolvendo, até que o lablabe senescesse pela ação das geadas e o guandu fosse manejado para posterior semeadura do milho. Dessa forma no momento da semeadura do milho ainda havia resíduo dessas plantas que liberaram N de seus resíduos durante o desenvolvimento da cultura do milho. Estes dois sistemas determinaram em média um aumento de $29,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na quantidade de N acumulado em relação aos outros sistemas com leguminosas e um aumento de 65 kg ha^{-1} em relação aos demais sistemas. Spagnollo et al. (2002), também no sul do Brasil, estudaram o efeito do cultivo intercalar de algumas leguminosas estivais em plantio convencional e preparo reduzido sobre o milho e encontraram em relação ao sistema com pousio invernal (testemunha) e na ausência de N mineral um aumento no N acumulado pelo milho de até 22 kg ha^{-1} no sistema com mucuna cinza para o

sistema plantio convencional. Já no sistema preparo reduzido a diferença foi de 17 kg ha⁻¹ para o milho cultivado com feijão de porco. Na Nigéria Pal & Shehu (2001) encontraram maior quantidade de N acumulado em milho cultivado com lablabe e soja nodulada em relação às demais leguminosas de verão em dois anos, 1994 e 1995, os quais forneceram em média 25 kg ha⁻¹ de N a mais que o tratamento testemunha.

A aplicação de 60 kg N ha⁻¹ pelo adubo mineral promoveu em média um acréscimo de 22 kg ha⁻¹ na quantidade de N acumulado pela parte aérea de milho, enquanto a aplicação de 180 kg N ha⁻¹ proporcionou um acréscimo de 35 kg ha⁻¹ em relação à dose de 60 kg ha⁻¹. A aplicação de 180 kg N ha⁻¹ proporcionou um acréscimo na quantidade de N acumulado pelo milho em todos os sistemas e culturas, porém mais pronunciado nos sistemas sem leguminosas (190%) do que naqueles com leguminosas (72%). Embora a adubação nitrogenada utilizada ao longo dos 22 anos de condução do experimento tenha um efeito residual, esse efeito foi muito pequeno como observado nos estoques de N (Estudo 1). Dessa forma nesta avaliação a variação na quantidade de N acumulado pelo milho deve-se principalmente às doses de adubo nitrogenado aplicados nesta safra, tendo a adubação nitrogenada residual dos anos anteriores pequeno efeito. Menor resposta pelo milho ao N aplicado através da adubação em sistemas de culturas com leguminosas também foi observado por Da Ros & Aita (1996) em relação ao milho cultivado em sucessão a aveia e ao pousio invernal.

Neste trabalho, o efeito da adubação nitrogenada foi avaliado apenas no florescimento da cultura do milho, porém outros estudos avaliaram esse efeito nos estágios iniciais dessa cultura. Bortolini et al. (2002) encontrou pequena variação no N acumulado pelo milho nos estágios iniciais, porém com a evolução do desenvolvimento da planta de milho, o acúmulo de N pela fitomassa aumentou com a dose de N. Já no estudo de Amado et al. (2000) a adubação nitrogenada influenciou o N acumulado pelo milho aos 30 dias após a emergência, sendo que aos 95 dae foi observado resposta as 3 doses de N (0, 90 e 180 kg ha⁻¹) aplicadas nos três sistemas de culturas, aveia/milho, ervilhaca/milho e aveia+ervilhaca/milho+caupi. Estima-se também que pode ocorrer absorção de N entre a floração e o início da maturação, o que pode

representar um acréscimo de 20 a 30 % sobre o N absorvido até a floração (França, 2002).

5.3.2 Rendimento de grãos e N acumulado pelo grão de milho

Os sistemas de culturas e doses de N afetaram significativamente o rendimento de grãos e a quantidade de N acumulada no grão de milho, sendo observada interação entre esses dois fatores em ambas avaliações. A maior produção de matéria seca e quantidade de N na fitomassa do milho, seja pelo cultivo de leguminosas ou pelo aumento da adubação nitrogenada, refletiram-se em maior rendimento de grãos, que neste estudo variou de 2,90 a 10,57 Mg ha⁻¹ (Tabela 5.4).

TABELA 5.4 Rendimento de grãos de milho (12,5% de umidade) sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Adubação nitrogenada (kg N ha ⁻¹)		
	0 ¹	60	180
	-----kg ha ⁻¹ -----		
A+V/M ² rev	5,02 c ³ B ⁴	7,98 b ABCD	10,57 a A
A/M	4,09 c B	6,58 b CD	9,00 a A
A+V/M+C	4,20 b B	7,63 a ABCD	8,15 a AB
LL+M	8,27 a A	10,09 a A	9,33 a A
A+V/M	4,72 b B	7,83 a ABCD	7,86 a AB
G+LL	9,13 a A	9,35 a ABC	9,63 a A
G+M	9,06 a A	9,46 a AB	8,69 a AB
P/M	3,63 c B	6,90 b BCD	9,80 a A
Pan	3,54 c B	6,20 b D	8,81 a AB
Desc	2,90 b B	6,71 a BCD	6,03 a B

¹ 0, 60 e 180 = 0, 60 e 180 kg N-uréia, respectivamente, aplicados na cultura do milho na safra 2005/2006;

² A=aveia, Desc=descoberto, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, V=vica;

³ Letras minúsculas, na linha, comparam níveis de adubação nitrogenada dentro de cada sistema de culturas ($P < 0,05$, teste de Tukey);

⁴ Letras maiúsculas, na coluna, comparam sistemas de culturas ($P < 0,05$, teste de Tukey).

Na ausência da adubação nitrogenada os maiores rendimentos foram encontrados nos sistemas com leguminosas (Tabela 5.4), sendo que os sistemas G+LL, G+M e LL+M produziram os maiores rendimentos nesta situação, 9,13, 9,06 e 8,27 Mg ha⁻¹. Maiores rendimentos de milho em sistemas com leguminosas na ausência ou com baixa adição de N mineral também foram obtidos por Frye et al. (1985), Medeiros et al. (1987), Varco et al. (1989), Rao & Mathuva (2000), Aita et al. (2001), Spagnollo et al. (2002) e Silva et al. (2006a).

Na ausência da adubação nitrogenada, o sistema A/M apresentou tendência de maior rendimento que o sistema P/M, embora não significativa. Em estudo realizado por Aita et. al (2001) o rendimento de grãos após aveia foi 32% inferior ao sistema com pousio invernal.

Na média dos 10 sistemas de culturas a aplicação de 180 kg N ha⁻¹ incrementou o rendimento em 61%. Entretanto, esse aumento foi mais acentuado nos sistemas com ausência de leguminosas (137%), seguido dos sistemas com leguminosas de inverno, incluindo o sistema A+V/M+C, (90%), sendo que os sistemas com leguminosas de verão não houve ou o incremento no rendimento de grãos foi muito pequeno. A ausência de resposta do milho ao aumento da adubação nitrogenada nestes sistemas demonstra que nos quais há uma alta disponibilidade deste nutriente. Este comportamento concorda com o observado por Teixeira et al. (1994) que encontraram para os sistemas guandu+milho, lablabe+milho e siratro que a aplicação de 120 kg N ha⁻¹ acrescentou muito pouco o rendimento de grãos, ao contrário dos sistemas constituídos apenas por gramíneas, como o sistema aveia/milho, onde a aplicação do adubo nitrogenado aumentou em 270% o rendimento. Estes autores também observaram que quando foi aplicado 120 kg N ha⁻¹ não houve diferença no rendimento de grãos entre os sistemas de culturas, porém no presente trabalho a aplicação de 180 kg N ha⁻¹, não nivelou os sistemas de culturas, embora tenha diminuído as diferenças entre os sistemas.

O maior rendimento de grãos foi obtido no tratamento A+V/M rev com 180 kg N ha⁻¹. O solo desse sistema em 1994 sofreu correção de acidez e fósforo e revolvimento até os 70 cm de profundidade, o que tornou o ambiente radicular mais favorável ao desenvolvimento da planta de milho. Essa característica somada a alta disponibilidade de N pela aplicação de 180 kg N

ha⁻¹ possibilitou a planta de milho expressar melhor seu potencial produtivo (Fernandes, 1998). Porém no tratamento A+V/M rev na ausência de adubação nitrogenada e com 60 kg N ha⁻¹, devido a menor disponibilidade de N, este tratamento produziu um rendimento de grãos menor que os tratamentos G+LL, G+M e LL+M.

Os menores rendimentos obtidos no Desc em todos os níveis de adubação nitrogenada indicam que a degradação do solo nestas parcelas está interferindo na produtividade do milho. Este efeito está representado na Figura 5.1, contrastando com os sistemas A+V/M rev e G+LL, onde o solo foi recuperado.

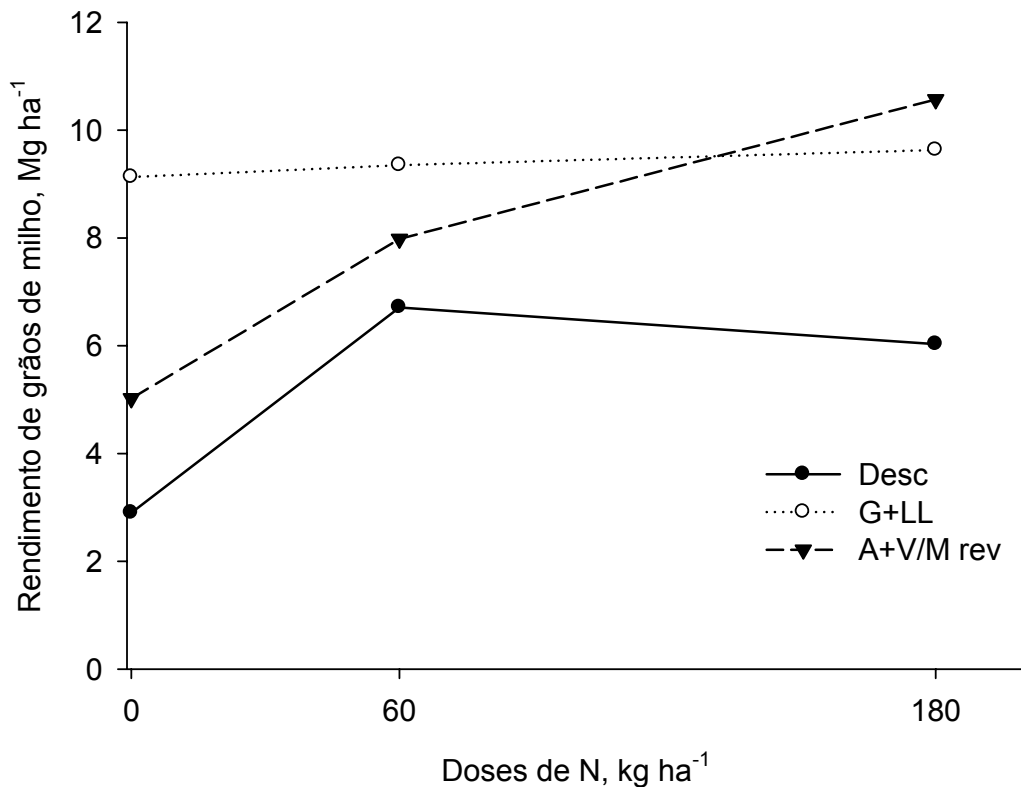


FIGURA 5.1 Rendimento de grãos de milho em três doses de N nos sistemas Desc, G+LL e A+V/M rev. A=aveia, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, V=vica.

A quantidade de N acumulada pelos grãos de milho variou de 30,3 a 167,8 kg ha⁻¹ (Tabela 5.5). Os sistemas com maior disponibilidade de N, aqueles com presença de leguminosas ou maior dose de N, foram também os que apresentaram a maior quantidade de N acumulado pelos grãos. À semelhança das demais variáveis analisadas a aplicação de adubo nitrogenado

aumentou a quantidade de N nos grãos. Na média esse aumento foi de 100%, com maior incremento nos sistemas com menor disponibilidade de N. Heinzmann (1985) encontrou maior concentração de N no grão de milho quando este foi cultivado após leguminosas e nabo forrageiro em relação àquele cultivado sobre resíduos de cereais de inverno, aveia e trigo.

TABELA 5.5 Nitrogênio acumulado pelos grãos de milho sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Adubação nitrogenada (kg N ha ⁻¹)		
	0 ¹	60	180
	-----kg ha ⁻¹ -----		
A+V/M ² rev	53,8 c ³ B ⁴	101,7 b BC	167,8 a A
A/M	43,6 b B	65,8 b C	131,7 a AB
A+V/M+C	45,8 b B	101,5 a BC	119,3 a BC
LL+M	110,9 b A	150,4 a A	150,7 a AB
A+V/M	49,3 b B	103,1 a BC	121,4 a BC
G+LL	127,8 a A	136,2 a AB	149,0 a AB
G+M	127,5 a A	145,3 a A	136,1 a AB
P/M	38,0 c B	76,0 b C	142,1 a AB
Pan	36,3 b B	65,9 b C	122,1 a BC
Desc	30,3 b B	77,0 a C	86,8 a C

¹ 0, 60 e 180 = 0, 60 e 180 kg N-uréia, respectivamente, aplicados na cultura do milho na safra 2005/2006;

² A=aveia, Desc=descoberto, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, V=vica;

³ Letras minúsculas, na linha, comparam níveis de adubação nitrogenada dentro de cada sistema de culturas ($P < 0,05$, teste de Tukey);

⁴ Letras maiúsculas, na coluna, comparam sistemas de culturas ($P < 0,05$, teste de Tukey).

5.3.3 Produção de matéria seca e quantidade de N acumulado pela parte aérea da aveia preta

A produção de matéria seca da parte aérea da aveia preta cultivada no inverno após o milho foi influenciada significativamente pelos sistemas de culturas e doses de N, porém não foi observada interação entre as duas práticas. A produção de matéria seca chegou a ultrapassar 9 Mg ha⁻¹ nos tratamentos G+M e LL+M com histórico de 22 anos de uso de adubação

nitrogenada no milho, porém nos sistemas A/M e Desc (0 N) a produção de matéria seca não chegou a 2 Mg ha⁻¹ (Tabela 5.6).

TABELA 5.6 Matéria seca da parte aérea da aveia preta nos 10 sistemas de culturas com diferentes doses residuais de N. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Adubação nitrogenada (kg N ha ⁻¹)			
	0 ¹	60	180	Média
	-----kg ha ⁻¹ -----			
A+V/M ² rev	2,99 b ³	4,23 b	6,58 a	4,60 C ⁴
A/M	1,94 b	2,06 b	4,97 a	3,00 D
A+V/M+C	3,83 a	4,51 a	4,91 a	4,42 CD
LL+M	8,05 ab	6,88 b	9,37 a	8,10 A
A+V/M	2,88 b	3,90 b	6,26 a	4,34 CD
G+LL	6,18 a	6,18 a	6,73 a	6,37 B
G+M	7,36 b	6,97 b	9,78 a	8,04 A
P/M	2,75 a	3,16 a	4,90 a	3,60 CD
Pan	3,42 b	2,89 b	5,74 a	4,02 CD
Desc	1,84 b	2,52 b	4,89 a	3,08 D
Média	4,12 b	4,33 b	6,41 a	4,95

¹ 0, 60 e 180 = 0, 60 e 180 kg N-uréia, respectivamente, aplicados na cultura do milho na safra 2005/2006;

² A=aveia, Desc=descoberto, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, V=vica;

³ Letras minúsculas, na linha, comparam níveis de adubação nitrogenada dentro de cada sistema de culturas ($P < 0,05$, teste de Tukey);

⁴ Letras maiúsculas, na coluna, comparam sistemas de culturas, na média das três doses de N ($P < 0,05$, teste de Tukey).

A quantidade de N acumulado pela parte aérea da aveia preta apresentou diferença estatística entre os diferentes sistemas de culturas e doses de N, não apresentando interação entre esses dois fatores. O N acumulado na parte aérea da aveia variou de 17,5 a 147,3 kg ha⁻¹, uma variação de mais de 700%. Nas Tabelas 5.6 e 5.7, observa-se que tanto para a produção de matéria seca quanto para a quantidade de N acumulado pela aveia há a formação de três grupos distintos de sistemas de culturas. O primeiro grupo, constituído apenas por gramíneas, apresentou a menor produção de matéria seca e a menor quantidade de N acumulado pela aveia (3,43 Mg ha⁻¹ e 36,9 kg ha⁻¹, respectivamente). O segundo grupo composto

pelos sistemas A+V/M, A+V/M rev e A+V/M+C apresentou valores intermediários, 4,45 Mg ha⁻¹ de matéria seca e 48,2 kg ha⁻¹ de N acumulado pela aveia. O grande destaque foi o terceiro grupo formado pelos sistemas G+LL, G+M e LL+M que produziram, em média, 7,50 Mg ha⁻¹ de matéria seca e acumularam 99,3 kg ha⁻¹ de N na parte aérea da aveia.

TABELA 5.7 N acumulado pela parte aérea da aveia preta nos 10 sistemas de culturas. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Adubação nitrogenada (kg N ha ⁻¹)			
	0 ¹	60	180	Média
	-----kg ha ⁻¹ -----			
A+V/M ² rev	30,0 b ³	45,4 ab	71,2 a	48,9 C ⁴
A/M	22,1 b	21,5 b	57,0 a	33,6 C
A+V/M+C	38,7 a	46,1 a	62,6 a	49,1 C
LL+M	86,5 b	75,7 b	147,3 a	103,2 AB
A+V/M	29,8 b	37,5 b	72,6 a	46,6 C
G+LL	81,4 a	78,9 a	84,5 a	81,6 B
G+M	100,9 b	91,6 b	146,8 a	113,1 A
P/M	24,2 a	26,4 a	49,9 a	33,5 C
Pan	35,7 b	34,9 b	71,7 a	47,4 C
Desc	17,5 b	24,3 b	56,8 a	32,9 C
Média	46,7 b	48,2 b	82,0 a	59,0

¹ 0, 60 e 180 = 0, 60 e 180 kg N-uréia, respectivamente, aplicados na cultura do milho na safra 2005/2006;

² A=aveia, Desc=descoberto, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, V=vica;

³ Letras minúsculas, na linha, comparam níveis de adubação nitrogenada dentro de cada sistema de culturas ($P < 0,05$, teste de Tukey);

⁴ Letras maiúsculas, na coluna, comparam sistemas de culturas, na média das três doses de N ($P < 0,05$, teste de Tukey).

