

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

DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO PARA O MILHO EM
SISTEMAS DE CULTURA E PREPARO DO SOLO

Telmo Jorge Carneiro Amado
Engenheiro Agrônomo - UFSM

Tese apresentada como um dos requisitos à obtenção
do grau de doutor em Agronomia.

Porto Alegre (RS), Brasil
Dezembro, 1997

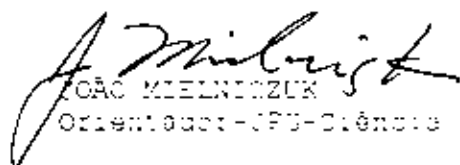
TELMO JORGE CARNEIRO AMALC
Engenheiro Agrônomo - UFSC
Mestre em Agronomia - UFRGS

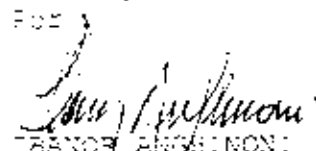
TESE


Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de
DOUTOR EM CIÊNCIA DO SOLO
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal de Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 19.12.1997
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 02.03.1998
Por



JOÃO MIELNICZUK
Orientador-PPG-Ciência do Solo


JEANETE AGUIARONI
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia


HUMBERTO BOEHM
PPG-Ciência do Solo


CELSO AITA
UFSC/RS


CIMÉLIO BAYER
UDESC/SC


SERGIO NICOLAIEWSKY
Diretor da Faculdade
de Agronomia

AGRADECIMENTOS

À Universidade pública pela formação acadêmica.

Ao Prof. João Mielniczuk pela orientação, amizade e incentivo.

Ao Dr Wayne Reeves pela orientação durante o treinamento no USDA.

À CAPES PICD pela bolsa de doutorado.

Ao CNPq pela bolsa de doutorado "sandwich".

À minha mãe pelo eterno amor (*in memoriam*).

Ao meu pai pelo exemplo profissional.

Ao pequeno Rafael, pelos sonhos e esperanças, e a Lauren, pela compreensão e incentivo.

À Sandra e Sandro pela amizade e auxílio nos trabalhos.

À prazerosa companhia dos amigos adquiridos durante esta jornada.

DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO PARA O MILHO EM SISTEMAS DE CULTURA E PREPARO DO SOLO."

Autor: Teimo Jorge Carneiro Amado
Orientador: Prof. João Mielniczuk

RESUMO

A associação de preparos conservacionistas com culturas de cobertura, que proporcionem elevadas adições de carbono e nitrogênio (N), é importante estratégia de melhoria da qualidade do solo. A maioria das pesquisas visando avaliar o efeito destas práticas no incremento do N total, potencial de mineralização do N e produtividade do solo foram conduzidas em condições de clima temperado. O objetivo deste trabalho foi o de determinar o impacto de sistemas de preparo e cultura na disponibilidade de N para o milho num agroecossistema subtropical. Para atingir este objetivo foi utilizado um experimento de longa duração estabelecido num solo Podzólico Vermelho-escuro da Depressão Central do RS. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas principais foram sistemas de preparo: convencional, reduzido e direto. As subparcelas foram sistemas de cultura: aveia/milho (A/M), ervilhaca/milho (V/M), aveia-ervilhaca+milho+caupi (A+V/M+C). As quatro subsubparcelas foram: solo mantido descoberto e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho, solo com cultura de cobertura e três doses de N: 0, 90 e 180 kg/ha. A associação de preparos conservacionistas com leguminosas foi eficiente em promover o aumento do teor de N total do solo. Assim, no plantio direto o sistema A+V/M+C apresentou 855 kg/ha de N total a mais, na camada de 0-30 cm. em relação ao A/M. O histórico de uso de leguminosas no A±V/M+C. independente do sistema de preparo, promoveu incrementos de 10.7 kg/ha e 550 kg/ha na quantidade de N absorvida e rendimento de milho. respectivamente. em relação A/M. No sistema V/M a leguminosa supriu 2/3 do N requerido pelo milho no máximo rendimento. O plantio direto, quando comparado ao convencional. induziu decréscimos na absorção de N e produção de matéria seca, porém não influenciou o rendimento do milho. Com a finalidade de estimar a disponibilidade de N em sistemas de preparo e cultura foi desenvolvida uma equação que considera a contribuição do N do solo, das culturas de cobertura e do fertilizante mineral.

1/ Tese de doutorado em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, (201 p.)- Dezembro/1997.

NITROGEN AVAILABILITY TO CORN AS AFFECTED BY COVER

CROP AND SOIL TILLAGE SYSTEMS

Author: Telmo Jorge Carneiro Amado

Adviser: Prof João Mielniczuk

SUMMARY

The association of conservation tillage with cover crops is an important tool for improving soil quality. Most of the research about these topic has been carried out in a temperate climate. In order to evaluate the impact of tillage and cropping systems on nitrogen availability in subtropical agroecosystem a long-term experiment established on a Paleudult was utilized. The experimental design used was a split-split plot with three replications. The main plots were tillage systems consisting of no-tillage, minimum and conventional tillage. Subplots were winter cover crops in corn production systems: black oat/corn (O/C). common vetch/corn (V/C) and mixture of black oat+common vetch/corn+cowpea (O+V/C+P). Subplots were also split in four treatments: bare soil without cover crop previously to corn, cover crops with 0, 90 and 180 kg/ha of N. The association of conservation tillage with legumes based crop systems was efficient in restoring the soil N reserve. Thus, the soil under no-tillage and O+V/C+P had 855 kg/ha of N more than the systems with lower N addition (O/C) in the layer of 0-30 cm depth. The use of legumes, regardless of tillage system, increased corn N uptake by 10.7 kg/ha and increased corn yield by 550 kg/ha when compared to O/C. The vetch in V/C system was capable of providing two-thirds of the N required for maximum corn yield. Corn N uptake and dry mass yield was greater in conventional tillage than in no-tillage. However, corn yield was similar between these tillage systems. In order to evaluate the N availability in cover crop and tillage system was developed an equation that consider the N supply by the soil, cover crops and fertilizer.

U/ Doctor Thesis in Agriculture (Soils) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (201 p.) - December, 1997.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1 Importância do nitrogênio para a produção e sustentabilidade agrícola	03
2.2 Disponibilidade de N para as plantas em sistemas agrícolas	05
2.2.1 Contribuição do N do solo na disponibilidade de N para as plantas	06
2.3 Impacto dos sistemas de preparo do solo na disponibilidade de N	08
2.3.1 Perdas gasosas de N	11
2.3.2 Perdas de N por enxurrada	12
2.3.3 Perdas de N por lixiviação	13
2.3.4 Absorção de N e rendimento de culturas influenciado por sistemas de preparo	15
2.3.5 Eficiência do N fertilizante aplicado em sistemas de preparo	17
2.3.6 Sumário do efeito de sistemas de preparo na disponibilidade de N	19
2.4 Impacto da disponibilidade de N em sistemas de cultura	19
2.4.1 Histórico do uso de adubos verdes na agricultura	19
2.4.2 O uso de culturas de cobertura e a sustentabilidade agrícola	21
2.4.3 Vantagens da utilização de culturas de cobertura em sistemas de produção	22
2.4.4 Decomposição de resíduos da cultura de cobertura e absorção de N pela cultura em sucessão	29
2.4.5 Comparação de leguminosas e N fertilizante mineral como fontes de N para o milho	36
2.5 Equações utilizadas na estimativa da disponibilidade de N em agroecos- sistemas	38
2.6 Hipóteses	42
3. MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 Características da área experimental	43
3.2 Histórico de manejo da área experimental	45
3.2.1 Tratamento e delineamento experimental	45
3.3 Modificações introduzidas nos tratamentos e delineamento experimental	48
3.4 Detalhes experimentais no ano de 1995	52
3.5 Determinações	54
3.5.1 Nitrogênio total no solo	54
3.5.2 Culturas de cobertura	54

3.5.3 Utilização de sacos de decomposição visando avaliar velocidade de decomposição dos resíduos e liberação do N	55
3.5.4 Amostragem e determinação de N mineral no solo	56
3.5.5 Cultura do milho	57
3.5.5.1 Produção de matéria seca e quantidade de N absorvida pelo milho	57
3.5.5.2 Rendimento de grãos de milho	57
3.6 Análise estatística	58
3.6.1 Culturas de cobertura	58
3.6.2 Solo	58
3.6.2.1 N total no solo	58
3.6.2.2 Teor de nitrato, nitrito e amônio no solo	58
3.6.3 Cultura do milho	59
3.6.3.1 Análise do efeito residual do uso de culturas de cobertura na nutrição e rendimento do milho	60
a) Produção de matéria seca e quantidade de N absorvido pelo milho.	60
b) Rendimento de grãos de milho	60
3.6.3.2 Análise do efeito da adubação nitrogenada mineral na nutrição e rendimento do milho	60
a) Produção de matéria seca e quantidade de N absorvido pelo milho	60
b) Rendimento de grãos de milho	60
3.7 Análise econômica dos resultados	60
3.8 Condições agrometeorológicas durante o período experimental	61
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.1 Quantidade de N adicionada ao solo por sistemas de cultura durante nove anos	66
4.2 Influência dos sistemas de preparo e cultura na acumulação de N total no solo.	70
4.3 Velocidade de decomposição e liberação do N dos resíduos das culturas de cobertura em preparo convencional e plantio direto	78
4.4 Disponibilidade de N avaliada pela quantidade de nitrato – nitrito determinada imediatamente antes da semeadura do milho em sistemas de preparo e cultura	84
4.5 Efeito residual do uso de culturas de cobertura durante dez anos na nutrição e rendimento do milho	86
4.5.1 Efeito residual do uso de culturas de cobertura na produção de matéria seca e N absorvido pelo milho aos 30 DAE	86
4.5.2 Efeito residual do uso de culturas de cobertura na produção de matéria seca e N absorvido pelo milho aos 50 DAE	94
4.5.3 Efeito residual do uso de culturas de cobertura na produção de matéria seca e N absorvido pelo milho aos 95 DAE	100
4.5.4 Efeito residual do uso de culturas de cobertura no rendimento do milho	111

4.6 Efeito da adubação nitrogenada mineral na nutrição e rendimento do milho .	115
4.6.1 Efeito da adubação nitrogenada mineral na produção de matéria seca e N absorvido pelo milho aos 30 DAE	119
4.6.2 Efeito da adubação nitrogenada mineral na produção de massa seca e N absorvido pelo milho aos 50 DAE	122
4.6.3 Efeito da adubação nitrogenada mineral na produção de matéria seca e N absorvido pelo milho aos 95 DAE	126
4.6.4 Efeito da adubação nitrogenada mineral no rendimento do milho	130
4.6.5 Efeito do sistema de preparo sobre o rendimento do milho em três sistemas de cultura e três doses de N	136
4.6.6 Análise econômica da adubação nitrogenada mineral em sistemas de cultura	140
4.6.7 Equação utilizada para estimativa da disponibilidade de N em sistemas de preparo e cultura	145
4.6.8 Contribuição para o aprimoramento da recomendação da adubação nitrogenada em sistemas conservacionistas	149
5. CONCLUSÕES	166
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	168
7. APÊNDICES	181

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

1. Acumulação de N total no solo influenciado por sistemas de preparo	10
2. Análise química básica e teor de argila na área experimental anteriormente a implantação do experimento (1985). Média de três análises	44
3. Parcelamento da adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho aplicada nos segmentos de parcela com presença de resíduos culturais no ano de 1995	51
4. Características das culturas de cobertura utilizadas nos sacos de decomposição . . .	56
5. Condições meteorológicas durante o período experimental. EEA/UFRGS, 1997	65
6. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa e relação C:N das culturas de cobertura de inverno (aveia e ervilhaca) do ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura. Média de seis repetições. EEA/UFRGS, 1996	69
7. Teor de N-NO ₃ ⁻ - N-NO ₃ ⁻ deslocado do solo com KCl 1 N na camada de 0-20 cm de profundidade imediatamente antes da emergência do milho. Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1996	85
8. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa do milho avaliado 30 dias após a emergência no ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 formas de cobertura do solo (com e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho). Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1996.	88
9. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa do milho avaliado 52 dias após a emergência no ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 formas de cobertura do solo (com e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho). Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1996	96
10. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa do milho avaliado 95 dias após a emergência no ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 formas de cobertura do solo (descoberto =sem cultura de cobertura antecedendo o milho e coberto=com cultura de	

cobertura). Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1996	104
11. Rendimento de grãos do milho (t/ha) ajustado para 13% de umidade no ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 formas de cobertura do solo (descoberto=sem cultura de cobertura antecedendo o milho e coberto =com cultura de cobertura). Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1996	112
12. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa do milho avaliado 30 dias após a emergência no ano de 1996, em 2 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 3 doses de nitrogênio. Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1997	118
13. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa do milho avaliado 50 dias após a emergência no ano de 1996, em 2 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 3 doses de nitrogênio. Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1996	123
14. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa do milho avaliado 95 dias após a emergência no ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 3 doses de nitrogênio. Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1996.	127
15. Rendimento de grãos do milho (t/ha) ajustado para 13% de umidade no ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 3 doses de nitrogênio. Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1997.	132
16. Doses de N para atingir a máxima eficiência econômica (MEE) e máxima eficiência técnica (MET) e o lucro na dose de máxima eficiência econômica de três sistemas de cultura. UFRGS, 1997.	145
17. Estimativa do coeficiente de mineralização (k_1) do N total do solo em sistemas de preparo. EEA, UFRGS, 1997.	146
18. Comparação entre valores de N absorvido pelo milho preditos pela equação e observados utilizando diferença média (DM), raiz quadrada do erro médio (RQEM) e coeficiente de correlação linear (r).	150
19. Requerimento de N do milho e dose de N fertilizante mineral estimada com base em três índices. EEA/UFRGS, 1997	155
20. Relação entre a produção de grãos (12,5% de umidade)/matéria seca total da parte aérea do milho (avaliada aos 95 DAE). EEA/UFRGS, 1997.	158

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Disposição dos tratamentos na área experimental durante o período de 1985-1993. EEA/UFRGS, 1997.....	46
2. Disposição dos tratamentos na área experimental no ano de 1994. EEA/UFRGS, 1997.....	49
3. Disposição dos tratamentos na área experimental no ano de 1995. EEA/UFRGS, 1997.....	51
4. Precipitação durante o ciclo do milho. EEA/UFRGS, 1997.....	63
5. Precipitação e irrigação suplementar durante o ciclo do milho. EEA/UFRGS, 1997.....	64
6. Quantidades de nitrogênio adicionado e reciclado ao solo pela parte aérea das culturas de cobertura durante o período de 1985 a 1990 (a), 1991-1994 (b) e 1985 a 1994 (c). Média de 3 métodos de preparo e 2 doses de N. EEA/UFRGS, 1997.....	67
7. Efeito da utilização durante 9 anos dos sistemas de preparo convencional, reduzido e plantio direto empregados no sistema aveia-milho sobre o N total no solo na profundidade de 0-30 cm. EEA/UFRGS, 1997.....	71
8. Efeito da utilização durante 9 anos dos sistemas de preparo convencional, reduzido e plantio direto no sistema aveia-veia-milho sobre o N total no solo na profundidade de 0-17,5 cm. EEA/UFRGS, 1997.....	72
9. Efeito da utilização durante 9 anos dos sistemas de preparo convencional, reduzido e plantio direto utilizados no sistema aveia-ervilhaca/milho-caupi sobre o N total no solo na profundidade de 0-30 cm. EEA/UFRGS, 1997.....	73
10. Efeito da utilização durante 9 anos dos sistemas de cultura aveia/milho, aveia-trevo (ervilhaca)-milho e aveia-trevo(ervilhaca)-milho-caupi no preparo convencional sobre o N total no solo na profundidade de 0-30 cm. EEA/UFRGS, 1997.....	75

	Página
11. Efeito da utilização durante 9 anos dos sistemas de cultura aveia/milho, aveia+trevo (ervilhaca)/milho e aveia+trevo(ervilhaca)/milho+caupi no preparo reduzido sobre o N total no solo na profundidade de 0-30 cm. EEA/UFRGS, 1997.	76
12. Efeito da utilização durante 9 anos dos sistemas de cultura aveia/milho, aveia+trevo (ervilhaca)/milho e aveia+trevo(ervilhaca)/milho+caupi no plantio direto sobre o N total no solo na profundidade de 0-30 cm. EEA UFRGS, 1997.	77
13. Velocidade de liberação do N dos resíduos de aveia, aveia+ervilhaca e ervilhaca no sistema de plantio direto avaliados através de sacos de decomposição. EEA/UFRGS, 1997.	79
14. Velocidade de liberação do N dos resíduos de aveia, aveia+ervilhaca e ervilhaca no sistema de preparo convencional avaliados através de sacos de decomposição. EEA/UFRGS, 1997.	80
15. Estimativa da mineralização do N da fitomassa de aveia, aveia+ervilhaca e ervilhaca sob sistema de plantio direto calculada com base na velocidade de decomposição dos resíduos. EEA UFRGS, 1997.	82
16. Estimativa da mineralização do N da fitomassa de aveia, aveia+ervilhaca e ervilhaca sob sistema de preparo convencional calculada com base na velocidade de decomposição dos resíduos. EEA/UFRGS, 1997.	83
17. Relação entre a quantidade de nitrogênio mineralizada (até a semeadura do milho) dos resíduos culturais e a quantidade de N mineral no solo na camada de 0-20 cm amostrada imediatamente antes da semeadura do milho. EEA/UFRGS, 1997.	87
18. Produção de matéria seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 30 DAE sob preparo convencional e plantio direto, média de três sistemas de cultura e dois tipos de cobertura (com e sem cultura de cobertura antecedendo o milho). Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de nitrogênio entre sistemas de preparo. Duncan (P>0,05). EEA/UFRGS, 1997.	89
19. Produção de matéria seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 30 DAE com histórico de cultivo de sistemas de cultura por 9 anos e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho, média de dois sistemas de preparo. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de cultura e letras minúsculas comparam a quantidade de nitrogênio entre sistemas de cultura. Duncan (P>0,05). EEA/UFRGS, 1997.	91
20. Produção de matéria seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 30 DAE com histórico de cultivo de sistemas de cultura por 9 anos e com cultura de cobertura antecedendo ao milho, média de dois sistemas de preparo. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de culturas e	

letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de cultura. Duncan (P>0.05). EEA/UFRGS, 1997	92
21. Produção de massa seca (a) e quantidade de nitrogênio (b) acumuladas pelo milho aos 30 DAE com histórico de cultivo de sistemas de cultura por 9 anos e sem e com cultura de cobertura antecedendo ao milho, média de dois sistemas de preparo. Letras comparam a produção de matéria seca e quantidade de N dentro de cada sistema de cultura. Duncan (P>0.05). EEA/UFRGS, 1997.	93
22. Relação entre a quantidade de nitrogênio mineralizada dos resíduos culturais até 30 DAE e a quantidade de nitrogênio absorvida pelo milho aos 30 DAE no tratamento com cultura de cobertura antecedendo ao milho e sem adição de adubação mineral. EEA/UFRGS, 1997	95
23. Produção de massa seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 50 DAE sob preparo convencional e plantio direto, média de três sistemas de cultura e dois tipos de cobertura do solo (com e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho). Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de preparo. Duncan (P>0.05). EEA/UFRGS, 1997	97
24. Produção de massa seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 50 DAE com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e sem cultura de cobertura antecedendo o milho, média de dois sistemas de preparo. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de preparo. Duncan (P>0.05). EEA/UFRGS, 1997.	98
25. Produção de massa seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 50 DAE com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e com cultura de cobertura antecedendo o milho, média de dois sistemas de preparo. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de preparo. Duncan (P>0.05). EEA/UFRGS, 1997.	99
26. Produção de matéria seca (a) e quantidade de nitrogênio (b) acumulada pelo milho aos 50 DAE com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e sem e com cultura de cobertura antecedendo ao milho, média de dois sistemas de preparo. Letras comparam a produção de matéria seca e a quantidade de N dentro de cada sistema de cultura. Duncan (P>0.05). EEA/UFRGS, 1997.	101
27. Relação entre a quantidade de nitrogênio mineralizada dos resíduos culturais até 50 DAE e a quantidade de nitrogênio absorvida pelo milho aos 50 DAE no tratamento com cultura de cobertura antecedendo ao milho e sem adição de adubação mineral. EEA/UFRGS, 1997	102

28. Produção de massa seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 95 DAE sob preparo convencional, plantio direto e preparo reduzido, média de três sistemas de cultura e sem e com cultura de cobertura antecedendo ao milho. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de preparo. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997. 103
29. Produção de massa seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 95 DAE com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho solo, média de três sistemas de preparo. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de cultura e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de cultura. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997. 106
30. Produção de massa seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 95 DAE com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e com cultura de cobertura antecedendo do milho, média de três sistemas de preparo. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de cultura e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de cultura. Duncan ($P>0,05$). EEA UFRGS, 1997. 107
31. Produção de matéria seca (a) e quantidade de nitrogênio (b) acumulada pelo milho aos 95 DAE com histórico de cultivo de três sistemas de cultura 9 anos e sem e com cultura de cobertura antecedendo ao milho, média de três sistemas de preparo. Letras comparam a produção de matéria seca e a quantidade de N dentro de cada sistema de cultura. Duncan ($P>0,05$). EEA UFRGS, 1997. 108
32. Relação entre a quantidade de nitrogênio mineralizada dos resíduos culturais até aos 95 DAE e a quantidade de nitrogênio absorvida pelo milho aos 95 DAE no tratamento com cultura de cobertura antecedendo ao milho e sem adição de adubação mineral. EEA/UFRGS, 1997. 110
33. Rendimento do milho obtido em solo com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho e sem adição de adubação nitrogenada mineral, média de três sistemas de preparo. Letras comparam o rendimento do milho obtido entre sistemas de cultura. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997. 113
34. Rendimento do milho obtido em solo com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e com cultura de cobertura antecedendo ao milho e sem adição de adubação nitrogenada mineral, média de três sistemas de preparo. Letras comparam o rendimento do milho obtido entre sistemas de cultura. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997. 114

35. Rendimento do milho em solo com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e sem (descoberto) e com cultura de cobertura (coberto) antecedendo ao milho e sem adição de adubação nitrogenada mineral. média de três sistemas de preparo. Letras comparam o rendimento do milho obtido dentro do mesmo sistemas de cultura. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997. 116
36. Relação entre a quantidade de nitrogênio mineralizada dos resíduos culturais até 95 DAE e o rendimento do milho obtido no tratamento com solo cultura de cobertura antecedendo ao milho e sem adição de adubação mineral. EEA/UFRGS, 1997. 117
37. Produção de massa seca do milho aos 30 DAE influenciado por três doses de N aplicados na base do milho. média de dois sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997. 120
38. Quantidade de N absorvido pelo milho aos 30 DAE influenciado por três doses de N aplicados na base do milho. média de dois sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997. 121
39. Produção de massa seca e N absorvido pelo milho aos 50 DAE sob preparo convencional e plantio direto. média de três sistemas de cultura e três doses de N aplicado no milho. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de preparo. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997. 124
40. Produção de massa seca do milho aos 50 DAE influenciados por três doses de N, média de três sistemas de cultura e dois sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997. 125
41. Produção de massa seca e N absorvido pelo milho aos 95 DAE sob preparo convencional, plantio direto e preparo reduzido. média de três sistemas de cultura e três doses de N aplicado no milho. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de preparo. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997. 128
42. Produção de massa seca do milho aos 95 DAE influenciados por três doses de N, média de três sistemas de cultura e três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997. 129
43. Quantidade de N absorvido pelo milho aos 95 DAE, média de três sistemas de preparo e três doses de N mineral. Letras comparam quantidade de N absorvido entre sistemas de cultura. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997. 131
44. Rendimento do milho sob preparo convencional, plantio direto e preparo reduzido, média de três sistemas de cultura e três doses de N aplicado no milho. Letras comparam o rendimento do milho obtido entre sistemas de cultura. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997. 133

45. Equivalência em N fertilizante dos sistemas aveia-ervilhaca e ervilhaca, média de três sistemas de preparo do solo. EEA/UFRGS, 1997.	134
46. Rendimento do milho em sucessão a aveia influenciado por três doses de N aplicado em três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.	135
47. Rendimento do milho em sucessão a aveia-ervilhaca influenciado por três doses de N aplicado em três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.	138
48. Rendimento do milho em sucessão a ervilhaca influenciado por três doses de N aplicado em três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.	139
49. Representação gráfica da análise econômica do sistema aveia/milho, média de três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.	141
50. Representação gráfica da análise econômica do sistema aveia+ervilhaca/milho, média de três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.	143
51. Representação gráfica da análise econômica do sistema ervilhaca/milho, média de três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.	144
52. Representação gráfica entre valores preditos pela equação e valores observados por Freitas (a) e por Rosso (b).	151
53. Representação gráfica entre valores preditos pela equação e valores observados por Teixeira (a) e por Testa (b).	152
54. Representação gráfica entre valores preditos pela equação e valores observados por Bayer (a) e por Amado (b).	153
55. Relação entre a concentração de N e a produção de matéria seca da parte aérea do milho. EEA/UFRGS, 1997.	157
56. Relação grão/matéria seca total avaliada aos 97 DAE em função da quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho. EEA/UFRGS, 1997.	160
57. Relação entre a quantidade de N absorvido e o rendimento de milho no sistema de preparo convencional. EEA/UFRGS, 1997.	162
58. Relação entre a quantidade de N absorvido e o rendimento de milho no sistema de preparo reduzido. EEA/UFRGS, 1997.	163
59. Relação entre a quantidade de N absorvido e o rendimento de milho no sistema de plantio direto. EEA/UFRGS, 1997.	164

1. INTRODUÇÃO

Nos primórdios da década de 70 a agricultura do Sul do Brasil passou por profundas mudanças, com destaque para: a mecanização, preparo intenso do solo e expansão da fronteira agrícola, que foram associados a manutenção de antigas práticas como: monocultura, pousio no inverno e queima de resíduos. Os principais objetivos, durante este período, foram os de aumentar a oferta de alimentos para a crescente população do país e gerar excedentes para a exportação. Passados poucos anos, ficou evidente que o manejo adotado não era sustentável a longo prazo. Os principais indicadores que permitiram esta percepção foram: intensa erosão hídrica com grande impacto ambiental, rápido decréscimo do teor de matéria orgânica, degradação do solo, estagnação da produtividade e êxodo rural.

A mobilização da parcela da sociedade envolvida no processo produtivo agrícola resultou na busca de alternativas para reverter esta situação. Os programas de manejo do solo, desencadeados durante a década seguinte, serviram como embrião para o desenvolvimento de uma agricultura com bases conservacionistas. Entre as principais alternativas de manejo do solo adotadas destaca-se: redução da intensidade do preparo do solo, adoção de preparos conservacionistas, manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, utilização de culturas de cobertura, rotação de culturas e práticas mecânicas de controle da erosão entre outras.

Os múltiplos desafios da agricultura contemporânea podem ser descritos de uma forma simplificada em: produzir alimentos saudáveis e em quantidade suficiente para atender para demanda populacional, preservar o ambiente e promover a melhoria da qualidade de vida da sociedade como um todo. Estes desafios exigirão novamente uma grande mobilização da sociedade. A interferência do homem deverá ser no sentido de manter o equilíbrio harmônico entre estes três grandes objetivos da agricultura. Para atender esta demanda, muitos ajustes serão necessários no processo produtivo, entre estes, destaca-se como um dos mais importantes o manejo do nitrogênio. Este nutriente é provavelmente o que mais influencia a produção agrícola, no entanto, sua utilização deve ser feita criteriosamente, de maneira a evitar o comprometimento da qualidade ambiental. A maioria das pesquisas realizadas avaliando o efeito de preparos conservacionistas e de culturas de cobertura sobre as reservas de N no solo, potencial de mineralização e incremento da produtividade foram desenvolvidos em clima temperado. Em regiões tropicais e subtropicais ainda existe carência de informações sobre os efeitos, a longo prazo, de sistemas de preparo e cultura na disponibilidade de N. O objetivo deste trabalho é determinar o impacto de sistemas de preparo e cultura na disponibilidade de N para o milho em um agroecossistema subtropical.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância do nitrogênio para a produção e sustentabilidade agrícola

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes requerido em maior quantidade pelas plantas e, especificamente para as plantas não leguminosas, é o nutriente suprido pelo solo mais frequentemente em quantidade deficiente (Reichardt et al., 1979; Dahke e Johnson, 1990). As principais funções essenciais do N no crescimento vegetal incluem a sua participação como: a) componente da molécula de clorofila, b) componente de aminoácidos que formam as proteínas, c) componente de enzimas, d) elemento essencial para a utilização de carboidratos, e) estimulante do desenvolvimento e atividade radicular e f) estimulante da absorção de outros nutrientes (Olson e Kurtz, 1982).

A fonte primária de N para o solo é a atmosfera, pois cerca de 78% do gás atmosférico é constituído por N_2 . No entanto, para as plantas cultivadas, não fixadoras de N, a principal fonte deste elemento, é o solo. Neste, em torno de 95% do N está na forma orgânica e somente 5% na forma mineral, a qual é diretamente disponível para as plantas (Keeney, 1982). Uma significativa parcela do N contido na forma orgânica é mineralizada anualmente através da atividade microbiana, embora esta quantidade, na maioria dos solos, não seja isoladamente suficiente para atender a demanda de culturas exigentes neste nutriente. Com isto, a utilização de outras fontes de suprimento de N se fazem necessárias.

Hauck (1984) estimou que a quantidade total de N para atender a demanda

agrícola no ano 2000, será de aproximadamente 250 Mt (milhões de toneladas métricas) anualmente, a qual entre 110 a 160 Mt poderá ser atendida pelo uso de fertilizantes e entre 80 a 90 Mt pela utilização de leguminosas. Esta grande quantidade de N, estimada em duas vezes a retirada das culturas, provavelmente estará concentrada em apenas 11% da superfície total da terra, representando uma séria ameaça à qualidade ambiental (Power, 1987). Além disto, a acentuada dependência da produção agrícola em fertilizante nitrogenado mineral coloca em dúvida a sustentabilidade do processo, pois quase todo fertilizante químico é derivado de gás natural, o qual é uma fonte finita e sujeita a flutuações de preços, e o seu processo de obtenção requer um elevado consumo energético (Power, 1987).

A atual estimativa, segundo Hauck (1984), da partição do N adicionado entre planta, solo, água e atmosfera pode ser a seguinte: 50% do N fertilizante aplicado é absorvido pelas plantas, podendo este valor ser tão baixo quanto 25%, em solos com deficiente drenagem, ou tão alto quanto 80%, em pastagens com gramíneas crescendo em solos com baixa disponibilidade de N; aproximadamente 25% pode ser perdido do sistema solo-planta, podendo este valor normalmente variar entre <10% a >50% da quantidade aplicada dependendo das condições de clima, solo e manejo; aproximadamente 25% do N aplicado pode ser imobilizado pela biomassa microbiana, variando este valor em uma faixa de 15% a 45%. A questão que emerge da interpretação destas estimativas é como pode ser aumentada a quantidade de N absorvida pelas culturas e diminuída a quantidade perdida do sistema solo-planta, enquanto a quantidade imobilizada pela biomassa do solo ser mantida em formas de imediata ou potencial disponibilidade para as plantas de modo a tomar, sob o ponto de vista de manejo do N, o sistema agrícola sustentável. A resposta para esta questão é complexa, porém, só será alcançada com um detalhado conhecimento da dinâmica do N nos diferentes agroecossistemas empregados na produção agrícola.