O aumento da produção de matéria seca e quantidade de N acumulado pela aveia do primeiro para o terceiro grupo de sistemas de culturas é devido ao efeito residual do cultivo de leguminosas no segundo e terceiro grupo. Amado (1997) constatou que o histórico de 9 anos de uso de leguminosas se refletiu positivamente na absorção de N pelo milho cultivado em parcelas descobertas, ou seja, na ausência de resíduos vegetais. Este autor encontrou que o sistema aveia+vica/milho+caupi proporcionou um

aumento de $10,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de N absorvido pelo milho quando comparado ao aveia/milho. Pal & Shehu (2001) também encontraram efeito positivo do cultivo de 4 anos de lablabe sobre o rendimento e N absorvido pelo milho em relação ao cultivo também de 4 anos de sorgo.

Na Tabela 5.6 verifica-se que não há diferença entre a quantidade de N acumulado pela aveia entre as doses 0 e 60 kg N ha^{-1} aplicada na cultura do milho, que antecedeu a aveia. Isto se deve ao cultivo da aveia nestas duas doses ser realizado nas parcelas com ausência de adubação nitrogenada mineral ao longo dos 22 anos do experimento, ou seja, em ambas as situações os estoques de N total são semelhantes entre as duas doses de N (0 e 60). E também ao fato de que não houve efeito residual da dose 60 kg N ha^{-1} aplicada na cultura do milho na safra 2005/2006, pois como observado na Tabela 5.5 a quantidade acumulada de N no grão de milho, que foi exportada pela colheita, em todos os sistemas de culturas ultrapassou os 60 kg N ha^{-1} , nesta dose. Diante disso, a maior quantidade de N acumulado pela aveia nos sistemas com leguminosas nas doses 0 e 60 kg N ha^{-1} é devido apenas ao efeito residual dessas plantas. Este fato é evidenciado na Figura 5.2, onde verifica-se que com o aumento do estoque de N total (Figura 4.2 e Apêndice 6), pelo uso de leguminosas, há um aumento na quantidade de N acumulado pela aveia.

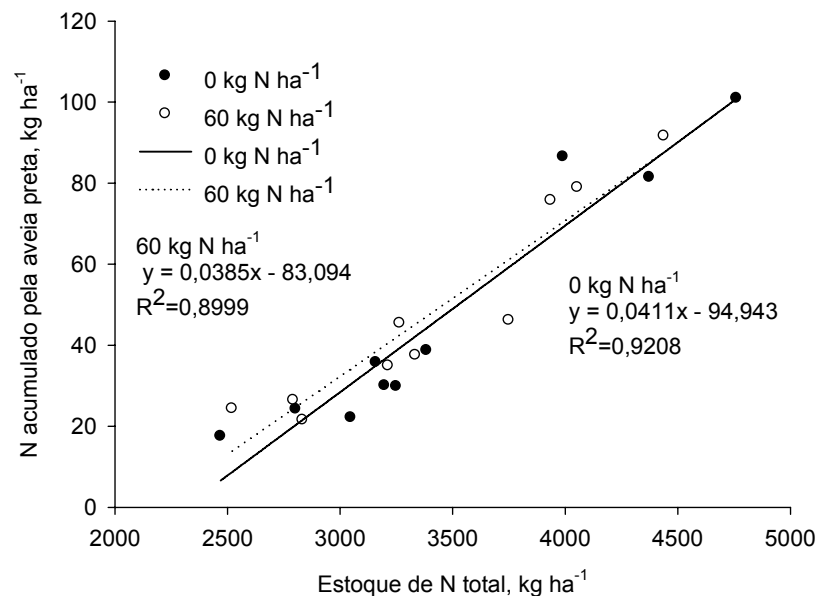


FIGURA 5.2 Relação entre a quantidade de N acumulado pela parte aérea da aveia preta cultivada em 2006 e o estoque de N total da camada de 0 – 20 cm (camada equivalente) nas doses 0 e 60 kg N ha^{-1} aplicadas na cultura do milho em 2005.

A maior quantidade de N acumulado pela aveia na dose 180 kg N ha⁻¹ em relação à dose 0 e 60 kg N ha⁻¹ (aplicadas na cultura do milho) nos sistemas A/M, Desc, P/M, Pan, A+V/M e A+V/M rev é devido principalmente ao efeito residual dos 180 kg N ha⁻¹ aplicados na cultura do milho que antecedeu a aveia, já que não foi totalmente exportado, e pouco ao efeito residual da aplicação de adubo nitrogenado por 22 anos nestes tratamentos, pois como visto no Estudo 1, a aplicação de adubo nitrogenado em relação a sua ausência nestes tratamentos teve um incremento pequeno no conteúdo de N total. O efeito residual da adubação mineral nitrogenada foi observado por Wiatrak et al (2006) na cultura do trigo semeado em sucessão ao algodão que recebeu 4 doses de N e por Corbeels et al. (1998) que encontrou uma recuperação do N aplicado no trigo pelo girassol cultivado em sucessão.

Nos sistemas A+V/M+C e G+LL não houve diferença entre as doses de N na quantidade de N que a aveia acumulou, o que pode ser explicado por não haver diferença nos estoques de N total entre as duas doses de N e ambos os sistemas houve grande quantidade de N exportado pelos grãos de milho, tendo, então, a adubação nitrogenada no milho pequeno efeito residual na aveia.

Já nos sistemas LL+M e G+M houve um grande incremento no conteúdo de N acumulado pela aveia na dose 180 kg N ha⁻¹, que é devido ao efeito residual da adubação nitrogenada aplicada no milho somado ao efeito do maior estoque de N total na dose de 180 kg N ha⁻¹ nestes sistemas em relação à dose 0 kg N ha⁻¹.

As grandes quantidades de N acumulado pela aveia preta mostram o potencial desta cultura em reciclar N, mantendo este nutriente no tecido vegetal, contribuindo para a diminuição das perdas por lixiviação e para controle da erosão (Aita et.al, 2001). Caso fosse utilizado pousio invernal, ao invés da aveia preta, poderiam ser perdidos para o sistema aquático até 147,3 kg N ha⁻¹, que acabaria poluindo este ambiente e aumentando a necessidade de mais adubo nitrogenado para a cultura em sucessão.

5.3.4 Quantidade aparente de N fornecido pelo sistema solo-coberturas

A quantidade de N fornecido pelo sistema solo-coberturas ao sistema milho-aveia preta foi calculada somando a quantidade de N acumulado pela matéria seca do milho em plena floração (Tabela 5.2) acrescido de 20% de absorção entre a floração e a maturação de grãos e este valor acrescido de 10% de N contido no sistema radicular à quantidade de N acumulado pela parte aérea da aveia preta (Tabela 5.7) acrescida de 10% do N contido no sistema radicular.

A quantidade de N fornecido ao sistema milho-aveia preta foi maior nos sistemas com leguminosas, reflexo da quantidade de N absorvido pela parte aérea do milho e da aveia preta nestes sistemas. Os sistemas G+M, LL+M e G+LL forneceram, em média, 140,9 kg N ha⁻¹ a mais que os sistemas A+V/M, A+V/M rev e A+V/M+C, e estes últimos forneceram 37,7 kg N ha⁻¹ a mais que os sistemas constituídos apenas por gramíneas.

TABELA 5.8 Quantidade aparente de N fornecida pelo sistema solo-coberturas ao sistema milho-aveia. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Culturas		
	Milho	Aveia	Milho + Aveia
	-----kg ha ⁻¹ -----		
A+V/M ¹ rev	86,2	33,0	119,2
A/M	47,1	24,3	71,4
A+V/M+C	61,1	42,6	103,7
LL+M	158,1	95,2	253,3
A+V/M	81,4	32,8	114,2
G+LL	165,3	89,5	254,8
G+M	140,8	111,0	251,8
P/M	54,8	26,6	81,4
Pan	41,6	39,3	80,9
Desc	45,8	19,3	65,1

¹ A=aveia, Desc=descoberto, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, V=vica.

Todas as avaliações realizadas evidenciam a importância do uso de leguminosas em rotações de culturas no aumento do suprimento de N às culturas não fixadoras de N. Os resultados aqui demonstrados reforçam que o uso de leguminosas pode ser uma alternativa econômica atrativa e uma escolha ecológica para a redução do uso de insumos externos (Bohllol et al., 1992).

5.4 Conclusões

A utilização de leguminosas em sistemas de culturas promoveu aumento na quantidade de N acumulado pela parte aérea e no rendimento de grãos de milho. A adubação nitrogenada mineral também apresentou este efeito, porém menos intenso nos sistemas com leguminosas.

Os maiores estoques de N total no solo se refletiram em maior produção de matéria seca e N acumulado pela parte aérea da aveia preta cultivada em sucessão ao milho.

A aveia preta foi capaz de reciclar quantidades de N que variaram de 17,5 a 147,3 kg ha⁻¹.

6. ESTUDO III

BALANÇO DE NITROGÊNIO EM SISTEMAS DE CULTURAS

6.1 Introdução

Em alguns aspectos, o ciclo do N é bem conhecido, no entanto, ainda existe falta de informação sobre a dinâmica deste elemento no ambiente solo. Parte dessa falta de conhecimento se deve à complexidade de seus processos e de sua dinâmica.

Para entender os processos de mineralização, imobilização, lixiviação, desnitrificação e absorção pelas plantas, o balanço de N é uma ferramenta valiosa. Este balanço também é importante, pois serve de base para modelos matemáticos que descrevam o comportamento do N em sistemas agrícolas. Entretanto, sua principal aplicação é no aprimoramento da recomendação de adubação nitrogenada (Amado, 1997).

Quando se trata do enriquecimento do sistema com N, o balanço deste nutriente ajuda a caracterizar culturas e manejos de solo que facilitem esse processo. Nesse sentido, experimentos de longa duração também são ferramentas valiosas no estudo da dinâmica de N, pois permitem avaliar o efeito de diversas práticas de manejo e utilização de culturas no acúmulo de N no solo ao longo do tempo.

O balanço de N se baseia na diferença entre as entradas e as saídas de N do sistema. Essa diferença pode se caracterizar em acúmulo de N no solo, balanço positivo, ou em decréscimo de N no solo, balanço negativo. As entradas de N em agroecossistemas podem ser por fixação biológica,

adubação orgânica ou mineral e deposições atmosféricas, com pouco destaque em curto prazo. Já as saídas de N são através da colheita de grãos e partes de plantas e por diversos mecanismos de perdas, como lixiviação, erosão, desnitrificação e volatilização, os quais determinam, em parte, a baixa eficiência da adubação mineral.

Dentre os mecanismos de entrada de N em agroecossistemas, a utilização de leguminosas, que promovem a entrada de N via fixação biológica, e a adubação são muito importantes quando se deseja manter ou aumentar as reservas deste nutriente no solo. Entretanto, nem sempre o uso de leguminosas na agricultura consegue apresentar um balanço positivo de N, o que acontece quando a entrada de N via fixação biológica é menor que a exportação pelos grãos (Peoples et al., 1995).

Diante disso, a utilização de sistemas de culturas com leguminosas que aportem elevada quantidade de N ao sistema são indispensáveis na manutenção da produtividade dos solos.

As hipóteses deste estudo são:

- Em experimentos de longa duração, quando se conhece partes das entradas e partes das saídas de N, é possível estimar o N fixado pelas leguminosas e o N perdido do adubo mineral;
- Sistemas de culturas com presença de leguminosas e/ou adubação nitrogenada mineral em sistemas constituídos apenas por gramíneas apresentam balanço positivo no acúmulo de N total no solo.

Os objetivos deste estudo foram:

- Estimar a quantidade de N fixado pelas leguminosas em 21 anos de experimento;
- Estimar a quantidade de N perdido da adubação mineral nitrogenada aplicada na cultura de milho em 21 anos de experimento.

6.2 Material e métodos

Este estudo foi realizado no tratamento descompactado nos sistemas de culturas P/M 0 e 180 N, A/M 0 e 180 N, A+V/M 0 N, A+V/M rev 0 N, A+V/M+C 0 N, LL+M 0 N e G+M 0 N.

6.2.1 Avaliações realizadas

6.2.1.1 Quantidade de N exportado pela colheita de milho das safras de 1984/1985 a 2004/2005

A quantidade de N exportada pela colheita de grãos de milho das safras de 1984/1985 a 2004/2005 (Apêndices 16 e 17) foi estimada através de uma média entre dois valores obtidos por duas metodologias.

O primeiro valor foi obtido pela equação desenvolvida por Lovato (2001) com base na safra 1998/1999 no experimento envolvendo sistemas de culturas e preparos:

$$Y = -10,08 + 13,76X \quad (6.1)$$

onde:

Y = N absorvido pelos grãos de milho até a maturação fisiológica, kg ha⁻¹

X = Produtividade de grãos de milho, Mg ha⁻¹

O segundo valor foi obtido com base na concentração de N no grão do milho no momento da colheita da safra 2005/2006 (Apêndice 17).

Neste estudo não foi considerado o primeiro ano do experimento (1983/1984), devido à ausência de dados de rendimento de grãos de milho, sendo, então, considerados 21 anos para os cálculos.

6.2.1.2 Variação no conteúdo de N total em 21 anos

A variação no conteúdo do N total em 21 anos, na camada de 0 – 20 cm, foi calculada através da seguinte equação:

$$\Delta NT_{\text{solo}} = NT_{2005} - NT_{1983} \quad (6.2)$$

onde:

ΔNT_{solo} = Variação do N total em 21 anos (kg ha^{-1})

NT_{2005} = Estoque de N total na camada de 0 – 20 cm em 2005 (kg ha^{-1})

NT_{1983} = Estoque de N total na camada de 0 – 20 cm em 1983 (kg ha^{-1})

Para este cálculo foi utilizado o valor de 3038 kg ha^{-1} como sendo o estoque inicial de N na camada de 0 – 20 cm, enquanto para os estoques de N no ano de 2005 foram utilizados os valores calculados através do método da camada equivalente (Apêndice 6), pois neste estudo visou-se a camada de 0 – 20 cm de profundidade para o cálculo do balanço.

6.2.2 Cálculos realizados

6.2.2.1 Estimativa do N exportado pela cultura do milho que foi absorvido da camada abaixo de 20 cm de profundidade em 21 anos

Este valor foi obtido nos tratamentos A/M 0N e P/M 0N através do seguinte cálculo:

$$N_{+20\text{cm}} = N_{\text{grão}} - \Delta NT_{\text{solo}} \quad (6.3)$$

onde:

$N_{+20\text{cm}}$ = N absorvido abaixo dos 20 cm de profundidade em 21 anos pelo milho (kg ha^{-1})

$N_{\text{grão}}$ = N exportado pela colheita de milho em 21 anos (kg ha^{-1})

ΔNT_{solo} = Variação do N total em 21 anos (kg ha^{-1})

Para os cálculos seguintes foi utilizada uma média do $N_{+20\text{cm}}$ obtido nestes dois tratamentos.

6.2.2.2 Estimativa do N fixado pelas leguminosas em 21 anos

O N fixado pelas leguminosas foi estimado nos tratamentos A+V/M 0 N, A+V/M rev 0 N, A+V/M+C 0 N, LL+M 0 N e G+M 0 N, através do seguinte cálculo:

$$N \text{ fixado} = \Delta NT \text{ solo} + (N \text{ grão} - N_{+20 \text{ cm}}) \quad (6.4)$$

onde:

N fixado = N fixado pela leguminosa em 21 anos (kg ha^{-1})

ΔNT_{solo} = Variação do N total em 21 anos (kg ha^{-1})

N grão = N exportado pela colheita de milho em 21 anos (kg ha^{-1})

$N_{+20 \text{ cm}}$ = N absorvido abaixo dos 20 cm de profundidade em 21 anos pelo milho, média dos tratamentos A/M 0N e P/M 0N (kg ha^{-1})

6.2.2.3 Estimativa do N perdido do adubo mineral aplicado na cultura do milho em 21 anos

O N perdido do adubo mineral foi estimado nos tratamentos P/M 180 N e A/M 180 N através do seguinte cálculo:

$$N \text{ perdido} = N \text{ adubo} - \Delta NT \text{ solo} - (N \text{ grão} - N_{+20 \text{ cm}}) \quad (6.5)$$

onde:

N perdido = N perdido do adubo mineral em 21 anos (kg ha^{-1})

N adubo = N aplicado pelo adubo mineral em 21 anos (kg ha^{-1})

ΔNT_{solo} = Variação do N total em 21 anos (kg ha^{-1})

N grão = N exportado pela colheita de milho em 21 anos (kg ha^{-1})

$N_{+20 \text{ cm}}$ = N absorvido abaixo dos 20 cm de profundidade em 21 anos pelo milho, média dos tratamentos A/M 0N e P/M 0N (kg ha^{-1})

A quantidade de N que foi aplicada na cultura do milho em 21 anos foi de 3180 kg ha^{-1} .

6.3 Resultados e discussão

6.3.1 N fixado pelas leguminosas em 21 anos

A variação no estoque de N total na camada de 0 – 20 cm ocasionada pelos sistemas de culturas e a quantidade de N exportada pelos grãos de milho em 21 anos encontram-se na Tabela 6.1.

A quantidade de N exportada pelo milho absorvida abaixo dos 20 cm de profundidade calculada nos sistemas P/M 0 N e A/M 0 N foi de 157 e 289 kg ha⁻¹, respectivamente, com uma média de 223 kg ha⁻¹, o que corresponde a uma quantidade equivalente a 10,6 kg N ha⁻¹ ano⁻¹. Este valor de 223 kg ha⁻¹ foi utilizado para se estimar o N fixado pelos sistemas A+V/M rev, A+V/M e A+V/M+C. Entretanto, nos sistemas G+M e LL+M, foram utilizados os valores 170 e 201 kg ha⁻¹ (Tabela 6.1), pois nestes tratamentos ocorreram, respectivamente, 16 e 19 safras e não 21 como nos demais.

TABELA 6.1 Variação no estoque de N total, quantidade de N exportada pelos grãos de milho e quantidade de N exportada que foi absorvida abaixo dos 20 cm de profundidade pelo milho em 21 anos nos cinco sistemas de culturas.

Sistemas de culturas	Variação no estoque de NT	N exportado pelo milho	N exportado absorvido abaixo dos 20 cm
	-----kg ha ⁻¹ -----		
A+V/M rev ¹	227	813	223
A+V/M	297	794	223
A+V/M+C	712	941	223
LL+M	898	934	201
G+M	1401	861	170

¹A=aveia, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, ver=revolvido e V=vica.

A partir dos valores encontrados na Tabela 6.1, foi estimada a quantidade de N fixados por leguminosas nos diferentes sistemas de culturas, que variou de 817 a 2092 kg ha⁻¹ (Figura 6.1). Estas grandes quantidades demonstram o importante papel das leguminosas no aporte de N em sistemas

agrícolas. Os menores valores foram estimados nos sistemas com leguminosas de inverno, enquanto os maiores nos sistemas com leguminosas de verão. Segundo Aita (1997) as leguminosas de verão na produção de matéria seca e quantidade de N acumulado são superiores às leguminosas de inverno, devido a sua rusticidade que permite produzir expressivas quantidades de biomassa mesmo em condições de acidez e baixa fertilidade natural.