2.2 Disponibilidade de N para as plantas em sistemas agrícolas

O termo disponibilidade pode ser conceituado como a taxa com que o nutriente é transportado à superfície das raízes e a capacidade que a planta tem de absorvê-lo (conceito dinâmico). Compreende, portanto, a liberação do nutriente da fase sólida para a solução do solo e o seu transporte até a superfície das raízes, completando-se com o processo de absorção pelas plantas (Barber, 1984; Salet, 1995). A maior parte do N é absorvido pelas plantas na forma de NO_3^- . Processos químicos e bioquímicos fazem do NO_3^- a mais prevalente espécie iônica do N na zona das raízes de solos bem drenados. Embora isto, a maioria das culturas também absorve prontamente o NH_4^+ (Olson e Kurtz, 1982).

Após a liberação da fase sólida o N, ou seja, mineralização do N contido na MO, este deve ser deslocado até a superfície das raízes para ser absorvido pela planta. Este transporte de íons no solo pode ser atribuído, basicamente, a dois mecanismos: a difusão, em resposta a um gradiente de concentração e a convecção devido ao fluxo de massa da solução do solo (Bouldin, 1961; Barber, 1962). A maioria do movimento do N ocorre como NO_3^- no fluxo convectivo da água para as raízes em resposta a transpiração das culturas. Uma vez que a atração entre NO_3^- e colóides do solo é insignificante, este ion encontra-se totalmente na solução do solo e é prontamente transportado para as raízes das plantas por fluxo de massa. Em contraste, a atração entre NH_4^+ e colóides do solo é significativa e seu movimento com água do solo é muito menor. Quando o potencial de absorção das plantas excede o suprimento por fluxo de massa, a concentração de N na zona radicular é reduzida, começando, então, o processo de difusão. Embora a difusão seja de menor importância na maioria das situações de cultivo em solos bem drenados, quando em situações este processo também pode ocorrer (Hauck, 1984). Os principais parâmetros de planta e solo que influenciam a absorção de N são: conteúdo volumétrico de água, concentração de NO_3^- na solução do solo, coeficiente de difusão de NO_3^- -N em poros do solo, raio da raiz, taxa de

transpiração e comprimento radicular (Nanagara et al., 1976). As evidências predominantes sustentam o conceito de absorção ativa (dependente de energia) de NO_3^- (Hauck, 1984). Para descrever este processo, a equação mais usada é a de Michaelis-Menten (Epstein, 1972) que considera a concentração na solução do solo como o principal fator que afeta a cinética de absorção.

A curva de absorção de N geralmente é do tipo sigmoideal, com valores elevados durante a fase inicial do período vegetativo, o milho, por exemplo, pode apresentar valores tão elevados quanto 3 a 4 kg/ha/dia na fase de maior crescimento (Keeney, 1982).

2.2.1 Contribuição do N do solo na disponibilidade de N para as plantas

Meisinger (1984) afirma que desde o início do século a mineralização do N do solo tem sido reconhecida como uma significativa fonte deste nutriente para as culturas. Embora a quantidade total de N no solo seja apreciável, freqüentemente excedendo a 4.000 kg/ha na camada arável (Stevenson, 1982), a maior fração deste total se encontra na forma orgânica, que é relativamente estável e não prontamente disponível para as plantas (Harper, 1984). Para se tornar disponível o N orgânico precisa ser convertido a N inorgânico através da atividade microbiana, a qual é dependente da: temperatura, umidade, pH, nutrientes inorgânicos, N total e manejo do solo. Keeney (1982), considerando que os solos contenham em média entre 0,08 e 0,4% de N total na camada de 0 - 10 cm e que a taxa de mineralização seja de 1 a 3 % do N total ao ano, estima que a quantidade de N mineralizado estaria na faixa de 8 a 120 kg/ha/ano. Stanford (1973) faz uma estimativa semelhante. Esta quantidade é raramente suficiente para atender a necessidade de culturas exigentes neste nutriente, além de ser lentamente liberada durante o ano enquanto a maior demanda destas culturas requer o N no início da estação de crescimento. Em que pese isto, em um manejo sustentável, a quantidade de N disponibilizada pelo solo deve ser contabilizada afim de

permitir ajustes na quantidade de N a ser complementada com outras fontes.

As principais metodologias utilizadas para investigar a mineralização do N do solo podem ser classificadas em testes vegetativos, microbianos, extrações químicas e estimativas diretas. Os testes vegetativos podem ser conduzidos tanto a campo quanto em casa de vegetação, porém, Keeney (1982) destaca os experimentos a campo como os mais satisfatórios na estimativa da quantidade de N suprida pelo solo, por integrar os fatores de crescimento da cultura com a dinâmica do N em um dado sistema solo-clima-cultura. A mais frequente avaliação, nesta metodologia, é a quantidade total de N absorvido pelas culturas em parcelas não fertilizadas. O rendimento de grãos também pode ser utilizado, porém, especificamente para o milho este parâmetro é extremamente influenciado pelo clima na fase reprodutiva, enquanto o N absorvido é considerado um parâmetro integrador de toda a fase de crescimento. O autor destaca que as principais desvantagens dos testes a campo seriam o grande requerimento de tempo e trabalho, além dos resultados serem considerados específicos para as condições onde foi realizada a experimentação.

A estimativa da eficiência da absorção do N mineralizado do solo não tem sido comumente avaliada, no entanto, Meisinger (1984) estima que este valor possa ser alto (>80%), se as culturas estão crescendo ativamente, uma vez que as condições que favorecem a mineralização também favorecem o desenvolvimento vegetal.

O teor de matéria orgânica (MO) do solo, tem sido classicamente utilizado para estimar a disponibilidade de N e conseqüentemente a necessidade de adubação para as culturas. No entanto, em alguns sistemas agrícolas, este parâmetro, quando utilizado isoladamente tem se mostrado inadequado (Pörtker et al., 1994). A inclusão de outros parâmetros tais como sistemas de preparo e cultura, que tem reconhecida influência sobre o sistema solo-planta, possivelmente permitirá aprimorar esta estimativa.

2.3 Impacto dos sistemas de preparo do solo na disponibilidade de N

Segundo Woodruff (1949), Dalal e Mayer (1986 a) e Bayer e Mielniczuk (1997

b) a dinâmica do N no solo pode ser descrita pela equação:

$$dN/dt=A-K.N \quad (1)$$

onde:

dN/dt = variação do conteúdo de N total do solo no tempo t.

A e K = são taxas de adições e perdas de N, respectivamente.

N = conteúdo de N total no solo

As perdas de N no solo podem ocorrer por erosão, lixiviação, desnitrificação, volatilização e remoção pelas culturas, enquanto que as adições podem ser principalmente por fixação simbiótica e assimbiótica de N_2 atmosférico, N da água da chuva, reciclagem e fertilização nitrogenada (Stevenson, 1965).

Com o cultivo do solo ocorre a alteração do conteúdo estável do N ($dN/dt=0$) existente em pastagens ou florestas, devido as modificações nas taxas de perda (k) e de adição (A) de N ao solo (Lathwell e Bouldin, 1981; Dalal e Mayer, 1986 b). De forma geral, a utilização de métodos de preparo que promovem revolvimento intenso no solo associados a sistemas de produção com baixas taxas de adição de N resultam num decréscimo exponencial do conteúdo de N no solo. Como resultado, observa-se a redução da capacidade do solo em fornecer N para as culturas levando a um declínio progressivo da produtividade (Dalal e Mayer, 1986 a). Por outro lado, a utilização do sistema de plantio direto pode reverter esta tendência proporcionando a manutenção ou aumento do conteúdo do N total. Entre os primeiros trabalhos a identificar maiores teores de MO e de N total no plantio direto em relação ao convencional destacam-se os de Beale et al. (1955) e Stanford et al. (1973). Gilliam e Hoyt (1987) realizando uma ampla revisão sobre experimentos nos USA e na Europa concluem que os resultados apresentaram uma tendência semelhante, na

qual a mudança do preparo convencional para o plantio direto resulta em aumento do N orgânico geralmente na faixa geral de 1,4 a 2,4 kg de N/cm solo/ha/ano para a camada de 0-30 cm (Tabela 1). Quando a camada considerada é mais superficial esta taxa de incremento pode ser ainda maior.

O efeito dos métodos de preparo sobre o conteúdo de N do solo é decorrente principalmente da alteração nas taxas das perdas deste nutriente. Desta maneira, Bayer e Mielniczuk (1997 b) concluíram que sistemas de preparo que promovem revolvimento do solo resultam em menores teores de N do solo, o que provavelmente é decorrente das maiores taxas de perdas. Segundo o autor, a exposição da superfície do solo a ação dos agentes erosivos devido a incorporação dos resíduos ao solo resulta em maiores perdas de N por erosão. Além da ruptura mecânica, sob preparo convencional também ocorre a exposição dos agregados superficiais a ciclos de umedecimento e secamento que induzem a desagregação e conseqüente exposição de material anteriormente inacessível aos microorganismos e suas enzimas favorecendo, desta maneira, a mineralização do N orgânico (Duxbury et al. 1989; Van Veen e Paul, 1981). Por outro lado, nos métodos sem preparo os maiores teores de carbono e nitrogênio totais no solo são decorrentes, em parte, da maior estabilização física da MO no interior dos microagregados (Bayer, 1996; Duxbury et al., 1989).

A maioria dos autores concordam que a acumulação do N total no solo nos sistemas sem preparo esteja relacionada com a manutenção da maior umidade na camada superficial, menor aeração, maior concentração superficial de raízes e menor temperatura do solo. Todos estes fatores combinados criam um ambiente menos oxidativo neste sistema em relação ao do convencional (Bandel et al., 1975; Doran e Power, 1983; House et al., 1984; Ortiz et al., 1984; Mello, 1991; Salton, 1991; Bayer, 1992).

TABELA 1. Acumulação de N total no solo influenciado por sistemas de preparo.

Sistema de Preparo	Tempo de Uso	Localização	Classificação do Solo	Profundidade	Acumulação de Nitrogênio	Fonte
	-Anos-			--cm--	kg/cm/ha/ano	
PD X PC	5	Georgia (USA)	Podzólico	0 - 21	+ 5,3	Groffman (1984)
PD X PC	5	Virgínia (USA)	Podzólico	0 - 15	+ 3,6	Moschler et al. (1972)
PD X PC	5	Kentuck (USA)	Podzólico	0 - 5	+15,0	Blevins et al. (1977)
PD X PC	25	N Dakota (USA)	Brunizem	0 - 45,7	+ 1,9	Bauer et al. (1981)
PD X PC	25	N Dakota (USA)	Brunizem	0 - 45,7	+ 1,0	Bauer et al. (1981)
PD X PC	7	New York (USA)	Podzólico	0 - 7,6	+16,0	Free (1970)
PD X PC	5	Göttingen (RFA)	Podzólico	0 - 30	+ 2,2	Fleige et al. (1974)
PD X PC	6	Göttingen (RFA)	Podzólico	0 - 30	+ 1,8	Fleige et al. (1974)
PD X PC	9	Guaíba (BR)	Podzólico	0 - 17,5	+ 6,3	Bayer et al (1995)
PD X PC	8	Passo Fundo (BR)	Latossolo	0 - 5	+13,0	Salet (1995)
CN X PD	10	Kentucky (USA)	Podzólico	0 - 5	- 6,2	Blevins et al. (1983)
CN X PC	10	Kentucky (USA)	Podzólico	0 - 5	- 9,0	Blevins et al. (1983)

Adaptado e ampliado de Gilliam e Hoyt (1987).

PD= Plantio direto, PC= Preparo convencional e CN= Campo nativo.

Entre os métodos de preparo o que mais se assemelha as condições do campo nativo é o plantio direto, tanto em termos de distribuição como de conteúdo total de N (Bayer e Mielniczuk, 1997 b). Entretanto, Gilliam e Hoyt (1987) apresentam resultados (Tabela I) nos quais, em solos que foram anteriormente pastagem, a utilização de sistemas de preparo, independente da intensidade de mobilização do solo, induziu um aumento da taxa de mineralização com conseqüente decréscimo da quantidade total de N. No entanto, possivelmente esta situação possa ser revertida pela associação de sistemas de preparo com mínima mobilização com sistemas de cultura que proporcionem elevada adição de N (Bayer e Mielniczuk, 1997 b; Testa, 1989). Pelo exposto, o balanço de N em dadas condições de clima e solo será influenciado pelas perdas de N em função do métodos de preparo adotado e pelas adições em função do sistema de cultura e adubações utilizadas. A seguir será apresentada uma revisão das principais rotas de perdas de N influenciadas por sistemas de preparo e sua conseqüência sobre a disponibilidade de N às culturas.

2.3.1 Perdas gasosas de N

A desnitrificação é o processo de redução biológica do NO_3^- a produtos finais. Este processo é realizado essencialmente por bactérias facultativas (*Pseudomonas* spp., *Bacillus* sp., *Achronobacter* sp.) que utilizam óxidos iônicos de N como receptores finais de elétrons, quando ocorre deficiência de oxigênio no solo (Alexander, 1977). Potencialmente o sistema de plantio direto apresenta algumas condições que podem favorecer a ocorrência de maiores perdas por desnitrificação comparativamente ao convencional. Entre estas, o aumento da densidade do solo, da microporosidade e do conteúdo de água superficial (Sidiras et al., 1984) associado ao aumento da disponibilidade de carbono, tem resultado no aumento significativo da população de microrganismos desnitrificadores neste sistema (Doran, 1980; Rice e Smith, 1982; Linn e Doran, 1984).

Após exaustiva revisão sobre o assunto, Gilliam e Hoyt (1987) concluem que sob condições de elevada umidade, onde a desnitrificação é alta, provavelmente haverá pouco efeito de sistemas de preparo. Contudo, sob condições marginais para a ocorrência da desnitrificação, o plantio direto apresentará maiores perdas de N por desnitrificação do que o preparo convencional. Contrastando com estes resultados, House et al. (1984) encontraram menores perdas por desnitrificação no plantio direto do que no preparo convencional.

Estudos realizados por Groffman (1985), Carter et al. (1967), Olson (1980) e Gilliam e Hoyt (1987) demonstram que estas perdas não devam ultrapassar a 10 kg/ha/ano. Valor este que, segundo Salet (1994), não seria suficiente para afetar a disponibilidade de N mineral para as plantas. No entanto a emissão contínua de óxido nítrico e seu efeito na depleção da camada de ozônio é preocupante do ponto de vista ambiental.

Outra forma de perda gasosa de N é a volatilização de adubos nitrogenados, verificada especialmente quando a uréia sólida é aplicada na superfície do solo, manejo comumente adotado no plantio direto no Sul do Brasil. Os resultados de pesquisa disponíveis sugerem que há necessidade de estudar outras fontes e formas de aplicação de adubos nitrogenados no sistema de plantio direto visando reduzir as perdas por volatilização (Touchton e Hargrove, 1982).

2.3.2 Perdas de N por enxurrada

Existem poucas dúvidas de que os preparos conservacionistas, reduzem a enxurrada e conseqüentemente as perdas de N por esta rota. A magnitude de redução das perdas tem sido variável entre o local de estudo e entre os anos para o mesmo local. Wendt e Burwell (1985) e Baker e Laflen (1983) concluem que esta redução estaria na faixa de 20-25%. Embora ocorra esta redução na perda total de N, existe geralmente um aumento na

concentração tanto de N dissolvido na enxurrada como do N nos sedimentos dos preparos conservacionistas, quando comparado aos dos preparos convencionais. Este resultado, provavelmente, está associado à aplicação superficial dos fertilizantes nitrogenados e a maior concentração de N total do solo na camada mais superficial. Sob o prisma de preservação ambiental, o aumento na concentração de N na enxurrada é preocupante, pois, este N está prontamente disponível, contribuindo para a eutroficação de recursos hídricos (Gilliam e Hoyt, 1987)

2.3.3 Perdas de N por lixiviação

Os dois pré-requisitos para ocorrência de perdas por lixiviação são a presença de N mineral na solução do solo e o movimento de água no perfil, ambas as condições são influenciadas por sistemas de preparo.

Entre os trabalhos mais citados na literatura destacam-se os desenvolvidos por Thomas e associados, no Kentucky, na década de 70 (Thomas et al., 1973; Tyler e Thomas, 1977). Estes pesquisadores encontraram maior quantidade de N, em profundidade superior a 90 cm, sob plantio direto do que sob convencional. Com base nestes resultados, os pesquisadores concluíram que há maior potencial para lixiviação em preparos conservacionistas possivelmente devido a maior infiltração de água, maior manutenção da umidade e presença de porosidade contínua (Muzilli, 1983). Esta porosidade é originária do desenvolvimento radicular e da atividade biológica e reflete uma melhoria da estrutura (agregação) pela retenção de carbono no solo, associado a isto, a ausência de mobilização no plantio direto permite que esta porosidade se mantenha por longo tempo.

Trabalhos mais recentes têm demonstrado que nem sempre a pressuposição de maiores perdas de N por lixiviação no plantio direto está correta, Kanwar et al. (1985) trabalhando com um solo do Estado de Iowa observaram muito menor lixiviação de N nas

parcelas de plantio direto do que nas de convencional. Gilliam e Hoyt (1987) discutindo estes resultados, argumentam que no Kentucky a maior parte do N perdido foi proveniente do fertilizante aplicado, enquanto que em Iowa, o NO_3^- existente teve tempo suficiente para migrar para o interior dos agregados, ficando então protegido do fluxo preferencial de água verificado na porosidade contínua. Stinner et al. (1983) também encontraram menor lixiviação de N no plantio direto e atribuem este resultado a menor concentração de N mineral na solução do solo, provavelmente devido a menor taxa de mineralização do N orgânico e ou maior imobilização microbiana neste sistema. Kitur et al. (1984) conduzindo pesquisa, no mesmo Estado, onde Thomas obteve os primeiros resultados a respeito de lixiviação não encontraram diferenças entre os sistemas de preparo convencional e direto.

Bayer e Mielniczuk (1997 b), na Depressão Central do Rio Grande do Sul, com base em um balanço de N, consideram que o principal processo de perda de N que diferenciou os métodos de preparo, quanto ao conteúdo de N total no solo provavelmente foi a lixiviação. Os autores acreditam que as maiores perdas de N no preparo convencional estariam associados a aceleração da decomposição da matéria orgânica e dos resíduos culturais incorporados no solo. Assim, esta maior taxa de decomposição provocaria mineralização de uma quantidade de N, que muitas vezes poderia exceder a capacidade de absorção pelas culturas, sendo o excedente susceptível a perda por lixiviação. Já Salet (1994) fazendo uma revisão sobre as perdas por lixiviação em experimentos conduzidos no Brasil, conclui que estas perdas seriam pouco significativas. De fato, vários pesquisadores tem encontrado, sob condições nacionais, baixas perdas por lixiviação, entre estes destaca-se: Libardi e Reichardt (1978), Reichardt et al. (1979), Meirelles et al. (1980), Uarguiaga et al. (1986) e Coelho (1987). Em experimento conduzido por Salet (1995), avaliando a lixiviação de um latossolo do Planalto do Rio Grande do Sul sob plantio direto, constatou-se que as perdas também foram reduzidas. Camargo et al. (1989) encontraram

perdas significativas por lixiviação somente em solo com 79% de areia e submetido a uma precipitação pluvial de mais de 200 mm em duas semanas.

Um balanço da literatura disponível sobre as perdas de N por lixiviação em sistemas de preparo sugere uma amplitude muito grande de resultados, muitos dos quais contraditórios e de interpretação complexa. Assim generalizações a respeito da eficiência de sistemas de preparo sobre as perdas por lixiviação são difíceis de serem realizadas, pois há uma grande influência do manejo da adubação, do tipo de solo e das condições climáticas, que são variáveis de ano para ano.

2.3.4 Absorção de N e rendimento de culturas influenciado por sistemas de preparo

Segundo Blevins et al. (1983) e Salet (1994) o sistema de plantio direto pode ser dividido em duas fases: a fase de implantação que compreende o período inicial, quando ainda não são evidentes as alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, e a fase estabelecida, na qual ocorre um aumento nos teores de carbono orgânico e nitrogênio total do solo (Dowdell e Cannell, 1975; House et al., 1984; Bayer, 1992) e um acúmulo de nutrientes na camada superficial, que associadas as modificações físicas (temperatura, umidade e aeração), criam condições para uma maior atividade microbiana que se reflete na disponibilidade de N.

Durante a fase de implantação do sistema de plantio direto, os resultados obtidos sugerem menor disponibilidade de N, que é refletida em menor absorção e menores rendimentos das culturas exigentes neste nutriente, como o milho, quando na ausência ou com uso de baixas doses de adubação nitrogenada (Shear e Moschler, 1969; Triplett e Vandown, 1969; Juo e Lal, 1979; Phillips et al., 1980; Muzilli, 1983; Blevins et al., 1985; Freitas, 1988; Rosso, 1989; Bayer, 1992). De um modo geral não existe concordância entre

os autores quanto à causa ou às causas para a redução da disponibilidade de N nesse sistema (Salet, 1995). As causas mais citadas são: maiores perdas por lixiviação (Blevins et al., 1972; Thomas et al., 1973 e Muzilli, 1983); maiores perdas por desnitrificação (Doran, 1980); maior imobilização pelos microrganismos do solo (Westerman et al., 1972; Olson, 1980; Power e Legg, 1984 e Salet, 1994); menor mineralização do N orgânico dos resíduos culturais (Brown e Dickey, 1970; Dowdell e Caneill, 1975; Bayer, 1992); ou uma associação destas causas. No entanto, estes efeitos podem ser transitórios. Bayer (1996) sustenta que com o passar dos anos a disponibilidade de N, no sistema de plantio direto pode aumentar, em consequência do incremento do N total no solo. Salet (1995) encontrou maior concentração de N na solução do solo antes do cultivo e 27 dias após a emergência do milho no sistema de plantio direto estabelecido (8 anos) em relação ao convencional. O autor atribui este resultado a maior mineralização do N orgânico do solo, devido a grande quantidade de N total acumulada no solo e a maior atividade microbiana. Bayer (1996) modelando a dinâmica do carbono e nitrogênio, no Rio Grande do Sul, em sistemas de preparo e cultura, estima que o plantio direto no sistema aveia - vicia/milho+caupi levaria 292 anos para atingir o estado estável, enquanto que o preparo convencional, no mesmo sistema de cultura, levaria 142 anos para atingir este estado, quando então a diferença na quantidade de N total acumulada seria de 3.608 kg/ha na camada de 0-17,5 cm em favor do plantio direto.

Interessante registrar que quando o conteúdo de N atingir a estabilidade, embora seja prevista uma grande diferença na acumulação de N total, a quantidade prevista de N mineralizado seria semelhante entre os sistemas de preparo (aproximadamente 231 kg/ha/ano). O autor conclui que embora o coeficiente de mineralização do N seja maior no preparo convencional, resultando, a curto prazo, em maior disponibilidade de N para as culturas, com o passar dos anos o significativo aumento do N total no plantio direto irá

compensar o menor coeficiente de mineralização neste sistema. Gilliam e Hoyt (1987) também afirmam que os sistemas de preparo utilizados continuamente tendem a atingir um estado estável em relação ao conteúdo de N total do solo. Neste estado, poderá ocorrer flutuações na disponibilidade de N sem, no entanto, ocorrer mudança na quantidade de N total acumulada, até o sistema ser alterado. Assim, a MO servirá como um reservatório do N durante a fase de transição de um sistema de intenso revolvimento para um sistema sem preparo. Porém, a maioria dos autores concluem que este efeito deva ser temporário e passada esta fase, o N total acumulado no solo também poderá tornar-se parcialmente disponível para as culturas. Estes autores sugerem, que a longo prazo, a dose de N a ser aplicado não deverá ser alterada em função do sistema de preparo adotado.

2.3.5 Eficiência do N fertilizante aplicado em sistemas de preparo

A menor eficiência comumente verificada em preparos conservacionistas, quando da utilização de baixas doses de adição de N fertilizante é provavelmente reflexo do aumento da imobilização microbiana. Por outro lado, quando da utilização de doses mais elevadas, muitos pesquisadores não encontram diferenças ou até mesmo encontram maior eficiência no plantio direto do que no convencional. Estes resultados, segundo Gilliam e Hoyt (1987) encorajam a utilização de doses mais elevadas de N em preparos conservacionistas. Bayer (1992) avaliando a recuperação pelo milho do N aplicado via fertilizante em sistemas de preparo e cultura, no Rio Grande do Sul, estimou a recuperação média de 50%, variando entre 45% para aveia + trevo/milho em plantio direto e 61% para aveia/milho em preparo reduzido. Salet (1994), no mesmo Estado, encontrou, após a aplicação de fertilizante nitrogenado, menor quantidade de N mineral na solução do solo e menor absorção pelo milho no sistema de plantio direto quando comparado ao convencional. O autor atribuiu este resultado à maior imobilização microbiana. Trabalhos

de pesquisa tem demonstrado a importância da localização do fertilizante mineral nos preparos conservacionistas. Sá (1992) observou incremento na produtividade do milho sob plantio direto com a utilização de doses menores aplicadas na linha, do que doses maiores aplicadas em cobertura na superfície do solo. Porém, os melhores resultados em recuperação do N fertilizante pela cultura, nos USA, têm sido obtidos quando é feita a injeção do fertilizante abaixo da camada de resíduos, diminuindo a imobilização pelo distanciamento físico entre a colocação do fertilizante e a zona superficial composta por resíduos, favorecendo desta maneira a absorção do N pelas raízes. Esta prática necessita ser investigada também no Brasil.

Bayer (1992) confirma resultados encontrados anteriormente por Rosso (1989) e por Freitas (1988), nos quais o rendimento máximo do milho sob plantio direto foi atingindo com menor absorção de N do que a verificada no sistema convencional. Os autores argumentam que a maior eficiência de uso do N absorvido pelo milho no sistema de plantio direto, possivelmente seja devida a maior disponibilidade de água neste sistema (Salton, 1991). Nanagara et al. (1976) sugerem que as plantas no plantio direto apresentam maior taxa de transpiração o que favoreceria o suprimento de N por fluxo convectivo.

Quanto ao rendimento de culturas não leguminosas, em anos com precipitação normal, o maior efeito dos sistemas de preparo, provavelmente, está relacionado com a disponibilidade de nutrientes, principalmente o N do que associados a alterações nas características físicas e biológicas do solo (Juo e Lal, 1979). Porém, em anos com déficit hídrico, a melhor conservação da umidade no sistema de plantio direto pode representar aumento no rendimento do milho quando comparado ao convencional.

2.3.6 Sumário do efeito de sistemas de preparo na disponibilidade de N

Realizando um balanço final sobre o efeito dos sistemas de preparo na disponibilidade de N pode-se concluir que as perdas gasosas de N, potencialmente, são maiores no plantio direto do que no convencional. Por outro lado, o plantio direto aumenta a quantidade de N orgânico presente no solo em relação ao convencional. Este aumento irá ocorrer por um período de tempo até que um novo conteúdo estável seja atingido, quando então o N orgânico do solo deixará de ser um reservatório do N adicionado e a disponibilidade deste nutriente deverá ser pelo menos semelhante a do convencional.

Diferenças na eficiência da adubação nitrogenada, quando encontradas entre sistemas de preparo tendem a ser pequenas. Alguns experimentos demonstram maior eficiência de uso do N pela cultura sob preparo convencional em baixas doses e mesma ou maior eficiência sob plantio direto em doses maiores. Os dados disponíveis permitem afirmar que o plantio direto perde menor quantidade de N por erosão e por escoamento superficial do que o convencional. Quanto a lixiviação, os preparos conservacionistas podem aumentar, diminuir ou manter a mesma taxa verificada no preparo convencional, dependendo de vários fatores com destaque ao clima, solo e manejo da adubação mineral.

Gilliam e Hoyt (1987) concluem que o maior desafio da pesquisa com respeito ao N em preparos conservacionistas está em rejeitar ou aceitar a hipótese de que os preparos conservacionistas não tenham melhorado ou até mesmo tenham aumentado os problemas ambientais decorrentes do uso de fertilizantes nitrogenados.

2.4 Impacto da disponibilidade de N em sistemas de cultura

2.4.1 Histórico do uso de adubos verdes na agricultura

O valor das leguminosas em promover a melhoria da fertilidade do solo tem sido reconhecido desde as civilizações ancestrais, como chineses, gregos e romanos. há

mais de 2.000 anos atrás (Reeves, 1994). Entre as rotações mais antigas e mais famosas destaca-se a estabelecida na Inglaterra conhecida como rotação “Norfolk”. Esta rotação tinha duração de 4 anos e incluía trigo, brassica (Brassica rapa L.), centeio e trevo vermelho. A rotação “Norfolk” foi responsável pelo aumento do rendimento do trigo de 540 para 1.350 kg/ha e serviu de modelo para toda a Europa. Esta rotação, com alguma modificação, ainda está em uso até hoje e é uma das integrantes do experimento de Rothamsted (Reeves, 1994).

Tradicionalmente as leguminosas e outras plantas eram incorporadas ao solo antes da cultura econômica visando principalmente a melhoria da fertilidade do solo, sendo por isto definidas como adubos verdes: contudo, com o aumento da preocupação com a erosão e a ênfase ao manejo dos resíduos culturais, estas plantas passaram a serem usadas como cobertura do solo em preparos conservacionistas, sendo por isto definidas como culturas de cobertura (Calegari et al., 1992).

Reeves (1994) define as culturas de cobertura de inverno comumente usadas precedendo a cultura econômica de verão como, essencialmente, rotações de curto prazo. Nas últimas décadas tem crescido o interesse pela utilização de culturas de cobertura em preparos conservacionistas visando controle da erosão, aumento da infiltração da água, fornecimento de N para a cultura em sucessão e aumento da produtividade. Os benefícios das culturas de cobertura estão associados a produção de biomassa, a qual serve como fonte de MO e substrato para a atividade biológica do solo (Bruce et al., 1991).

Hargrove e Frye (1987) consideram irônico que haja necessidade de recorrer a práticas tão antigas, quanto ao uso de leguminosas para dotar de sustentabilidade a tecnologicamente avançada agricultura moderna.

2.4.2 O uso de culturas de cobertura e a sustentabilidade agrícola

A análise comparativa entre a agricultura desenvolvida nos Andes (Peru) e no Novo México (USA) permite uma das raras oportunidades para avaliar a sustentabilidade de práticas agrícolas adotadas em um horizonte de tempo mais amplo (séculos), do que a normalmente feita através de experimentos de longa duração (anos). Sandor e Eash (1991) relatam que os solos destes dois locais possuem algumas características pedológicas semelhantes tais como: mesma classificação (Brunizem) e semelhante classe textural (franco a franco-arenoso), porém foram utilizados com manejo distintos. Enquanto no Novo México a principal cultura utilizada era o milho em monocultura, no Peru os agricultores empregavam práticas de manejo visando manter a produtividade agrícola, tais como: cultivo intercalado, rotação de culturas incluindo milho, batata, trigo, cevada, aveia, uso de leguminosas como fava e alfafa, fertilização com adubos orgânicos associado ao uso de terraços e preparo do solo com um implemento semelhante ao atual escarificador. Transcorridos aproximadamente 800 anos, na agricultura do Novo México ocorreram decréscimos de 46 e 41 % nas concentrações de carbono e N total, respectivamente, associados à degradação das condições físicas do solo, com a estrutura se aproximando do estado maciço, e ocorrência generalizada de erosão. Por outro lado, no Peru a agricultura desenvolvida por mais de 1.500 anos, manteve as condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal, tais como: elevações nos teores de carbono e N total em 17 e 34%, respectivamente, em relação a condição original; com preservação das características físicas (estrutura granular, macroporosidade e espessura do horizonte A) e manutenção da atividade biológica (presença de minhocas). Todos estes indicadores permitiram Sandor e Eash (1991) concluir que, embora o ambiente montanhoso, foi possível desenvolver uma agricultura sustentável no Peru alicerçada em práticas como a utilização de culturas de cobertura, fertilização e redução na intensidade de mobilização do solo.

Mitchell et al. (1991) revisando os resultados obtidos nos três experimentos mais antigos do Estados Unidos, todos com mais de cem anos, concluem que a rotação de culturas e a recuperação no teor de N do solo pela utilização de leguminosas foram as estratégias mais eficientes para atingir uma produção sustentável. O experimento conhecido como “The Old Rotation” implantado em 1896, na Universidade de Auburn, Alabama (USA), ilustra bem esta situação. O milho cultivado continuamente por 40 anos, sem fertilização nitrogenada em um solo com teor de MO < 1,0 , resultou em um declínio paulatino no rendimento durante um período de 15 a 20 anos e então estabilizou com um rendimento 50% inferior ao original, traduzindo um acentuado declínio da capacidade do solo em suprir N. Por outro lado, a utilização de leguminosas, durante um século, em rotação com o algodão, promoveu incrementos nos teores de carbono e N total do solo e sustentou rendimentos até duas vezes superiores aqueles obtidos com algodão contínuo.

2.4.3 Vantagens da utilização de culturas de cobertura em sistemas de produção

Entre os benefícios clássicos das culturas de cobertura estão o controle da erosão, o fornecimento de N e o incremento do rendimento da cultura em sucessão. A melhoria das características químicas, físicas e biológicas pelo uso desta prática também tem sido amplamente registrada na literatura. Nesta revisão será dada ênfase ao efeito das culturas de cobertura na dinâmica do N.

Embora ainda seja limitado o número de informações disponíveis sobre o ciclo do N em condições tropicais e subtropicais, os resultados encontrados, nestas condições, tem indicado que a combinação de elevada erosão com elevadas taxas de decomposição da MO podem conduzir a um rápido decréscimo no teor de N do solo. Além disto, Keeney (1982) acredita que o potencial de lixiviação de nitratos deva ser maior nestas condições

do que em condições de clima temperado.

Pavinato (1993) com base nos dados apresentados por Eltz et al. (1984) calculou que as perdas de N total no solo descoberto no Rio Grande do Sul poderiam ser tão elevadas quanto 345 kg/ha/ano, sugerindo que quando o manejo for inadequado, a erosão será a principal forma de perda de N em condições subtropicais. Debarba (1993) também chega a conclusão semelhante.

Gantzer et al. (1991) avaliando o efeito de sistemas de cultura nas perdas de solo sob condições de preparo convencional, em um experimento na Universidade do Missouri (USA) concluíram que transcorridos cem anos no sistema milho/pousio houve a perda 36,7 cm de solo (correspondente a todo o horizonte superficial), enquanto em uma rotação, incluindo milho, aveia, trigo e trevo, a perda foi reduzida a metade do horizonte superficial. Estes resultados, embora evidenciem o efeito positivo das culturas de cobertura em reduzir a erosão, demonstram a necessidade da associação desta prática com preparos com menor mobilização do solo do que o convencional. Debarba (1993) relatou que comparativamente ao solo descoberto a utilização dos sistemas de cultura como aveia+ervilhaca/milho, tremoço/milho, milho+mucuna e milho+feijão de porco em plantio direto reduziu as perdas de solo e água em 98 e 85 %, respectivamente. Os resultados confirmam que a utilização de resíduos culturais como cobertura do solo é a maneira mais simples, econômica e eficiente de controlar a erosão e, portanto, reduzir as perdas de N por esta rota.

A maioria dos benefícios das culturas de cobertura no aumento do rendimento das culturas econômicas tem sido atribuído ao aumento da disponibilidade de N promovido pelas leguminosas (Baldock e Musgrave, 1980; Fleming et al., 1981; Ebelhar et al., 1984; Hesterman et al., 1986; Teixeira, 1988; Testa, 1989; Pavinato et al., 1993; Aita et al., 1993). A melhoria da fertilidade do solo com a utilização, a longo prazo, de leguminosas se deve a conversão de parte do N fixado biologicamente em N em formas estáveis do

húmus as quais tem efeito direto e indireto sobre a fertilidade (Azam, 1983).

Especificamente quanto ao ciclo do N em agroecossistemas, Meisinger et al. (1991) propõem que a cultura de cobertura ideal é aquela que forneça elevado aporte de N para a próxima cultura, ao mesmo tempo que proporciona redução na lixiviação de NO_3^- . As gramíneas podem significativamente reduzir o N lixiviado, mas geralmente ocasionam pouco, nenhum ou até mesmo negativo efeito na disponibilidade de N para a próxima cultura. Por outro lado, as leguminosas tem demonstrado sua capacidade em fornecer N para a cultura seguinte, porém seu efeito sobre a lixiviação de N ainda é incerto. Jones (1942) conduzindo um experimento com o uso de lisímetro no Alabama, em três diferentes solos, encontrou que a aveia reduziu em 81% a massa de N lixiviado, enquanto a ervilhaca em apenas 6%. Resultados semelhantes são reportados por Meisinger et al. (1991), que encontraram que as gramíneas teriam eficiência semelhante a das brassicas e ambas superiores às leguminosas. Esta eficiência das gramíneas está relacionada com a abundância, forma e distribuição do sistema radicular, bem como a cobertura do solo proporcionada, por estas espécies de alta densidade, rápido crescimento e elevada proteção do solo (Freitas, 1988; Dechen et al., 1981).

Como enfatizado anteriormente, a lixiviação de nitratos é um dos processos de perda de N mais afetados pelos sistemas de cultura. A utilização de plantas com maior potencial de reciclagem desse nutriente e a ocupação permanente do solo representam alternativas eficientes em reduzir a lixiviação (Wood et al., 1991; Heinzmann, 1985). As culturas de cobertura diretamente afetam o balanço hídrico através da evapotranspiração, reduzindo a lixiviação (Meisinger et al., 1991). Avaliando o efeito do número de culturas por unidade de tempo (intensidade de cultura), Wood et al. (1991) concluíram que, sob plantio direto, o mais intenso sistema de cultura resultou na menor concentração de NO_3^- e portanto menor risco de lixiviação. Assim, se o sistema de plantio direto, com base nos

resultados atualmente disponíveis, ainda não permite concluir a respeito da sua eficiência quanto a lixiviação, a associação deste sistema de preparo com sistemas de cultura de elevada intensidade, é uma alternativa viável para reduzir os riscos de lixiviação de nitratos.

Além da redução nas perdas de N por erosão, as culturas de cobertura, constituídas por leguminosas, podem contribuir para a melhoria do balanço de N do solo pela adição de N₂ biologicamente fixado. O conteúdo de N em resíduos de leguminosas varia com a espécie, N residual no solo, adaptação a condições de clima e solo e época de manejo (Reeves, 1994). Horderbaum et al. (1990) concluem que a produção de matéria seca é o principal fator determinante na quantidade de N a ser adicionada por leguminosas. Reeves (1994) fazendo uma revisão das leguminosas de inverno, estima que a quantidade de N na parte aérea estaria na faixa de 36-226 kg/ha, com uma média de conteúdo de N de 120 kg/ha. A relação C/N por sua vez, ainda segundo o mesmo autor, estaria na faixa de 25:1 a 9:1, porém na maioria das situações abaixo de 20:1, a qual proporcionaria condições para a ocorrência de uma rápida mineralização do N dos resíduos. Burle (1995) avaliando sistemas de cultura, na Depressão Central do Rio Grande do Sul, quanto ao aporte de N, encontrou valores variando de 52 até 502 kg/ha/ano. As culturas de cobertura que acumularam as maiores quantidades de N na biomassa foram as leguminosas de verão (guandu e siratro) e consorciações (trevo+gorga, aveia+vica/caupi, aveia+trevo). Além da fixação biológica a autora não descarta a possibilidade destas espécies estarem reciclando melhor o N das camadas mais profundas, como demonstrado anteriormente por Burle et al. (1989) e Heinzman (1985).

Embora o elevado aporte de N pelas leguminosas, Ladd et al. (1981) utilizando técnica de N marcado encontraram que o trigo recuperou, em média de três solos, apenas 14% do N contido no resíduo de alfafa. Em outro experimento com N¹⁵, Ladd et al. (1985) encontraram que após 8 anos, 31 a 38% do N da leguminosa se encontrava na fração

orgânica do solo estudado. Estes resultados tem levado vários autores a concluírem que a acumulação do N no solo seria a principal contribuição das leguminosas (Ladd et al., 1981; Harris e Hesterman, 1990). Na mesma linha, Harris e Hesterman (1990) avaliando o efeito de resíduos de alfafa com N marcado encontraram que em média 45 % do N nos resíduos da leguminosa foram recuperados na fração orgânica do solo. Este valor foi superior ao dobro do que foi recuperado pela cultura do milho. Pavinato (1993) realizando um balanço com N não marcado, no Rio Grande do Sul, estimou que 40% do N adicionado via resíduos de leguminosas foi retido na fração de N orgânico na camada de 0-17.5 cm no sistema de plantio direto. Esta estimativa se aproxima dos valores obtidos com N marcado. Em que pese a maior quantidade de N adicionado pelas leguminosas ser recuperada pela fração orgânica do solo, deve-se enfatizar que a quantidade de N recuperada pela cultura é determinante no rendimento, especialmente em agricultura de baixos insumos e em solos com reduzido potencial de suprimento de N.

A associação de sistemas de culturas com elevada adição de N via fixação biológica com a ausência de preparo do solo tem se mostrado como a maneira mais eficiente em promover a recuperação do conteúdo de N total do solo (Testa, 1989; Bayer e Mielniczuk, 1997 b). Wood et al. (1991) relataram que após um histórico de 50 anos de preparo do solo a mudança para o plantio direto, associado a um intenso sistemas de cultura, promoveu ganhos de N orgânico transcorridos apenas 4 anos. Por outro lado, os benefícios da cultura de cobertura em aumentar o teor de matéria orgânica e, portanto, do N total são anulados pelo preparo do solo (Utomo et al., 1987). Bayer e Mielniczuk (1997 b) analisando sistemas de preparo e de cultura, concluíram que o aumento do N total só ocorreu quando a intensidade de preparo foi reduzida. O incremento foi maior nos sistemas que incluíam leguminosas e restringiu-se as camadas mais superficiais do solo. Os resultados obtidos, pelo mesmo autor, no nono ano confirmam uma interação entre sistemas

de preparo e cultura quanto a acumulação de N. assim a diferença do N total na camada de 0-17,5 cm foi de 1.000 kg/ha em favor do plantio direto e aveia+ervilhaca/milho+caupi em relação ao preparo convencional e aveia/milho, o que representou uma taxa de acúmulo de 100 kg/ha/ano (Bayer et al., 1995).

Os experimentos de longa duração conduzidos nas Universidades de Auburn e Illinois nos USA, indicam que a utilização de leguminosas associados a fertilização mineral, mesmo quando em preparo convencional, proporcionou manutenção ou até mesmo incrementos no teor de N total do solo, porém este fato só foi possível de ser constatado com experimentação a longo prazo (Mitchell et al., 1991). Provavelmente a substituição do preparo convencional pelo plantio direto, nestes experimentos poderia ter abreviado em décadas o acréscimo do teor de N total no solo. Reeves (1997) salienta que quando estes experimentos foram implantados não havia preocupação com o impacto do sistema de preparo sobre a qualidade do solo, fato este somente reconhecido nos últimos 35 anos.

As culturas não leguminosas, em especial as gramíneas não apresentam as mesmas vantagens de adição de N ao solo, porém podem representar um importante papel na reciclagem de nutrientes, como anteriormente destacado. Robertson et al. (1991) fazendo uma revisão sobre o assunto constatam uma escassez muito grande de trabalhos de pesquisa sobre o assunto, no entanto, os autores acreditam que a preocupação com o potencial de poluição do ar e da água pelo N fará com que, nos próximos anos, a reciclagem de nutrientes desperte interesse dos pesquisadores. A quantidade de N nos resíduos destas culturas é dependente da quantidade de N residual no solo, assim como do potencial de mineralização do solo (Wagger e Mengel, 1988). Reeves (1994) estima que o conteúdo de N nas gramíneas possa apresentar valores tão altos quanto 100 kg/ha ou tão baixos quanto 13 kg/ha, no entanto uma faixa de 25 a 50 kg/ha seria a mais comumente encontrada. Merten (1988), no Planalto do Rio Grande do Sul, encontrou que a aveia absorveu mais de

100 kg/ha de N, enquanto, na Depressão Central do mesmo Estado, Freitas (1988) relatou que no sistema aveia/milho a cultura de cobertura absorveu 28 kg/ha. Estes resultados refletem diferenças no potencial do solo em fornecer N. A relação C/N das gramíneas utilizadas como culturas de cobertura normalmente excedem a 30:1, resultando em uma inicial, se não persistente imobilização do N durante a estação de crescimento da cultura em sucessão (Doran e Smith, 1991; Torbert e Reeves, 1991). Este fato pode demandar a utilização de uma adubação nitrogenada de 25 a 30 kg/ha na base da cultura econômica (Reeves et al., 1986; Touchton et al., 1986).

A consorciação de gramíneas com leguminosas apresenta várias vantagens, especificamente quanto ao ciclo do N, as primeiras atuam na reciclagem do N disponível no solo, enquanto as segundas adicionariam este nutriente através da fixação biológica (Pavinato, 1993; Freitas, 1988). Desta forma, a consorciação apresentaria um valor intermediário, entre a larga relação C/N das gramíneas e a estreita das leguminosas, com isto potencialmente haveria possibilidade de suprimento de N para a cultura em sucessão associado a manutenção da cobertura por um maior período de tempo (Martin e Touchton, 1983). Porém, em solos com baixo teor de N, parte do N mineralizado da leguminosa pode ser imediatamente imobilizado pelos microrganismos, durante a decomposição dos resíduos da gramínea, reduzindo desta maneira, a disponibilidade de N para as culturas em sucessão. Este fato foi registrado por Decker et al. (1987), os quais encontram que a consorciação de leguminosas com trigo reduziu em média 30% e 19% as quantidades de N absorvida e o rendimento do milho, respectivamente, quando comparado ao uso das leguminosas isoladamente como cultura de cobertura.

2.4.4 Decomposição dos resíduos da cultura de cobertura e absorção de N pela cultura em sucessão

Embora uma grande quantidade de N possa existir na parte aérea das culturas de cobertura, a real quantidade de N que ficará disponível para a cultura em sucessão irá depender da extensão da decomposição da biomassa destas culturas dentro da estação de crescimento da cultura econômica. Assim, a previsão de sincronismo entre a demanda da cultura e a disponibilidade de N somente será possível com o conhecimento do processo de decomposição dos resíduos em condições de campo. A realização deste objetivo é dificultada pelo complexo e grande número de fatores químicos, físicos, climáticos e de manejo que influenciam este processo, regulado por microrganismos (Christensen, 1986; Doran, 1980).

Entre as alternativas para avaliar a decomposição dos resíduos, destaca-se a utilização de sacos de decomposição. Esta técnica tem sido largamente empregada nos USA. Algumas críticas ao uso desta metodologia são de que ela previne alguns invertebrados, como as minhocas, de utilizar os resíduos, além de influenciar na umidade do substrato (Muller e Sundam, 1988). Porém os mesmos autores comparando a estimativa de decomposição de resíduos feita através da utilização de sacos de decomposição e de resíduos livres misturados ao solo, concluem que a diferença foi muito pequena, sugerindo que esta técnica é eficiente para avaliar a decomposição dos resíduos. Wilson e Hargrove (1986) chegaram a conclusão semelhante.

A taxa de decomposição depende das características intrínsecas dos resíduos e de fatores externos. Waggoner (1989), usando sacos de decomposição, encontrou que a taxa de liberação de N dos resíduos foi a seguinte: ervilhaca > trevo > aveia, seguindo uma ordem inversamente proporcional a relação C/N dos resíduos. Pavinatto (1993) estudando a decomposição de oito diferentes culturas de cobertura encontrou que 66 e 60% da

decomposição dos resíduos de inverno e verão, respectivamente, foram explicados pela relação C/N.

De uma maneira geral a relação C/N <25 favorece a mineralização e acima deste valor favorece a imobilização de N. É importante destacar que estes processos ocorrem de forma simultânea e como resultado tem-se que a disponibilidade de N reflete a mineralização ou imobilização líquida (Victoria et al., 1988). Além da relação C/N, Somda (1991) destaca o conteúdo inicial de N como um dos fatores de maior influência na decomposição dos resíduos. O autor enfatiza que o modelo exponencial classicamente tem sido utilizado para explicar o processo de decomposição de resíduos, onde a primeira fase refletiria uma rápida decomposição de materiais como carboidratos simples, amidos, açúcares e proteínas, enquanto a segunda fase representaria uma decomposição de material mais resistente, tais como: celulose, gorduras, ceras, taninos e ligninas, sendo portanto mais lenta (Wieder e Lang, 1982; Somda, 1991). Outros modelos matemáticos que tem sido utilizados para descrever a cinética de mineralização do N dos resíduos são o exponencial duplo, linear e quadrático (Mansoer, 1993; Wilson e Hargrove, 1986; Dou, 1993; Wieder e Lang, 1982). Embora a relação C/N e o conteúdo de N sejam os principais constituintes dos resíduos que influenciam na decomposição, a proporção de vários outros constituintes, como destacado anteriormente, tem marcada influência neste processo (Yadvinder-Singh et al., 1992).

Dou (1993) destaca que entre os fatores externos que mais influenciam a liberação de N dos resíduos estão a umidade, temperatura e a sua localização (incorporados ou deixados na superfície). Além destes, o conteúdo de N total no solo tem influência neste processo. Estes fatores, em muitas situações, regulam a ocorrência de sincronismo entre a liberação de N dos resíduos e a demanda da cultura (Ghilday, 1985). Huntington et al. (1985) em um experimento conduzido no Centro-Oeste americano (Kentucky) encontraram

que aproximadamente 50% da liberação do N dos resíduos de ervilhaca ocorreu após o período de pendoamento do milho, o que induziu uma recuperação de apenas 29% do N dos resíduos pelo milho. Para melhor ilustrar este assincronismo, os autores relataram que a maior taxa de mineralização dos resíduos de ervilhaca, verificada neste experimento, foi de 1,10 kg/ha/dia, muito aquém do pico de demanda do milho. Hanway (1963) estudando a cinética de absorção de N pelo milho destacou que valores entre 60 a 90% do total absorvido são adquiridos anteriormente ao florescimento, com uma grande demanda já a partir de 4 semanas após a emergência, evidenciando a importância para esta cultura, de uma rápida mineralização do N dos resíduos.

Contrastando com o experimento conduzido no Kentucky, Wilson e Hargrove (1986), pesquisando na Georgia, encontraram que resíduos de trevo (com relação C/N semelhante a da ervilhaca utilizada no experimento anterior) apresentaram liberação de 60% do N nas primeiras 4 semanas após o manejo, sugerindo um bom sincronismo com a demanda da cultura em sucessão. O autor atribui este resultado as diferenças no clima (temperatura e umidade) da Georgia, sub-tropical úmido, e o do Kentucky, temperado. Dou (1993) encontrou que 80% do N nos resíduos de trevo e ervilhaca foram liberados dentro da estação de crescimento do milho, havendo portanto adequado sincronismo. Mansoer (1993), no Alabama, também encontra rápida liberação do N contido em resíduos de crotalária juncea. Da Rós (1993) e Pavinato (1993) encontram que para as condições de clima sub-tropical da Depressão Central do Rio Grande do Sul a maior liberação de N dos resíduos ocorreu nas primeiras quatro semanas após o manejo, sugerindo bom potencial de sincronismo com a demanda das culturas de verão. Estes exemplos ilustram a importância do fator ambiental na ciclagem do N de resíduos de culturas de cobertura e indicam que os resultados são extrapoláveis a uma faixa muito estreita de condições climáticas.

O sistema de preparo também tem marcante influência sobre a velocidade de

decomposição dos resíduos. Geralmente a incorporação de resíduos resulta em uma mais rápida mineralização quando comparada aos resíduos deixados na superfície (Wilson e Hargrove, 1986; Groffman et al., 1987). No entanto tem pouca influência sobre a quantidade total liberada (Groffman et al., 1987). O preparo do solo tem vários efeitos que podem acelerar o processo de decomposição, entre estes destaca-se: o fracionamento dos resíduos aumentando a superfície de contato para o ataque microbiano e a homogeneização do material vegetal com o solo, que resulta em maior e mais uniforme inoculação inicial com micróbios saprófitas. Além disto, imediatamente após a aração, a aeração e as demais condições físicas são favoráveis a atividade microbiana. Finalmente, a incorporação dos resíduos previne a ocorrência de dessecação, comumente verificada quando os resíduos são deixados na superfície (Phillips e Phillips, 1984). Utomo (1986) avaliando o efeito de sistemas de preparo concluiu que as quantidades de N absorvidas pelo milho seguindo a ervilhaca foram 79 e 56 kg/ha, respectivamente, para o preparo convencional e plantio direto. Varco et al. (1993) avaliando a decomposição de resíduos de ervilhaca marcado com N^{15} em sistemas de preparo encontraram que, após 4 semanas, 89% do N sob preparo convencional estava disponível para a cultura seguinte, enquanto sob plantio direto apenas 60%. Dou (1993) também encontrou que o preparo afetou a sazonalidade de disponibilidade de N dos resíduos de leguminosas. Enquanto no preparo convencional o pico de disponibilidade ocorreu 4 semanas após a incorporação, no plantio direto este pico só ocorreu 7 a 8 semanas posterior ao manejo. Embora esta diferença, o autor conclui que ambos os preparos apresentaram sincronismo com a demanda da cultura em sucessão.

Com base nesta revisão pode-se constatar que sob algumas condições climáticas (baixas temperaturas ou deficit hídrico) a mais lenta decomposição das leguminosas sob plantio direto pode gerar algum assincronismo com a demanda inicial da cultura econômica, no entanto isto não implica obrigatoriamente na necessidade de realizar o

preparo e perder todas as vantagens de proteção do solo. Reeves et al. (1993) recomenda em situações como estas, a aplicação de 20 a 30 kg/ha de fertilização nitrogenada mineral na base da cultura econômica visando atender a demanda inicial da cultura.

A contribuição das leguminosas em N para as culturas em sucessão tem sido geralmente avaliada através da equivalência em fertilizante. Este índice é calculado como a quantidade de N fertilizante necessário para que a cultura econômica, seguindo o pousio, obtenha um rendimento equivalente aquele auferido quando a cultura segue uma leguminosa sem adubação nitrogenada (Mitchell e Tell, 1977; Ebelhar et al., 1984; Touchton et al., 1984). Embora prático, este método não discrimina o efeito de contribuição de N da cultura de cobertura de outros efeitos, definidos por Russele et al. (1987) como efeitos da rotação, tais como melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo (Smith et al., 1987; Frye et al., 1988; Hargrove, 1986; Reeves, 1994). Por considerar que o rendimento de grãos é o resultado da integração de vários fatores, Smith et al. (1987) sugerem que a quantidade de N absorvido pela cultura econômica seria um melhor indicativo da contribuição da leguminosa. Já Hargrove (1986) acredita que o rendimento de grãos pode superestimar a contribuição de N, por isto sugere a utilização do conteúdo de N nos grãos.

Russele et al. (1987) utilizaram um método baseado na curva de resposta entre a quantidade de N absorvida e o rendimento, para discriminar o efeito do N do efeito da rotação. Outra limitação do método da equivalência em fertilizante é que a adição de resíduos de leguminosas ao solo pode acelerar a taxa de mineralização do N orgânico. No entanto, os resultados de pesquisa não são conclusivos sobre este efeito mostrando resultados positivos, negativos e neutros sobre esta taxa de mineralização. Por estas limitações, o uso de resíduos de leguminosas isotopicamente marcado seria o método preferencial para realizar tais avaliações, porém apresenta custo elevado, o que tem

limitado sua utilização (Harris et al., 1990).

Reeves (1994) fazendo uma revisão de literatura encontra que a equivalência em nitrogênio das leguminosas está na faixa de 15 a 200 kg/ha. com valores tipicamente entre 60 a 100 kg/ha. Huntington et al. (1985) e Hargrove e Frye (1987) encontram resultados semelhantes.

A equivalência de N das gramíneas geralmente é negativa, devido a ampla relação C/N dos resíduos (Brown et al., 1985; Wagger, 1989; Reeves e Touchton, 1991; Torbert e Reeves, 1991).

A ervilhaca é uma das leguminosas que tem sua contribuição de N mais avaliada. Em pesquisa conduzida no Rio Grande do Sul, Pons et al. (1984) estimaram a equivalência de N da ervilhaca entre 45 a 90 kg/ha. Blevins et al. (1990) encontraram uma contribuição semelhante, enquanto Ebelhar et al. (1984), Dou (1993) e Duck e Tyler (1991) estimaram esta contribuição na faixa de 90 a 100 kg/ha. já McVay et al. (1989) e Bruulsema et al. (1987) encontraram uma faixa de 100 a 125 kg/ha.

A recuperação aparente do N das leguminosas pela cultura econômica também tem sido bastante variável. Bruulsema et al. (1987) encontraram uma faixa de 65 a 71% do N das leguminosas, Dou (1993) encontrou 50% e Mitchell e Tell (1977) e Decker (1987) estimaram valores entre 30 a 40%. Estes resultados são difíceis de conciliar com as estimativas obtidas com N marcado que indicam que não mais do que 30% do N das leguminosas é recuperado pela primeira cultura em sucessão (Bruuselma et al., 1987; Reeves, 1994). Bruuselma et al. (1987) sugerem que esta discrepância está associada a maior mineralização do N orgânico do solo, induzido pela adição de resíduos orgânicos, resultando em diluição do N¹⁵. Assim, tem sido sugerido que grande parte da contribuição das leguminosas ao rendimento da cultura em sucessão se deva a um efeito indireto de aumento da disponibilidade total de N e não à transferência direta do N da biomassa,

oriundo da fixação biológica, para a cultura seguinte.

O sistema de preparo também influencia na recuperação do N da leguminosa pela cultura econômica. Varco et al. (1989) encontraram valores de recuperação de 32 e 20% do N marcado de ervilhaca, respectivamente para preparo convencional e plantio direto. No entanto, os autores não encontram diferenças no rendimento entre sistemas de preparo. Sarrantonio e Scott (1988) observaram que apenas 29% do N contido na ervilhaca foi recuperado pelo milho em plantio direto, enquanto que no preparo convencional a recuperação aumentou para 56%. Embora esta grande diferença na recuperação de N, os autores também não encontraram efeito de sistemas de preparo no rendimento. Vários outros experimentos tem registrado resultados semelhantes, com menor recuperação do N das leguminosas no plantio direto em relação ao convencional. No entanto, a menor recuperação do N pela cultura no plantio direto não significa maiores perdas deste nutriente, pois neste sistema ocorre aumento do conteúdo de N orgânico do solo. Assim a longo prazo o uso de leguminosas poderá representar um aumento na disponibilidade de N no sistema.

Limitada informação é disponível a respeito do efeito residual do uso, por longo período de tempo, de leguminosas. Em um dos raros experimentos que trata deste assunto, McCracken et al. (1989) utilizaram como base um experimento de longa duração, conduzido durante 9 anos, com culturas de cobertura (ervilhaca, centeio e pousio invernal) e doses de N (0 e 100 kg/ha) aplicados no milho cultivado sob condição de plantio direto. Neste experimento, visando atingir os objetivos propostos, foram introduzidas algumas modificações, nas quais nos três anos anteriores a avaliação, as parcelas foram divididas, de maneira que metade foi submetida ao preparo convencional, enquanto a outra metade da parcela permaneceu em plantio direto. Ainda, no ano da avaliação do efeito residual do uso de leguminosas, os resíduos culturais foram retirados das parcelas, assim como não foi

utilizada adubação nitrogenada mineral no milho. Com estas modificações, os autores encontram que o efeito residual de fertilização nitrogenada foi de 0,87 t/ha de milho e a quantidade de N absorvida foi de 20,4 kg/ha, enquanto que o efeito residual do uso de ervilhaca foi de 1,29 t/ha de milho e a quantidade de N absorvida foi de 28 kg/ha. O efeito residual do uso de centeio teve pouco efeito no rendimento do milho e na absorção de N, não diferindo do pousio de inverno. O sistema de preparo do solo também teve efeito insignificante sobre o rendimento e absorção de N pelo milho. Os autores consideram este fato surpreendente porque os sistemas de preparo influenciaram as quantidades de carbono e N total do solo. Assim, a maior quantidade de N total existente no plantio direto na camada de 0-17,5 cm não se refletiu em maior disponibilidade de N para a cultura em sucessão. Interessante registrar que Rice et al. (1986) também observaram anteriormente este fato.

Reeves et al. (1993) avaliando o efeito residual de leguminosas encontraram que a absorção de N foi aumentada e o requerimento de N fertilizante mineral necessário para maximizar o rendimento de milho diminuído, a medida que o número de anos de uso da leguminosa foi aumentado. Evanylo (1990) encontrou resultados semelhantes.

2.4.5 Comparação entre leguminosas e o N fertilizante nitrogenado mineral como fonte de N para o milho

Groffman et al. (1987) comparando fontes de N encontraram que as leguminosas disponibilizam o N de forma mais gradual do que os fertilizantes minerais. Conforme apresentado anteriormente nesta revisão, a dinâmica do N das leguminosas é complexa pois a associação do carbono com o N nos resíduos governam o seu padrão de decomposição. Assim, clima, preparo e outras práticas de manejo tem potencialmente maior influência na disponibilidade de N em um sistema baseado em leguminosas do que

em sistemas baseados em fertilizantes como fonte de N. Varco et al. (1993) comparando o N^{15} proveniente da decomposição da ervilhaca e o N^{15} da fertilização mineral concluíram que houve maior imobilização do N adicionado pela leguminosa do que do fertilizante mineral. Os autores discutem que a presença de carbono nos resíduos de ervilhaca pode contribuir para este efeito. Azam et al. (1985) de forma semelhante observaram uma recuperação na biomassa microbiana de 10% do N^{15} aplicado via ervilhaca, enquanto que para o fertilizante mineral esta recuperação foi de apenas 2%. Depois de um ano de decomposição de resíduos em condições de campo, Ladd e Amato (1986) encontram uma recuperação de 62% do N da leguminosa na forma de N orgânico do solo contrastando com 30% do N do fertilizante mineral (uréia).