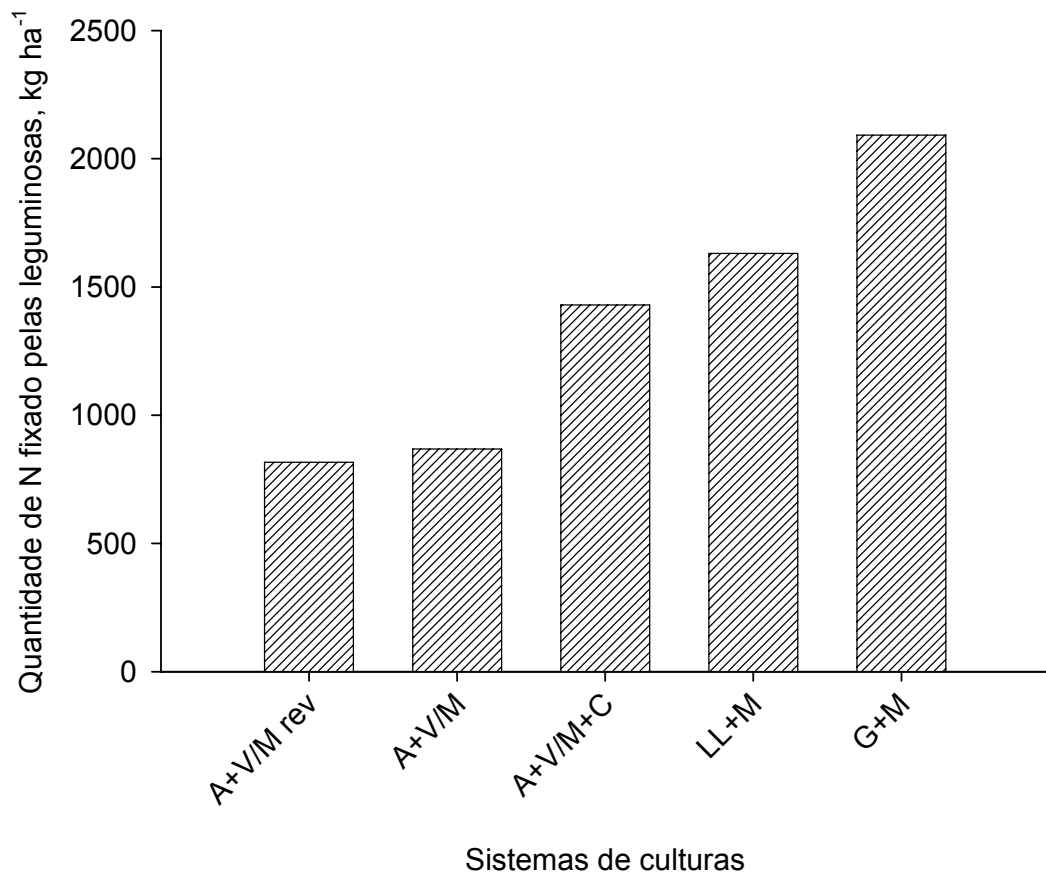


FIGURA 6.1 Quantidade líquida estimada de N fixada em 21 anos por leguminosas em diferentes sistemas de culturas na ausência de adubação nitrogenada. A=aveia, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, V=vica.

Calculando-se uma média anual das quantidades de N fixado pelas leguminosas, verifica-se que estes valores variaram de 39 a 100 kg ha⁻¹ (Tabela 6.2). Em média, nos tratamentos A+V/M e A+V/M rev foram fixados anualmente 40 kg N ha⁻¹. Esta quantidade pode ser considerada pequena já que segundo a literatura a ervilhaca comum pode fixar até 90 kg N ha⁻¹ (Calegari et al., 1993; Peoples et al., 1995) e no sul do Brasil Weber et al.

(2005), em condições semelhantes de solo e clima, obtiveram valores de fixação biológica de N que variaram de 71 a 143 kg N ha⁻¹ para esta leguminosa. Já Lovato (2001) estimou em experimento adjacente ao deste trabalho que a ervilhaca solteira fixaria 77 kg N ha⁻¹.

TABELA 6.2 Quantidade estimada de N fixado anualmente por leguminosas em 5 sistemas de culturas e na ausência de adubação nitrogenada.

Sistemas de culturas	Quantidade de N fixado kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
A+V/M rev ¹	39
A+V/M	41
A+V/M+C	68
LL+M	78
G+M	100

¹A=aveia, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, V=vica.

Para as leguminosas de verão caupi e lablabe as quantidades estimadas também são menores em relação às encontradas na literatura, 73 a 240 kg N ha⁻¹ para o caupi (Calegari et al., 1993) e 123 a 240 kg N ha⁻¹ para o lablabe na Austrália (Rochester et al., 2001). Para o guandu a quantidade de 100 kg N ha⁻¹ está de acordo com Siqueira & Moreira (2006).

Segundo Ledgard & Steele (1992), Calegari et al. (1993) e Siqueira e Moreira (2006) a quantidade de N fixado pelas leguminosas depende das espécies, das condições climáticas e de solo. A temperatura e a umidade são os fatores climáticos mais importantes, enquanto o pH, presença de elementos tóxicos, como Al e Mn, teor de nutrientes, quantidade de N mineral e salinidade são os fatores edáficos que mais afetam a fixação biológica de N. As práticas de manejo e a população nativa de bactérias fixadoras de N também são fatores determinantes. Dessa forma, as diferenças entre as quantidades estimadas de N fixado entre este estudo e os dados da literatura são plenamente compreensíveis, pois foram obtidos em condições ambientais diferentes.

Os métodos para se medir a fixação biológica de nitrogênio a campo são a análise da redução do acetileno, a diferença do conteúdo de N entre a

leguminosa e uma não fixadora, o do conteúdo total de N da leguminosa, a técnica com diluição do isótopo de ^{15}N e a técnica da abundância natural de ^{15}N (Ledgard & Steele, 1992). Todos estes métodos apresentam vantagens e desvantagens. As duas primeiras subestimam a quantidade de N fixado, enquanto a terceira superestima. Já as duas últimas também podem apresentar erros. À semelhança destas técnicas, a metodologia apresentada neste trabalho para se calcular a quantidade de N fixado que entrou no sistema solo-planta nestes 21 anos também apresenta erros. Ela subestima a quantidade de N fixado, pois ela não considerou a quantidade de N perdida deste sistema através dos diversos mecanismos de perdas do N, como a lixiviação e a denitrificação, além de não ter considerado o N fixado que foi acumulado abaixo dos 20 cm de profundidade.

Em estudo realizado neste mesmo experimento, Diekow et al. (2005) investigou o acúmulo de N total pelos diferentes sistemas de culturas até a profundidade de 107,5 cm. Em relação ao sistema Desc, os sistemas A+V/M 0 N e LL+M 0 N acumularam 150 e 250 kg N há^{-1} , respectivamente, abaixo dos 17,5 cm de profundidade, valores considerados pequenos. Porém o sistema G+M 0 N acumulou 1380 kg N ha^{-1} em subsuperfície, o que correspondeu a mais de 50% do total acumulado.

6.3.2 N perdido do adubo mineral aplicado na cultura do milho em 21 anos

Os valores utilizados para a estimativa da quantidade de N que foi perdido do fertilizante mineral encontram-se na Tabela 6.3. Nesta tabela verifica-se que os sistemas P/M e A/M tiveram comportamento semelhante no acúmulo de N total no solo, bem como na quantidade de N exportada pelos grãos de milho.

Dos 3180 kg N ha^{-1} aplicados na cultura do milho em 21 anos estimou-se que 1557 e 1492 kg ha^{-1} foram perdidos nos sistemas P/M 180 N e A/M 180 N, respectivamente (Tabela 6.4). Esses valores revelam que o sistema solo-planta recuperou ao redor de 52% do N aplicado via fertilizante mineral. A planta de milho através dos grãos recuperou 49,5%, enquanto o solo recuperou apenas 2,5% do N do fertilizante mineral.

TABELA 6.3 Quantidade de N aplicada via fertilizante mineral na cultura do milho, variação no estoque de N total, quantidade de N exportada pelos grãos de milho e quantidade de N exportada que foi absorvida abaixo dos 20 cm de profundidade pelo milho em 21 anos em dois sistemas de culturas.

Sistemas de culturas	N aplicado via fertilizante mineral	Variação no estoque de NT	N exportado pelo milho	N exportado absorvido abaixo dos 20 cm
-----kg ha ⁻¹ -----				
P/M ¹ 180 N	3180	87	1759	223
A/M 180 N	3180	73	1838	223

¹ A=aveia, M=milho e P=pousio.

Os valores encontrados aqui concordam com os valores mundiais de recuperação pela planta do N aplicado que giram ao redor de 50-60% (Cantarella, 2007). Entretanto, em estudo conduzido por Alves et al. (2005) no MS em um cultivo de milho o sistema solo-planta recuperou 70,5% dos 70 kg N ha⁻¹ aplicados na forma de sulfato de amônio, sendo que 24,3% do N adicionado em cobertura se encontrava na camada de 0 – 20 cm após a colheita de milho. Gava et al. (2006) também encontrou valores semelhantes, 45% e 30% dos 100 kg N ha⁻¹ aplicados no milho na forma de uréia foram recuperados, respectivamente, pela planta e pelo solo até os 50 cm de profundidade. Villas Boas et al. (2005) também encontrou recuperação semelhante pelo sistema solo-planta.

TABELA 6.4 Quantidade de N perdida da adubação nitrogenada aplicada ao milho em 21 anos e N recuperado pelo sistema solo-planta.

Tratamento	Quantidade perdida	N recuperado
	kg N ha ⁻¹	%
P/M ¹ 180 N	1557	51
A/M 180 N	1492	53
Média	1525	52

¹ A=aveia, M=milho, P=pousio.

Os menores valores encontrados no presente estudo podem estar relacionados a não contabilização do N aplicado que pode ter sido recuperado pelo solo abaixo dos 20 cm de profundidade e estar acumulado na MOS. Segundo Alves et al. (2005) as raízes abaixo desse limite podem recuperar parte do N, não significando propriamente perdas. Entretanto, no estudo de Diekow et al. (2005) houve pouca diferença entre as doses 0 e 180 kg N ha⁻¹ no acúmulo de N total abaixo dos 17,5 cm de profundidade, o que indica que apenas pequena fração do N aplicado como fertilizante mineral pode ter sido acumulada na MOS abaixo dos 20 cm. Além do fato de que, segundo Gava et al. (2006), metade do N recuperado pelo solo em seu estudo estava na camada de 0 – 5 cm em sistema plantio direto, enquanto em sistema plantio convencional a maior parte do N estava distribuído ao longo dos 30 cm de profundidade.

Dessa forma, grande parte dos 48% do N não recuperado deve ter saído do sistema solo-planta através das diversas formas de perdas no qual o N está sujeito nos sistemas agrícolas, como a lixiviação, a volatilização e a erosão.

Na maioria dos estudos conduzidos na Brasil a aplicação de doses de N relativamente baixas, o parcelamento da adubação e a maioria dos locais possuem solos argilosos fazem com que as perdas de N por lixiviação sejam pequenas (Cantarella, 2007; Coelho et al., 1991). No trabalho de Da Ros (2004), conduzido em solo arenoso em condições ambientais semelhantes a deste estudo, houve um baixo potencial de perdas por lixiviação com a aplicação de 100 kg N ha⁻¹ na forma de uréia, parcelado em duas épocas. Entretanto, no presente trabalho as perdas de N podem ser altas devido à dose ser maior.

Em relação às perdas por volatilização, a pesquisa mostra altas perdas quando a uréia é aplicada em superfície, sendo, então, recomendada a incorporação da mesma ao solo para diminuir a volatilização (Cantarella, 2007). No presente trabalho a aplicação da uréia é sempre seguida pela irrigação, que tem como um dos objetivos incorporá-la ao solo, para diminuir as perdas de N por volatilização. Entretanto, Lara Cabezas et al. (1997) mediram perdas elevadas de NH₃ em área de milho cultivado em sistema plantio direto mesmo sendo feita irrigação logo após a aplicação de uréia.

Como não foi realizada nenhuma avaliação de perdas de N, seja de volatilização de amônia ou de percolação de nitrato, se torna difícil inferir sobre qual o principal mecanismo pelo qual o N saiu do sistema. Além do fato de que, como se trata de um experimento de longa duração, os mecanismos de perdas podem ter atuado de forma diferente ao longo dos anos.

6.3.3 Balanço de N

Os resultados de variação do estoque de N em 21 anos de utilização dos diferentes sistemas de culturas podem ser considerados como balanços ou diferenças entre as entradas e saídas de N do sistema solo-planta. O efeito dos diferentes sistemas de culturas nos estoques de N total foram discutidos no Estudo I.

Nas Tabelas 6.1 e 6.3 e na Figura 4.2 observa-se que os sistemas com leguminosas incrementaram os estoques de N do solo e aqueles constituídos apenas por gramíneas, mas com adubação nitrogenada, mantiveram o estoque original, enquanto os sistemas sem leguminosas e sem adubação nitrogenada mineral, devido à exportação de N pelos grãos, acabaram diminuindo o estoque de N total no solo (Estudo I). Na Figura 6.2 onde se construiu um balanço de N comparativo entre 3 situações (P/M 0 N, P/M 180 N e A+V/M+C 0 N), verifica-se esse comportamento. O sistema P/M 0 N diminuiu o estoque de N na camada de 0 – 20 cm em 245 kg ha^{-1} , enquanto esse mesmo sistema com a aplicação de adubação nitrogenada promoveu pequeno acréscimo nesse estoque, demonstrando uma condição de manutenção. Já o sistema A+V/M+C, mesmo sem adição de adubação nitrogenada mineral, promoveu um acréscimo de 712 kg N ha^{-1} na camada de 0 – 20 cm.

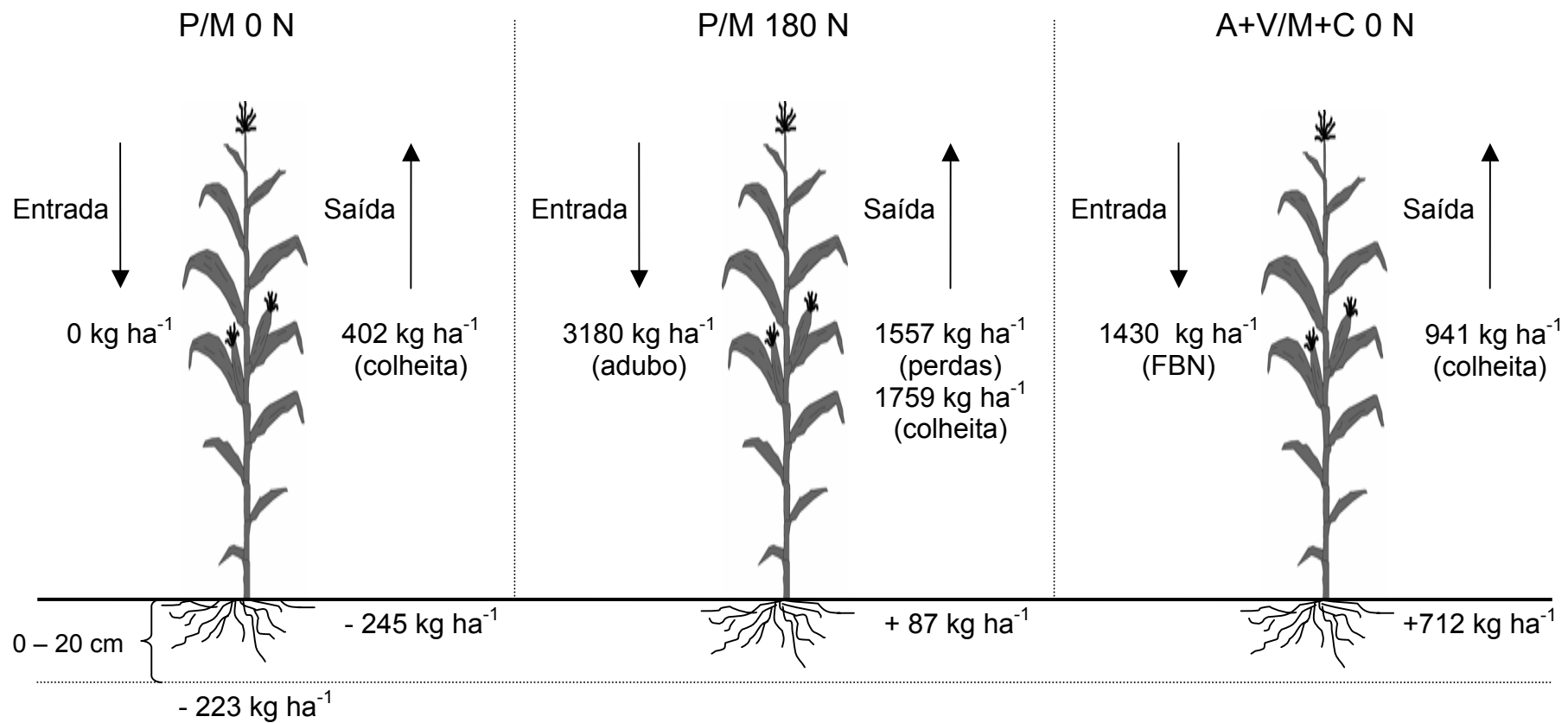


FIGURA 6.2 Balanço comparativo de N entre diferentes sistemas de culturas. A=aveia, C=caupi, M=milho, P=pousio e V=vica.

Diante desses valores se torna evidente o papel das leguminosas em determinar balanços positivos de N, conseguindo adicionar quantidades de N pela fixação biológica que excedam as quantidades perdidas e exportadas pelos grãos. Entretanto, nem todos os sistemas que utilizem leguminosas determinam balanços positivos de N. No estudo de Alves et al. (2005) onde a leguminosa utilizada foi a soja, devido a alta exportação de N pelos grãos dessa cultura, o balanço de N foi próximo da neutralidade. Fugita et al. (1992) cita o trabalho de Eaglesham et al. (1981) onde o sistema de cultura milho/caupi determinou balanço negativo de 14 kg N ha^{-1} contra um balanço positivo de 36 kg N ha^{-1} para o sistema constituído apenas por caupi. Entretanto, o sistema milho/caupi não foi considerado como um sistema que exaurisse o solo.

A aplicação do adubo nitrogenado nos sistemas constituídos apenas por gramíneas também teve papel importante no balanço de N, por compensar a alta exportação de N pelos grãos de milho, não deixando que o estoque de N no solo se esgotasse (Figura 6.2). Entretanto, devido a grande quantidade de N perdido do sistema solo-planta esse balanço ficou próximo da neutralidade.