Com base nos resultados apresentados pode-se inferir que, no ano da aplicação, o N fornecido pela leguminosa é tipicamente menos eficiente do que o N do fertilizante (Fribourg e Bartholomew, 1956; Smith et al., 1987). Neste caso, eficiência de rendimento seria definida como o aumento do rendimento da cultura por unidade de N adicionado. No entanto, a eficiência de uso do N em agroecossistemas pode ser analisada do ponto de vista agrônomo, econômico e ambiental. Assim, as leguminosas por liberarem mais lentamente o N podem representar menor risco de poluição ao ambiente do que a fertilização mineral e podem contribuir para uma maior recuperação do N no sistema solo-planta, sendo portanto mais eficiente do ponto de vista ambiental (Hauck, 1984).

O método mais comumente utilizado para avaliar a eficiência do uso de fertilização mineral é o método da diferença, o qual pressupõe que a absorção de N do solo por uma cultura fertilizada com N equivale ao de uma cultura não fertilizada com este nutriente, sendo a diferença do N absorvido entre os dois tratamentos então atribuída ao fertilizante. Esta quantidade é então dividida pela dose aplicada fornecendo a eficiência da fertilização (Hauck, 1984). Hordebaum et al. (1990) salientaram que as principais

limitações desta metodologia seriam a possibilidade de maior desenvolvimento radicular das plantas fertilizadas e uma possível alteração na taxa de mineralização do N orgânico do solo, que favoreceriam a absorção do N do solo.

Comparando vários modelos matemáticos (linear associado a platô, quadrático associado a platô, quadrático e exponencial) comumente usados para descrever a curva de resposta de rendimento do milho a doses de N mineral aplicado, Cerrato e Blackmer (1990) encontraram que o modelo quadrático associado ao platô foi o mais eficiente em descrever resultados de doze locais-ano e cada um destes com dez doses de N nos USA. As principais vantagens deste modelo, em relação ao tradicional quadrático, seriam uma melhor estimativa do ótimo econômico e a não previsão de um decréscimo acentuado no rendimento quando a quantidade de N disponível excede a taxa considerada ótima.

2.5 Equações utilizadas na estimativa da disponibilidade de N em agroecossistemas

Segundo Legg e Meisinger (1982) várias gerações de cientistas têm sido desafiados pela tarefa de construir um balanço de N para agroecossistemas. Os autores enfatizam que um dos pioneiros foi Lawes que, já em 1882, estimou a disponibilidade de N no experimento de Rothamsted (Inglaterra).

O balanço de N tem sido uma ferramenta valiosa para construir o conhecimento de processos como mineralização, imobilização, lixiviação, desnitrificação, absorção pelas plantas e outros. Outra aplicação histórica do balanço de N é o de servir de base para modelos matemáticos que descrevam o comportamento do N em sistemas agrícolas. Porém, a principal aplicação do balanço de N é o de aprimorar a recomendação da adubação nitrogenada. Esta estimativa, segundo Meisinger (1984) requer a avaliação e a integração de vários elementos incluindo fatores de planta (por exemplo potencial de rendimento) e

fatores da disponibilidade de N (mineralização, imobilização, perdas e adições).

Entre as principais equações utilizadas na estimativa do N em sistemas agrícolas destacam-se as seguintes:

Stanford (1973) estimou que a necessidade de adubação nitrogenada poderia ser descrita pela fórmula:

$$Nf = \frac{(Ny - Ns)}{Ef} \quad (2)$$

onde:

Nf= quantidade de fertilizante necessária

Ny= quantidade de N necessária para a cultura (matéria seca + grãos)

Ns= quantidade de N do solo absorvida pela cultura

Ef= eficiência do fertilizante nitrogenado (recuperado pela cultura)

A quantidade de N suprida pelo solo (Ns) é estimada pela combinação do N mineral residual e o N mineralizado da MO.

O autor acredita que a quantidade de N necessária para o milho atingir um determinado rendimento alvo poderia ser estimada utilizando a relação palha (matéria seca)/grão= 1,0 e multiplicando a produção de matéria seca total (grãos + matéria seca) pela concentração de 1,2% de N. Ainda o autor acredita que a eficiência da adubação (Ef) poderia ser estimada na faixa de 0,5 a 0,7.

Fox e Piekielek (1978), analisando esta fórmula, sugerem que a necessidade de N da cultura deva ser estimada utilizando a dose de máxima eficiência técnica da curva de resposta de rendimento a doses de N.

Parr (1973) propõe uma fórmula semelhante a de Stanford (1973), porém acrescentando a quantidade de N mineral residual de fertilizações anteriores. Assim a quantidade a ser aplicada para o milho seria estimada pela fórmula:

$$Nf = \frac{Cr - (Nmo + Nr)}{E} \quad (3)$$

onde:

Nf= quantidade de N fertilizante a ser aplicada no milho

Cr= requerimento da cultura (massa seca (grão+palha)x1.2%)

Nmo= quantidade de N mineralizada da matéria orgânica

Nr= quantidade de N mineral residual (NO_3^- , NH_4^+)

E= fator de eficiência

O autor sugere que a quantidade de N mineralizada da MO pode ser estimada a partir de métodos químicos ou biológicos, enquanto que a quantidade de N mineral residual seria avaliada através de amostragem de solo. Ainda, Parr (1973) assume que o N mineralizado e N residual serão utilizados com a mesma eficiência do fertilizante nitrogenado, que poderia ser estimada em 60%.

Carter et al. (1975) apresentaram uma fórmula na qual são utilizados coeficientes de eficiência para as diferentes fontes de N. Além disto os autores utilizam um coeficiente de mineralização obtido a partir de dados de campo e de laboratório.

$$Nt = Ef.Nf + \alpha_n.Nn + \alpha_m.Nm + Nr \quad (4)$$

onde:

Nt= é a quantidade total líquida de nitrogênio disponível para a cultura

Ef= eficiência de utilização do N fertilizante aplicado (Nf)

α_n = eficiência utilização do N mineral

Nn= N na forma mineral (NO_3^-) na profundidade amostrada

α_m = eficiência de utilização do N orgânico mineralizado

Nm= quantidade de N orgânico mineralizado

Nr= quantidade de N imobilizada ou adicionado por resíduos incorporados

Os autores acreditam que estes parâmetros poderiam ser estimados como: Ef = 0.65, α_n = 1.2 e α_m = 0,95.

Uma fórmula semelhante a anterior é apresentada por Meisinger (1984), porém

nesta fórmula o resultado já expressa diretamente a quantidade de fertilizante nitrogenado requerido para atingir um determinado rendimento alvo:

$$N_f = \frac{N_{ch} + N_{cr} - e_m \cdot N_{min} - e_s \cdot N_{sin}}{e_f} \quad (5)$$

onde:

N_f = N fertilizante requerido

N_{ch} = N contido no produto colhido

N_{cr} = N contido na parte aérea

e_m = eficiência de uso do N inorgânico do solo

N_{min} = N mineralizado do solo

e_s = eficiência de uso do N inorgânico

e_f = eficiência do fertilizante mineral

N_{sin} = N inorgânico do solo (N mineral)

Com base em Mitchell e Tell (1977), Mielniczuk (1994)¹ desenvolveu a seguinte equação:

$$N_{disp} = k_1 \cdot N_{T\text{solo}} + k_2 \cdot N_{T\text{resíduo}} + k_3 \cdot N_{T\text{fertilizante}} \quad (6)$$

onde k_1 , k_2 e k_3 são coeficientes de eficiência do N total contido no solo, resíduos e fertilizantes, respectivamente.

Nos capítulos anteriores desta revisão foi destacado a influência dos sistemas de preparo e de cultura sobre a dinâmica do N em agroecossistemas, no entanto as fórmulas apresentadas não contemplam a utilização destes dois fatores na estimativa da disponibilidade de N. A incorporação destes dois parâmetros, possivelmente, poderá aprimorar a estimativa da disponibilidade deste nutriente em agroecossistemas.

¹ Comunicação pessoal

2.6 Hipóteses

a) O maior acúmulo de N total verificado no sistema de plantio direto irá se refletir, a longo prazo, em maior disponibilidade deste nutriente para as culturas.

b) Os sistemas de preparo e cultura influenciam os coeficientes de eficiência de uso do N total contido no solo, resíduos e fertilizante mineral, sendo, por isto, determinantes na disponibilidade de N para as culturas.

c) A estimativa dos coeficientes de eficiência e a determinação dos teores totais de N no solo, resíduos, bem como de suas relações C/N, e a inclusão destes valores em uma equação de estimativa da disponibilidade de N permitirá aprimorar a recomendação da adubação nitrogenada para o milho em agroecossistemas.

3. MATERIAL E METÓDOS

3.1 Características da área experimental

A área experimental localiza-se na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (EEA/UFRGS), no município de Eldorado do Sul (Rio Grande do Sul), pertencente a região fisiográfica da Depressão Central com coordenadas geográficas de latitude 30°50'52" sul e longitude 51°38'08" oeste (Bergamaschi e Guadagnin, 1990).

O clima da região, segundo classificação de Köeppen, é o subtropical de verão úmido quente do tipo fundamental Cfa. Conforme observações da Estação Experimental Agronômica da UFRGS, os meses mais quentes são janeiro e fevereiro com médias próximas a 25°C, enquanto que junho e julho são os meses mais frios, cujas médias se aproximam de 9°C (valores médios do período de março/1970 a fevereiro/1989). Segundo Bergamaschi e Guadagnin (1990) a umidade relativa do ar tem variação praticamente inversa à da temperatura do ar, ou seja, maiores valores no inverno e menores valores no verão. A ocorrência de geadas concentra-se no inverno, principalmente em junho e julho. A precipitação média anual é de 1440 mm com média mensal de 120 mm. Os meses mais chuvosos são junho, julho e agosto tanto em termos de altura pluviométrica como de duração e número de dias de chuva. Os totais médios anuais de evapotranspiração calculada foram de 1230 mm pelo método de Penman e 950 mm pelo método de Thornthwaite. As menores médias mensais correspondem a junho, enquanto que as mais elevadas ocorrem

em dezembro (Penman) e janeiro (Thornthwaite). A época do ano com maior velocidade média do vento é a primavera (setembro a dezembro). O período de abril a junho é o menos ventoso. A direção sudeste é a que predomina em todo o ano, mas principalmente nos ventos de primavera e verão. Noroeste, oeste e leste são direções secundárias, com expressão no período de outono-inverno (Bergamaschi e Guadagnin, 1990). O relevo da região é ondulado a suave ondulado, sendo a declividade média da área experimental 5%.

O solo é um Podzólico Vermelho-escuro, distrófico de textura franco-argilosa derivado de granito (Espírito Santo, 19). Anteriormente a implantação do experimento foi realizada análise química do solo conforme apresentado na Tabela 2 revelando reação ácida e baixo teor de MO e médios de P e K. Estes valores são característicos dos solos da região da Depressão Central.

A cobertura vegetal predominante é a de campos (campos mistos), com infestação de barba-de-bode (*Aristida pallens*). A vegetação alta arbustiva é representada principalmente por capões isolados de mirtáceas (Bergamaschi e Guadagnin, 1990).

TABELA 2. Análise química básica e teor de argila na área experimental anteriormente a implantação do experimento (1985). Média de três análises.

Argila	pH H ₂ O	NC ¹	P	K	MO ²
%		---t.ha ⁻¹ ---	-----mg.kg ⁻¹ -----		g.kg ⁻¹
286	5.3	0.4	9.3	78.7	22

1/ NC = necessidade de calcário

2/ Valor obtido em área adjacente ao experimento

Adaptado de Bayer (1992)

3.2 Histórico de manejo da área experimental

Antes da instalação do experimento a área foi utilizada, durante aproximadamente dez anos, com as culturas do girassol e colza, em manejo envolvendo intenso revolvimento do solo através de enxada rotativa. Os resíduos culturais, durante este período, eram parcialmente removidos da área experimental e o remanescente totalmente incorporado ao solo. Em consequência do manejo adotado foi possível diagnosticar a ocorrência da degradação do solo, traduzido por redução na infiltração e presença de camada subsuperficial compactada.

Após este período, a área experimental foi mantida em pousio durante dois anos. Em 1985 foram iniciadas as atividades visando a implantação do atual experimento. A uniformização da área consistiu da aplicação de corretivos e fertilizantes incorporados ao solo com lavração, gradagem e semeadura da aveia preta (*Avena strigosa*). Detalhes dos corretivos e fertilizantes utilizados na área experimental encontram-se em Freitas et al. (1996).

3.2.1 Tratamento e delineamento experimental

Os tratamentos utilizados foram três métodos de preparo: 1-preparo convencional com aração + 2 gradagens (PC), 2-preparo reduzido com escarificador + 1 gradagem (PR) e 3-plantio direto (PD), três sistemas de cultura: 1-aveia/milho (*Zea mays*); 2-aveia + trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum*)/ milho e 3-aveia + trevo/milho + caupi (*Vigna unguiculata*) e duas doses de N: 1-0 kg/ha e 2-120 kg/ha aplicados no milho. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com parcelas subdivididas, sendo os métodos de preparo do solo as parcelas principais, os sistemas de cultura as subparcelas e as doses de N aplicados em faixas no subblocos (Figura 1).

As parcelas principais medem 15x20 m, com área total de 300 m², as

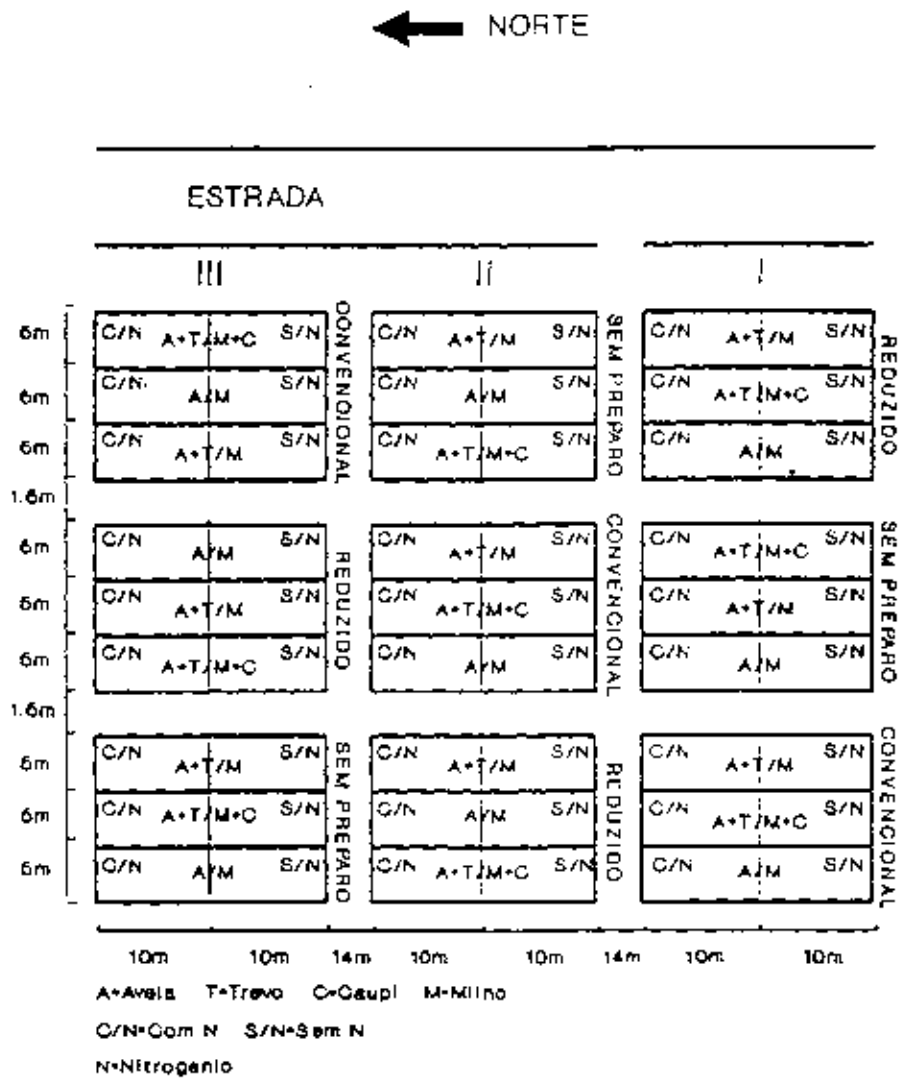


FIGURA 1. Disposição dos tratamentos na área experimental durante o período de 1985-1993. EEA/UFRGS, 1997.

subparcelas medem 5x20 m, com área total de 100 m². Os subblocos possuem dimensões de 45x10 m, com área total de 450 m².

As culturas de inverno foram implantadas nos meses de abril-maio. Nos primeiros anos de condução do experimento a implantação destas culturas foi efetuada através de semeadura a lanço e semi-incorporação com uma operação superficial com grade de disco. Nos anos seguintes com a finalidade de evitar a mobilização excessiva do solo, a implantação das culturas de inverno passou a ser feita com semeadeira em linha. A quantidade média de sementes utilizada foi 60 kg/ha de aveia, quando em cultivo isolado, e 30 kg/ha quando consorciada com o trevo (variedade Trikala). Esta leguminosa era semeada com densidade de 30 kg/ha de semente peletizada com fosfato de rocha. A partir de 1991 o trevo subterrâneo foi substituído pela vicia comum (*Vicia sativa*). A quantidade de semente utilizada, desta leguminosa, foi de 30 a 40 kg/ha. As culturas de inverno foram manejadas no mês de setembro em acordo com o sistema de preparo do solo. No sistema de plantio direto as culturas de inverno foram dessecadas com herbicida glifosate na dosagem de 800 g/ha do princípio ativo e posteriormente acamadas com a passagem superficial de grade de disco (nos primeiros anos) ou com rolo-faca (nos últimos anos). No método de preparo reduzido (PR) foi utilizado um escarificador composto por hastes estreitas, distanciadas aproximadamente 50 cm e profundidade de trabalho de 20-25 cm. Após a escarificação, normalmente foi utilizada uma operação superficial de grade de disco com o objetivo de acamar as culturas de inverno. No preparo convencional o manejo foi realizado com uma lavração na profundidade de 15-20 cm, seguidos de 2 gradagens com profundidade de 10-12 cm visando a incorporação das culturas de cobertura e o destorroamento do solo.

O milho foi semeado em setembro ou outubro, aproximadamente 10-15 dias após as operações de preparo do solo ou manejo da cultura de cobertura. Inicialmente utilizou-se

implemento manual (saraquá) para a semeadura do milho, com distância entre linhas de 1 m, posteriormente este implemento foi substituído por semeadeira em linhas para plantio direto. A população de plantas foi ajustada para 40.000 a 45.000 plantas/ha. Durante o ciclo do milho foi realizado o controle de ervas daninhas e irrigação por aspersão em períodos de estiagem. A aplicação de nitrogênio mineral em cobertura, na forma de uréia, foi realizada a lanço, parceladamente em duas aplicações. Na primeira, 10-20 dias após a emergência do milho correspondendo ao estágio de elongação (5-6 folhas) foi aplicado 1/3 do N (40 kg/ha), enquanto na segunda, 40-50 dias após a emergência, os restantes 2/3 do N (80 kg/ha), totalizando 120 kg N/ha.

No sistema aveia-vicinha-milho-caupi, o caupi foi semeado entre os 40 e 50 dias após a semeadura do milho. A semeadura desta leguminosa foi realizada com semeadeira manual (saraquá) em covas distanciadas 40-50 cm, com 3 a 4 sementes por cova entre as linhas do milho.

O milho foi colhido manualmente em março-abril. Na colheita as plantas de milho foram dobradas visando facilitar o desenvolvimento do caupi.

Detalhes experimentais sobre adubação com P e K, calagem e condução do experimento podem ser encontrados em Freitas (1988), Rosso (1989), Mello (1991), Bayer e Mielniczuk (1997 a) e Bayer e Mielniczuk (1997 b).

3.3 Modificações introduzidas nos tratamentos e delineamento experimental

No ano de 1994 com o objetivo de obter curvas de resposta ao N mineral (cujos resultados não serão apresentados no presente trabalho) e fornecer subsídios para o presente trabalho foram introduzidas modificações nas dosagens de N mineral aplicadas no milho, que passaram a ser: 0, 60, 120 e 180 kg N/ha (Figura 2). Porém, as principais modificações

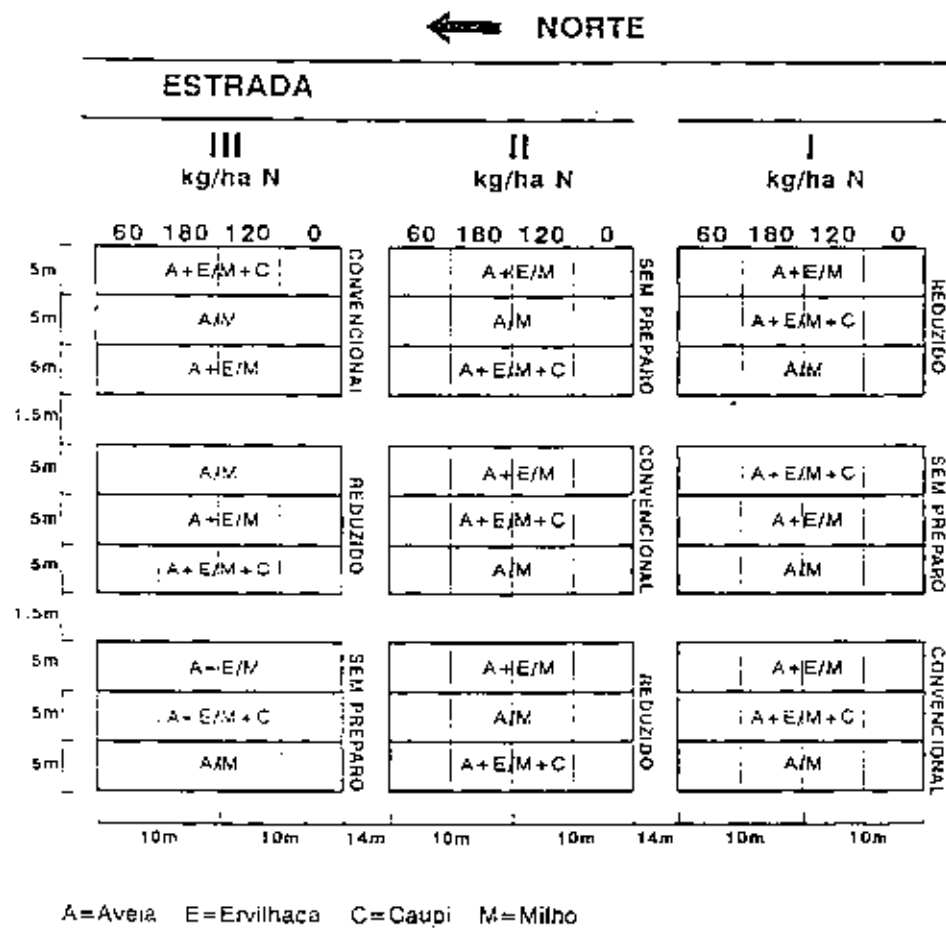


FIGURA 2. Disposição dos tratamentos na área experimental no ano de 1994. EEA/UFRGS, 1997.

no experimento foram realizadas no ano de 1995 visando atingir os objetivos propostos e testar as hipóteses apresentadas neste trabalho. Desta maneira, os sistemas de cultura aveia/milho (A/M), aveia+vica/milho+caupi (A+V/M+C) permaneceram os mesmos, enquanto vica/milho (V/M) foi utilizado em substituição ao sistema de aveia+vica/milho. Também foram introduzidas modificações quanto a presença de cobertura do solo e doses de N aplicado no milho. As subparcelas contituídas pelos sistemas de cultura foram divididas em quatro subsubparcelas. Assim em uma subsubparcela o solo foi mantido descoberto no inverno e sem aplicação de N e nas demais subsubparcelas foram cultivadas as culturas de inverno e aplicadas três doses de N (0, 90 e 180 kg/ha) na cultura do milho. A aplicação de N, em cobertura, foi parcelada em três aplicações na linha da cultura do milho. Os sistemas de preparo permaneceram inalterados (Figura 3).

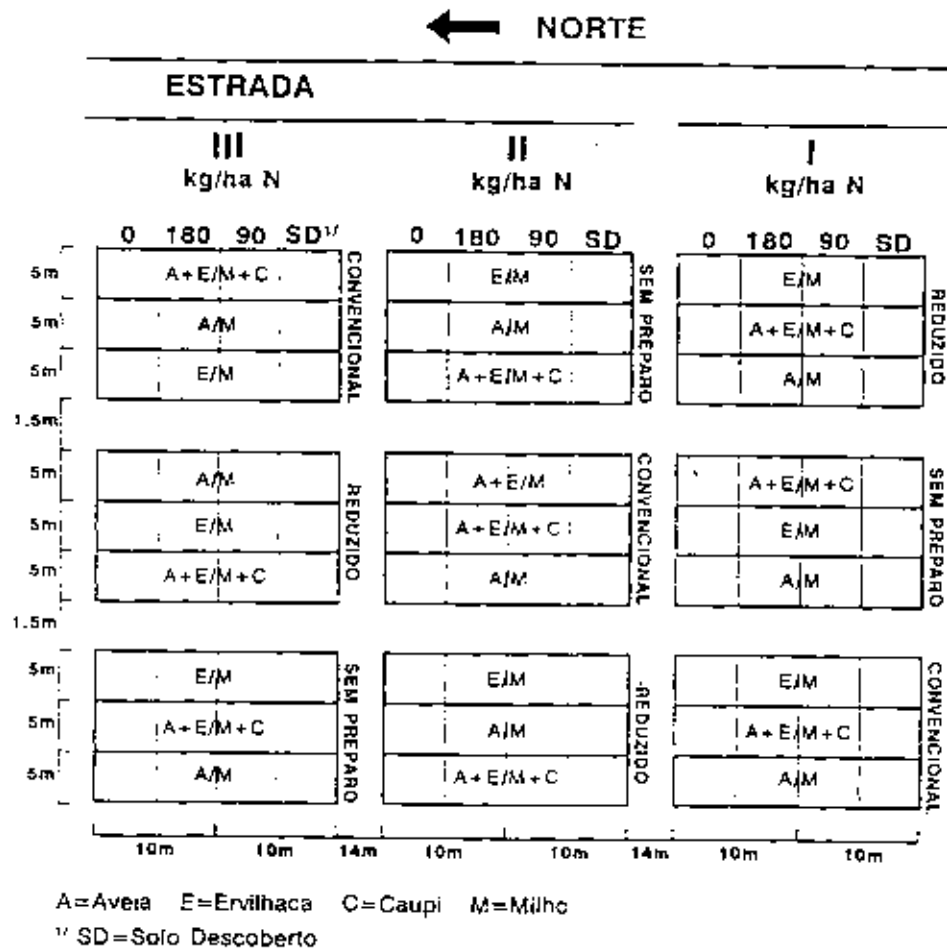


FIGURA 3. Disposição dos tratamentos na área experimental no ano de 1995. EEA/UFRGS. 1997.

3.4 Detalhes experimentais no ano de 1995

A semeadura das espécies de cobertura do solo de inverno ocorreu no início do mês de abril de 1995. As quantidades de semente utilizadas foram aveia 70 kg/ha, vica 60 kg/ha e aveia+vica 70 kg/ha sendo a consorciação composta por 42 e 28 kg/ha de aveia e vica, respectivamente. A semeadura destas espécies foi realizada com máquina de plantio direto em linhas (PS-6 semeato), portanto durante o inverno a implantação do experimento foi feita no sistema de plantio direto. Após a emergência das culturas de cobertura, na subsubparcela destinada a ser descoberta (sem cultura de cobertura de inverno) foi aplicado o herbicida glifosate na dosagem de 800 g/ha de princípio ativo e realizada catação manual dos resíduos culturais, sendo desta forma estabelecida a subsubparcela solo descoberto, que foi mantida desta maneira até a semeadura do milho. O desenvolvimento das culturas de inverno nos segmentos de parcela com este tratamento, foi considerado normal e no final do mês de agosto foi realizada amostragem e o manejo das culturas de cobertura. No sistema de plantio direto foi aplicado o herbicida dessecante glifosate na dosagem de 800 g/ha de princípio ativo. No sistema de preparo convencional foi efetuada a incorporação dos resíduos com uma lavração seguida de uma gradagem, enquanto no sistema de preparo reduzido foi utilizado o escarificador seguido de uma gradagem superficial. Transcorridos três dias após a aplicação do herbicida dessecante no sistema de plantio direto foi utilizado o rolo-faca visando acamar as culturas de cobertura.

Após vinte dias do manejo das culturas de cobertura foi semeado a cultura do milho (18/09) com máquina de plantio direto em linhas com distância de 0,80 m entre as linhas. A variedade utilizada foi Pionner 3069 e a população ajustada para 55.000 plantas/ha.

A adubação utilizada na base do milho foi 75 kg de P_2O_5 /ha e 15 kg de K_2O /ha. Após uma semana do início da emergência do milho (25/09) foi iniciada a aplicação da

adubação nitrogenada de cobertura nos tratamentos com presença de resíduos de culturas de cobertura. Detalhes da aplicação nitrogenada encontram-se na Tabela 3. A adubação nitrogenada foi aplicada superficialmente ao lado da linha de semeadura e em condições de elevada umidade do solo.

TABELA 3. Parcelamento da adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho aplicada nos segmentos de parcela com presença de resíduos culturais no ano de 1995.

Parcelamento do N	Época de Aplic. do N no milho -----DAE'-----	Quantidade total de N aplicada no milho		
		0	90	180
		-----kg/ha-----		
1	7	0	20	40
2	26	0	40	80
3	45	0	30	60

1' DAE = dias após a emergência do milho.

O caupi foi semeado na entre linha do milho aos 40 DAE, através de semeadeira manual (saraquá), em covas distanciadas de 40-50 cm, com 3 a 4 sementes por cova.

Os tratamentos fitossanitários realizados na cultura do milho foram: aplicação do herbicida a base de atrazine + simazine na dosagem de 3 kg/ha de princípio ativo aos 12 DAE do milho, aplicação do inseticida carbofuran aos 40 DAE e aplicação dirigida na entre-linha do herbicida glifosate na dosagem de 2,8 l/ha aos 36 DAE do milho.

Durante o ciclo do milho, visando maximizar a absorção de N e o rendimento, foram aplicadas 18 irrigações suplementares à precipitação natural. A irrigação realizada com aspersores e teve duração de 1,5 horas com precipitação total de 25 mm.

3.5 Determinações

As determinações serão apresentadas em ordem cronológica de execução visando facilitar a interpretação.

3.5.1 Nitrogênio total no solo

No ano de 1994, precedendo a implantação da cultura do milho (setembro) foram amostradas nos preparos convencional e direto e nos sistemas de cultura A/M e A+V/M+C em seis profundidades do solo: 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-7,5; 7,5-12,5; 12,5-17,5; 17,5-30,0 cm. No sistema de cultura A+V/M, nos três sistemas de preparo, e no preparo reduzido, nos três sistemas de cultura, as amostragens foram limitadas a três profundidades: 0-2,5; 2,5 - 7,5; 7,5 -15,0 cm. Na amostragem de solo da camada superficial (0-2,5 cm) foi realizada a eliminação dos resíduos vegetais através de catação manual. As amostras de solo até 17,5 cm foram coletadas em uma trincheira com dimensões de 10 x 50 x 17,5 cm, enquanto nas profundidades de 17,5 - 30,0 cm as amostragens foram realizadas com trado. As amostras foram, então, secas ao ar, armazenadas e posteriormente fracionadas com rolo de madeira, seguidos de moagem em moinho até passagem em peneira com malha de 2 mm de diâmetro. As análises de N total do solo seguiram metodologia descrita por Tedesco et al. (1985). Os resultados foram expressos em relação peso/volume com o objetivo de eliminar o efeito de diferentes densidades do solo encontradas entre os métodos de preparo neste experimento por Salton (1991).

3.5.2 Culturas de cobertura

A produção de matéria seca e a quantidade de N na fitomassa de culturas de cobertura foi avaliada através de amostragem de 0,5 m²/subsubparcela no final do mês de agosto de 1995. Posteriormente as amostras foram pesadas e colocadas em estufa com

circulação de ar forçada a temperatura de 60°C até peso constante. Os resultados de matéria seca foram expressos em t MS/ha. Subamostras foram retiradas, moídas e analisadas visando determinar a quantidade de N na fitomassa através de metodologia descrita por Tedesco et al. (1985). Os resultados de nitrogênio na fitomassa foram expressos em kg/ha. Na mesma área onde foi amostrada a parte aérea das culturas de cobertura, foi também amostrada a matéria seca e a quantidade de N dos resíduos culturais não decompostos das culturas anteriores. Para tanto, utilizou-se catação manual e a retirada manual do solo aderido aos resíduos. As determinações seguiram mesmo procedimento anteriormente descrito para as culturas de cobertura.

3.5.3 Utilização de sacos de decomposição visando avaliar velocidade de decomposição dos resíduos e liberação do N

Os sacos de decomposição com dimensões internas de 20,0x10,0 cm foram utilizados visando avaliar a decomposição de resíduos e a liberação do N. Estes sacos foram preenchidos com 12 gramas (base seca a 60°C) de resíduos de culturas de cobertura correspondendo a 6 t MS/ha. Os resíduos de cultura utilizados foram coletados nas parcelas experimentais, fracionados de modo a se adequarem ao tamanho dos sacos de decomposição e foram subamostrados para determinação de carbono e nitrogênio, ambos procedimentos descritos em Tedesco et al. (1985).

As características dos resíduos das culturas de cobertura utilizadas nos sacos de decomposição são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4. Características dos resíduos das culturas de cobertura utilizadas nos sacos de decomposição.

Cultura de Cobertura	Matéria Seca	Nitrogênio	Carbono	Relação C/N
	-----t/ha-----	-----kg/ha-----		
Aveia	60	57	2.396	42
Aveia+Vica	60	96	2.403	25
Vica	60	198	2.308	12

Imediatamente após o manejo das culturas de cobertura, os sacos de decomposição foram colocados nas parcelas visando similaridade das condições climáticas que afetaram a decomposição dos resíduos nas parcelas e nos sacos de decomposição. Esta avaliação não foi feita no sistema de preparo reduzido. Os sacos de decomposição foram colocados a 10 cm de profundidade no preparo convencional e na superfície do solo no sistema de plantio direto, neste último sistema de preparo os resíduos foram removidos para permitir que os sacos de decomposição ficassem em contato direto com o solo. As datas de coleta dos sacos de decomposição foram 15, 33, 60, 90 e 120 dias após o manejo da cultura de cobertura.

3.5.4 Amostragem e determinação do N mineral no solo

Transcorridos 30 dias após o manejo das culturas de cobertura (imediatamente antes da emergência do milho) foram amostrados três locais por parcela formando uma amostra composta, da qual foram retiradas 12 g e colocadas em 50 ml de KCl 1N. A profundidade de amostragem foi de 0-20 cm. As amostras foram armazenadas temporariamente em caixas térmicas e transferidas para refrigerador onde permaneceram

até a realização das análises. A determinação de nitrito, nitrato e amônio seguiu procedimento descrito por Tedesco et al. (1985).

3.5.5 Cultura do milho

3.5.5.1 Produção de matéria seca e quantidade de N absorvida pelo milho

A produção de matéria seca e quantidade de N na fitomassa do milho foi avaliada em três épocas durante o ciclo da cultura: 30, 50 e 95 DAE. Nas duas primeiras épocas os sistemas de preparo avaliados foram o preparo convencional e o plantio direto. Na avaliação realizada aos 95 DAE também foi amostrado o preparo reduzido. As amostragem constaram da seleção de três plantas/subsubparcela em cada época. Estas plantas foram cuidadosamente escolhidas visando a representatividade do desenvolvimento da cultura nas subparcelas. As plantas foram pesadas, picadas, subamostradas e secas em estufa com circulação forçada de ar a temperatura de 60°C até peso constante. Os resultados de matéria seca foram expressos em t MS/ha. As subamostradas foram moídas e analisadas, quanto aos teores de N no tecido, através de metodologia por Tedesco et al. (1985). Os resultados de nitrogênio na fitomassa foram expressos em kg/ha.

3.5.5.2 Rendimento de grãos de milho

O rendimento de grãos foi avaliado no final do mês de fevereiro/96 através de colheita manual em área central de 6,3 m². As espigas foram debulhadas mecanicamente e os grãos foram então pesados e subamostrados para determinação da umidade. Os resultados, corrigidos para 13% de umidade, foram expressos em t/ha.

3.6 Análise estatística

3.6.1 Culturas de cobertura

A produção de matéria seca e quantidade de N na fitomassa das culturas de cobertura foram analisadas conforme delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo os preparos do solo as parcelas principais e os sistemas de cultura as subparcelas. Inicialmente também foram analisadas as subsubparcelas históricas com doses de N (0 e 120 kg/ha) porém como não houve diferença estatística entre as doses de N avaliadas, optou-se por considerar estas amostragens como repetições, desta maneira o número de repetições passaram a ser seis. Para a comparação de médias utilizou-se o teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

3.6.2 Solo

3.6.2.1 N total no solo

Os dados referentes ao N total no solo foram analisados seguindo o delineamento de blocos casualizados com parcelas subsubdivididas, sendo os preparos as parcelas principais os sistemas de culturas as subparcelas e as profundidades as subsubparcelas. Para esta análise foram consideradas apenas as amostragens realizadas no segmento de parcela sem adição de N mineral. Para a comparação de médias utilizou-se o teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

3.6.2.2 Teores de nitrato, nitrito e amônio no solo

Os dados referentes ao N mineral no solo amostrados imediatamente antes da emergência do milho, foram analisados seguindo o delineamento de blocos casualizados com parcelas subsubdivididas, sendo os preparos do solo a parcela principal, os sistemas de cultura a subparcela e a presença de cobertura (solo descoberto x solo coberto com

resíduos) com 0 kg/ha de N a subsubparcela. Os sistemas de preparo avaliados foram o preparo convencional e o plantio direto. Para a comparação de médias utilizou-se o teste de Duncan a 5% de probabilidade.

3.6.3 Cultura do milho

3.6.3.1 Análise do efeito residual do uso de culturas de cobertura na nutrição e rendimento do milho

a) Produção de matéria seca e quantidade de N absorvido pelo milho

Os dados referentes as avaliações aos 30, 50 e 95 DAE do milho foram analisados dentro de cada época conforme delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo os preparos as parcelas principais, os sistemas de cultura as subparcelas e a presença de cobertura do solo as subsubparcelas. Para a comparação de médias utilizou-se o teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

b) Rendimento de grãos de milho

O rendimento de grãos de milho foram analisados conforme delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas sendo os preparos as parcelas principais, os sistemas de cultura as subparcelas e a presença de cobertura do solo as subsubparcelas. Para a comparação de médias utilizou-se o teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

3.6.3.2 Análise do efeito da adubação nitrogenada mineral na nutrição e rendimento do milho

a) Produção de matéria seca e quantidade de N absorvido pelo milho

Os dados referentes as avaliações aos 30, 50 e 95 DAE do milho foram analisados dentro de cada época conforme delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas sendo os preparos as parcelas principais, os sistemas de cultura as subparcelas e as doses de N (0, 90 e 180 kg/ha) aplicados nos segmentos de parcela coberto com resíduos de culturas de cobertura as subsubparcelas. Para a comparação de médias utilizou-se o teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

b) Rendimento de grãos de milho

O rendimento de grãos de milho foi analisado conforme delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo os preparos as parcelas principais, os sistemas de cultura as subparcelas e as doses de N (0, 90 e 180 kg/ha) aplicados nos segmentos de parcela com resíduos de culturas de cobertura. Para a comparação de médias utilizou-se o teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

3.7 Análise econômica dos resultados

A análise econômica dos resultados foi realizada utilizando as curvas de resposta de rendimento de milho as doses de N mineral aplicado e com base nos custos de produção apresentados pela FEPAGRO, EMATER/RS e FECOTRIGO (1997). Os custos dos insumos e o preço do milho referem-se ao mês de novembro/1997.

3.8 Condições agrometeorológicas durante o período experimental

Os dados meteorológicos apresentados na Tabela 5 foram registrados diariamente durante o período experimental pela estação meteorológica automatizada do departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS, distante aproximadamente 5 km da área experimental. Os dados climáticos compreendem valores registrados entre Março/70 e Fevereiro/89 pela estação meteorológica da UFRGS, distante 4 km da área experimental. Nesta Tabela observa-se que no ano agrícola 1995/96 as temperaturas médias mensais foram próximas às verificadas na média dos vinte anos. Os valores da média mensal da velocidade máxima do ar indicam que neste ano agrícola não foi verificada a ocorrência de ventos com velocidade que ocasionassem danos significativos ao desenvolvimento do milho, como os verificados no ano anterior.

No período analisado, a precipitação média mensal foi próxima aos valores registrados durante longo prazo para o município de Eldorado do Sul, exceptuando-se os meses de abril/95 (implantação das culturas de cobertura), outubro/95 (implantação do milho) e fevereiro/95 (colheita do milho) que tiveram valores inferiores. Assim, a precipitação total durante o ciclo das culturas de cobertura foi 21% superior à média histórica e durante o ciclo do milho foi 2,5% superior a esta mesma média. Especificamente quanto ao ciclo do milho, embora o volume total precipitado tenha sido próximo aos valores climáticos (registros de longo prazo) pode-se constatar através da Figura 4, que a distribuição da precipitação foi irregular durante o ciclo da cultura. Assim em apenas cinco eventos foi verificado 31% do total precipitado durante o ciclo do milho. Por outro lado, ocorreram períodos com ausência ou volume de precipitação muito pequeno notadamente nos meses de outubro, novembro e dezembro, período este crítico ao desenvolvimento do milho. Visando atenuar o efeito de estresse de déficit hídrico durante o ciclo do milho foram aplicados 18 irrigações suplementares, conforme Figura 5,

TABELA 5. Condições meteorológicas durante o período experimental. EEA-UFRGS, 1997.

Cultura	Mes/Ano	Precip	Precip	Temp	Temp	Umid. Rel.	Radiação		Veloc. Máx. Vento
							Solar	Global	
Cultura	Abril-95	58,5	101,8	18,1	19,8	52,5	14,9	7,2	
	Maior-95	102,7	115,7	14,6	16,1	60,0	11,1	5,6	
Cobertura	Junho-95	179,7	168,2	12,8	13,9	61,5	8,8	5,9	
	Julho-95	307,1	145,0	14,6	14,2	67,4	7,9	6,1	
Milho	Agosto-95	134,5	145,3	14,4	15,0	61,1	10,1	5,2	
	Setembro-95	191,2	128,2	15,7	17,0	55,0	13,2	7,3	
Milho	Outubro-95	54,9	107,4	17,5	18,9	46,5	18,8	8,1	
	Novembro-95	107,1	107,9	22,1	21,9	45,6	22,0	8,0	
Milho	Dezembro-95	95,3	95,7	23,8	23,4	42,9	25,8	9,0	
	Janeiro-96	188,6	114,8	23,8	24,8	58,1	19,1	6,9	
Milho	Fevereiro-96	36,8	107,6	23,4	24,9	54,5	22,1	6,6	

1/ Média de 20 anos

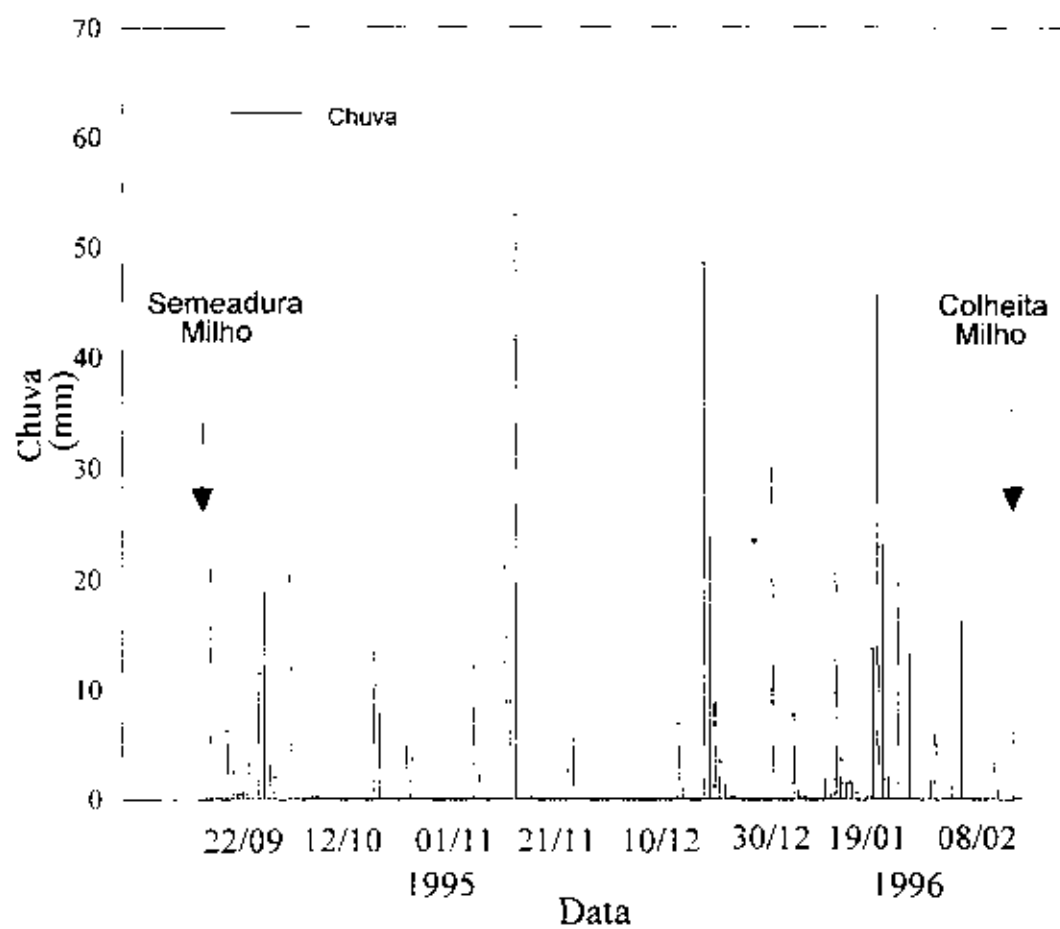


FIGURA 4. Precipitação durante o ciclo do milho. EEA/UFRGS, 1997.

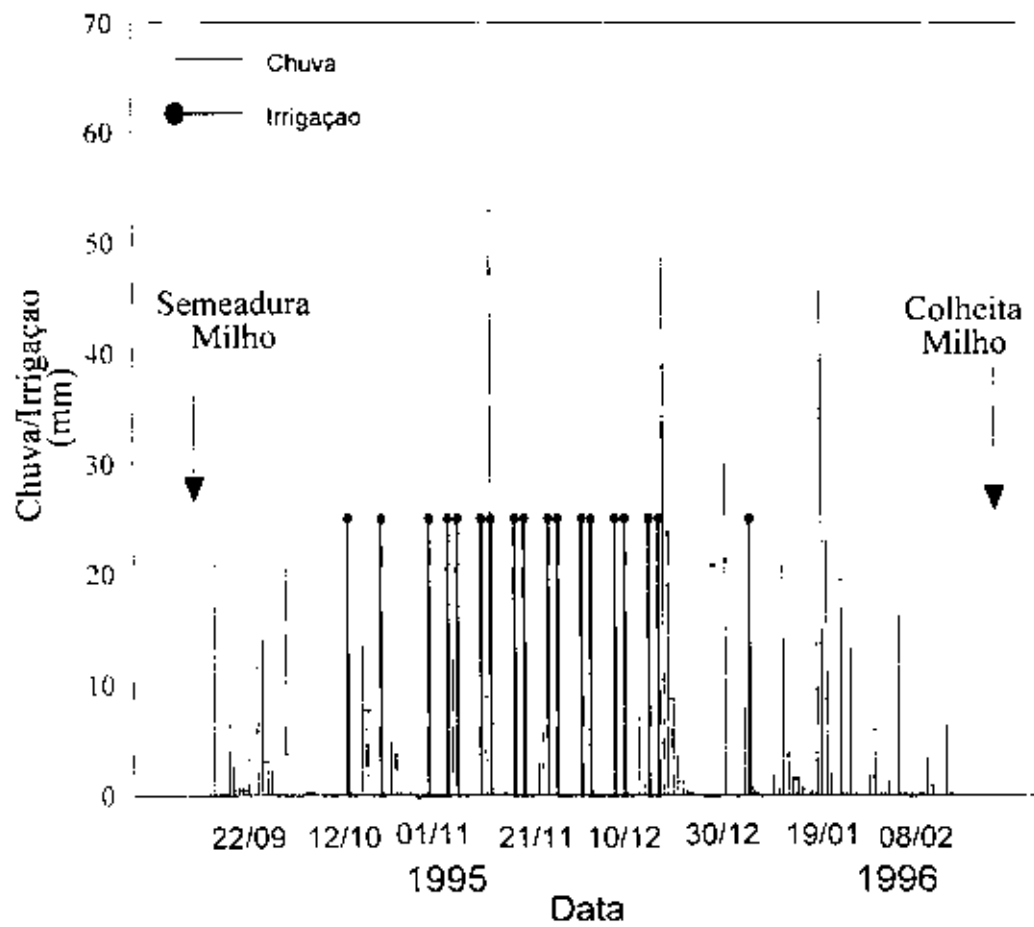


FIGURA 5. Precipitação e irrigação suplementar durante o ciclo do milho. EEA/UFRGS, 1997.

totalizando 450 mm, que acrescidos da precipitação natural de 483 mm, representam uma quantidade total de 933 mm.

A análise das condições meteorológicas durante o período experimental indicam a ocorrência de condições favoráveis ao desenvolvimento da culturas de cobertura e do milho, permitindo que as hipóteses apresentadas neste trabalho sejam testadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Quantidade de N adicionada ao solo por sistemas de cultura durante nove anos

Com base nos dados apresentados por Bayer (1992) e os obtidos neste trabalho foi possível fazer uma estimativa das adições de N pelas culturas de cobertura ao longo dos nove anos de condução do experimento. De 1985 até 1990 a leguminosa de inverno utilizada na consorciação com a aveia preta era o trevo subterrâneo (Figura 6a), e a partir de 1991 esta leguminosa foi substituída pela vica comum (Figura 6b). Com isto foi estimado um acréscimo de 40 kg/ha/ano na adição de N em relação ao sistema de cultura anteriormente utilizado.

A estimativa das quantidades de N adicionadas durante o período de 1985 a 1994 pelos sistemas de cultura, apresentada na Figura 6c, por limitação de disponibilidade de dados, restringe-se à contribuição da parte aérea das culturas de cobertura, não sendo computado o N das raízes e o reciclado pelo milho. A adição de N através da fitomassa da aveia limita-se à reciclagem de N e reflete o potencial de suprimento de N do solo durante a estação de crescimento desta cultura, estimado em aproximadamente 30 kg/ha. Por outro lado, nos sistemas com consorciação da aveia com leguminosas, além do efeito de reciclagem, ocorreu o aporte do N oriundo da fixação simbiótica do N₂ atmosférico pelas leguminosas (trevo, vica e caupi). Este último aporte, como evidenciado na Figura 6c, foi

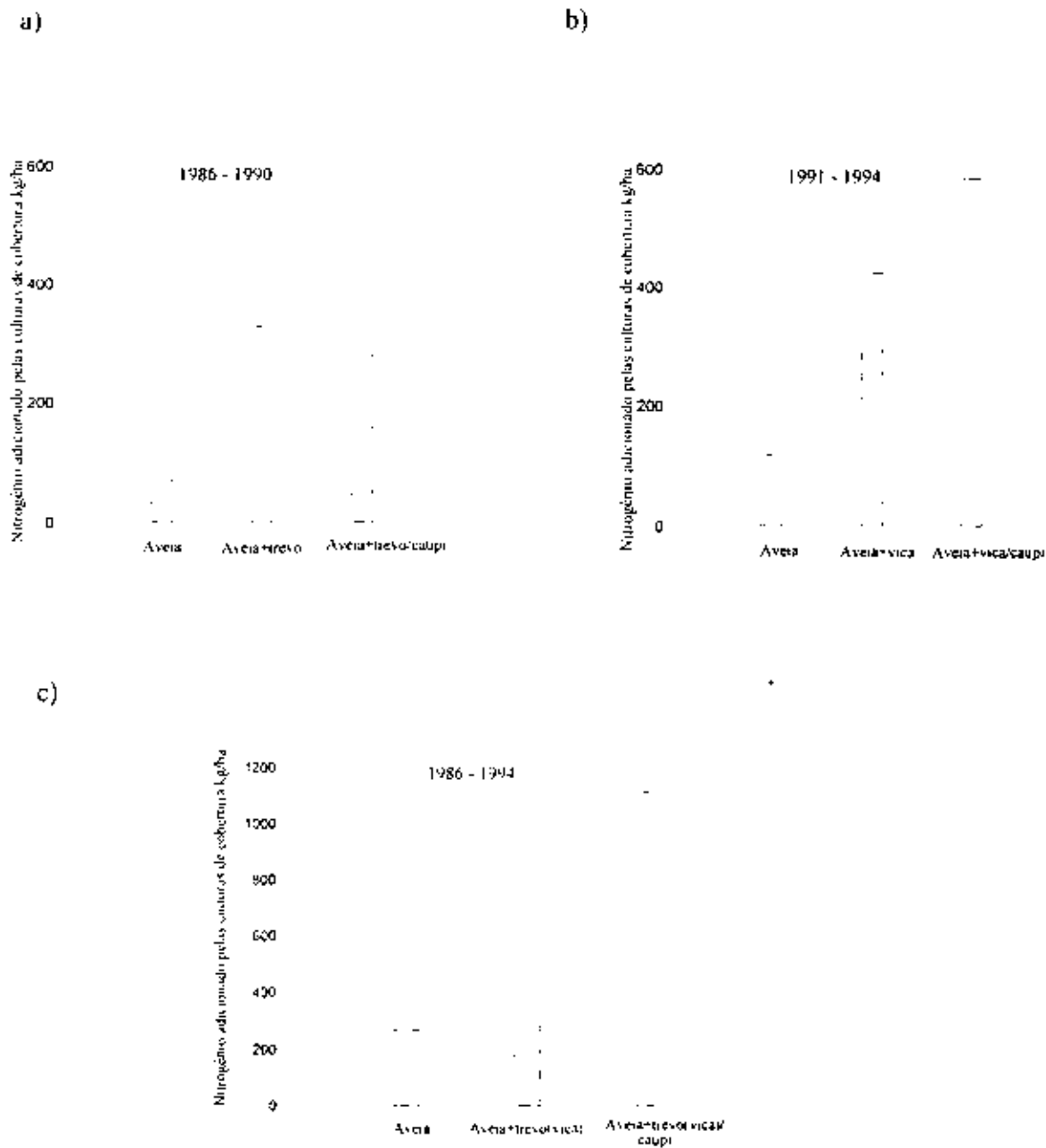


FIGURA 6. Quantidades de nitrogênio adicionado e reciclado ao solo pela parte aérea das culturas de cobertura durante o período de 1985 a 1990 (a), 1991-1994 (b) e 1985 a 1994 (c). Média de 3 métodos de preparo e 2 doses de N. EEA/UFRGS, 1997.

a principal fonte de adição de N ao solo. Burle et al. (1989) destaca que além da fixação simbiótica, as leguminosas também podem estar reciclando o N das camadas mais profundas do solo.

A produção de matéria seca e a quantidade de N na fitomassa das culturas de cobertura no ano de 1996 é apresentada na Tabela 6. Nesta Tabela observa-se que não houve efeito estatístico do sistema de preparo do solo adotado sobre estes dois parâmetros fenológicos. A aveia quando utilizada isoladamente apresentou elevada produção de matéria seca, porém a quantidade de N na fitomassa desta gramínea foi inferior a 50% daquela verificada na vicia e na consorciação. Desta maneira, a relação C/N da biomassa da aveia foi superior a 45, valor este que sugere potencial para imobilização de N durante o processo de decomposição de resíduos. Por outro lado, a vicia apresentou a menor produção de matéria seca e a maior quantidade de N na fitomassa entre as espécies avaliadas. Com isto, a relação de C/N desta leguminosa foi calculada em valores inferiores a 15, sugerindo potencial para rápida mineralização do N dos resíduos. A consorciação de aveia+vicia apresentou características fenológicas interessantes, produzindo a quantidade de matéria seca tão elevada quanto aquela obtida com o cultivo da aveia isolada e uma acumulação de N na fitomassa foi semelhante a da vicia isolada. No entanto, a relação C/N da consorciação aproximou-se de 25, valor este considerado como de equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização.

A produção de massa seca e a quantidade de N na fitomassa das plantas de cobertura do solo no ano de 1996 (Tabela 6) estão dentro de limites considerados normais e são representativos dos valores obtidos nos anos anteriores de condução do experimento.

TABELA 6. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa e relação C/N das culturas de cobertura de inverno (aveia e vica) do ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura. Média de seis repetições. EEA/UFRGS, 1996.

Preparo do Solo	Sistema de Cultura	Massa Seca -t/ha-	Nitrogênio -kg/ha-	Relação C/N
PC	A/M	4,293	34,9	49,2
	V/M	4,437	129,1	13,8
	A+V/M+C	6,526	119,4	22,5
PR	A/M	5,738	46,4	49,5
	V/M	3,757	106,5	14,1
	A+V/M+C	5,762	94,1	24,5
PD	A/M	5,353	45,8	46,8
	V/M	3,419	94,3	14,7
	A+V/M+C	6,312	106,5	23,7
CV (%)		19,7	16,5	
DMS (Duncan 5%)				
Cultura		1,19 ¹	21,6 ²	
		1,14 ²	20,7 ²	

Significância dos fatores na análise estatística Duncan (P>0,05)

¹ Compara três médias de sistemas de cultura sobre preparos do solo

² Compara duas médias de sistemas de cultura sobre preparos do solo

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

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

Relação C/N calculada considerando que 40% da matéria seca é carbono.

4.2 Influência dos sistemas de preparo e cultura na acumulação de N total no solo

As quantidades de N adicionado ou reciclado ao solo pelos sistemas de cultura se refletiram na quantidade de N total acumulada no solo. Através das Figuras 7, 8 e 9 observa-se o impacto dos sistemas de preparo na acumulação de N no solo dentro de cada sistema de cultura. Na sucessão de cultura A/M, os sistemas de preparo tiveram pequeno efeito na acumulação de N total (Figura 7). A diferença de apenas 35,7 kg N/ha na quantidade de N total acumulada na camada de 0-30 cm entre o plantio direto e o preparo convencional ilustra este fato. Por outro lado, nos sistemas de cultura com características de elevado aporte de N, como os que incluíam leguminosas (A+V (T) e A+V(T)/C) foi possível constatar que a redução na intensidade do preparo se refletiu no maior acúmulo de N no solo. Desta maneira, no sistema A+V(T)/M+C foi constatado que no plantio direto houve um acréscimo de 404 kg/ha de N em relação ao convencional, na camada de 0-30 cm (Figura 9). Considerando que a adição de N foi semelhante entre os sistemas de preparo ao longo dos nove anos de condução do experimento, constata-se uma diferença no aumento de N total do solo de 1,50 kg N/cm solo/ha/ano em favor do plantio direto em relação ao convencional. Estes valores, obtidos em condições de clima subtropical, aproximam-se da faixa de acúmulo de 1,4 a 2,4 kg N/cm/ha/ano registrados por Gilliam e Hoyt (1987), para a mesma camada de solo, em condições de clima temperado dos USA e Europa, quando da passagem do preparo convencional para o plantio direto. Por outro lado o sistema de preparo reduzido apresentou acumulação de N total no solo intermediária entre a verificada no sistema de intenso revolvimento (preparo convencional) e a do sistema com ausência de revolvimento (plantio direto). Nas Figuras 10, 11 e 12 pode-se constatar o efeito de sistemas de cultura na acumulação de N total no solo. Nestas

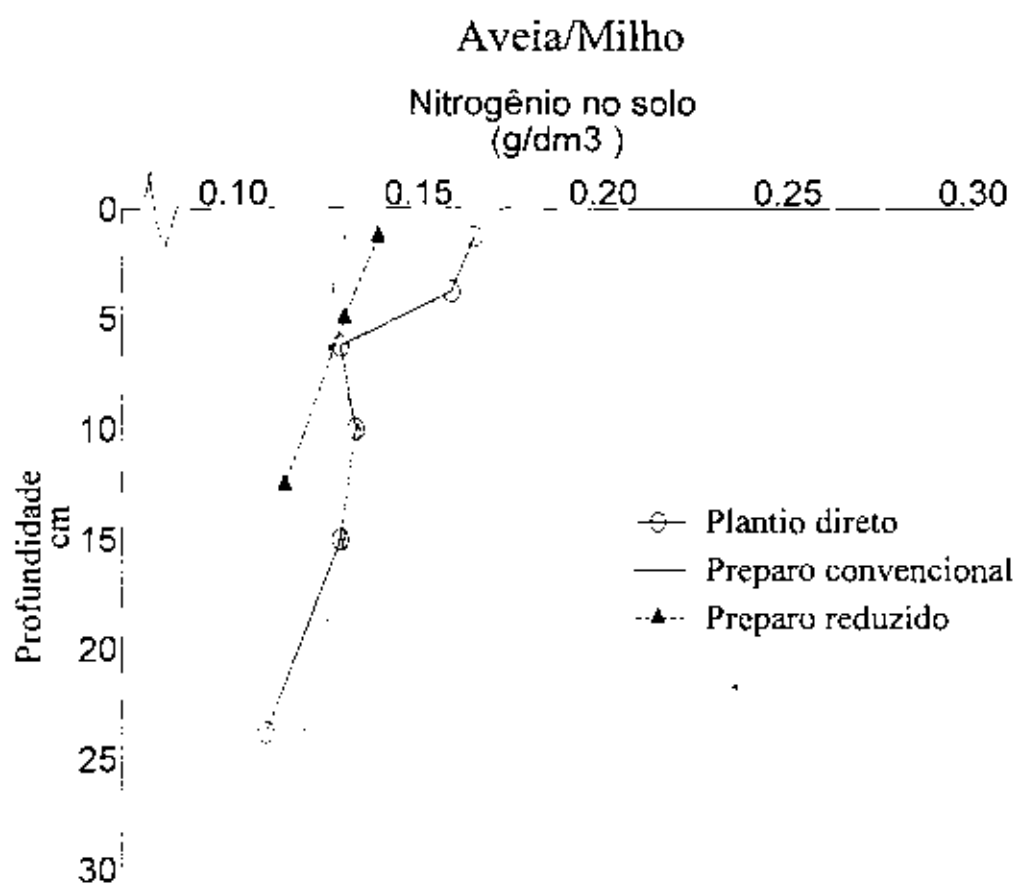


FIGURA 7. Efeito da utilização durante 9 anos dos sistemas de preparo convencional, reduzido e plantio direto associados ao sistema aveia/milho sobre o N total no solo na profundidade de 0-30 cm. EEA/UFRGS, 1997.