6.4 Conclusões

Esta metodologia, apesar de não obter resultados precisos, fornece a magnitude da quantidade de N fixada nos diferentes sistemas de culturas e da quantidade de N que foi perdida do fertilizante mineral.

A utilização de leguminosas e/ou adubação nitrogenada em sistemas constituídos apenas por gramíneas são importantes no balanço positivo de N do sistema solo-planta.

7. CONCLUSÃO GERAL

A utilização de leguminosas em sistemas de culturas associada ao uso do sistema plantio direto é uma ferramenta valiosa e viável no aumento do conteúdo de matéria orgânica do solo, resultando na recuperação de solos degradados por manejos inadequados e na mitigação do impacto do aumento dos gases de efeito estufa. Além disso, a utilização de leguminosas aumenta a disponibilidade de N às culturas não fixadoras, diminuindo a necessidade de aporte de adubos nitrogenados minerais.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M. R.; DALMOLIN, R. S. D. (Eds) ATUALIZAÇÃO em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto. Santa Maria: Departamento de Solos da UFSM, 1997. No.3. p.76-111

AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.157-165, 2001.

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.

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

ALVAREZ, R. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. **Soil Use and Management**, Wallingford, v.21, p.38-52, 2005.

ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; ARAÚJO, E.S.; FERNANDES, F.M.; HECKLER, J.C.; MEDEIROS, A.F.A.; DODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. **Balanco de N em rotação de culturas sob plantio direto em Dourados, MS**. Soropédica : Embrapa Agrobiologia, 2005. 21p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento)

AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo de solo**. 1997. 201 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

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

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, n.1, p.189-197, 2001.

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

BASSO, C.J.; CERETTA, C.A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.905-915, 2000.

BATJES, N.H. Mitigation of atmospheric CO₂ concentrations by increased carbon sequestration in the soil. **Bioloogy and Fertility of Soils**, Berlin, v.27, p.230-235, 1998.

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

BAYER, C.; DICK, D.P.; RIBEIRO, G.F.; SCHEUERMANN, K.K. Carbon stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no-tillage effect. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.3, p.401-406, 2002.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.2, p.235-239, 1997.

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivais de cobertura de solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.3, p.469-475, 2003.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. **Agroclima da Estação Experimental Agronômica**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 96 p.

BOHLOOL, B.B.; LADHA, J.K.; GARRITY, D.P.; GEORGE, T. Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture: A perspective. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.141, n.1-2, p.1-11, 1992.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.897-903, 2000.

BURLE, M.L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.190, n.2, p.309-316, 1997.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.P.; COSTA, M.B.B.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. **Adubação verde no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346p.

CAMARGO, F.A.O.; SÁ, E.L.S. Nitrogênio e adubos nitrogenados. In: BISSAINI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. (Eds). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. p.93-116.

CANTARELLA, E. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 7. p.375-470.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio (^{15}N) em um latossolo vermelho escuro, sob vegetação do cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.2, p.187-193, 1991.

CORBEELS, M.; HOFMAN, G.; VAN CLEEMPUT, C. Residual effect of nitrogen fertilisation in a wheat-sunflower cropping sequence on a Vertisol under semi-arid Mediterranean conditions. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.9, p.109-116, 1998.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Aumento da matéria orgânica num latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p.587-589, 2004.

DA ROS, C.O. **Dinâmica do carbono e do nitrogênio com uso de uréia, na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto**. Santa Maria : UFSM,

2004. 151 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DA ROS, C.O.; AITA, C. Espécies de inverno na cobertura de solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.1, p.135-140, 1996.

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

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.7, p.761-773, 1985.

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

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.81, n.1, p.87-95, 2005.

ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients storage in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, n.4, p.529-538, 1995.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; CUTRIM, V.A. Produtividade do arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasília**, Brasília, v.42, n.7, p.1029-1034, 2007.

FERNANDES, S.B.V. **Disponibilidade e eficiência de uso de nitrogênio pelo milho em sistemas de cultura**. 1998. 137f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós- Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1998.

FILOSO, S.; MARTINELLI, L.A.; HOWARTH, R.W.; BOYER, E.W.; DENTENER, F. Human activities changing the N cycle in Brazil. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.79, n.1-2, p. 61-89, 2006.

FRANÇA, S. **Efeitos da disponibilidade de nitrogênio e água na fotossíntese, crescimento e produção de milho, em diferentes sistemas de culturas.** 2002. 170f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FRYE, W.W.; SMITH, W.G.; WILLIAMS, R.J. Economics of winter cover crops as a source of nitrogen for no-till corn. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.40, n.2, p.246-249, 1985.

FUGITA, K.; OFOSU-BUDU, K.G.; OGATA, S. Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping systems. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.141, p.155-175, 1992.

GALLOWAY, J.N.; DENTENER, F.J.; CAPONE, D.G.; et al. Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.70, p.153-226, 2004.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.V.; HEINRICH, R.; SILVA, M.A. Balanço de nitrogênio da uréia (^{15}N) no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta na cultura do milho. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.3, p.477-486, 2006.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I.C.; HÜBNER, A.P.; MARQUES, M.G.; CODORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II – Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.751-762, 2004.

HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.9, p.1021-1030, 1985.

LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B. A. World soils as a source or sink for radioactively-active gases. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. E. A. (Eds) **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p.41-59.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH_3 na cultura do milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.3, p.421-487, 1997.

LEDGARD, S.F.; STEELE, K.W. Biological nitrogen fixation in mixed legume-grass pastures. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.141, p.137-153, 1992.

LOVATO, T. **Dinâmica do carbono e nitrogênio do solo afetada por preparos de solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado.** 2001. 150 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo,

Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.175-187, 2004.

MARTINELLI, L.A. Os caminhos do nitrogênio – do fertilizante ao poluente. Informações agronômicas. **Internacional Plant Nutrition Institute**. Piracicaba, n.118, junho/2007.

MEDEIROS, J. C. **Sistemas de culturas adaptados a produtividade, recuperação e conservação do solo**. 1985. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.

MEDEIROS, J.C.; MIELNICZUK, J.; PEDÓ, F. Sistemas de culturas adaptadas a produtividade, recuperação e conservação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.2, p.199-204, 1987.

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant and soil**, Dorcrecht, v.181, n.1, p.83-93, 1996.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. Cap. 2, p. 1-9.

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

MIKHAILOVA, E.A.; BRYANT, R.B.; VASSENEV, I.I.; SCHWAGER, S.J.; POST, C.J. Cultivation effects on soil carbon and nitrogen contents at depth in the Russian chernozem. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.64, n.2, p.738-745, 2000.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura. Diretoria de Terras e Colonização. Seção de Geografia, 1961.46p.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. Fertilidade no sistema plantio direto. In: ALVAREZ, V.H.;

SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Eds) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa : SBCS, 2002. v.2, p.393-486.

PAL, U.R.; SHEHU, Y. Direct and residual contributions of symbiotic nitrogen fixation by legumes to the yield and nitrogen uptake of mayse (*Zea mays* L.) in the Nigerian Savannah. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v.187, n.1, p.53-58, 2001.

PEOPLES, M.B.; HERRIDGE, D.F.; LADHA, J.K. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? **Plant and Soil**, Dordrecht, v.174, n.1-2, p. 3-28, 1995.

PUGET, P.; LAL, R. Soil organic carbon and nitrogen in a Mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.80, p.201-213, 2005.

RAO, M.R.; MATHUVA, M.N. Legumes for improving maize yields and income in semi-arid Kenya. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.78, n.2, p.123-137, 2000.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; VICTÓRIA, R.L.; VIEGAS, G.P. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, n.1, p.17-20, 1979.

ROCHESTER, I.J.; PEOPLES, M.B.; HULUGALE, N.R.; GAULT, R.R.; CONSTABLE, G.A. Using legumes to enhance nitrogen fertility and improve soil condition in cotton cropping systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.70, n.1, p.27-41, 2001.

ROSCOE, R.; BODDEY, R.M.; SALTON, J.C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Eds). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. 2006. Cap. 1. p. 17-42.

SÁ, J.C.M. Efeitos de doses e épocas de aplicação de nitrogênio na produção de milho, após resteva de aveia preta (*Avena strigosa*) sob plantio direto. In: FUNDAÇÃO ABC. **Resultados de Pesquisa 88/89**. [S.l.], 1989. (Boletim técnico, 4)

SAINJU, U.M.; SINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F. Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.63, n.3-4, p.167-179, 2002.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58p.

SHAFI, M.; BAKHT, J.; JAN, M.T.; SHAN, Z. Soil C and N dynamics and maize (*Zea mays* L.) yield as affected by cropping systems and residue management in North-western Pakistan. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.94, n.2, p.520-529, 2007.

SHAH, Z.; SHAH, S.H.; PEOPLES, M.B.; SCHWENKE, G.D.; HERRIDGE, D.F. Crop residue and fertilizer N effects on nitrogen fixation and yields of legume-cereal rotations and soil organic fertility. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.83, p.1-11, 2003.

SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L.; TRIVELIN, P.C.O.; VELOSO, M.E.C. Utilização do nitrogênio(¹⁵N) residual de coberturas de solo e da uréia pela cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.965-974, 2006a.

SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M.L.; SILVA, A.A. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, 1011-1020, 2006b.

SILVA, E.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação de solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.2, p.313-319, 1997.

SISTI, C. P. J.; DOS SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.76, n.1, p.39-58, 2004.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Matéria orgânica em um latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1113-1122, 2003.

SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; PROENÇA, M.M. Leguminosas estivais intercalares como fonte de nitrogênio para o milho, no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.417-423, 2002.

SPARKS, D.L. **Environmental soil chemistry**. San Diego : Academic Press, 1995. 267p.

SWIFT, R.S. Sequestration of carbon by soil. **Soil Science**, Hagerstown, v.166, n.11, p.858-871, 2001.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**, 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

TEIXEIRA, L.A.J.; TESTA, V.M.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.207-214, 1994.

VARCO, J.J.; FRYE, W.W.; SMITH, M.S.; MACKOWN, C.T. Tillage effects on nitrogen recovery by corn from a nitrogen-15 labeled legume cover crop. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.53, p.822-827, 1989.

VIEIRA, F.C.B. **Estoques e labilidade da matéria orgânica e acidificação de um argissolo sob plantio direto afetados por sistemas de cultura e adubação nitrogenada**. 2007. 139 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

VILLAS BÔAS, R.L.; BOARETTO, A.E.; GODOY, L.J.V.; FERNANDES, D.M. Recuperação do nitrogênio da mistura de uréia e sulfato de amônio por plantas de milho. **Bragantia**, Campinas, v.6, n.2, p.263-272, 2005.

WEBER, M. A.; VINTHER, M.; NEERGAARD, A.; AMADO, T. J. C.; LOVATO, T.; ACOSTA, J. A. A.; ROSSATO, O. B. Capacidade de fixação simbiótica e liberação de nitrogênio pela ervilhaca (*Vicia villosa*) medido através de marcação isotópica com ¹⁵N. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Recife, 2005. **Anais...** Recife, 2005. CD-ROM.

WIATRAC, P.J.; WRIGHT, D.L.; MAROIS, J.J. The impact of tillage and residual nitrogen on wheat. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.91, p.150-156, 2006.

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

ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; VIEIRA, F.C.B.; MIELNICZUK, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.94, n.2, p.510-519, 2007.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.W.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.84, p.28-40, 2005.

9. APÊNDICES

Apêndice 1: Teores de carbono orgânico (CO), nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
-----g kg ⁻¹ de solo-----										
A+V/M rev ¹	Descompactado	0 ²	15,90	18,10	15,00	16,33	8,92	8,70	9,26	8,96
	Descompactado	180	17,70	17,30	15,00	16,67	9,10	8,91	8,97	8,99
	Compactado	0	14,20	16,70	14,20	15,03	8,32	8,59	9,31	8,74
A/M	Compactado	180	14,80	17,70	15,20	15,90	8,78	9,36	8,37	8,84
	Descompactado	0	12,60	14,20	12,10	12,97	7,72	7,72	7,66	7,70
	Descompactado	180	16,00	14,40	13,30	14,57	8,28	8,28	8,44	8,33
A+V/M+C	Compactado	0	14,80	15,00	12,20	14,00	8,28	8,28	7,81	8,12
	Compactado	180	14,80	14,10	13,80	14,23	8,71	8,71	8,48	8,63
	Descompactado	0	15,60	20,30	18,20	18,03	8,68	9,37	8,50	8,85
LL+M	Descompactado	180	17,20	17,20	18,90	17,77	9,95	10,21	8,90	9,69
	Compactado	0	15,00	17,00	16,90	16,30	8,43	8,15	8,65	8,41
	Compactado	180	20,70	18,80	16,20	18,57	10,35	9,20	8,81	9,45
A+V/M	Descompactado	0	17,20	18,40	19,20	18,27	8,25	8,25	9,40	8,63
	Descompactado	180	24,70	21,00	20,90	22,20	10,58	9,38	10,73	10,23
	Compactado	0	24,30	18,30	16,70	19,77	10,27	8,23	8,96	9,15
G+LL	Compactado	180	21,60	20,00	21,40	21,00	9,96	8,97	10,16	9,70
	Descompactado	0	16,50	15,70	14,20	15,47	8,80	7,73	8,39	8,31
	Descompactado	180	17,40	14,20	14,60	15,40	8,46	8,91	8,50	8,62
G+M	Compactado	0	16,40	15,00	13,30	14,90	8,61	8,41	7,69	8,24
	Compactado	180	17,50	16,10	14,70	16,10	9,47	8,73	8,54	8,91
	Descompactado	0	25,00	19,00	17,90	20,63	9,08	8,92	8,89	8,96
G+LL	Descompactado	180	21,60	21,90	24,20	22,57	8,89	8,40	9,70	9,00
	Compactado	0	20,90	25,20	21,80	22,63	9,13	9,47	8,98	9,19
	Compactado	180	22,20	27,60	21,80	23,87	8,87	9,29	8,29	8,82
G+M	Descompactado	0	22,50	21,00	27,90	23,80	9,33	9,16	10,28	9,59
	Descompactado	180	26,60	28,70	28,30	27,87	11,05	10,42	9,53	10,33
	Compactado	0	29,00	25,10	27,70	27,27	9,88	9,80	9,49	9,72
	Compactado	180	28,30	23,00	23,20	24,83	10,30	9,38	10,56	10,08

Apêndice 1: continuação

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			-----g kg ⁻¹ de solo-----							
P/M	Descompactado	0	12,30	13,40	12,80	12,83	7,57	8,30	7,57	7,81
	Descompactado	180	13,40	15,50	14,60	14,50	8,21	8,44	8,53	8,39
	Compactado	0	12,20	12,30	12,40	12,30	8,77	8,52	7,89	8,39
	Compactado	180	13,80	14,50	13,70	14,00	8,53	8,68	7,93	8,38
Pan	Descompactado	0	15,00	14,70	15,20	14,97	8,42	7,90	8,50	8,27
	Descompactado	180	15,60	18,00	16,60	16,73	8,59	8,71	8,74	8,68
	Compactado	0	19,70	15,70	16,90	17,43	8,83	9,16	8,92	8,97
Desc	Compactado	180	17,20	17,50	15,80	16,83	8,98	8,64	8,32	8,65
	Descompactado	0	12,60	12,80	12,50	12,63	7,92	7,10	7,29	7,44
	Descompactado	180	12,40	14,10	12,20	12,90	7,85	7,37	7,51	7,58
	Compactado	0	11,30	11,50	11,40	11,40	7,18	7,32	7,92	7,47
	Compactado	180	11,00	11,60	10,90	11,17	7,53	7,10	7,07	7,23

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablab, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 2: Teores de nitrogênio total, nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
-----g kg ⁻¹ de solo-----										
A+V/M rev ¹	Descompactado	0 ²	1,28	1,46	1,17	1,30	0,69	0,81	0,77	0,76
	Descompactado	180	1,32	1,43	1,15	1,30	0,75	0,79	0,78	0,77
	Compactado	0	1,17	1,40	1,14	1,24	0,71	0,85	0,78	0,78
A/M	Compactado	180	1,07	1,46	1,18	1,24	0,71	0,89	0,82	0,81
	Descompactado	0	1,04	1,16	0,97	1,06	0,69	0,73	0,77	0,73
	Descompactado	180	1,28	1,16	1,06	1,17	0,76	0,76	0,86	0,79
A+V/M+C	Compactado	0	1,20	1,22	1,06	1,16	0,72	0,83	0,74	0,76
	Compactado	180	1,16	1,24	1,19	1,20	0,79	0,87	0,84	0,83
	Descompactado	0	1,36	1,64	1,48	1,50	0,77	0,88	0,82	0,82
LL+M	Descompactado	180	1,47	1,48	1,51	1,49	0,93	0,98	0,82	0,91
	Compactado	0	1,23	1,35	1,37	1,32	0,76	0,71	0,88	0,78
	Compactado	180	1,66	1,60	1,34	1,53	0,88	0,79	0,83	0,83
A+V/M	Descompactado	0	1,43	1,55	1,71	1,56	0,82	0,82	0,93	0,85
	Descompactado	180	2,09	1,71	1,68	1,83	0,94	0,91	1,09	0,98
	Compactado	0	1,81	1,56	1,45	1,61	0,91	0,79	0,85	0,85
G+LL	Compactado	180	1,92	1,67	1,70	1,76	0,85	0,96	0,99	0,94
	Descompactado	0	1,40	1,28	1,19	1,29	0,75	0,82	0,74	0,77
	Descompactado	180	1,40	1,22	1,21	1,28	0,76	0,83	0,84	0,81
G+M	Compactado	0	1,40	1,26	1,10	1,25	0,80	0,78	0,69	0,76
	Compactado	180	1,46	1,30	1,18	1,31	0,84	0,82	0,84	0,83
	Descompactado	0	1,93	1,55	1,51	1,66	0,76	0,88	0,85	0,83
G+LL	Descompactado	180	1,59	1,64	2,04	1,76	0,79	0,84	0,91	0,84
	Compactado	0	1,67	2,02	1,87	1,85	0,86	0,81	0,84	0,84
	Compactado	180	1,76	2,16	1,90	1,94	0,80	0,90	0,93	0,88
G+M	Descompactado	0	1,84	1,73	2,08	1,88	0,80	0,84	0,95	0,86
	Descompactado	180	2,11	2,16	2,03	2,10	0,97	1,04	0,90	0,97
	Compactado	0	2,11	2,00	2,05	2,05	0,89	0,93	0,87	0,89
	Compactado	180	2,04	1,80	1,76	1,87	0,97	0,86	0,94	0,92