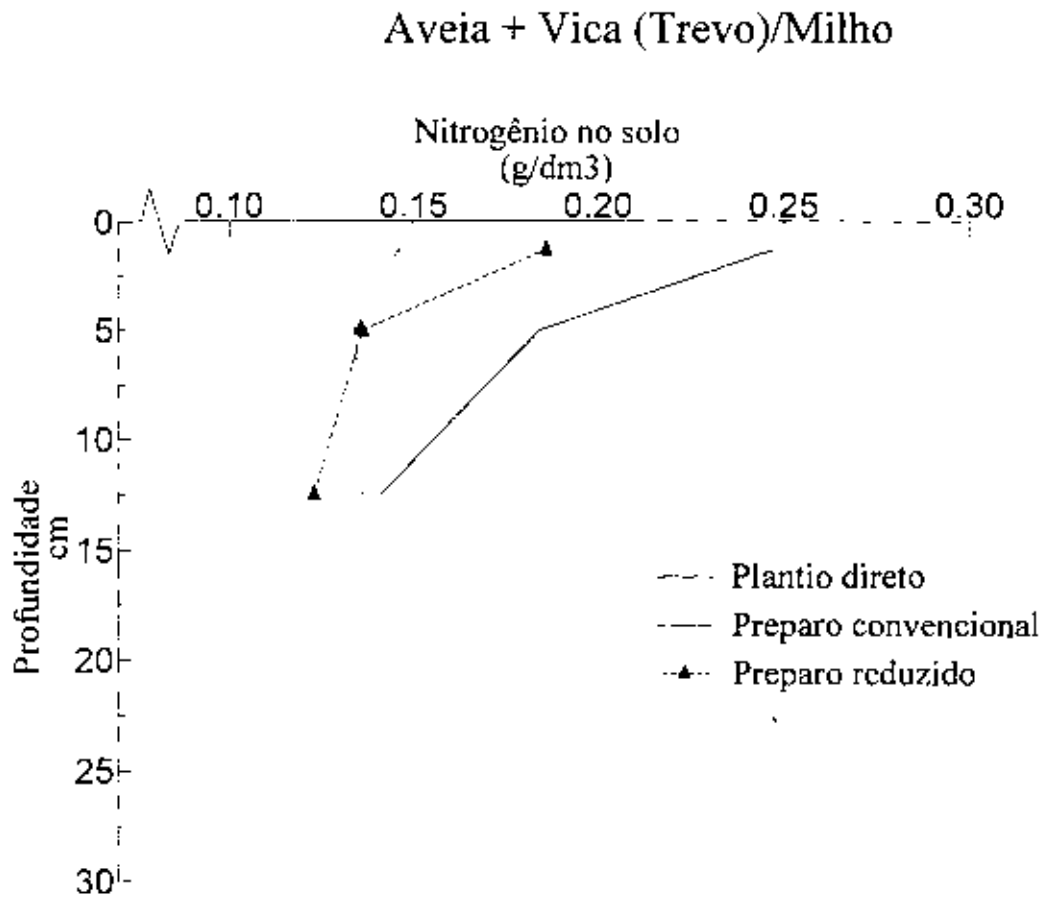


FIGURA 8. Efeito da utilização durante 9 anos dos sistemas de preparo convencional, reduzido e plantio direto associados ao sistema aveia+vica/milho sobre o N total no solo na profundidade de 0-17,5 cm. EEA/UFRGS, 1997.

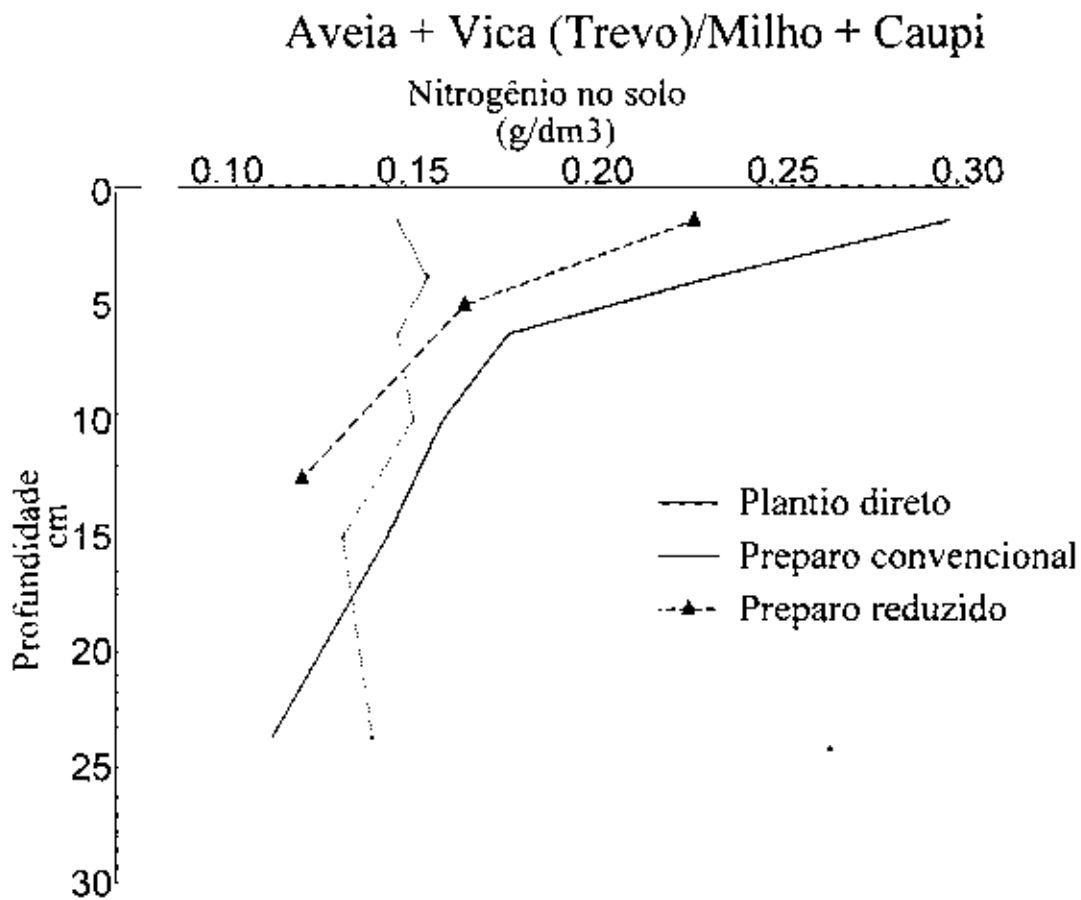


FIGURA 9. Efeito da utilização durante 9 anos dos sistemas de preparo convencional, reduzido e plantio direto associados ao sistema aveia+vica/milho+caupi sobre o N total no solo na profundidade de 0-30 cm. EEA/UFRGS, 1997 .

Figuras observa-se que o efeito de recuperação do teor de N total nos preparos com mínima mobilização do solo ocorreu principalmente nas camadas mais superficiais e foi mais acentuado nos sistemas com elevada adição de N via resíduos culturais. Assim, por exemplo, sob preparo convencional a diferença na acumulação de N, na camada 0-30 cm, entre A/M e A+V(T)/M+C foi de 487 kg/ha (Figura 10), enquanto sob plantio direto esta diferença foi de 855 kg/ha (Figura 12), ou seja, a recuperação do teor de N total do solo com o uso de leguminosas no sistema de preparo convencional demandará 1,76 vezes mais tempo do que o necessário sob plantio direto, esta estimativa foi realizada com base em cálculo simplificado. Os maiores conteúdos de N total no solo sob plantio direto são resultado da menor taxa de decomposição da MO neste sistema. Além deste efeito, a localização superficial dos resíduos culturais reduz o contato solo-resíduo, retardando a decomposição. Outros efeitos como o não fracionamento mecânico dos resíduos, menor temperatura, maior umidade, menor aeração do solo e a preservação dos agregados superficiais contribuem para uma menor taxa de mineralização do N orgânico.

A análise da Tabela 6 revela que embora o efeito do preparo não tenha sido estatisticamente significativo quanto a acumulação de N na fitomassa das culturas de cobertura, pode-se ainda constatar considerável diferença nestas quantidades, sendo, portanto, difícil obter uma equivalência na adição de N entre os sistemas de preparo. A vicia, por exemplo, no ano de 1996 apresentou reduções de 17,5 e 27,0 % na quantidade de N acumulada na fitomassa sob os preparos reduzido e direto, respectivamente, em relação aquela existente do convencional. Esta é uma das limitações desta metodologia quando da realização de balanço do N.

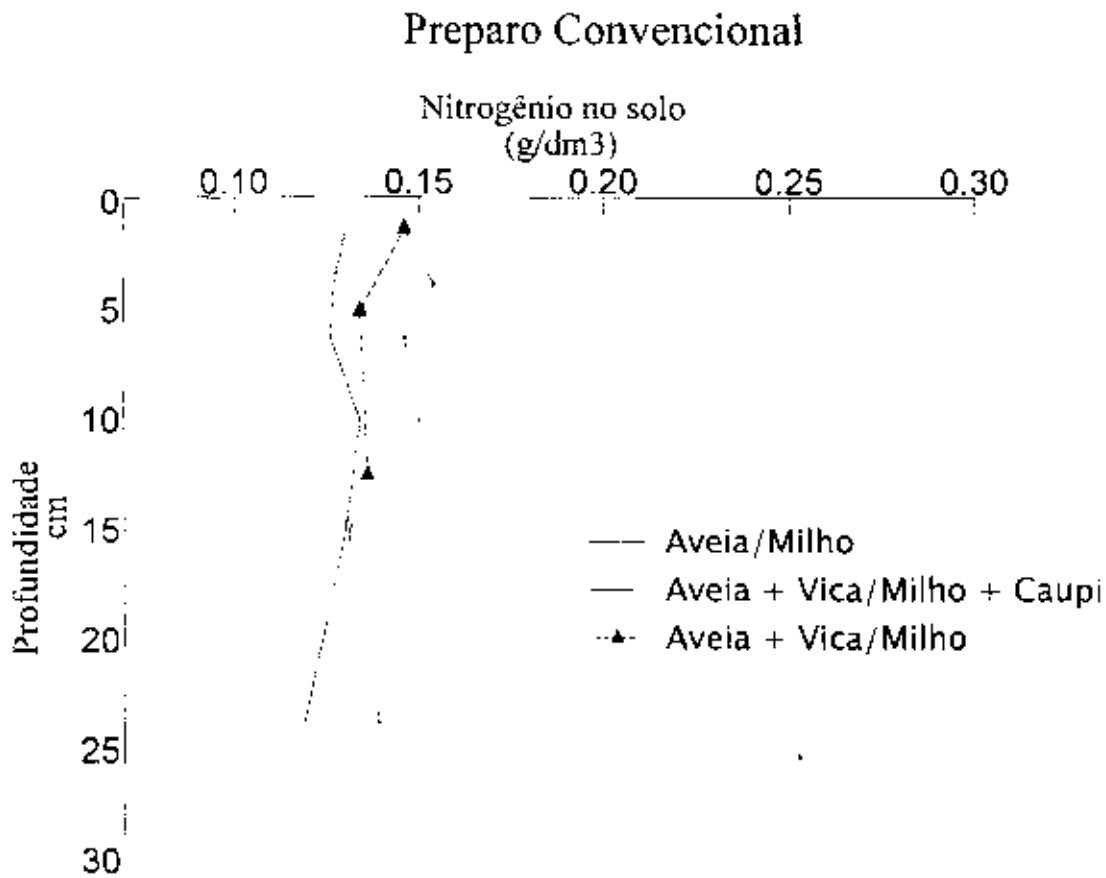


FIGURA 10. Efeito da utilização durante 9 anos dos sistemas de cultura aveia/milho, aveia-trevo (vica)/milho e aveia-trevo(vica)/milho+caupi no preparo convencional sobre o N total no solo na profundidade de 0-30 cm. EEA/UFRGS, 1997.

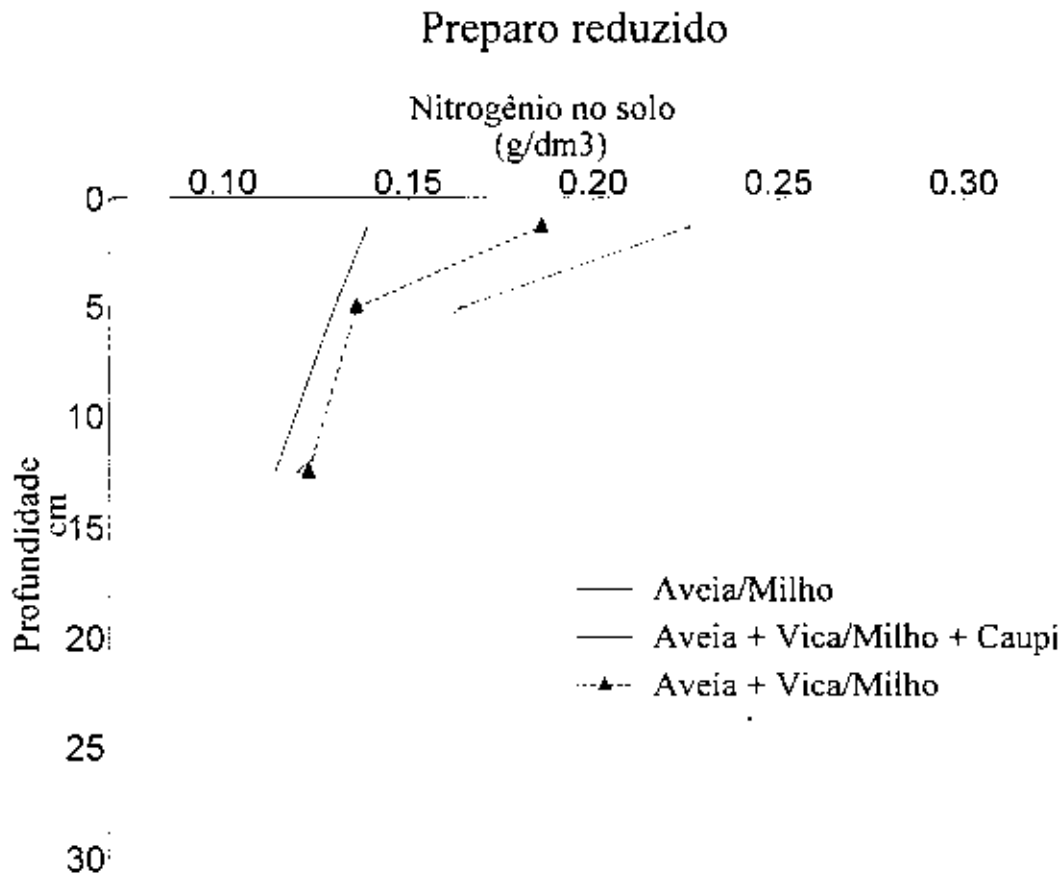


FIGURA 11. Efeito da utilização durante 9 anos dos sistemas de cultura aveia/milho, aveia+trevo (vica)/milho e aveia+trevo(vica)/milho+caupi no preparo reduzido sobre o N total no solo na profundidade de 0-30 cm. EEA/UFRGS, 1997.

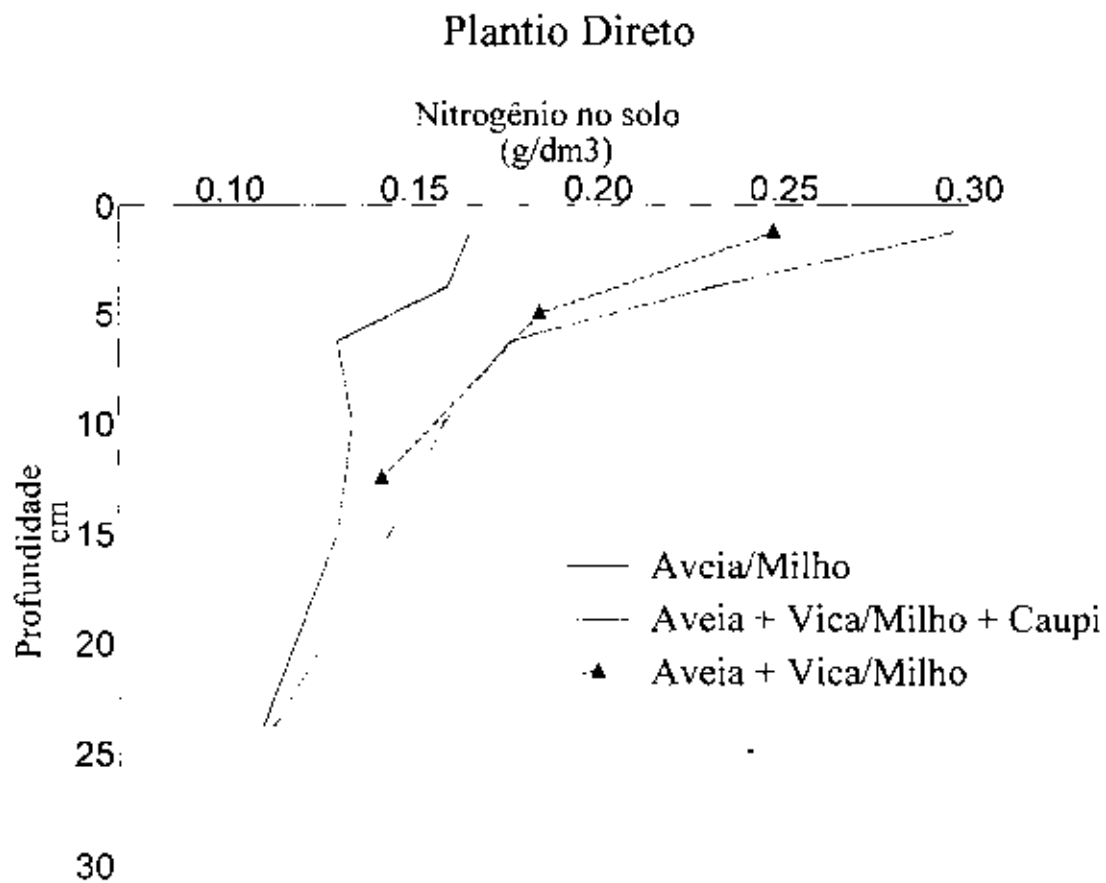


FIGURA 12. Efeito da utilização durante 9 anos dos sistemas de cultura aveia/milho, aveia-trevo (vica)/milho e aveia-trevo(vica)/milho+caupi no plantio direto sobre o N total no solo na profundidade de 0-30 cm. EEA/UFRGS, 1997.

4.3 Velocidade de decomposição e liberação do N dos resíduos das culturas de cobertura em preparo convencional e plantio direto

A velocidade de liberação do N existente dos resíduos das culturas de cobertura nos sistemas de preparo convencional e plantio direto foi avaliada através do uso de sacos de decomposição. Os resultados obtidos encontram-se nas Figuras 13 e 14. Nestas Figuras observa-se que a velocidade de liberação do N dos resíduos, em ambos os sistemas de preparo, foi inversamente proporcional a relação C/N, concordando com os resultados obtidos por Wagner (1989). Assim os resíduos de aveia com relação C/N inicial de 42 apresentaram a mais lenta liberação de N, seguidos pela consorciação com relação C/N=25 e da vica com relação C/N=12.

O padrão de decomposição dos resíduos e liberação do N da vica e da consorciação aveia-vica seguiu o padrão descrito por Somda (1991) e Wieder e Lang (1982), segundo o qual o processo de decomposição pode ser distinguido em duas fases: a primeira fase refletiria uma rápida decomposição de materiais como carboidratos simples, amidos, açúcares e proteínas, enquanto a segunda fase representaria uma decomposição de material mais resistente, tais como celulose, gorduras, ceras, taninos e lignina sendo por isto mais lenta. Assim, por exemplo, no preparo convencional os resíduos de vica apresentaram nos primeiros 30 dias uma taxa de liberação de 4,60 kg N/ha/dia, enquanto que dos 60 aos 90 dias esta taxa foi de 0,667 kg N/ha/dia.

Com base nas equações de ajuste das curvas de liberação de N determinadas com sacos de decomposição e utilizando a quantidade de N existente na biomassa de cada cultura de cobertura (Tabela 6) foi estimada, para cada sistema de preparo, a quantidade de N mineralizada dos resíduos (Figuras 15 e 16). As taxas médias de liberação nas primeiras 4 semanas foram estimadas em 3,04 e 2,45 kg/ha/dia para vica e aveia+vica,

Plantio Direto

$$y = a + b \cdot \exp(-x/c)$$

Aveia $a=68.77351$ $b=30.851847$ $c=22.26774$ $r^2=0.96$

$$y = a + b \cdot \exp(-x/c)$$

Aveia+Vica $a=45.20$ $b=54.80$ $c=0.143$ $r^2=0.99$

Vica

$$y = a + b \cdot \exp(-c \cdot x) + d \cdot \exp(-e \cdot x)$$

$a=16.96$ $b=52.11$ $c=0.213$ $d=30.93$ $e=0.025$

$r^2=0.99$

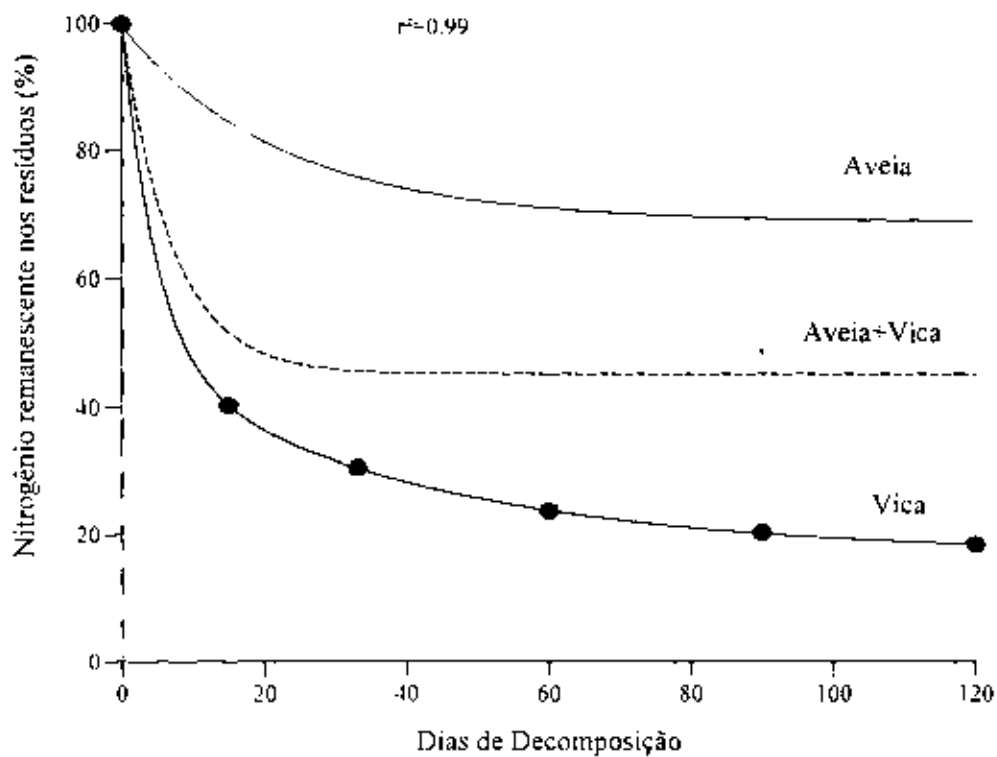


FIGURA 13. Velocidade de liberação do N dos resíduos de aveia, aveia+vica e vica no sistema de plantio direto avaliados através de sacos de decomposição. EEA/UFRGS, 1997.

Preparo Convencional

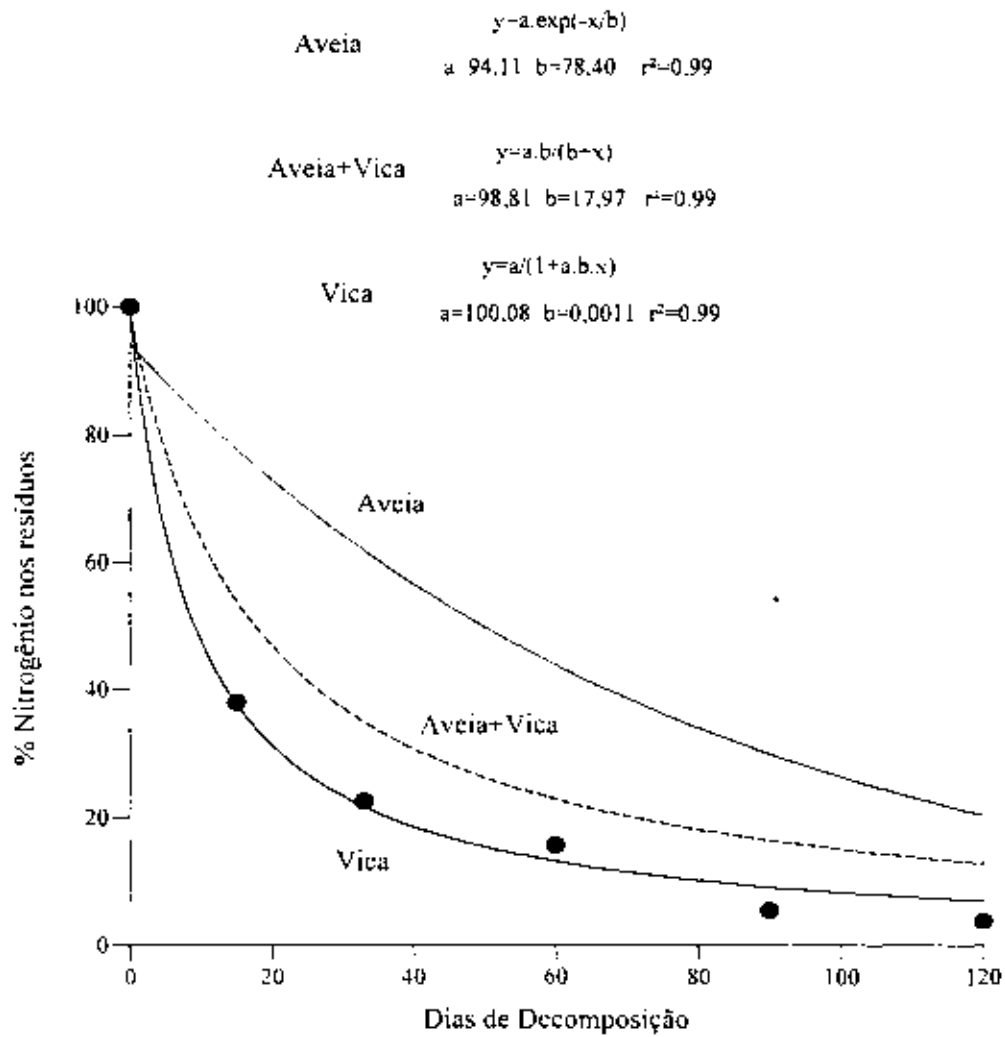


FIGURA 14. Velocidade de liberação do N dos resíduos de aveia, aveia+vica e vica no sistema de preparo convencional avaliados através de sacos de decomposição. EEA/UFRGS, 1997.

respectivamente, em preparo convencional. Enquanto que sob o plantio direto para os mesmos sistemas de cultura estas taxas foram 1,98 e 1,62 kg/ha/dia. A maior velocidade de liberação do N dos resíduos sob preparo convencional quando comparado ao plantio direto pode ser atribuído ao efeito dos sistemas de preparo na incorporação e fracionamento dos resíduos que permite maior contato solo-resíduos e ao incremento da aeração, estes fatores combinados favorecem uma maior atividade biológica.

Embora a maior velocidade de decomposição dos resíduos sob preparo convencional em relação ao plantio direto, ambos os sistemas de preparo apresentaram potencial de sincronismo de liberação do N dos resíduos com a demanda do milho. Assim nas primeiras 4 semanas após o manejo realizado no mês de agosto, a liberação do N da fitomassa da vicia foi estimada em 76,7 e 69,5% para o preparo convencional e plantio direto, respectivamente. Estes resultados concordam com os obtidos anteriormente por Da Rós (1993) e Pavinato (1993) no Rio Grande do Sul.

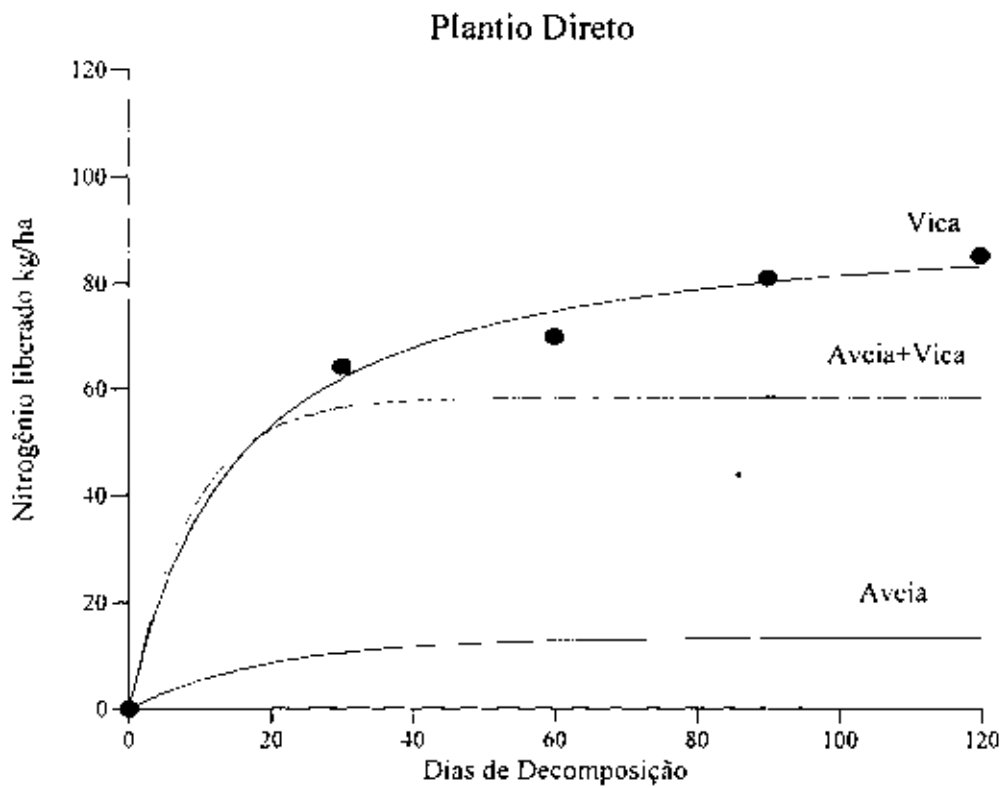


FIGURA 15. Estimativa da mineralização do N da fitomassa de aveia, aveia+vica e vica sob sistema de plantio direto calculada com base na velocidade de decomposição dos resíduos. EEA/UFRGS, 1997.

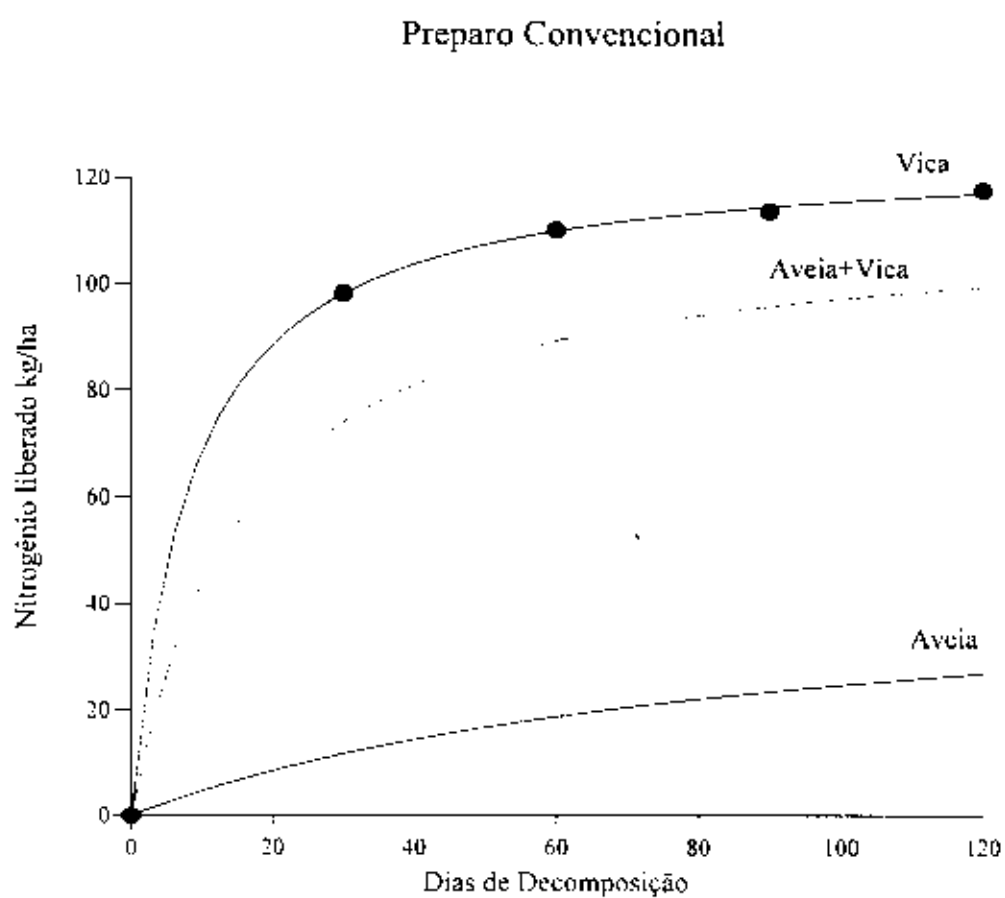


FIGURA 16. Estimativa da mineralização do N da fitomassa de aveia, aveia+vica e vica sob sistema de preparo convencional calculada com base na velocidade de decomposição dos resíduos. EEA/UFRGS, 1997.

4.4 Disponibilidade de N avaliada pela quantidade de nitrato + nitrito determinada imediatamente antes da semeadura do milho em sistemas de preparo e cultura

Transcorridos 30 dias após o manejo das culturas de cobertura e imediatamente antes da semeadura do milho foi avaliada a quantidade de N mineral existente na camada de 0-20 cm. Na Tabela 7 são apresentados os resultados de nitrato + nitrito, os resultados de N mineral encontram-se no Apêndice 3.

A comparação entre os tratamentos solo descoberto e o coberto com resíduos culturais permite avaliar o impacto dos resíduos culturais na quantidade de nitrato + nitrito no perfil do solo.

Através da Tabela 7, observa-se que no sistema A/M a adição de resíduos de aveia, independente do sistema de preparo, promoveu uma diminuição na ordem de 60% da quantidade de nitrato + nitrito existente sob solo descoberto, sugerindo que a alta relação C/N dos resíduos (>45) induziu a ocorrência de imobilização do N. Por outro lado, a adição de resíduos de vicia proporcionou acréscimo na quantidade de NO_2^- e NO_3^- , comparativamente ao solo descoberto. Neste tratamento, sob preparo convencional o incremento foi de 178%, enquanto que sob plantio direto o incremento foi de 22%. Este fato provavelmente está relacionado a mais rápida mineralização dos resíduos de vicia sob preparo convencional do que sob plantio direto, além da maior imobilização de N neste último sistema. A presença de resíduos da consorciação de aveia+vicia induziu pequena modificação na quantidade de $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ existente no solo descoberto.

A quantidade estimada de N mineralizado dos resíduos, transcorridos 30 dias após o manejo, apresentou um $r^2=0,69$ com a concentração total de N mineral no solo amostrada no segmento de parcela coberto com resíduos (Figura 17), indicando que

TABELA 7. Teor de $N-NO_3^- + N-NO_2^-$ extraído do solo com KCl 1 N na camada de 0 - 20 cm de profundidade, imediatamente antes da emergência do milho. Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1996.

Preparo do Solo	Sistema de Cultura	Cobertura do Solo	
		Descoberto	Coberto
----- kg/ha -----			
PC	A/M	2,63	0,97
	V/M	3,70	10,31
	A+V/M+C	3,89	3,79
PD	A/M	2,53	1,02
	V/M	3,60	4,38
	A+V/M+C	2,19	2,34
CV (%)		49,00	
DMS (Duncan 5%)			
Cultura x Cobertura		2,33 ¹ 2,44 ²	
Cobertura x Cultura		2,12 ²	

Significância dos fatores na análise estatística Duncan ($P > 0,05$)

Interação cultura*cobertura

¹ Compara três médias

² Compara duas médias

PC= Preparo convencional e PD=Plantio direto

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

Descoberto= ausência de cultura de cobertura antecedendo ao milho

Coberto= presença de cultura de cobertura antecedendo ao milho

a mineralização do N dos resíduos foi o principal fator que influenciou a quantidade de N mineral no perfil do solo.

4.5 Efeito residual do uso de culturas de cobertura durante dez anos na nutrição e rendimento do milho

Com o objetivo de avaliar o efeito residual do uso de culturas de cobertura a longo prazo na disponibilidade de N, nutrição e rendimento do milho foram utilizadas as parcelas subdivididas mantidas descoberta e coberta com resíduos culturais, ambas sem adição de adubação nitrogenada mineral.

4.5.1 Efeito residual do uso de culturas de cobertura na produção de matéria seca e N absorvido pelo milho aos 30 DAE

O efeito do sistema de preparo sobre a produção de matéria seca e N absorvido pelo milho é apresentado na Tabela 8 e na Figura 18. Nesta Figura pode-se observar que aos 30 dias houve menor disponibilidade de N no plantio direto em relação ao preparo convencional (média de três sistemas de cultura e com e sem cultura de cobertura do solo), traduzida pela redução em 30,2 e 23,6% na absorção de N e produção de matéria seca, respectivamente, em relação ao preparo convencional. Estes resultados podem ser atribuídos à menor mineralização da MO do solo pelo não revolvimento do solo (Bayer, 1996), à menor mineralização do N das culturas de cobertura (Dowdell e Cannell, 1975; Brown e Dickey, 1970) e ainda à maior imobilização do N pela biomassa microbiana (Westerman et al., 1972; Olson, 1980; Power e Legg, 1984; Salet, 1995).

Através da subparcela mantida descoberta foi possível avaliar o efeito residual do uso de culturas de cobertura durante dez anos. Aos 30 dias sob solo

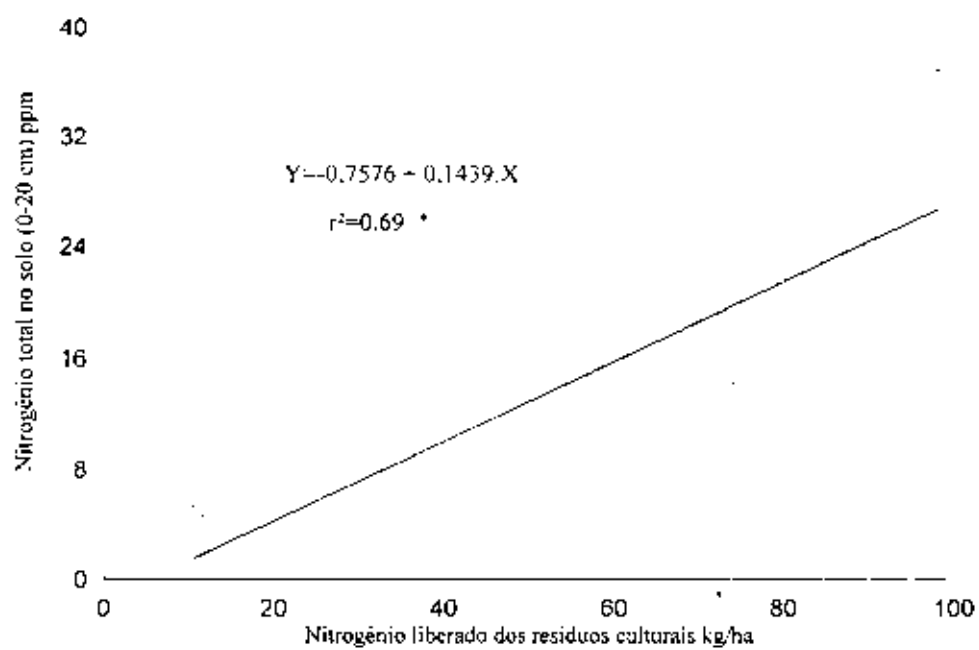


FIGURA 17. Relação entre a quantidade de nitrogênio liberada (até a semeadura do milho) dos resíduos culturais e a concentração de N mineral no solo na camada de 0-20 cm amostrada imediatamente antes da semeadura do milho. EEA/UFRGS, 1997.

TABELA 8. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa do milho avaliado 30 dias após a emergência no ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 formas de cobertura do solo (com e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho). Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1996.

Preparo do Solo	Sistema de Cultura	Cobertura do Solo			
		Descoberto		Coberto	
		MS -t/ha-	N -kg/ha-	MS -t/ha-	N -kg/ha-
PC	A/M	0,116	3,9	0,067	2,2
	V/M	0,081	2,8	0,100	4,4
	A+V/M+C	0,131	4,5	0,097	4,1
PD	A/M	0,061	1,9	0,051	1,6
	V/M	0,069	2,2	0,110	3,7
	A+V/M+C	0,089	3,0	0,074	2,8
CV (%)		27,05	24,28		
DMS (Duncan 5%)					
Preparo		0,017 ²	0,4 ²		
Cultura x Cobertura		0,033 ¹	1,2 ¹		
		0,032 ²	1,1 ²		
Cobertura x Cultura		0,030 ²	0,9 ²		

Significância dos fatores na análise estatística Duncan ($P > 0,05$)

Preparo

Interação cultura*cobertura

¹ Compara três médias

² Compara duas médias

PC= Preparo convencional e PD=Plantio direto

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

Descoberto= ausência de cultura de cobertura antecedendo ao milho

Coberto= presença de cultura de cobertura antecedendo ao milho

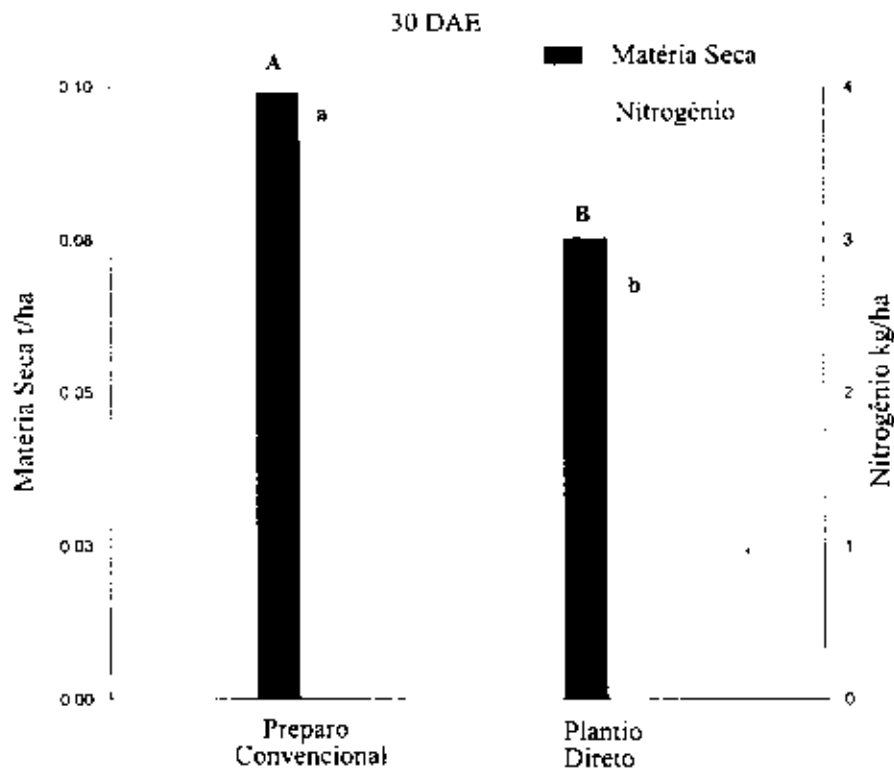


FIGURA 18. Produção de matéria seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 30 DAE sob preparo convencional e plantio direto, média de três sistemas de cultura e dois tipos de cobertura (com e sem cultura de cobertura antecedendo o milho). Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de nitrogênio entre sistemas de preparo. Duncan ($P > 0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

descoberto e histórico de uso de A+V(T)/M+C verificou-se a maior produção de matéria seca e quantidade de N absorvida (Figura 19), concordando com a maior quantidade de N total acumulada no solo. A presença de resíduos culturais modificou a disponibilidade de N comparativamente ao solo descoberto (Figura 20). O milho cultivado sobre resíduos de aveia, média de dois sistemas de preparo, apresentou a menor produção de massa seca e N absorvido aos 30 DAE, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Por outro lado, o milho cultivado sobre os resíduos de vica apresentou a maior produção de matéria seca e quantidade de N na fitomassa, refletindo a mineralização dos resíduos desta leguminosa, que apresentava a menor relação C/N (Tabela 6) e a maior quantidade estimada de N mineralizado (Figuras 15 e 16).

Na Figura 21 pode-se constatar que a presença de resíduos de aveia induziu decréscimos na disponibilidade de N comparativamente ao solo descoberto, refletindo-se em menor produção de matéria seca e quantidade de N absorvido pelo milho. Os resíduos de aveia+vica não alteraram estatisticamente a produção de matéria seca e a disponibilidade de N. Enquanto os resíduos de vica proporcionaram incrementos de 60,3 e 38,6 % na absorção de N e produção de matéria seca do milho, respectivamente.

A correlação entre a quantidade de N liberada dos resíduos e a quantidade de N absorvido pelo milho no segmento coberto com resíduos apresentou um $r^2=0,96$ indicando que este foi o principal fator que afetou a disponibilidade de N para o milho (Figura 22).

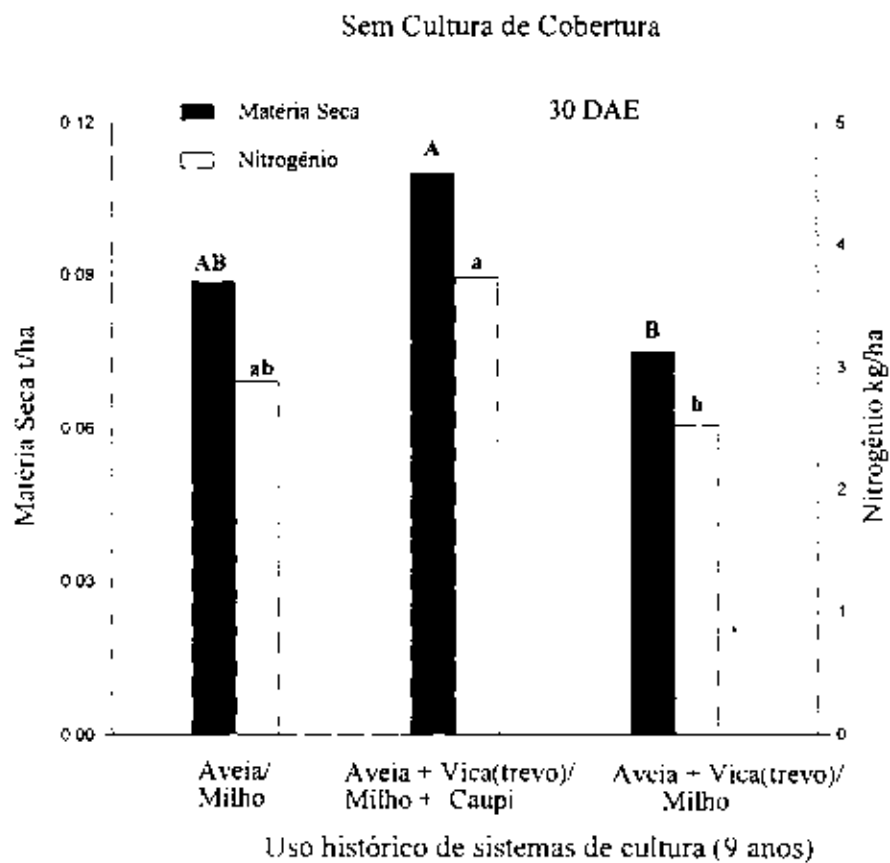


FIGURA 19. Produção de matéria seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 30 DAE com histórico de cultivo de sistemas de cultura por 9 anos e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho, média de dois sistemas de preparo. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de cultura e letras minúsculas comparam a quantidade de nitrogênio entre sistemas de cultura. Duncan ($P > 0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

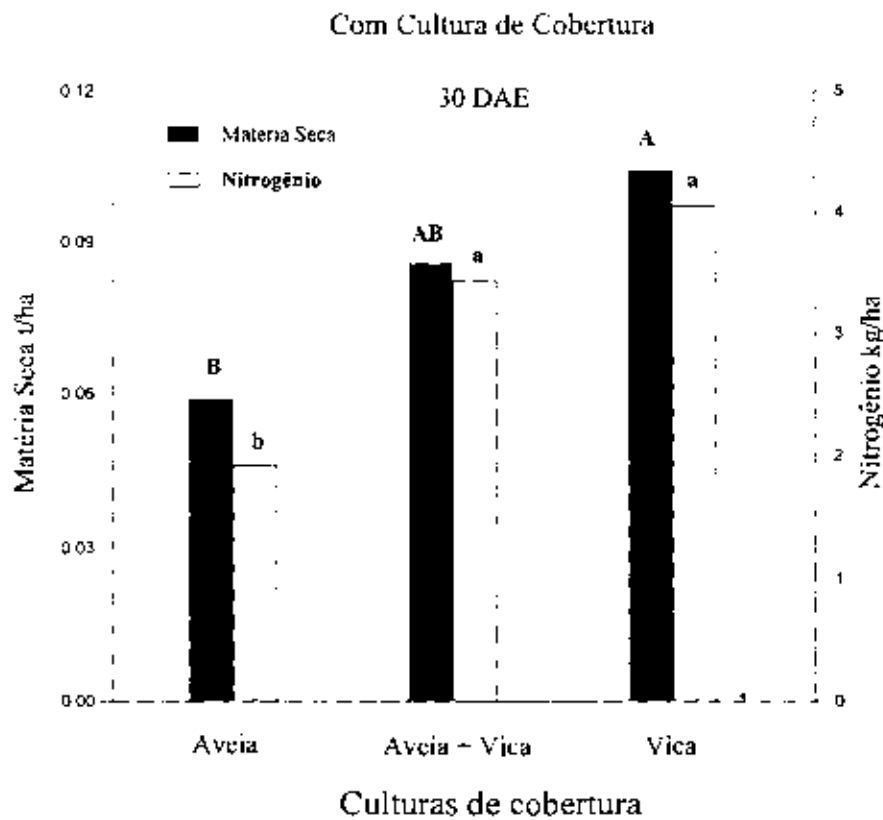
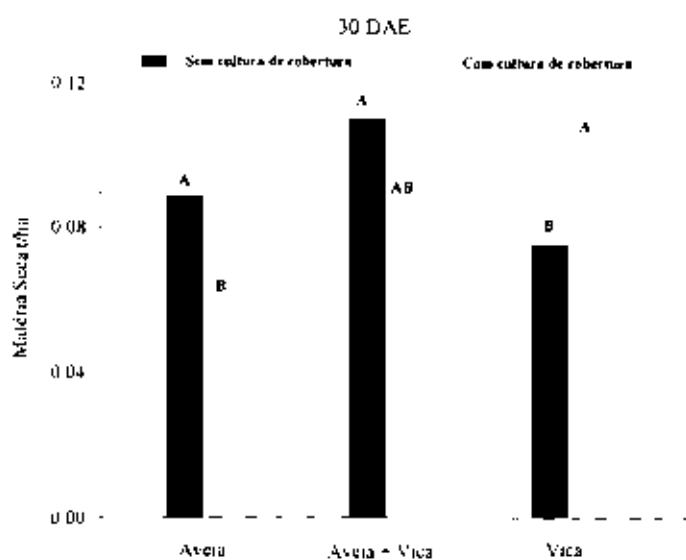


FIGURA 20. Produção de matéria seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 30 DAE com histórico de cultivo de sistemas de cultura por 9 anos e com cultura de cobertura antecedendo ao milho, média de dois sistemas de preparo. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de culturas e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de cultura. Duncan ($P > 0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

a)



b)

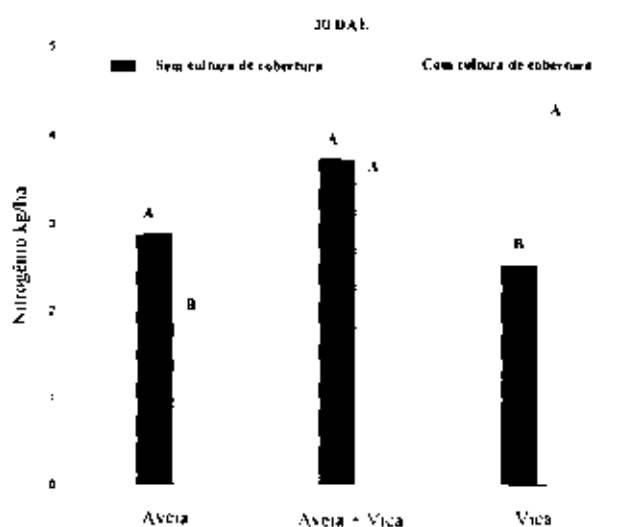


FIGURA 21. Produção de massa seca (a) e quantidade de nitrogênio (b) acumuladas pelo milho aos 30 DAE com histórico de cultivo de sistemas de cultura por 9 anos e sem e com cultura de cobertura antecedendo ao milho, média de dois sistemas de preparo. Letras comparam a produção de matéria seca e quantidade de N dentro de cada sistema de cultura, Duncan ($P > 0.05$). EEA/UFRGS, 1997.

4.5.2 Efeito residual do uso de culturas de cobertura na produção de matéria seca e N absorvido pelo milho aos 50 DAE

Os resultados obtidos aos 50 DAE confirmam a tendência da avaliação anterior na qual sob plantio direto havia menor disponibilidade de N em relação ao convencional, média de três sistemas de cultura e dois preparos do solo (Tabela 9). Este fato se refletiu em decréscimos de 20,7 % para ambos matéria seca e N absorvido pelo milho no plantio direto em relação ao preparo convencional (Figura 23).

Os resultados obtidos na subsubparcela descoberta confirmam que a acumulação de N total no solo devido ao uso de leguminosas durante dez anos no tratamento A · V(T)/M+C proporcionou maior disponibilidade de N em relação ao sistema A/M, refletida em incrementos de 48,7 e 32,3% respectivamente, na absorção de N e matéria seca do milho (Figura 24). Na subsubparcela com presença de resíduos de cultura de cobertura e sem utilização de adubação mineral foi verificado que a disponibilidade de N seguiu em ordem decrescente: vica, aveia-vica e aveia (Figura 25). Desta forma constata-se que a quantidade de N absorvida pelo milho acompanhou inversamente a relação C/N dos resíduos (Tabela 6). A quantidade de N absorvida pelo milho cultivado após a consorciação aveia · vica sugere que parte do N mineralizado dos resíduos da vica foi imobilizado pelos microrganismos para decomposição dos resíduos de aveia, não atendendo plenamente a demanda do milho. Aos 50 dias após a emergência o milho apresenta uma grande demanda de N podendo alcançar valores tão elevados quanto 3 a 4 kg N/ha/dia (Hanway, 1963; Keeney, 1982).

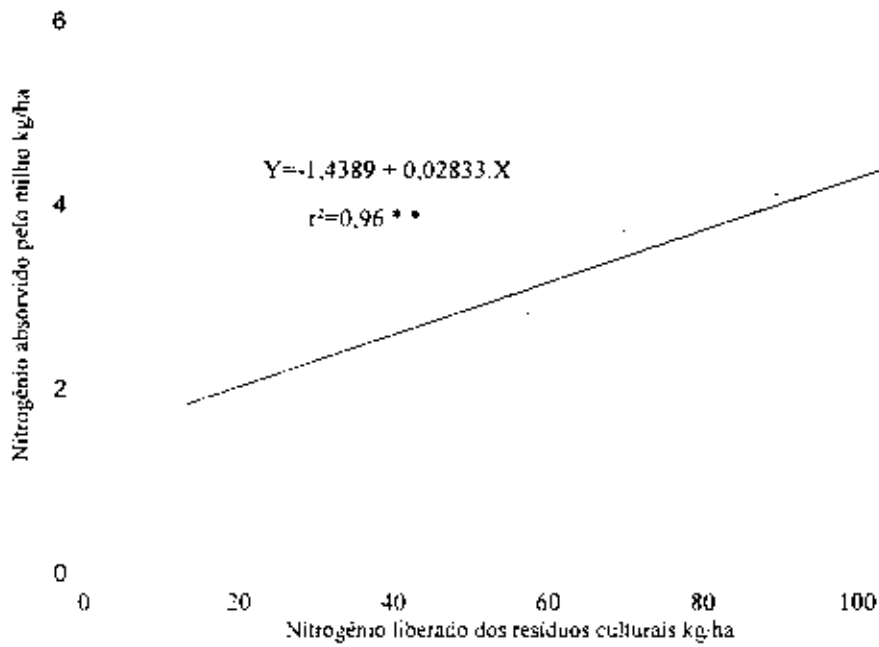


FIGURA 22. Relação entre a quantidade de nitrogênio mineralizada dos resíduos culturais até 30 DAE e a quantidade de nitrogênio absorvida pelo milho aos 30 DAE no tratamento com cultura de cobertura antecedendo ao milho e sem adição de adubação mineral. EEA/UFRGS, 1997.

TABELA 9. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa do milho avaliado 50 dias após a emergência no ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 formas de cobertura do solo (com e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho). Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1997.