Apêndice 2: continuação

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			-----g kg ⁻¹ de solo-----							
P/M	Descompactado	0	1,03	1,08	1,05	1,05	0,65	0,76	0,71	0,71
	Descompactado	180	1,08	1,27	1,15	1,17	0,77	0,80	0,82	0,80
	Compactado	0	1,01	1,04	0,93	0,99	0,77	0,77	0,77	0,77
	Compactado	180	1,05	1,24	1,05	1,11	0,76	0,82	0,76	0,78
Pan	Descompactado	0	1,20	1,14	1,17	1,17	0,74	0,69	0,84	0,76
	Descompactado	180	1,27	1,42	1,35	1,35	0,81	0,81	0,85	0,82
	Compactado	0	1,51	1,23	1,23	1,33	0,81	0,80	0,81	0,81
Desc	Compactado	180	1,43	1,46	1,26	1,38	0,82	0,88	0,81	0,84
	Descompactado	0	0,99	0,94	0,98	0,97	0,62	0,65	0,65	0,64
	Descompactado	180	0,99	1,02	0,98	1,00	0,60	0,69	0,67	0,65
	Compactado	0	0,86	0,89	0,93	0,89	0,61	0,73	0,70	0,68
	Compactado	180	0,92	0,90	0,90	0,91	0,65	0,63	0,74	0,68

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablab, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 3 : Estoques de carbono orgânico (CO), nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N, calculado pelo método da massa equivalente. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm				0 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			-----Mg ha ⁻¹ -----											
A+V/M rev ¹	Descompactado	0 ²	24,49	27,87	23,10	25,15	14,54	14,18	15,09	14,60	39,03	42,06	38,19	39,76
	Descompactado	180	27,26	26,64	23,10	25,67	14,83	14,52	14,62	14,66	42,09	41,17	37,72	40,33
	Compactado	0	21,87	25,72	21,87	23,15	13,56	14,00	15,18	14,25	35,43	39,72	37,04	37,40
A/M	Compactado	180	22,79	27,26	23,41	24,49	14,31	15,26	13,64	14,40	37,10	42,51	37,05	38,89
	Descompactado	0	19,40	21,87	18,63	19,97	12,58	12,58	12,49	12,55	31,99	34,45	31,12	32,52
	Descompactado	180	24,64	22,18	20,48	22,43	13,50	13,50	13,76	13,58	38,14	35,67	34,24	36,02
A+V/M+C	Compactado	0	22,79	23,10	18,79	21,56	13,50	13,50	12,73	13,24	36,29	36,60	31,52	34,80
	Compactado	180	22,79	21,71	21,25	21,92	14,20	14,20	13,82	14,07	36,99	35,91	35,07	35,99
	Descompactado	0	24,02	31,26	28,03	27,77	14,15	15,27	13,86	14,43	38,17	46,54	41,88	42,20
LL+M	Descompactado	180	26,49	26,49	29,11	27,36	16,22	16,64	14,51	15,79	42,71	43,13	43,61	43,15
	Compactado	0	23,10	26,18	26,03	25,10	13,74	13,28	14,10	13,71	36,84	39,46	40,13	38,81
	Compactado	180	31,88	28,95	24,95	28,59	16,87	15,00	14,36	15,41	48,75	43,95	39,31	44,00
A+V/M	Descompactado	0	26,49	28,34	29,57	28,13	13,45	13,45	15,32	14,07	39,94	41,78	44,89	42,20
	Descompactado	180	38,04	32,34	32,19	34,19	17,25	15,29	17,49	16,67	55,28	47,63	49,68	50,86
	Compactado	0	37,42	28,18	25,72	30,44	16,74	13,41	14,60	14,92	54,16	41,60	40,32	45,36
G+LL	Compactado	180	33,26	30,80	32,96	32,34	16,23	14,62	16,56	15,81	49,50	45,42	49,52	48,15
	Descompactado	0	25,41	24,18	21,87	23,82	14,34	12,60	13,68	13,54	39,75	36,78	35,54	37,36
	Descompactado	180	26,80	21,87	22,48	23,72	13,79	14,52	13,86	14,06	40,59	36,39	36,34	37,77
G+M	Compactado	0	25,26	23,10	20,48	22,95	14,03	13,71	12,53	13,43	39,29	36,81	33,02	36,37
	Compactado	180	26,95	24,79	22,64	24,79	15,44	14,23	13,92	14,53	42,39	39,02	36,56	39,32
	Descompactado	0	38,50	29,26	27,57	31,78	14,80	14,54	14,49	14,61	53,30	43,80	42,06	46,39
G+LL	Descompactado	180	33,26	33,73	37,27	34,75	14,49	13,69	15,81	14,66	47,75	47,42	53,08	49,42
	Compactado	0	32,19	38,81	33,57	34,86	14,88	15,44	14,64	14,99	47,07	54,24	48,21	49,84
	Compactado	180	34,19	42,50	33,57	36,75	14,46	15,14	13,51	14,37	48,65	57,65	47,08	51,13
G+M	Descompactado	0	34,65	32,34	42,97	36,65	15,21	14,93	16,76	15,63	49,86	47,27	59,72	52,28
	Descompactado	180	40,96	44,20	43,58	42,91	18,01	16,98	15,53	16,84	58,98	61,18	59,12	59,76
	Compactado	0	44,66	38,65	42,66	41,99	16,10	15,97	15,47	15,85	60,76	54,63	58,13	57,84
	Compactado	180	43,58	35,42	35,73	38,24	16,79	15,29	17,21	16,43	60,37	50,71	52,94	54,67

Apêndice 3: continuação

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm				0 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			-----Mg ha ⁻¹ -----											

P/M	Descompactado	0 ²	18,94	20,64	19,71	19,76	12,34	13,53	12,34	12,74	31,28	34,17	32,05	32,50
	Descompactado	180	20,64	23,87	22,48	22,33	13,38	13,76	13,90	13,68	34,02	37,63	36,39	36,01
	Compactado	0	18,79	18,94	19,10	18,94	14,30	13,89	12,86	13,68	33,08	32,83	31,96	32,62
Pan	Compactado	180	21,25	22,33	21,10	21,56	13,90	14,15	12,93	13,66	35,16	36,48	34,02	35,22
	Descompactado	0	23,10	22,64	23,41	23,05	13,72	12,88	13,86	13,49	36,82	35,52	37,26	36,53
	Descompactado	180	24,02	27,72	25,56	25,77	14,00	14,20	14,25	14,15	38,03	41,92	39,81	39,92
Desc	Compactado	0	30,34	24,18	26,03	26,85	14,39	14,93	14,54	14,62	44,73	39,11	40,57	41,47
	Compactado	180	26,49	26,95	24,33	25,92	14,64	14,08	13,56	14,09	41,13	41,03	37,89	40,02
	Descompactado	0	19,40	19,71	19,25	19,46	12,91	11,57	11,88	12,12	32,31	31,29	31,13	31,58
Desc	Descompactado	180	19,10	21,71	18,79	19,87	12,80	12,01	12,24	12,35	31,89	33,73	31,03	32,22
	Compactado	0	17,40	17,71	17,56	17,56	11,70	11,93	12,91	12,18	29,11	29,64	30,47	29,74
	Compactado	180	16,94	17,86	16,79	17,20	12,27	11,57	11,52	11,79	29,21	29,44	28,31	28,99

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablab, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 4 : Estoques de carbono orgânico (CO), nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N, calculado pelo método da camada equivalente. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm				0 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
-----Mg ha ⁻¹ -----														
A+V/M rev ¹	Descompactado	0 ²	24,96	28,42	23,55	25,64	14,36	14,01	14,91	14,43	39,32	42,42	38,46	40,07
	Descompactado	180	27,79	27,16	23,55	26,17	14,65	14,35	14,44	14,48	42,44	41,51	37,99	40,65
	Compactado	0	22,29	26,22	22,29	23,60	13,40	13,83	14,99	14,07	35,69	40,05	37,28	37,67
A/M	Compactado	180	23,24	27,79	23,86	24,96	14,14	15,07	13,48	14,23	37,37	42,86	37,34	39,19
	Descompactado	0	19,78	22,29	19,00	20,36	12,43	12,43	12,33	12,40	32,21	34,72	31,33	32,75
	Descompactado	180	25,12	22,61	20,88	22,87	13,33	13,33	13,59	13,42	38,45	35,94	34,47	36,29
A+V/M+C	Compactado	0	23,24	23,55	19,15	21,98	13,33	13,33	12,57	13,08	36,57	36,88	31,73	35,06
	Compactado	180	23,24	22,14	21,67	22,35	14,02	14,02	13,65	13,90	37,26	36,16	35,32	36,25
	Descompactado	0	24,80	32,28	28,94	28,67	14,41	15,55	14,11	14,69	39,21	47,83	43,05	43,36
LL+M	Descompactado	180	27,35	27,35	30,05	28,25	16,52	16,95	14,77	16,08	43,87	44,30	44,83	44,33
	Compactado	0	23,85	27,03	26,87	25,92	13,99	13,53	14,36	13,96	37,84	40,56	41,23	39,88
	Compactado	180	32,91	29,89	25,76	29,52	17,18	15,27	14,62	15,69	50,09	45,16	40,38	45,21
A+V/M	Descompactado	0	27,86	29,81	31,10	29,59	13,53	13,53	15,42	14,16	41,39	43,34	46,52	43,75
	Descompactado	180	40,01	34,02	33,86	35,96	17,35	15,38	17,60	16,78	57,37	49,40	51,46	52,74
	Compactado	0	39,37	29,65	27,05	32,02	16,84	13,50	14,69	15,01	56,21	43,14	41,75	47,03
G+LL	Compactado	180	34,99	32,40	34,67	34,02	16,33	14,71	16,66	15,90	51,33	47,11	51,33	49,92
	Descompactado	0	26,24	24,96	22,58	24,59	14,61	12,83	13,93	13,79	40,84	37,79	36,51	38,38
	Descompactado	180	27,67	22,58	23,21	24,49	14,04	14,79	14,11	14,31	41,71	37,37	37,32	38,80
G+M	Compactado	0	26,08	23,85	21,15	23,69	14,29	13,96	12,77	13,67	40,37	37,81	33,91	37,36
	Compactado	180	27,83	25,60	23,37	25,60	15,72	14,49	14,18	14,80	43,55	40,09	37,55	40,40
	Descompactado	0	40,50	30,78	29,00	33,43	14,89	14,63	14,58	14,70	55,39	45,41	43,58	48,13
G+LL	Descompactado	180	34,99	35,48	39,20	36,56	14,58	13,78	15,91	14,75	49,57	49,25	55,11	51,31
	Compactado	0	33,86	40,82	35,32	36,67	14,97	15,53	14,73	15,08	48,83	56,35	50,04	51,74
	Compactado	180	35,96	44,71	35,32	38,66	14,55	15,24	13,60	14,46	50,51	59,95	48,91	53,12
G+M	Descompactado	0	36,00	33,60	44,64	38,08	15,39	15,11	16,96	15,82	51,39	48,71	61,60	53,90
	Descompactado	180	42,56	45,92	45,28	44,59	18,23	17,19	15,72	17,05	60,79	63,11	61,00	61,64
	Compactado	0	46,40	40,16	44,32	43,63	16,30	16,17	15,66	16,04	62,70	56,33	59,98	59,67
	Compactado	180	45,28	36,80	37,12	39,73	17,00	15,48	17,42	16,63	62,28	52,28	54,54	56,37

Apêndice 4: continuação

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm				0 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			-----Mg ha ⁻¹ -----											

P/M	Descompactado	0 ²	19,31	21,04	20,10	20,15	12,26	13,45	12,26	12,66	31,57	34,48	32,36	32,81
	Descompactado	180	21,04	24,34	22,92	22,77	13,30	13,67	13,82	13,60	34,34	38,01	36,74	36,36
	Compactado	0	19,15	19,31	19,47	19,31	14,21	13,80	12,78	13,60	33,36	33,11	32,25	32,91
Pan	Compactado	180	21,67	22,77	21,51	21,98	13,82	14,06	12,85	13,58	35,48	36,83	34,36	35,56
	Descompactado	0	21,15	20,73	21,43	21,10	13,47	12,64	13,60	13,24	34,62	33,37	35,03	34,34
	Descompactado	180	22,00	25,38	23,41	23,59	13,74	13,94	13,98	13,89	35,74	39,32	37,39	37,48
Desc	Compactado	0	27,78	22,14	23,83	24,58	14,13	14,66	14,27	14,35	41,91	36,79	38,10	38,93
	Compactado	180	24,25	24,68	22,28	23,74	14,37	13,82	13,31	13,83	38,62	38,50	35,59	37,57
	Descompactado	0	19,53	19,84	19,38	19,58	12,67	11,36	11,66	11,90	32,20	31,20	31,04	31,48
Desc	Descompactado	180	19,22	21,86	18,91	20,00	12,56	11,79	12,02	12,12	31,78	33,65	30,93	32,12
	Compactado	0	17,52	17,83	17,67	17,67	11,49	11,71	12,67	11,96	29,00	29,54	30,34	29,63
	Compactado	180	17,05	17,98	16,90	17,31	12,05	11,36	11,31	11,57	29,10	29,34	28,21	28,88

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablab, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 5 : Estoques de nitrogênio total (NT), nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N, calculado pelo método da massa equivalente. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm				0 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			-----kg ha ⁻¹ -----											
A+V/M rev ¹	Descompactado	0 ²	1976	2246	1797	2006	1133	1325	1248	1235	3108	3572	3044	3241
	Descompactado	180	2038	2205	1776	2006	1216	1283	1273	1257	3254	3487	3050	3264
	Compactado	0	1809	2163	1756	1909	1150	1385	1267	1267	2959	3548	3023	3177
A/M	Compactado	180	1655	2246	1817	1906	1163	1452	1342	1319	2819	3698	3159	3225
	Descompactado	0	1601	1789	1490	1627	1128	1194	1248	1190	2729	2982	2739	2817
	Descompactado	180	1976	1789	1633	1799	1231	1243	1403	1292	3207	3031	3036	3091
A+V/M+C	Compactado	0	1851	1872	1633	1785	1166	1349	1214	1243	3017	3221	2848	3028
	Compactado	180	1789	1913	1838	1846	1291	1415	1362	1356	3080	3329	3199	3203
	Descompactado	0	2101	2532	2287	2306	1262	1433	1336	1344	3363	3965	3623	3650
LL+M	Descompactado	180	2267	2287	2328	2294	1513	1592	1341	1482	3780	3879	3668	3776
	Compactado	0	1893	2083	2103	2026	1231	1153	1427	1270	3124	3235	3530	3296
	Compactado	180	2558	2470	2062	2364	1431	1292	1354	1359	3989	3762	3416	3722
A+V/M	Descompactado	0	2205	2389	2634	2409	1334	1334	1513	1394	3538	3723	4146	3803
	Descompactado	180	3224	2634	2593	2817	1537	1480	1772	1596	4761	4114	4365	4413
	Compactado	0	2787	2409	2225	2474	1476	1286	1378	1380	4263	3696	3604	3854
G+LL	Compactado	180	2953	2573	2613	2713	1392	1568	1615	1525	4345	4141	4228	4238
	Descompactado	0	2163	1976	1838	1992	1222	1341	1201	1255	3385	3317	3039	3247
	Descompactado	180	2163	1872	1858	1964	1244	1352	1371	1322	3407	3224	3229	3287
G+M	Compactado	0	2163	1934	1695	1931	1308	1264	1130	1234	3471	3198	2825	3165
	Compactado	180	2246	1997	1817	2020	1365	1343	1362	1357	3612	3340	3179	3377
	Descompactado	0	2974	2389	2328	2563	1232	1429	1386	1349	4206	3818	3713	3913
G+LL	Descompactado	180	2454	2532	3144	2710	1288	1364	1480	1377	3742	3896	4624	4087
	Compactado	0	2579	3103	2879	2854	1400	1320	1371	1364	3978	4423	4250	4217
	Compactado	180	2704	3328	2920	2984	1297	1466	1519	1427	4001	4794	4438	4411
G+M	Descompactado	0	2828	2662	3205	2899	1307	1374	1548	1410	4136	4036	4753	4308
	Descompactado	180	3244	3328	3124	3232	1580	1688	1462	1577	4825	5016	4586	4809
	Compactado	0	3244	3078	3165	3162	1448	1508	1416	1457	4693	4586	4580	4620
	Compactado	180	3140	2766	2715	2874	1583	1397	1533	1505	4724	4163	4248	4379

Apêndice 5: continuação

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm				0 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			-----kg ha ⁻¹ -----											

P/M	Descompactado	0 ²	1581	1664	1613	1619	1060	1234	1154	1149	2641	2898	2767	2769
	Descompactado	180	1664	1955	1776	1798	1260	1306	1334	1300	2924	3261	3110	3098
	Compactado	0	1560	1601	1429	1530	1258	1247	1251	1252	2818	2849	2680	2782
Pan	Compactado	180	1622	1913	1613	1716	1235	1337	1244	1272	2857	3250	2857	2988
	Descompactado	0	1851	1756	1797	1801	1212	1129	1362	1234	3063	2885	3159	3036
	Descompactado	180	1955	2185	2083	2074	1317	1320	1381	1339	3272	3504	3464	3413
Desc	Compactado	0	2329	1899	1899	2042	1319	1308	1316	1314	3648	3207	3215	3356
	Compactado	180	2205	2246	1940	2130	1340	1438	1325	1368	3544	3684	3265	3498
	Descompactado	0	1518	1450	1511	1493	1009	1052	1052	1038	2527	2502	2563	2531
Desc	Descompactado	180	1518	1572	1511	1534	971	1128	1089	1063	2489	2700	2600	2596
	Compactado	0	1331	1368	1429	1376	988	1187	1140	1105	2319	2555	2569	2481
	Compactado	180	1414	1388	1388	1397	1064	1028	1210	1101	2478	2417	2599	2498

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablab, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 6 : Estoques de nitrogênio total (NT), nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N, calculado pelo método da camada equivalente. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm				0 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			-----kg ha ⁻¹ -----											

A+V/M rev ¹	Descompactado	0 ²	2014	2290	1832	2045	1119	1309	1232	1220	3133	3599	3064	3265
	Descompactado	180	2078	2247	1811	2045	1201	1267	1258	1242	3279	3514	3069	3287
	Compactado	0	1845	2205	1790	1947	1136	1368	1252	1252	2980	3573	3042	3198
A/M	Compactado	180	1688	2290	1852	1943	1149	1434	1325	1303	2837	3724	3178	3246
	Descompactado	0	1633	1823	1519	1658	1114	1179	1233	1175	2746	3003	2753	2834
	Descompactado	180	2014	1823	1665	1834	1216	1227	1386	1276	3230	3051	3051	3111
A+V/M+C	Compactado	0	1887	1908	1665	1820	1152	1333	1199	1228	3039	3241	2864	3048
	Compactado	180	1823	1951	1873	1882	1276	1398	1345	1339	3099	3349	3218	3222
	Descompactado	0	2169	2614	2361	2381	1285	1460	1361	1369	3454	4074	3722	3750
LL+M	Descompactado	180	2341	2361	2403	2368	1541	1621	1366	1509	3881	3982	3769	3877
	Compactado	0	1954	2150	2171	2092	1254	1174	1453	1294	3208	3324	3624	3385
	Compactado	180	2641	2551	2129	2440	1457	1316	1379	1384	4099	3866	3508	3824
A+V/M	Descompactado	0	2319	2513	2771	2534	1342	1343	1522	1402	3661	3855	4293	3936
	Descompactado	180	3391	2771	2728	2963	1547	1489	1783	1606	4938	4260	4510	4569
	Compactado	0	2932	2534	2341	2602	1485	1294	1387	1389	4417	3829	3728	3991
G+LL	Compactado	180	3107	2706	2749	2854	1401	1578	1625	1534	4507	4284	4374	4388
	Descompactado	0	2233	2040	1897	2057	1244	1366	1224	1278	3477	3406	3121	3335
	Descompactado	180	2233	1933	1918	2028	1267	1377	1396	1347	3500	3309	3314	3375
G+M	Compactado	0	2233	1997	1750	1993	1332	1288	1151	1257	3565	3285	2900	3250
	Compactado	180	2319	2061	1876	2085	1391	1368	1387	1382	3710	3430	3263	3467
	Descompactado	0	3129	2513	2448	2697	1240	1438	1394	1357	4368	3951	3843	4054
G+LL	Descompactado	180	2582	2663	3308	2851	1295	1373	1489	1386	3877	4036	4796	4236
	Compactado	0	2713	3265	3028	3002	1408	1328	1380	1372	4121	4593	4408	4374
	Compactado	180	2844	3501	3071	3139	1305	1475	1528	1436	4149	4976	4599	4575
G+M	Descompactado	0	2939	2766	3330	3012	1323	1391	1567	1427	4262	4157	4897	4439
	Descompactado	180	3371	3457	3245	3358	1600	1709	1480	1596	4970	5166	4726	4954
	Compactado	0	3371	3198	3288	3286	1466	1527	1433	1475	4837	4725	4721	4761
	Compactado	180	3263	2874	2821	2986	1603	1414	1552	1523	4866	4288	4373	4509

Apêndice 6: continuação

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm				0 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			-----kg ha ⁻¹ -----											

P/M	Descompactado	0 ²	1611	1696	1644	1651	1054	1226	1147	1142	2665	2923	2791	2793
	Descompactado	180	1696	1993	1811	1833	1252	1298	1325	1292	2948	3291	3136	3125
	Compactado	0	1590	1633	1457	1560	1250	1240	1243	1244	2840	2872	2700	2804
Pan	Compactado	180	1654	1951	1644	1750	1227	1329	1237	1264	2881	3279	2881	3014
	Descompactado	0	1695	1608	1645	1649	1189	1108	1337	1212	2884	2716	2982	2861
	Descompactado	180	1790	2000	1907	1899	1293	1296	1356	1315	3083	3296	3262	3214
Desc	Compactado	0	2133	1738	1738	1870	1294	1284	1292	1290	3427	3022	3030	3160
	Compactado	180	2018	2056	1776	1950	1315	1411	1301	1342	3333	3468	3077	3293
	Descompactado	0	1528	1459	1521	1503	990	1033	1032	1019	2519	2492	2553	2521
Desc	Descompactado	180	1528	1582	1521	1544	953	1108	1069	1043	2481	2690	2589	2587
	Compactado	0	1340	1377	1438	1385	970	1165	1119	1085	2309	2542	2557	2470
	Compactado	180	1423	1397	1397	1406	1045	1009	1188	1081	2468	2407	2585	2487

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablab, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 7: Relação C/N, apenas no lado descompactado. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Doses N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
A+V/M rev ¹	0 ²	12,4	12,4	12,9	12,6	12,8	10,7	12,1	11,9
	180	13,4	12,1	13,0	12,8	12,2	11,3	11,5	11,7
A/M	0	12,1	12,2	12,5	12,3	11,2	10,5	10,0	10,6
	180	12,5	12,4	12,5	12,5	11,0	10,9	9,8	10,5
A+V/M+C	0	11,4	12,3	12,3	12,0	11,2	10,7	10,4	10,7
	180	11,7	11,6	12,5	11,9	10,7	10,5	10,8	10,7
LL+M	0	12,0	11,9	11,2	11,7	10,1	10,1	10,1	10,1
	180	11,8	12,3	12,4	12,2	11,2	10,3	9,9	10,5
A+V/M	0	11,7	12,2	11,9	12,0	11,7	9,4	11,4	10,8
	180	12,4	11,7	12,1	12,1	11,1	10,7	10,1	10,6
G+LL	0	12,9	12,2	11,8	12,3	12,0	10,2	10,5	10,9
	180	13,6	13,3	11,9	12,9	11,3	10,0	10,7	10,7
G+M	0	12,3	12,1	13,4	12,6	11,6	10,9	10,8	11,1
	180	12,6	13,3	14,0	13,3	11,4	10,1	10,6	10,7
P/M	0	12,0	12,4	12,2	12,2	11,6	11,0	10,7	11,1
	180	12,4	12,2	12,7	12,4	10,6	10,5	10,4	10,5
Pan	0	12,5	12,9	13,0	12,8	11,3	11,4	10,2	11,0
	180	12,3	12,7	12,3	12,4	10,6	10,8	10,3	10,6
Desc	0	12,8	13,6	12,7	13,0	12,8	11,0	11,3	11,7
	180	12,6	13,8	12,4	12,9	13,2	10,6	11,2	11,7

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lalab, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 8: Matéria seca da parte aérea do milho cultivado sob 10 sistemas de culturas e três doses de N na safra 2005/2006. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Doses de N kg ha ⁻¹	Matéria seca de milho			Média
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	
		-----Mg ha ⁻¹ -----			
A+V/M rev ¹	0 ²	4,62	6,60	3,03	4,75
	60	8,28	13,14	7,30	9,57
	180	7,01	11,25	7,52	8,59
A/M	0	4,20	4,91	4,28	4,46
	60	6,42	6,52	5,17	6,04
	180	6,07	5,52	6,04	5,88
A+V/M+C	0	3,82	6,12	5,09	5,01
	60	6,08	7,92	7,55	7,18
	180	5,30	7,02	6,72	6,35
LL+M	0	6,40	8,60	9,87	8,29
	60	8,17	8,05	8,46	8,23
	180	9,08	9,68	8,13	8,96
A+V/M	0	5,92	4,79	4,75	5,15
	60	7,32	9,02	6,68	7,67
	180	5,61	6,68	3,85	5,38
G+LL	0	7,85	13,50	6,43	9,26
	60	8,14	7,91	9,31	8,45
	180	7,52	9,02	8,46	8,33
G+M	0	7,82	10,72	7,99	8,84
	60	10,19	7,46	10,32	9,32
	180	8,88	9,25	8,98	9,04
P/M	0	5,36	6,12	4,96	5,48
	60	6,66	9,14	5,53	7,11
	180	6,24	7,42	7,50	7,05
Pan	0	3,73	4,08	2,81	3,54
	60	4,29	6,33	4,07	4,90
	180	8,48	8,35	6,87	7,90
Desc	0	3,08	3,44	4,82	3,78
	60	4,34	3,61	5,89	4,61
	180	4,13	4,28	4,43	4,28

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lalab, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0, 60 e 180 = 0, 60 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ aplicados na cultura do milho na safra 2005/2006, respectivamente.

Apêndice 9: Quantidade de nitrogênio acumulado pela parte aérea de milho sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio na safra 2005/2006. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Doses de N kg ha ⁻¹	N acumulado pelo milho			Média
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	
		-----Mg ha ⁻¹ -----			
A+V/M rev ¹	0 ²	36,1	91,9	67,8	65,3
	60	106,0	154,6	116,4	125,7
	180	121,7	167,7	120,9	136,8
A/M	0	33,4	31,1	42,5	35,7
	60	57,8	63,2	49,3	56,8
	180	106,4	90,5	89,4	95,4
A+V/M+C	0	26,6	48,6	54,7	43,3
	60	58,5	98,3	103,2	86,6
	180	96,2	117,9	131,1	115,1
LL+M	0	86,0	130,2	143,1	119,8
	60	127,2	93,7	110,9	110,6
	180	155,7	161,3	158,5	158,5
A+V/M	0	104,4	41,1	39,6	61,7
	60	67,8	130,9	75,7	91,5
	180	98,2	120,9	109,6	109,6
G+LL	0	91,3	214,5	69,9	125,2
	60	100,8	107,3	119,6	109,2
	180	133,1	156,2	135,1	141,5
G+M	0	100,6	127,9	91,7	106,7
	60	127,1	104,3	149,9	127,1
	180	155,2	167,5	158,8	160,5
P/M	0	40,4	49,7	34,4	41,5
	60	64,9	103,9	47,0	72,0
	180	112,4	124,4	114,4	117,1
Pan	0	33,1	35,5	25,9	31,5
	60	36,1	68,6	35,8	46,8
	180	120,8	126,1	108,2	118,4
Desc	0	25,8	33,5	44,9	34,7
	60	55,9	47,5	64,4	55,9
	180	84,6	91,4	67,0	81,0

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0, 60 e 180 = 0, 60 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ aplicados na cultura do milho na safra 2005/2006, respectivamente.

Apêndice 10: Rendimento de grãos de milho (12,5% de umidade) sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio na safra 2005/2006. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Doses de N kg ha ⁻¹	Rendimento de grãos			Média
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	
		-----Mg ha ⁻¹ -----			
A+V/M rev ¹	0 ²	4,88	5,93	4,26	5,02
	60	6,52	8,61	8,81	7,98
	180	9,39	12,36	9,95	10,57
A/M	0	4,28	2,71	5,28	4,09
	60	6,84	6,57	6,32	6,58
	180	9,87	8,81	8,32	9,00
A+V/M+C	0	1,11	5,13	6,35	4,20
	60	6,28	8,10	8,52	7,63
	180	6,84	9,33	8,27	8,15
LL+M	0	9,39	6,66	8,76	8,27
	60	9,65	10,14	10,47	10,08
	180	9,39	9,38	9,23	9,33
A+V/M	0	6,08	4,62	3,46	4,72
	60	7,21	9,61	6,68	7,83
	180	9,06	6,66	7,86	7,86
G+LL	0	9,65	8,81	8,94	9,13
	60	9,57	10,14	8,34	9,35
	180	8,94	10,52	9,43	9,63
G+M	0	8,25	8,65	10,27	9,05
	60	10,25	10,28	7,85	9,46
	180	7,48	9,05	9,54	8,69
P/M	0	3,91	3,26	3,72	3,63
	60	6,66	6,73	7,32	6,90
	180	9,43	9,96	10,01	9,80
Pan	0	5,37	3,15	2,09	3,54
	60	5,71	6,92	5,99	6,20
	180	8,46	8,48	9,48	8,81
Desc	0	2,64	2,75	3,32	2,90
	60	5,86	5,58	8,70	6,71
	180	5,68	6,19	6,23	6,03

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0, 60 e 180 = 0, 60 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ aplicados na cultura do milho na safra 2005/2006, respectivamente.

Apêndice 11: Quantidade de nitrogênio acumulado pelos grãos de milho sob 10 sistemas de culturas e três doses de nitrogênio na safra 2005/2006. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Doses de N kg ha ⁻¹	Nitrogênio acumulado pelo grão			Média
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	
		-----Mg ha ⁻¹ -----			
A+V/M rev ¹	0 ²	46,1	71,5	43,9	53,8
	60	83,2	112,8	109,0	101,7
	180	146,8	191,9	164,8	167,8
A/M	0	43,5	29,0	58,3	43,6
	60	64,9	65,6	67,0	65,8
	180	129,8	133,5	131,7	131,7
A+V/M+C	0	11,8	53,7	71,9	45,8
	60	72,5	107,7	124,3	101,5
	180	94,7	141,2	122,1	119,3
LL+M	0	149,7	69,1	113,9	110,9
	60	157,4	146,4	147,6	150,4
	180	153,3	157,7	141,2	150,7
A+V/M	0	60,9	48,3	38,6	49,3
	60	93,8	112,4	103,1	103,1
	180	134,4	100,9	128,9	121,4
G+LL	0	127,5	132,6	123,2	127,8
	60	136,2	153,7	118,6	136,2
	180	135,8	165,4	145,8	149,0
G+M	0	128,2	119,3	135,0	127,5
	60	162,8	159,9	113,2	145,3
	180	120,0	142,4	145,7	136,1
P/M	0	38,7	38,0	37,1	38,0
	60	67,1	86,4	74,5	76,0
	180	135,5	143,8	146,9	142,1
Pan	0	53,5	32,5	22,9	36,3
	60	61,0	72,3	64,4	65,9
	180	112,1	109,3	145,0	122,1
Desc	0	27,8	30,9	32,3	30,3
	60	61,0	59,3	110,7	77,0
	180	86,7	92,8	80,8	86,8

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0, 60 e 180 = 0, 60 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ aplicados na cultura do milho na safra 2005/2006, respectivamente.

Apêndice 12: Produção de matéria seca da parte aérea da aveia preta sob 10 sistemas de culturas, cultivada no inverno de 2006. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Doses de N kg ha ⁻¹	Matéria seca da aveia preta			Média
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	
		-----Mg ha ⁻¹ -----			
A+V/M rev ¹	0 ²	2,96	3,34	2,67	2,99
	60	4,11	4,15	4,44	4,23
	180	5,80	5,36	8,58	6,58
A/M	0	1,66	1,15	3,01	1,94
	60	1,69	1,81	2,68	2,06
	180	4,89	4,86	5,16	4,97
A+V/M+C	0	2,49	4,84	4,15	3,83
	60	3,86	4,78	4,90	4,51
	180	5,90	3,53	5,30	4,91
LL+M	0	7,28	10,04	6,84	8,05
	60	6,00	7,08	7,57	6,88
	180	8,64	8,35	11,12	9,37
A+V/M	0	3,04	3,13	2,48	2,88
	60	4,38	3,97	3,34	3,90
	180	8,61	5,36	4,81	6,26
G+LL	0	6,22	5,97	6,36	6,18
	60	7,13	5,61	5,81	6,18
	180	5,59	7,88	6,72	6,73
G+M	0	4,48	8,33	9,27	7,36
	60	7,58	6,14	7,20	6,98
	180	11,08	9,86	8,40	9,78
P/M	0	3,60	2,00	2,66	2,75
	60	3,21	2,51	3,77	3,16
	180	4,87	5,57	4,25	4,90
Pan	0	3,50	2,55	4,22	3,42
	60	1,90	4,35	2,43	2,89
	180	5,33	6,88	5,03	5,75
Desc	0	1,89	1,71	1,93	1,84
	60	2,14	2,34	3,08	2,52
	180	5,96	4,37	4,33	4,89

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0, 60 e 180 = 0, 60 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ aplicados na cultura do milho na safra 2005/2006, respectivamente.

Apêndice 13: Quantidade de N acumulado pela parte aérea da aveia preta cultivada no inverno de 2006. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Doses de N kg ha ⁻¹	Nitrogênio acumulado pelo aveia			Média
		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	
		-----Mg ha ⁻¹ -----			
A+V/M rev ¹	0 ²	29,0	34,0	27,0	30,0
	60	39,6	50,8	45,7	45,4
	180	61,1	59,0	93,5	71,2
A/M	0	18,9	13,2	34,2	22,1
	60	17,4	20,9	26,2	21,5
	180	49,8	58,4	62,9	57,0
A+V/M+C	0	25,8	43,6	46,7	38,7
	60	38,3	48,7	51,3	46,1
	180	72,3	40,8	74,7	62,6
LL+M	0	73,0	105,6	81,1	86,5
	60	61,7	75,8	89,6	75,7
	180	117,0	163,7	161,2	147,3
A+V/M	0	30,5	33,4	25,4	29,8
	60	42,9	35,0	34,7	37,5
	180	104,0	68,9	44,9	72,6
G+LL	0	100,2	70,9	73,1	81,4
	60	97,1	67,6	72,2	78,9
	180	66,7	105,0	81,9	84,5
G+M	0	61,4	117,8	123,4	100,8
	60	104,2	88,0	82,7	91,6
	180	162,5	151,0	126,7	146,8
P/M	0	31,6	19,2	21,8	24,2
	60	26,4	22,0	30,8	26,4
	180	47,2	63,0	39,5	49,9
Pan	0	37,2	28,6	41,4	35,7
	60	24,8	47,3	32,7	34,9
	180	53,5	87,3	74,2	71,7
Desc	0	17,1	17,1	18,4	17,5
	60	22,0	20,8	30,1	24,3
	180	67,9	59,0	43,4	56,8

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0, 60 e 180 = 0, 60 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ aplicados na cultura do milho na safra 2005/2006, respectivamente.

Apêndice 14: Concentração de N no grão do milho (100% de matéria seca) na safra 2005/2006 em 7 sistemas de culturas e duas doses de N. EEA-UFRGS, 2006.

Tratamentos	Concentração de N no grão (%)	
	Doses de N (kg ha ⁻¹)	
	0	180
A+V/M rev	1,21	1,82
A/M	1,22	1,62
A+V/M+C	1,24	1,67
LL+M	1,50	1,84
A+V/M	1,20	1,77
G+M	1,62	1,79
P/M	1,20	1,66

Apendice 15: Rendimento de grãos de milho (12,5% H₂O) em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 10 sistemas de culturas e duas doses de nitrogênio, em experimento conduzido há 24 anos. EEA-UFRGS, 2006.

Culturas	A+V/M		A/M		A+V/M+C		LL/M		A+V/M		G/M		P/M		
	0	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0	180	
N kg/há	Mg ha ⁻¹														
Safra	Ano	-----													
1983/84	1°														
1984/85	2°			2,44	4,69	3,75	3,8	2,82	3,25	5,32	5,49			2,04	3,29
1985/86	3°			2,32	3,38	1,84	2,36	1,78	2,26	2,55	2,5	2,96	3,1	2,06	3,36
1986/87	4°			1,54	5,88	3,25	6,44	2,66	5,48	2,82	7	3,63	6,62	0,88	5,38
1987/88	5°			1,91	4,75	3	5,51	3,58	5,21	2,65	5,41	4,78	6,33	1,74	4,98
1988/89	6°	6,5	6,36	1,8	6,65	4,65	6,9	5,95	6,86	4,11	7,47	6,2	6,88	2,34	6,03
1989/90	7°	3,04	4,6	2,39	5,62	3,41	5,51	3,91	4,98	2,43	5,49	3,67	4,98	1,86	5,1
1990/91	8°	4,12	6,49	2,66	6,01	3,47	5,27	3,24	4,81	2,81	6	3,36	5,78	2,2	5,69
1991/92	9°	5,51	7,18	2,67	6,93	3,82	6,97	5,32	6,48	4,22	7,53	4,61	6,89	2,42	6,56
1992/93	10°	4,8	6,21	2,55	6	4,25	6,14	4,57	5,76	3,48	5,91	1,5	3,82	2,45	5,79
1993/94	11°	6,78	7,08	2,36	7,63	6,36	8,25	6,56	7,23	5,82	7,94	6,15	7,94	2,2	7,1
1994/95	12°			1,85	6,31	3,29	6,2	3,29	6,20	2,72	6,31			2	6,2
1995/96	13°	4,83	9,46	2,47	8,62	4,19	9,03	5,57	8,19	3,51	7,88	5,1	8,43	2,03	8,12
1996/97	14°	3,82	7,75	1,83	7,98	3,04	7,39	2,85	7,03	2,31	6,22	5	7,75	1,05	6,37
1997/98	15°	8,65	11,5	5,25	10,06	6,81	9,67	5,83	10,26	6,15	9,64	6,77	9,63	2,78	9
1998/99	16°	7,54	11,75	2,88	10,9	7,72	10,06	5,96	9,80	6,15	10,04			2,44	11,04
1999/00	17°	6,32	9,14	1,67	7,56	5,73	7,6			5,04	7,26			2,58	7,42
2000/01	18°	6,03	10,59	2,63	9,75	4,14	9,44	6,59	9,74	3,18	8,62	7,82	9,07	2,61	9,18
2001/02	19°	4,51	7,87	4,08	8,88	6,06	9,45	3,91	6	4,61	7,43	4,41	7,91	3,95	7,66
2002/03	20°			2,07	7,55	4,02	7,57	3,63	8,65	2,9	7,49	4,36	7,54	1,25	7,43
2003/04	21°	3,85	6,757	3,285	8,91	3,819	8,68	4,306	10,868	3,312	7,29	1,91	2,41	2,014	10,24
2004/05	22°	2,69	6,799	2,333	5,11	5,389	6,62			4,216	4,33			2,441	5,23

¹A=aveia, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apendice 16: Quantidade de N exportado pelos de grãos de milho em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 10 sistemas de culturas e duas doses de nitrogênio segundo a equação $Y = 10,08 + 13,76X$, descrita por Lovato (2001). EEA-UFRGS, 2006.

Sistema de culturas		A+V/M ver		A/M		A+V/M+C		LL/M		A+V/M		G/M		P/M	
N kg/há		0	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0	180
Safra	Ano	-----kg ha ⁻¹ -----													
1983/84	1°														
1984/85	2°			19,1	46,1	34,8	35,4	23,7	28,8	53,6	55,6			14,3	29,3
1985/86	3°			17,7	30,4	11,9	18,2	11,2	17,0	20,4	19,8	25,4	27,0	14,6	30,1
1986/87	4°			8,4	60,3	28,8	67,0	21,8	55,5	23,7	73,7	33,4	69,2	0,5	54,3
1987/88	5°			12,8	46,8	25,8	55,9	32,8	52,3	21,6	54,7	47,1	65,7	10,7	49,5
1988/89	6°	67,7	66,1	11,5	69,5	45,6	72,5	61,1	72,0	39,1	79,3	64,1	72,3	17,9	62,1
1989/90	7°	26,3	45,0	18,5	57,2	30,7	55,9	36,7	49,5	19,0	55,6	33,9	49,5	12,2	51,0
1990/91	8°	39,2	67,6	21,8	61,9	31,5	53,0	28,7	47,5	23,6	61,7	30,1	59,1	16,3	58,0
1991/92	9°	55,9	75,9	21,9	72,9	35,6	73,4	53,6	67,5	40,4	80,1	45,1	72,4	18,9	68,5
1992/93	10°	47,4	64,3	20,4	61,7	40,8	63,4	44,6	58,9	31,6	60,7	7,9	35,6	19,2	59,2
1993/94	11°	71,1	74,7	18,2	81,3	66,1	88,7	68,5	76,5	59,6	85,0	63,5	85,0	16,3	74,9
1994/95	12°			12,1	65,5	29,3	64,1	29,3	64,1	22,5	65,5			13,9	64,1
1995/96	13°	47,7	103,2	19,5	93,1	40,1	98,0	56,6	88,0	31,9	84,3	51,0	90,8	14,2	87,1
1996/97	14°	35,6	82,7	11,8	85,5	26,3	78,4	24,0	74,1	17,6	64,4	49,8	82,7	2,5	66,2
1997/98	15°	93,5	127,6	52,8	110,4	71,4	105,7	59,7	112,7	63,5	105,3	71,0	105,2	23,2	97,7
1998/99	16°	80,2	130,6	24,4	120,4	82,3	110,4	61,3	107,2	63,5	110,1			19,1	122,1
1999/00	17°	65,6	99,3	9,9	80,4	58,5	80,9			50,3	76,8			20,8	78,7
2000/01	18°	62,1	116,7	21,4	106,6	39,5	102,9	68,8	106,5	28,0	93,1	83,5	98,5	21,2	99,8
2001/02	19°	43,9	84,1	38,8	96,2	62,5	103,0	36,7	61,7	45,1	78,9	42,7	84,6	37,2	81,6
2002/03	20°			14,7	80,3	38,0	80,5	33,4	93,5	24,6	79,6	42,1	80,2	4,9	78,9
2003/04	21°	36,1	70,8	29,2	96,6	35,6	93,8	41,5	120,0	29,6	77,2	12,8	18,8	14,0	112,5
2004/05	22°	22,1	71,3	17,8	51,0	54,4	69,1			40,4	41,8			19,1	52,6
Média		53,0	85,3	20,1	75,0	42,4	74,8	41,8	71,2	35,7	71,6	44,0	68,5	15,8	70,4
Soma		794,4	1279,8	422,6	1574,0	889,8	1570,3	794,0	1353,5	749,7	1503,3	703,4	1096,7	331,0	1478,4

¹A=aveia, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apendice 17: Quantidade de N exportado pelos de grãos de milho em um ARGISSOLO VERMELHO distrófico, sob 10 sistemas de culturas e duas doses de nitrogênio, utilizando as concentrações de N no grão da safra 2005/2006. EEA-UFRGS, 2006.

Sistema de Culturas		A+V/M		A/M		A+V/M+C		LL/M		A+V/M		G/M		P/M	
N kg/há		0	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0	180	0	180
Safra	Ano	-----kg ha ⁻¹ -----													
1983/84	1°														
1984/85	2°			25,9	66,1	40,5	55,2	36,8	52,0	55,5	84,5			21,3	47,5
1985/86	3°			24,6	47,6	19,8	34,3	23,2	36,2	26,6	38,5	41,7	48,3	21,5	48,5
1986/87	4°			16,3	82,9	35,1	93,6	34,7	87,7	29,4	107,8	51,2	103,1	9,2	77,7
1987/88	5°			20,3	66,9	32,4	80,1	46,7	83,4	27,7	83,3	67,4	98,6	18,2	71,9
1988/89	6°	68,4	100,7	19,1	93,7	50,2	100,3	77,6	109,8	42,9	115,0	87,4	107,1	24,4	87,1
1989/90	7°	32,0	72,8	25,4	79,2	36,8	80,1	51,0	79,7	25,4	84,5	51,7	77,6	19,4	73,7
1990/91	8°	43,4	102,8	28,2	84,7	37,4	76,6	42,3	77,0	29,3	92,4	47,4	90,0	23,0	82,2
1991/92	9°	58,0	113,7	28,3	97,7	41,2	101,3	69,4	103,7	44,1	116,0	65,0	107,3	25,3	94,7
1992/93	10°	50,5	98,3	27,1	84,6	45,8	89,2	59,6	92,2	36,3	91,0	21,1	59,5	25,6	83,6
1993/94	11°	71,4	112,1	25,0	107,5	68,6	119,9	85,6	115,7	60,8	122,3	86,7	123,6	23,0	102,5
1994/95	12°			19,6	88,9	35,5	90,1	42,9	99,2	28,4	97,2			20,9	89,5
1995/96	13°	50,8	149,8	26,2	121,5	45,2	131,2	72,7	131,1	36,6	121,3	71,9	131,3	21,2	117,3
1996/97	14°	40,2	122,7	19,4	112,5	32,8	107,4	37,2	112,5	24,1	95,8	70,5	120,7	11,0	92,0
1997/98	15°	91,1	182,1	55,7	141,8	73,5	140,5	76,1	164,2	64,2	148,4	95,4	150,0	29,0	130,0
1998/99	16°	79,4	186,0	30,6	153,6	83,3	146,2	77,8	156,9	64,2	154,6			25,5	159,4
1999/00	17°	66,5	144,7	17,7	106,6	61,8	110,4			52,6	111,8			26,9	107,2
2000/01	18°	63,5	167,7	27,9	137,4	44,7	137,2	86,0	155,9	33,2	132,7	110,2	141,2	27,2	132,6
2001/02	19°	47,5	124,6	43,3	125,2	65,4	137,3	51,0	96,0	48,1	114,4	62,2	123,2	41,2	110,6
2002/03	20°			22,0	106,4	43,4	110,0	47,4	138,5	30,3	115,3	61,4	117,4	13,1	107,3
2003/04	21°	40,6	107,0	34,9	125,6	41,2	126,1	56,2	174,0	34,6	112,3	26,9	37,5	21,0	147,9
2004/05	22°	28,3	107,7	24,8	72,0	58,1	96,1			44,0	66,7			25,5	75,6
Média		55,4	126,2	26,8	100,1	47,3	103,0	56,5	108,7	39,9	105,0	63,6	102,3	22,5	97,1
Soma		831,6	1892,7	562,4	2102,3	992,6	2162,8	1074,4	2066,0	838,4	2206,0	1018,0	1636,4	473,3	2038,9

¹A=aveia, C=caupi, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 18: Valores de pH em água nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			-----pH-----							
A+V/M rev ¹	Descompactado	0 ²	5,4	5,4	5,6	5,5	5,2	5,5	5,5	5,4
	Descompactado	180	4,8	5	5	4,9	5,3	5,3	5,0	5,2
	Compactado	0	4,7	4,8	4,9	4,8	4,7	4,8	4,8	4,8
A/M	Compactado	180	4,3	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,3	4,4
	Descompactado	0	5,4	5,5	5,3	5,4	5,3	5,4	5,1	5,3
	Descompactado	180	4,9	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,6	4,7
A+V/M+C	Compactado	0	5,2	5,2	4,9	5,1	5,1	5,1	4,7	5,0
	Compactado	180	4,6	4,6	4,4	4,6	4,5	4,7	4,4	4,5
	Descompactado	0	4,7	5,3	4,8	5	4,7	5,2	4,8	4,9
LL+M	Descompactado	180	4,4	4,6	4,5	4,5	4,6	4,6	4,4	4,5
	Compactado	0	4,6	5,1	4,7	4,8	4,6	4,9	4,6	4,7
	Compactado	180	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4	4,6	4,4	4,5
A+V/M	Descompactado	0	5,4	5,2	5,6	5,4	5,1	5,1	5,0	5,1
	Descompactado	180	5,1	5,4	5,3	5,3	5,0	5,0	4,7	4,9
	Compactado	0	5,4	5,2	5,2	5,3	5,1	4,8	4,7	4,9
G+LL	Compactado	180	5,2	5,2	5,5	5,3	4,8	4,9	4,7	4,8
	Descompactado	0	5,1	4,9	5	5	5,0	4,9	4,9	4,9
	Descompactado	180	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6	4,4	4,5
G+M	Compactado	0	4,7	4,8	4,8	4,8	4,7	4,7	4,7	4,7
	Compactado	180	4,5	4,4	4,4	4,4	4,6	4,4	4,4	4,4
	Descompactado	0	5	5,4	5,5	5,3	4,8	5,0	4,8	4,9
G+LL	Descompactado	180	5,1	5,6	5,1	5,3	4,8	5,0	4,7	4,8
	Compactado	0	4,6	5,3	5,1	5	4,7	4,7	4,6	4,7
	Compactado	180	4,6	5,3	5,1	5	4,6	4,8	4,7	4,7
G+M	Descompactado	0	4,9	4,7	4,8	4,8	5,2	4,8	4,7	4,9
	Descompactado	180	4,6	4,7	4,4	4,6	4,8	4,6	4,3	4,6
	Compactado	0	4,6	4,6	4,7	4,6	4,8	4,8	4,5	4,7
	Compactado	180	4,4	4,3	4,3	4,4	4,6	4,5	4,3	4,4

Apêndice 18: continuação

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			-----pH-----							
P/M	Descompactado	0	5,4	5,5	5,8	5,5	5,2	5,1	5,3	5,2
	Descompactado	180	4,8	5	5,2	5	4,9	4,9	5,0	4,9
	Compactado	0	5	5,1	5,4	5,2	5,1	5,0	5,2	5,1
	Compactado	180	4,6	4,6	4,5	4,5	4,6	4,7	4,6	4,6
Pan	Descompactado	0	5,9	5,8	5,8	5,8	5,7	5,8	5,4	5,6
	Descompactado	180	5,4	5,4	5,4	5,4	5,3	5,5	5,3	5,4
	Compactado	0	5,5	5,5	5,7	5,6	5,6	5,4	5,3	5,4
Desc	Compactado	180	5,2	5,2	5,3	5,2	5,3	5,2	5,0	5,2
	Descompactado	0	5,4	5,4	5	5,3	5,3	5,3	4,8	5,1
	Descompactado	180	5,2	5,2	5	5,1	5,1	5,1	4,7	5,0
	Compactado	0	5	5	4,8	4,9	5,1	5,0	4,9	5,0
	Compactado	180	4,8	5	4,8	4,9	4,9	5,1	4,9	5,0

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 19: Valores de pH SMP nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
A+V/M rev ¹	Descompactado	0 ²	6,1	6,2	6,3	6,2	5,9	6,2	6,1	6,1
	Descompactado	180	5,7	5,8	5,8	5,8	6,0	6,1	5,9	6,0
	Compactado	0	5,5	5,8	6	5,8	5,4	5,7	5,5	5,6
	Compactado	180	4,9	5,4	5,4	5,2	4,9	5,3	4,9	5,1
A/M	Descompactado	0	6,1	6,2	6,1	6,1	6,2	6,2	5,9	6,1
	Descompactado	180	5,7	5,8	5,8	5,7	5,8	5,8	5,6	5,7
	Compactado	0	5,9	6	5,8	5,9	5,8	5,9	5,8	5,8
A+V/M+C	Compactado	180	5,5	5,7	5,6	5,6	5,4	5,6	5,1	5,4
	Descompactado	0	5,6	6,2	5,8	5,9	5,6	6,1	5,9	5,9
	Descompactado	180	5,1	5,7	5,3	5,4	5,3	5,7	5,2	5,4
LL+M	Compactado	0	5,6	6	5,7	5,8	5,5	5,9	5,5	5,6
	Compactado	180	5,4	5,7	5,4	5,5	5,3	5,4	5,2	5,3
	Descompactado	0	6,3	6,4	6,4	6,3	5,8	5,9	5,9	5,9
A+V/M	Descompactado	180	5,8	6,2	6,2	6,1	5,7	5,6	5,7	5,7
	Compactado	0	6,2	6,3	6,2	6,3	5,9	5,8	5,8	5,8
	Compactado	180	5,8	6,1	6,3	6,1	5,6	5,9	5,6	5,7
G+LL	Descompactado	0	5,9	5,9	5,9	5,9	5,8	5,9	5,5	5,8
	Descompactado	180	5,5	5,6	5,4	5,5	5,3	5,4	5,2	5,3
	Compactado	0	5,7	5,7	5,9	5,8	5,8	5,6	5,8	5,7
G+M	Compactado	180	5,4	5,6	5,5	5,5	5,4	5,3	5,1	5,3
	Descompactado	0	5,8	6,2	6,2	6,1	5,6	5,9	5,8	5,8
	Descompactado	180	5,9	6,4	6	6,1	5,6	6,0	5,7	5,8
G+LL	Compactado	0	5,4	6,2	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,6
	Compactado	180	5,5	6	6	5,9	5,6	5,5	5,7	5,6
	Descompactado	0	5,6	5,7	5,8	5,7	5,9	5,7	5,7	5,7
G+M	Descompactado	180	5,4	5,6	5,3	5,5	5,5	5,7	5,4	5,6
	Compactado	0	5,3	5,7	5,6	5,6	5,6	5,7	5,5	5,6
	Compactado	180	4,4	4,3	4,3	4,4	5,2	5,3	5,2	5,2

Apêndice 19: continuação

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
P/M	Descompactado	0	6,2	6,2	6,4	6,3	6,1	5,9	6,0	6,0
	Descompactado	180	5,9	5,9	6,1	6	5,6	6,0	5,8	5,8
	Compactado	0	5,9	6	6,1	6	5,7	5,7	5,9	5,8
	Compactado	180	5,5	5,6	5,4	5,5	5,2	5,6	5,3	5,4
Pan	Descompactado	0	6,3	6,5	6,3	6,4	6,2	6,3	6,2	6,2
	Descompactado	180	6,1	6,3	6,2	6,2	6,1	6,2	5,9	6,1
	Compactado	0	6,1	6,2	6,2	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
Desc	Compactado	180	5,9	5,8	5,8	5,8	6,0	6,1	5,8	6,0
	Descompactado	0	6,2	6,4	6,1	6,2	5,6	6,0	5,8	5,8
	Descompactado	180	6	6,3	5,9	6,1	5,7	5,9	5,4	5,6
	Compactado	0	6	5,9	5,9	5,9	5,9	5,7	5,7	5,8
	Compactado	180	5,7	5,9	5,8	5,8	5,7	5,8	5,7	5,7

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 20: Valores de AI trocável nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. Estação Experimental Agronômica da UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2005.

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			-----cmol _c dm ⁻³ -----							
A+V/M rev ¹	Descompactado	0 ²	0,1	0	0	0	0,4	0,0	0,0	0,1
	Descompactado	180	0,6	0,2	0,5	0,4	0,5	0,4	0,9	0,6
	Compactado	0	1,1	0,6	0,7	0,8	1,8	1,7	1,8	1,8
A/M	Compactado	180	2,1	1,2	2	1,8	3,1	2,6	3,0	2,9
	Descompactado	0	0,1	0	0,3	0,1	0,6	0,6	1,2	0,8
	Descompactado	180	0,6	0,8	1,5	1	1,5	1,5	2,0	1,7
A+V/M+C	Compactado	0	0,2	0,3	0,9	0,5	1,1	1,2	1,6	1,3
	Compactado	180	1,2	1,2	2,1	1,5	2,3	1,7	2,5	2,2
	Descompactado	0	0,8	0	0,5	0,4	1,7	0,7	1,1	1,2
LL+M	Descompactado	180	1,5	1	1,2	1,2	2,3	1,9	2,2	2,1
	Compactado	0	1,2	0,3	1,3	0,9	1,9	1,2	1,8	1,6
	Compactado	180	1,1	1,2	1,8	1,4	2,6	2,2	2,4	2,4
A+V/M	Descompactado	0	0	0	0	0	0,9	0,6	0,9	0,8
	Descompactado	180	0,1	0	0,1	0,1	0,9	0,8	1,2	1,0
	Compactado	0	0	0	0,2	0,1	0,8	1,1	1,5	1,1
G+LL	Compactado	180	0,3	0,1	0	0,1	1,3	0,9	1,4	1,2
	Descompactado	0	0,2	0,5	0,6	0,4	0,8	1,3	1,7	1,3
	Descompactado	180	0,9	1,5	2	1,4	2,0	2,6	2,6	2,4
G+M	Compactado	0	0,6	1,2	1	0,9	1,2	1,9	1,9	1,7
	Compactado	180	1,2	1,6	1,8	1,6	2,0	3,0	3,1	2,7
	Descompactado	0	0,1	0	0	0	1,3	0,8	1,4	1,1
G+LL	Descompactado	180	0,1	0	0,1	0	1,1	0,7	1,5	1,1
	Compactado	0	0,7	0	0,1	0,3	1,6	1,5	1,6	1,6
	Compactado	180	0,6	0	0,1	0,3	1,8	1,2	1,5	1,5
G+M	Descompactado	0	0,2	0,4	0,4	0,3	0,5	1,2	1,3	1,0
	Descompactado	180	0,6	0,4	1,4	0,8	1,1	1,2	2,2	1,5
	Compactado	0	0,6	0,5	0,8	0,7	1,3	1,3	1,7	1,4
	Compactado	180	1	1,1	1,6	1,2	1,9	1,9	2,6	2,2

Apêndice 20: continuação

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			----- cmol _c dm ⁻³ -----							
P/M	Descompactado	0	0,1	0	0	0	0,7	1,1	0,8	0,9
	Descompactado	180	0,8	0,4	0,3	0,5	1,5	1,3	1,1	1,3
	Compactado	0	0,6	0,4	0,1	0,4	1,3	1,3	0,8	1,1
	Compactado	180	1,3	1,3	1,8	1,5	2,5	1,8	2,6	2,3
Pan	Descompactado	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,1	0,0
	Descompactado	180	0,1	0	0,1	0,1	0,5	0,0	0,7	0,4
	Compactado	0	0	0,1	0	0	0,0	0,7	0,8	0,5
Desc	Compactado	180	0,2	0,3	0,4	0,3	0,6	0,5	1,5	0,9
	Descompactado	0	0,1	0,1	0,5	0,3	1,1	0,7	1,5	1,1
	Descompactado	180	0,3	0,2	1,2	0,6	1,2	0,9	2,0	1,4
	Compactado	0	0,6	1	1,2	0,9	0,8	1,5	1,5	1,3
	Compactado	180	1,1	0,7	1,3	1	1,2	1,2	1,5	1,3

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 21: Teores de P nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2006.

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			mg dm ⁻³							
A+V/M rev ¹	Descompactado	0 ²	17,4	29,8	19,4	22,2	10,0	19,4	6,6	12,0
	Descompactado	180	15,5	23,8	18,7	19,3	8,4	10,7	8,9	9,3
	Compactado	0	14,7	23,7	38,2	25,5	9,1	37,9	26,3	24,4
	Compactado	180	13,3	25	36,3	24,9	10,1	23,0	35,6	22,9
A/M	Descompactado	0	31,8	37,1	50,2	39,7	17,5	15,3	10,5	14,4
	Descompactado	180	25,6	14,2	37,5	25,8	27,8	7,1	8,3	14,4
	Compactado	0	33,5	63,8	37,1	44,8	14,7	33,6	12,6	20,3
A+V/M+C	Compactado	180	20	18,5	46,8	28,4	13,2	6,0	30,5	16,6
	Descompactado	0	22,3	24,5	29,5	25,5	16,7	20,6	16,6	18,0
	Descompactado	180	16,4	14,3	24,7	18,5	13,1	11,8	14,3	13,1
LL+M	Compactado	0	16,5	20,5	27,8	21,6	10,9	6,4	10,2	9,1
	Compactado	180	19,8	16,1	24,7	20,2	16,2	10,8	20,5	15,8
	Descompactado	0	32,3	28,7	35,1	32	11,9	6,3	14,7	11,0
A+V/M	Descompactado	180	24,4	22	60,8	35,7	16,6	9,2	34,4	20,1
	Compactado	0	27,2	17,6	27,4	24,1	14,0	5,0	10,0	9,7
	Compactado	180	24,6	20,8	27,7	24,4	8,0	5,2	8,9	7,4
G+LL	Descompactado	0	15,8	19,7	37,5	24,3	12,6	8,8	38,3	19,9
	Descompactado	180	20,3	24,7	24,2	23,1	19,1	9,6	14,7	14,5
	Compactado	0	20,3	28,8	29	26	6,9	22,9	16,8	15,5
G+M	Compactado	180	17,4	34	30,5	27,3	15,3	23,1	15,0	17,8
	Descompactado	0	10,2	7	23,3	13,5	6,0	2,9	5,0	4,6
	Descompactado	180	9,8	10,7	27	15,8	6,1	3,4	6,0	5,2
G+M	Compactado	0	10,6	12,3	23,5	15,5	5,0	3,6	8,9	5,8
	Compactado	180	9,2	9,2	17,5	11,9	4,8	2,7	6,5	4,7
	Descompactado	0	26,9	22,6	39,4	29,7	11,4	4,3	15,4	10,4
G+M	Descompactado	180	20,8	33	44,2	32,6	9,7	11,0	14,2	11,7
	Compactado	0	23,3	47,1	43,9	38,1	10,7	12,3	10,4	11,1
	Compactado	180	17,9	45,7	28,1	30,6	9,1	8,9	8,9	9,0

Apêndice 21: continuação

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			mg dm ⁻³							
P/M	Descompactado	0	48	34,9	34,9	39,3	31,0	21,9	8,7	20,5
	Descompactado	180	29,5	13,5	30,2	24,4	24,1	7,7	11,3	14,4
	Compactado	0	34,5	31,1	52,9	39,5	15,0	11,2	24,1	16,7
	Compactado	180	19,4	20,6	33,4	24,5	8,3	9,9	16,4	11,5
Pan	Descompactado	0	8	6,8	11,6	8,8	4,8	2,3	3,7	3,6
	Descompactado	180	5,2	7,6	7,2	6,6	4,4	4,1	3,4	4,0
	Compactado	0	5,5	4,5	13,2	7,7	4,0	2,2	3,1	3,1
	Compactado	180	3,7	4,9	9,9	6,2	3,5	2,4	3,8	3,2
Desc	Descompactado	0	10,7	5,1	12,8	9,5	5,8	2,2	4,0	4,0
	Descompactado	180	5,7	7,1	9,7	7,5	5,0	3,4	3,1	3,8
	Compactado	0	8,5	9,8	9,6	9,3	2,6	4,6	2,6	3,3
	Compactado	180	6,7	5,7	9,6	7,3	2,1	2,5	3,4	2,7

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 22: Teores de K nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			mg dm ⁻³							
A+V/M rev ¹	Descompactado	0 ²	236	297	252	261	87	195	108	130
	Descompactado	180	186	223	234	214	69	112	97	93
	Compactado	0	146	255	260	220	79	154	167	133
	Compactado	180	210	295	192	232	92	126	72	97
A/M	Descompactado	0	213	248	186	216	130	176	115	140
	Descompactado	180	184	236	172	197	111	128	105	115
	Compactado	0	258	286	233	259	144	204	126	158
A+V/M+C	Compactado	180	220	234	178	211	97	99	84	93
	Descompactado	0	209	340	243	264	82	197	115	132
	Descompactado	180	214	152	256	207	105	84	123	104
LL+M	Compactado	0	174	266	204	214	73	136	112	107
	Compactado	180	217	173	241	211	121	103	99	108
	Descompactado	0	255	352	375	327	111	211	236	186
A+V/M	Descompactado	180	274	400	439	371	125	251	275	217
	Compactado	0	258	304	313	292	117	182	149	149
	Compactado	180	210	279	346	278	112	196	204	171
G+LL	Descompactado	0	247	202	215	230	153	105	143	134
	Descompactado	180	320	188	189	233	153	98	78	110
	Compactado	0	332	273	253	286	147	129	94	123
G+M	Compactado	180	302	279	204	262	179	135	93	136
	Descompactado	0	259	172	448	293	193	89	232	172
	Descompactado	180	279	231	348	286	124	143	183	150
G+M	Compactado	0	187	260	272	240	124	178	118	140
	Compactado	180	208	169	205	194	151	115	143	136
	Descompactado	0	229	133	225	196	141	88	116	115
G+M	Descompactado	180	207	280	236	241	172	146	127	148
	Compactado	0	223	180	249	217	138	163	133	145
	Compactado	180	268	210	192	223	135	166	121	141

Apêndice 22: continuação

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			----- mg dm ⁻³ -----							
P/M	Descompactado	0	188	252	275	238	127	157	125	136
	Descompactado	180	148	272	303	241	65	125	166	119
	Compactado	0	192	263	250	235	85	127	148	120
	Compactado	180	161	208	139	169	66	96	105	89
Pan	Descompactado	0	169	165	181	172	90	77	150	106
	Descompactado	180	204	126	190	173	101	40	147	96
	Compactado	0	217	181	184	194	127	92	116	112
Desc	Compactado	180	139	161	169	156	66	109	99	91
	Descompactado	0	174	78	162	138	79	28	57	55
	Descompactado	180	130	132	134	132	72	48	65	62
	Compactado	0	131	114	139	128	63	55	56	58
	Compactado	180	110	118	143	123	59	43	68	57

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 23: Teores de Ca nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			cmol _c dm ⁻³							
A+V/M rev ¹	Descompactado	0 ²	3,9	3,9	3,8	3,9	3,4	3,4	3,1	3,3
	Descompactado	180	2,7	3,2	2,6	2,8	3,2	3,2	2,1	2,8
	Compactado	0	1,7	2,1	1,8	1,8	1,5	1,5	1,2	1,4
	Compactado	180	0,9	1,2	0,9	1	0,8	1,0	0,7	0,8
A/M	Descompactado	0	2,9	2,9	2,6	2,8	2,4	2,6	1,9	2,3
	Descompactado	180	2,3	2	1,5	1,9	1,9	1,8	1,3	1,7
	Compactado	0	2,2	2,3	1,9	2,1	2,0	2,0	1,6	1,9
A+V/M+C	Compactado	180	1,4	1,5	1,1	1,3	1,1	1,6	1,0	1,3
	Descompactado	0	2	3,5	2,7	2,7	1,5	2,4	2,0	2,0
	Descompactado	180	1,6	2,3	1,8	1,9	1,3	1,6	1,2	1,4
	Compactado	0	1,5	2,5	2,1	2	1,3	1,7	1,5	1,5
LL+M	Compactado	180	1,7	1,6	1,4	1,6	0,9	1,1	1,1	1,0
	Descompactado	0	4,1	4,4	4,5	4,3	2,4	2,1	2,1	2,2
	Descompactado	180	4,6	4,1	4	4,2	2,8	2,0	1,8	2,2
A+V/M	Compactado	0	4,5	3,3	3,4	3,7	2,6	1,6	1,6	1,9
	Compactado	180	3,4	3,3	4,3	3,6	2,1	2,0	1,7	1,9
	Descompactado	0	2,6	2,2	2,1	2,3	2,2	1,7	1,6	1,8
G+LL	Descompactado	180	1,7	1,4	1,2	1,4	1,3	1,1	0,8	1,1
	Compactado	0	1,8	1,4	1,5	1,6	1,8	1,3	1,2	1,4
	Compactado	180	1,6	0,9	0,9	1,1	1,2	0,6	0,5	0,8
G+M	Descompactado	0	4,4	4,4	4	4,3	1,6	2,2	1,4	1,7
	Descompactado	180	4,5	5,2	4,6	4,8	1,9	2,1	1,4	1,8
	Compactado	0	3,1	4,8	4,3	4,1	1,5	1,4	1,5	1,5
G+M	Compactado	180	3,3	5,1	4,5	4,3	1,3	1,8	1,5	1,5
	Descompactado	0	4,1	3,5	3,7	3,8	2,5	2,3	1,8	2,2
	Descompactado	180	3,1	3,7	2,3	3	2,0	2,1	1,1	1,8
G+M	Compactado	0	3,2	2,9	3,4	3,1	1,9	1,9	1,7	1,8
	Compactado	180	2,6	2,5	2,1	2,4	1,4	1,5	1,1	1,3

Apêndice 23: continuação

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			----- cmol _c dm ⁻³ -----							
P/M	Descompactado	0	2,6	2,6	3	2,7	2,3	2,2	2,2	2,3
	Descompactado	180	1,8	2,1	2,4	2,1	1,7	2,0	1,9	1,9
	Compactado	0	2,1	2,1	2,6	2,3	2,3	2,1	2,2	2,2
	Compactado	180	1,4	1,6	1,3	1,4	1,1	1,7	1,0	1,3
Pan	Descompactado	0	3,6	3	3,2	3,3	2,8	2,9	2,3	2,6
	Descompactado	180	2,7	3,4	2,9	3	2,3	2,7	2,0	2,3
	Compactado	0	3,3	2,7	2,6	2,9	2,5	2,3	1,7	2,2
Desc	Compactado	180	2,9	2,4	2,3	2,6	2,4	2,4	1,4	2,1
	Descompactado	0	2,8	2,6	2	2,5	2,3	2,3	1,5	2,0
	Descompactado	180	2,5	2,4	1,4	2,1	1,9	1,9	1,2	1,7
	Compactado	0	1,9	1,5	1,6	1,7	2,2	1,5	1,8	1,8
	Compactado	180	1,5	1,7	1,3	1,5	1,9	1,7	1,6	1,7

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Apêndice 24: Teores de Mg nos blocos 1,2 e 3 e na média no experimento de sistemas de culturas, níveis de compactação e doses de N. EEA-UFRGS, 2005.

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			cmol _c dm ⁻³							
A+V/M rev ¹	Descompactado	0 ²	2,1	2,2	2	2,1	1,6	1,7	1,4	1,6
	Descompactado	180	1,6	2,1	1,6	1,8	1,7	1,8	1,2	1,6
	Compactado	0	0,8	1,1	1,1	1	0,6	0,6	0,5	0,6
	Compactado	180	0,5	0,6	0,5	0,5	0,3	0,4	0,2	0,3
A/M	Descompactado	0	1,6	1,6	1,3	1,5	1,1	1,1	0,7	1,0
	Descompactado	180	1,1	1,1	0,6	0,9	0,7	0,7	0,5	0,6
	Compactado	0	1,2	1,2	0,9	1,1	0,7	0,6	0,5	0,6
A+V/M+C	Compactado	180	0,7	0,7	0,4	0,6	0,4	0,6	0,3	0,4
	Descompactado	0	1	1,8	1,1	1,4	0,7	1,1	0,9	0,9
	Descompactado	180	0,8	1,2	0,9	1	0,6	0,7	0,5	0,6
	Compactado	0	0,8	1,2	1	1	0,5	0,7	0,6	0,6
LL+M	Compactado	180	0,7	0,8	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4
	Descompactado	0	2,3	2,2	2,4	2,3	1,3	1,1	1,2	1,2
	Descompactado	180	2,1	2,3	2,1	2,2	1,3	1,2	1,0	1,2
	Compactado	0	2,3	1,6	1,8	1,9	1,4	0,8	0,9	1,0
A+V/M	Compactado	180	1,7	1,7	2,3	1,9	1,1	1,0	0,9	1,0
	Descompactado	0	1,4	1,2	1,1	1,3	1,0	0,8	0,7	0,8
	Descompactado	180	1	0,8	0,8	0,9	0,5	0,5	0,4	0,5
	Compactado	0	1	0,9	1	0,9	0,7	0,5	0,4	0,5
G+LL	Compactado	180	0,8	0,6	0,6	0,7	0,4	0,2	0,2	0,3
	Descompactado	0	2,2	2,3	2	2,1	1,2	1,5	1,0	1,3
	Descompactado	180	2,2	2,4	1,9	2,1	1,4	1,5	0,9	1,3
	Compactado	0	1,4	2,3	1,9	1,9	1,0	0,8	0,9	0,9
G+M	Compactado	180	1,6	2,2	1,9	1,9	0,9	1,2	1,0	1,0
	Descompactado	0	2,1	1,7	1,9	1,9	1,5	1,1	1,0	1,2
	Descompactado	180	1,7	1,9	1,2	1,6	1,3	1,1	0,5	1,0
	Compactado	0	1,6	1,3	1,7	1,5	1,0	0,8	0,8	0,8
	Compactado	180	1,4	1,2	1,1	1,2	0,7	0,6	0,4	0,6

Apêndice 24: continuação

Sistemas de culturas	Compactação	Dose N kg ha ⁻¹	0 – 10 cm				10 – 20 cm			
			Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Média
			cmol _c dm ⁻³							
P/M	Descompactado	0	1,6	1,7	1,7	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0
	Descompactado	180	1,1	1,4	1,4	1,3	0,8	0,9	0,9	0,9
	Compactado	0	1,4	1,1	1,3	1,3	1,1	0,8	0,9	0,9
	Compactado	180	1	0,9	0,6	0,8	0,5	0,7	0,4	0,5
Pan	Descompactado	0	1,8	1,9	1,6	1,8	1,6	1,8	1,3	1,6
	Descompactado	180	1,9	2,2	1,6	1,9	1,4	1,7	1,2	1,4
	Compactado	0	1,6	1,6	1,3	1,5	1,5	1,4	0,9	1,3
	Compactado	180	1,4	1,7	1,2	1,4	1,3	1,4	0,7	1,1
Desc	Descompactado	0	1,9	1,8	1,5	1,7	1,5	1,4	0,8	1,2
	Descompactado	180	1,7	1,8	1,1	1,5	1,2	1,2	0,6	1,0
	Compactado	0	1,4	0,9	1	1,1	1,4	0,8	0,9	1,0
	Compactado	180	1,1	1,2	1	1,1	1,1	1,0	0,8	1,0

¹A=aveia, C=caupi, Desc=descoberto, G=guandu, LL=lablabe, M=milho, Pan=pangola, P=pousio, rev=revolvido e V=vica;

²0 N e 180 N = 0 e 180 kg N-uréia ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.