Preparo do Solo	Sistema de Cultura	Cobertura do Solo			
		Descoberto		Coberto	
		MS -t/ha-	N -kg/ha-	MS -t/ha-	N -kg/ha-
PC	A/M	1,192	15,6	0,858	12,8
	V/M	1,095	18,6	1,592	31,7
	A+V/M+C	1,736	26,2	1,541	24,4
PD	A/M	0,975	13,9	0,712	12,8
	V/M	0,968	13,9	1,374	24,6
	A+V/M+C	1,132	17,6	1,192	19,8
CV (%)		17,68	22,44		
DMS (Duncan 5%)					
Preparo		0,081 ²	2,3 ²		
Cultura x Cobertura		0,258 ¹ 0,246 ²	5,5 ¹ 5,2 ²		
Cobertura x Cultura		0,266 ²	5,5 ²		

Significância dos fatores na análise estatística Duncan ($P > 0,05$)

Preparo

Interação cultura*cobertura

¹ Compara três médias

² Compara duas médias

PC= Preparo convencional e PD=Plantio direto

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

Descoberto= ausência da cultura de cobertura antecedendo ao milho

Coberto= presença de cultura de cobertura antecedendo ao milho

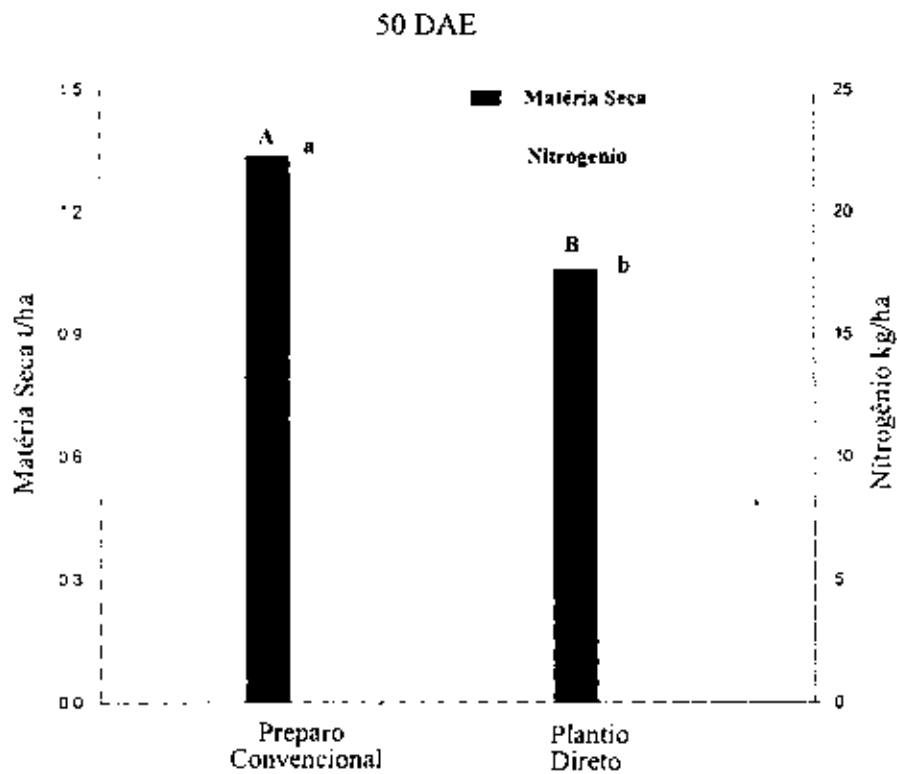


FIGURA 23. Produção de massa seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 50 DAE sob preparo convencional e plantio direto, média de três sistemas de cultura e dois tipos de cobertura do solo (com e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho). Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de preparo. Duncan ($P > 0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

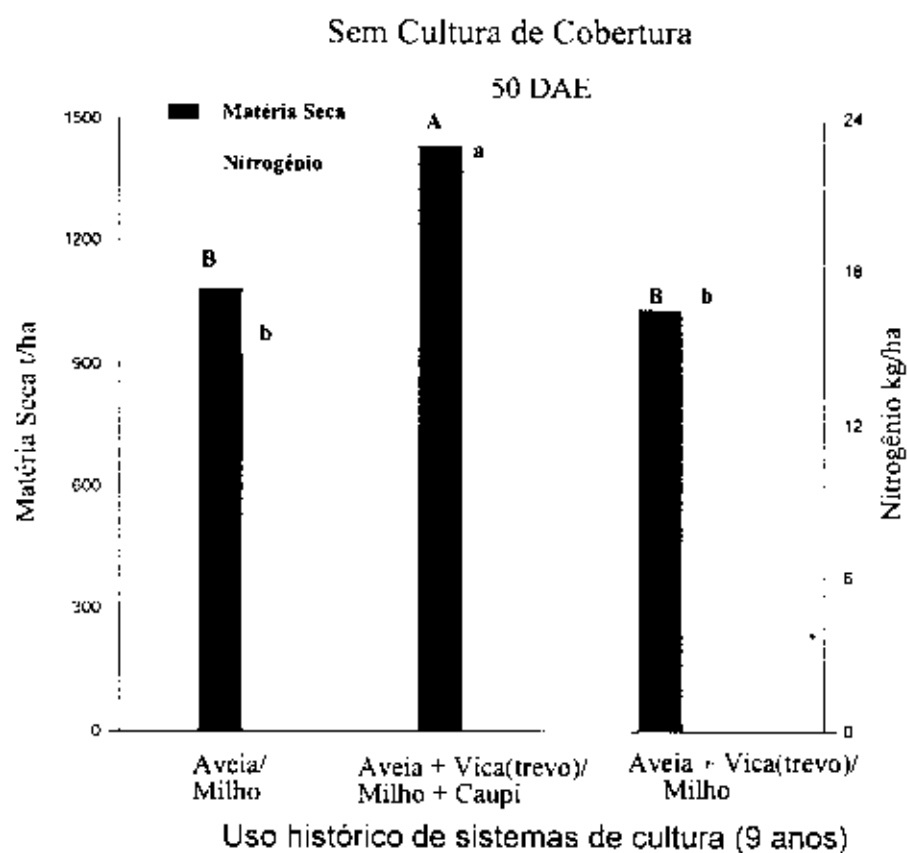


FIGURA 24. Produção de massa seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 50 DAE com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e sem cultura de cobertura antecedendo o milho, média de dois sistemas de preparo. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de preparo. Duncan ($P > 0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

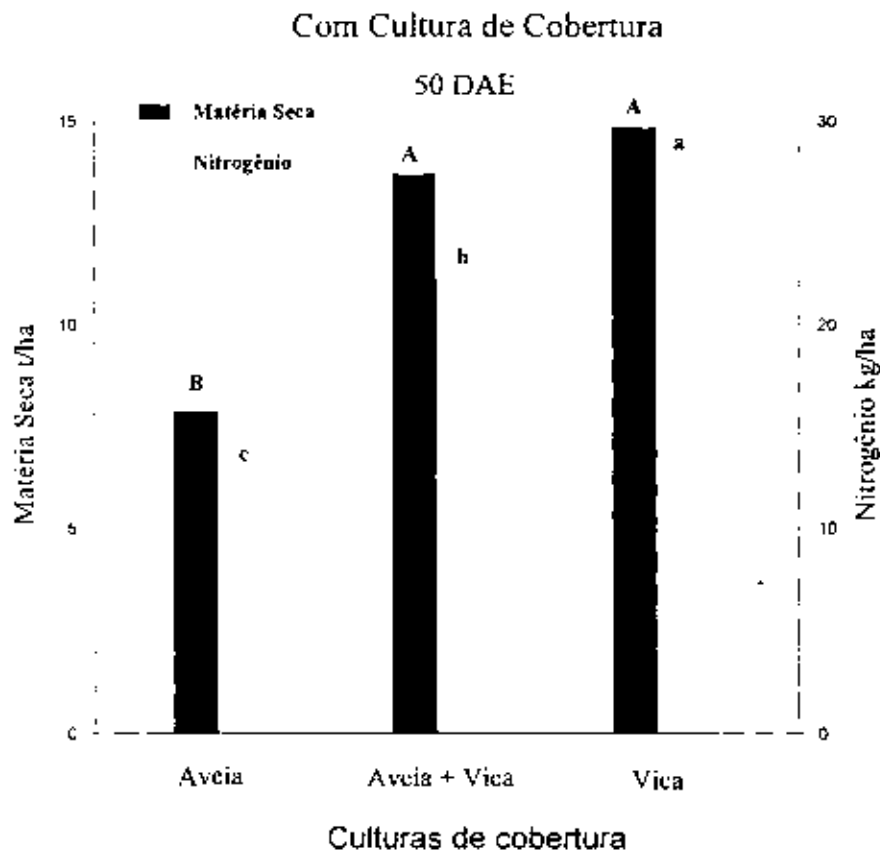


FIGURA 25. Produção de massa seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 50 DAE com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e com cultura de cobertura antecedendo o milho, média de dois sistemas de preparo. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de preparo. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

Na Figura 26 é apresentada a comparação da disponibilidade de N sob solo mantido descoberto e coberto com resíduos da cultura de cobertura. Nesta Figura observa-se que os resíduos de vicia aumentaram a produção de matéria seca e a quantidade de N absorvida pelo milho em relação ao solo descoberto. Os resíduos de aveia induziram menor produção de massa seca do milho do que a verificada em solo descoberto, embora não tenha havido diferença estatística na quantidade de N absorvida pelo milho nestes dois tratamentos. No sistema aveia + vicia, não foi verificado efeito da presença de resíduos nem na quantidade de N absorvida, nem na produção de matéria seca.

A análise da relação entre a quantidade de N mineralizado dos resíduos e a quantidade de N absorvido pelo milho aos 50 DAE na subsubparcela com resíduos e sem adição de N apresentou um $r^2=0,97$ (Figura 27), indicando que a mineralização dos resíduos foi o principal fator que influenciou o desenvolvimento e nutrição do milho, na ausência da adubação nitrogenada mineral.

4.5.3 Efeito residual do uso de culturas de cobertura na produção de matéria seca e N absorvido pelo milho aos 95 DAE

Nesta avaliação foi amostrado também o milho cultivado sob preparo reduzido, além do plantio direto e preparo convencional. Os resultados obtidos aos 95 DAE confirmam uma tendência anterior, iniciada aos 30 DAE, na qual o plantio direto apresentou menor disponibilidade de N do que os preparos convencional e reduzido (Figura 28). Assim, o plantio direto induziu decréscimos de 29,7 e 23,8% na absorção de N e produção de matéria seca, respectivamente, em relação ao preparo convencional e decréscimos de 29,2 e 25,9% nos mesmos parâmetros em relação ao preparo reduzido (Tabela 10). Este fato é interessante, uma vez que o plantio direto apresentou maior acúmulo de N total no solo do que os demais sistemas de preparo, porém transcorridos dez

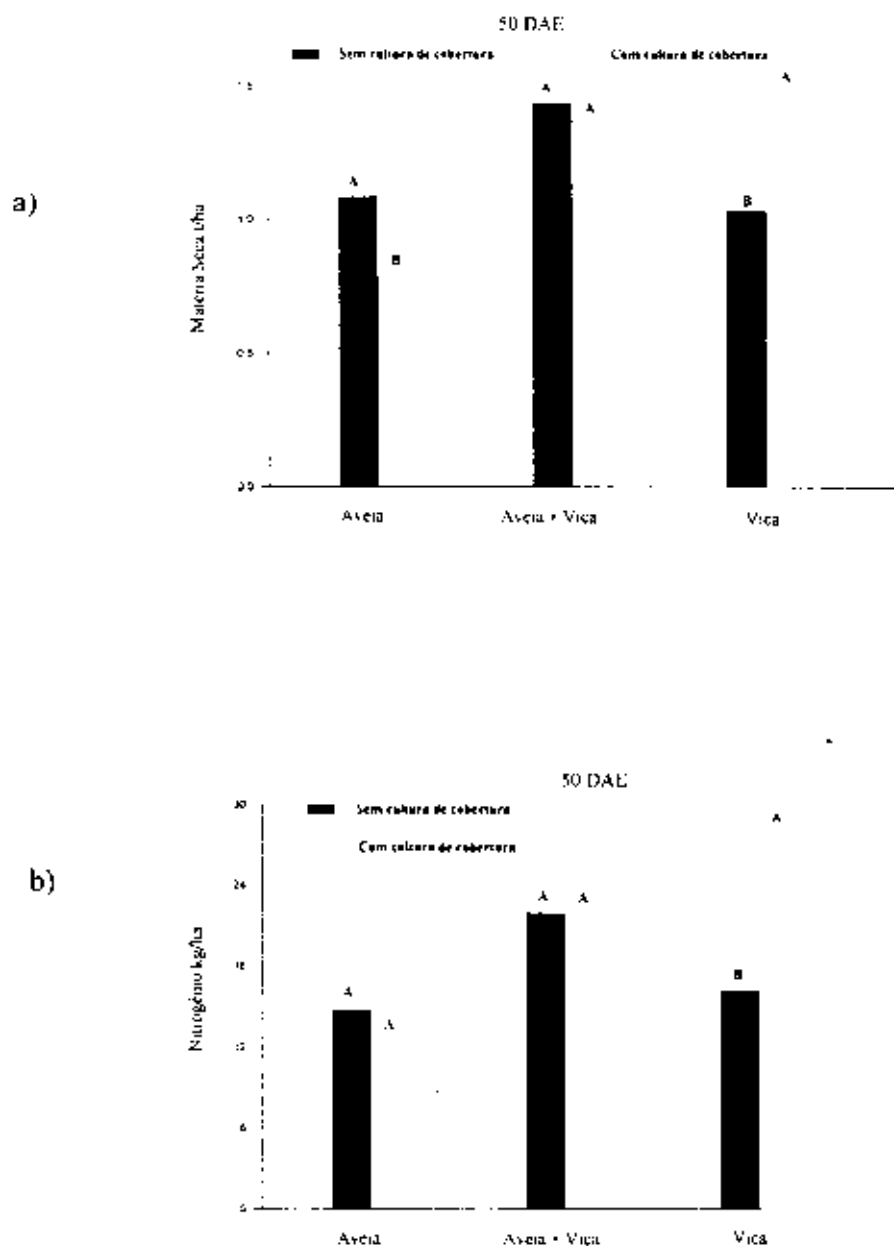


FIGURA 26. Produção de matéria seca (a) e quantidade de nitrogênio (b) acumulada pelo milho aos 50 DAE com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e sem e com cultura de cobertura antecedendo ao milho, média de dois sistemas de preparo. Letras comparam a produção de matéria seca e a quantidade de N dentro de cada sistema de cultura. Duncan ($P > 0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

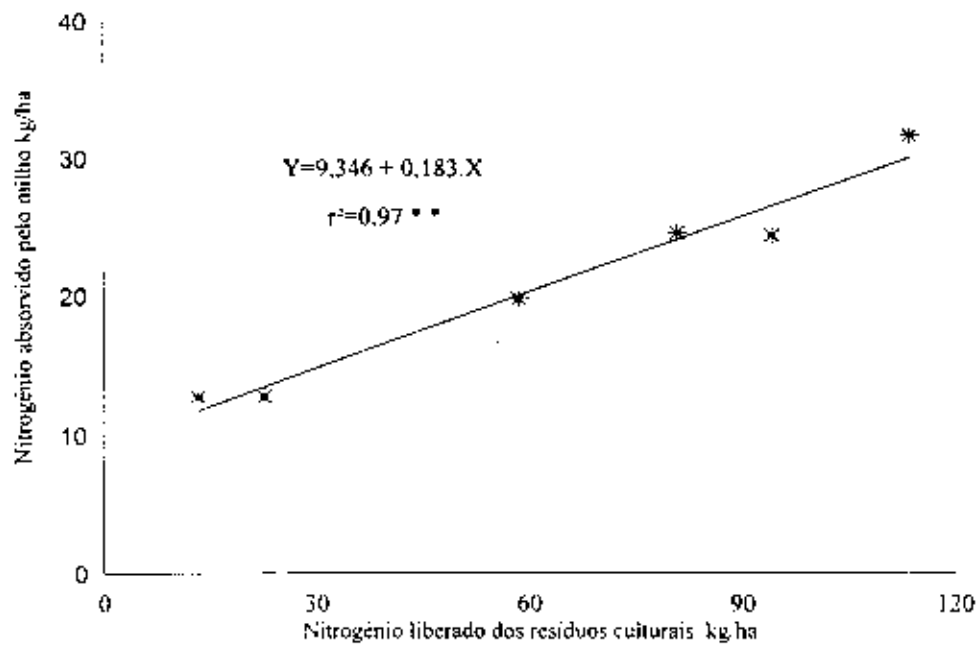


FIGURA 27. Relação entre a quantidade de nitrogênio mineralizada dos resíduos culturais até 50 DAE e a quantidade de nitrogênio absorvida pelo milho aos 50 DAE no tratamento com cultura de cobertura antecedendo ao milho e sem adição de adubação mineral. EEA/UFRGS, 1997.

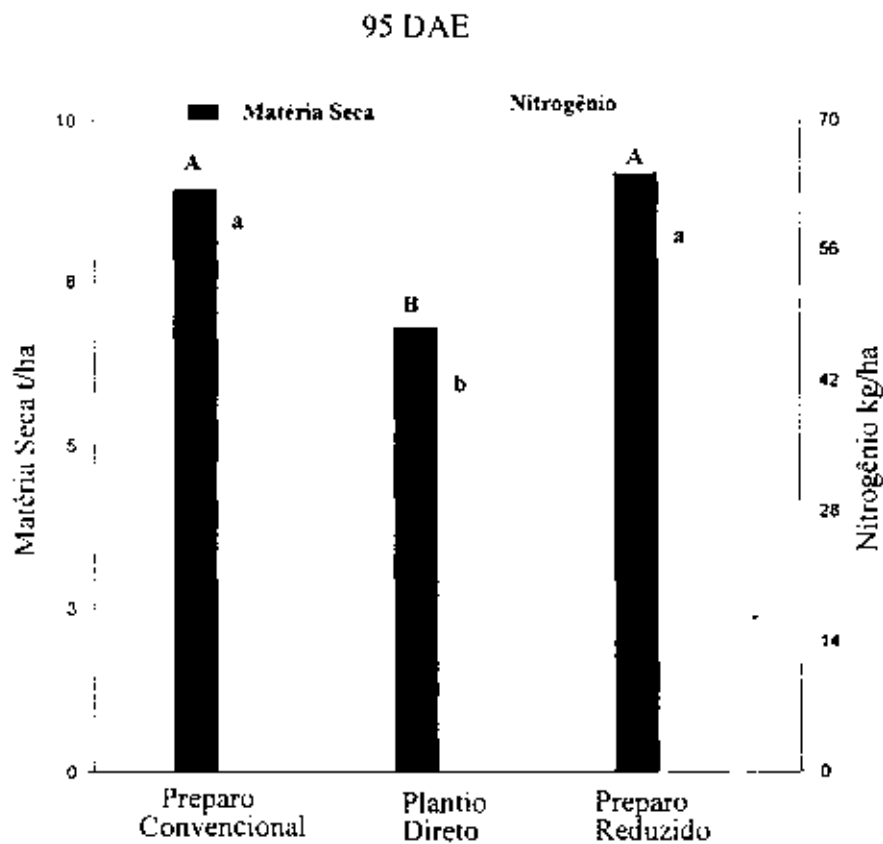


FIGURA 28. Produção de massa seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 95 DAE sob preparo convencional, plantio direto e preparo reduzido, média de três sistemas de cultura e sem e com cultura de cobertura antecedendo ao milho. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de preparo. Duncan ($P > 0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

TABELA 10. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa do milho avaliado 95 dias após a emergência no ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 formas de cobertura do solo (descoberto=sem cultura de cobertura antecedendo o milho e coberto=com cultura de cobertura). Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1996.

Preparo do Solo	Sistema de Cultura	Cobertura do Solo			
		Descoberto		Coberto	
		MS -t/ha-	N -kg/ha-	MS -t/ha-	N -kg/ha-
PC	A/M	7,135	45,0	6,356	33,9
	V/M	8,646	50,1	10,809	77,6
	A+V/M+C	10,601	66,5	10,029	67,4
PR	A/M	9,368	52,3	7,459	41,2
	V/M	8,973	56,3	10,081	67,4
	A+V/M+C	9,317	54,6	9,893	57,2
PD	A/M	5,561	28,7	4,763	21,9
	V/M	6,230	31,4	10,477	77,1
	A+V/M+C	6,407	37,2	7,401	42,8
CV (%)		19,00	24,23		
DMS (Duncan 5%)					
Preparo		1,205 ¹ 1,181 ²	6,8 ¹ 6,7 ²		
Cultura x Cobertura		1,614 ¹ 1,534 ²	8,6 ¹ 9,0 ²		
Cobertura x Cultura		1,563 ²	1,22 ¹		

Significância dos fatores na análise estatística Duncan (P>0,05)

Preparo

Interação cultura*cobertura

¹ Compara três médias

² Compara duas médias

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

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

Descoberto= ausência de cultura de cobertura antecedendo ao milho

Coberto= presença de cultura de cobertura antecedendo ao milho

anos ainda não houve correspondência deste acúmulo de N total com o aumento da disponibilidade de N para as culturas neste sistema. Resultados semelhantes foram encontrados anteriormente por Rice et al. (1986) e McCracken et al. (1989).

Na subsubparcela mantida descoberta constata-se que o histórico de uso de leguminosas se refletiu positivamente na absorção de N pelo milho (Figura 29). Assim, o histórico de uso de A+V(T)/M+C (duas leguminosas por ano) proporcionou um aumento de 10.7 kg/ha na absorção de N pelo milho, média de três sistemas de preparo, quando comparado ao sistema A/M. McCracken et al. (1989) conduzindo experimento com metodologia semelhante a utilizada neste trabalho (subsubparcelas cobertas e descobertas) encontrou que o efeito residual do uso de vica durante dez anos proporcionou um aumento de 28.0 kg/ha na absorção de N pelo milho, quando comparado ao sistema centeio/milho. Esta estimativa foi superior em mais de duas vezes aquela registrada neste experimento. Considerando que o histórico de uso de culturas de cobertura e a duração dos experimentos foram semelhantes entre estes experimentos, a diferença verificada na disponibilidade de N pelo uso de culturas de cobertura, pode ser atribuída as diferenças de clima e solo onde estes experimentos foram conduzidos.

Na subsubparcela mantida coberta com resíduos (Figura 30) foi possível constatar, através da absorção de N pelo milho em sucessão a vica, a importância do N adicionado pela leguminosa no incremento da disponibilidade deste nutriente. Assim, o milho cultivado sob resíduos de vica, na média de três sistemas de preparo, absorveu 42 kg/ha a mais do que o milho cultivado após a aveia, ou seja, um acréscimo de 129%.

A comparação da disponibilidade de N entre as subsubparcelas sem cultura de cobertura e com cultura de cobertura antecedendo ao milho é apresentada na Figura 31. Através desta Figura, pode-se constatar que a imobilização de N verificada pela adição de resíduos de aveia, aos 30 DAE do milho, foi temporária, pois na avaliação realizada aos

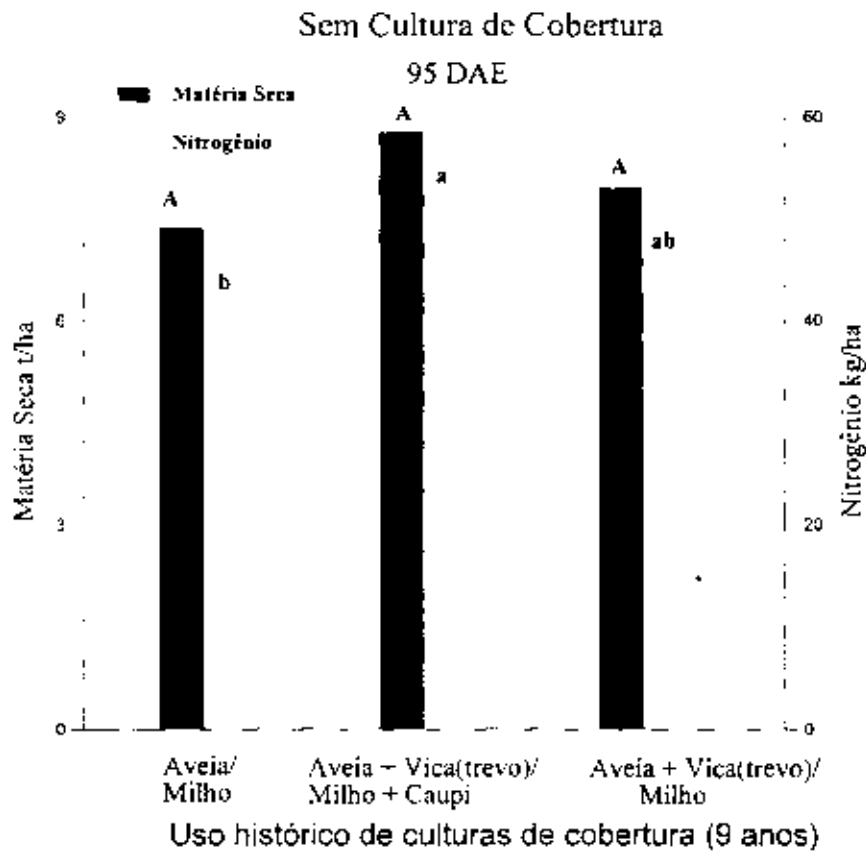


FIGURA 29. Produção de massa seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 95 DAE com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho solo, média de três sistemas de preparo e três repetições. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de cultura e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de cultura. Duncan ($P > 0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

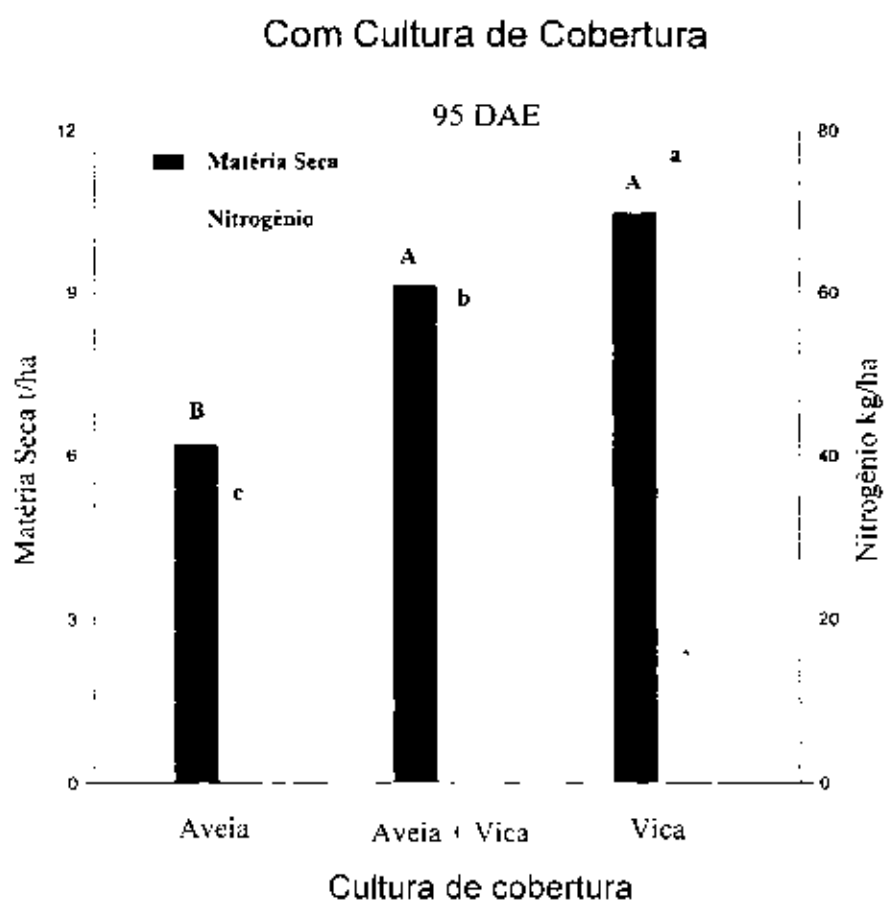


FIGURA 30. Produção de massa seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 95 DAE com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e com cultura de cobertura antecedendo do milho, média de três sistemas de preparo. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de cultura e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de cultura. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

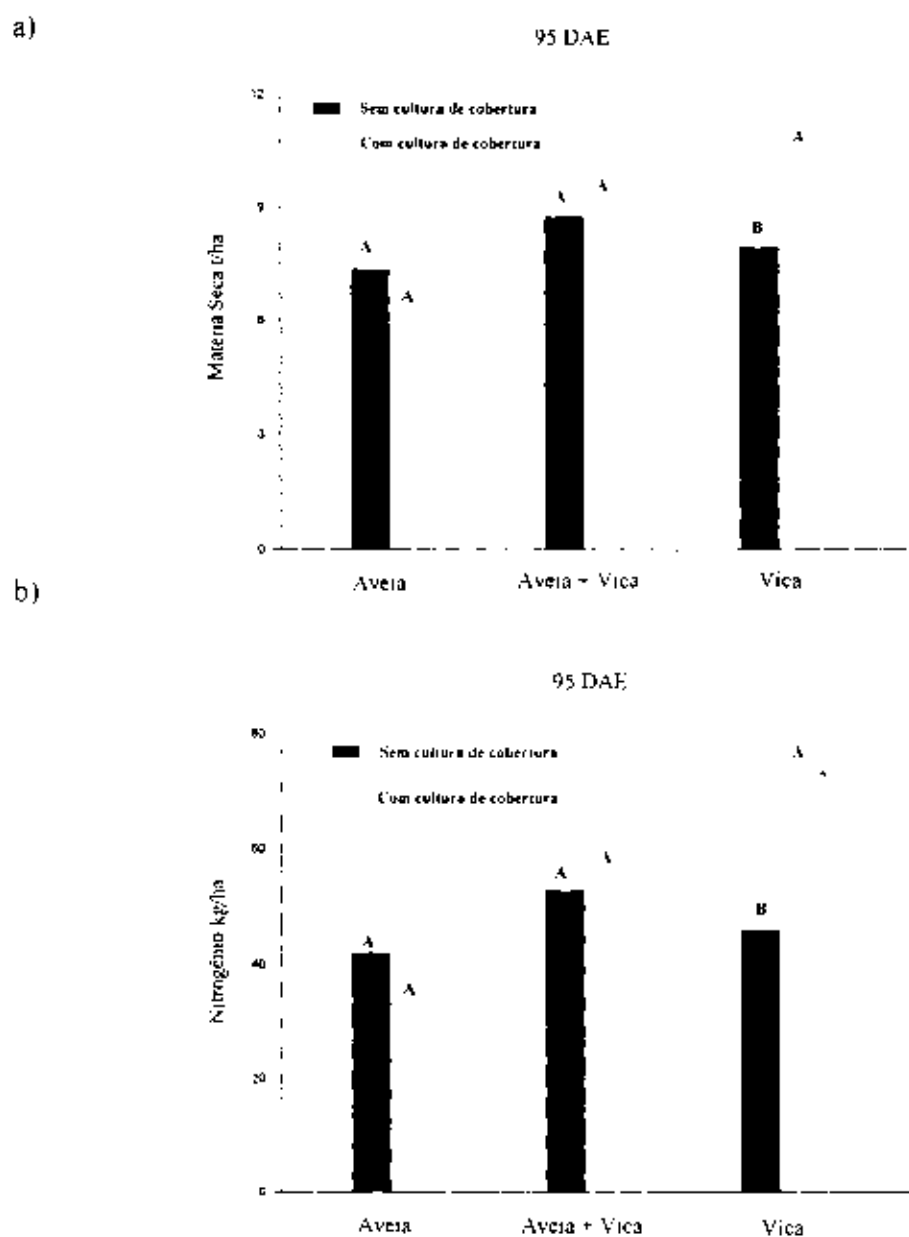


FIGURA 31. Produção de matéria seca (a) e quantidade de nitrogênio (b) acumulada pelo milho aos 95 DAE com histórico de cultivo de três sistemas de cultura 9 anos e sem e com cultura de cobertura antecedendo ao milho. Média de três sistemas de preparo e três repetições. Letras comparam a produção de matéria seca e a quantidade de N dentro de cada sistema de cultura. Duncan ($P>0.05$). EEA/UFRGS, 1997.

95 DAE não houve diferença estatística entre o solo descoberto e coberto quanto a produção de matéria seca e quantidade de N absorvido pelo milho. Por outro lado, os resíduos de aveia+vica não modificaram a disponibilidade de N comparativamente ao solo descoberto, provavelmente porque a relação C/N destes resíduos se aproximou de 25, valor no qual há um equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização. Os resíduos de vica aumentaram em 61% a quantidade de N absorvido pelo milho comparativamente ao solo descoberto, evidenciando o efeito positivo desta leguminosa no suprimento de N ao milho.

Utilizando os valores de N absorvido pelo milho na subsubparcela descoberta e descontando este valor do N absorvido pelo milho na subsubparcela coberta com resíduos obtém-se uma estimativa da quantidade de N absorvida pelo milho que pode ser atribuído ao efeito da cultura de cobertura. A percentagem aparente de recuperação do N, pode então ser obtida dividindo este valor pela quantidade de N na fitomassa da cultura de cobertura. Utilizando este procedimento, a recuperação do N aparente da vica foi estimado em 25,5%, médias de três sistemas de preparo, enquanto para a consorciação aveia+vica a estimativa foi de apenas 2,9%. O valor de recuperação do N da vica obtido neste experimento aproxima-se dos valores encontrados por Varco et al. (1989), Sarrantonio e Scott (1988) e Bruuselma et al. (1987) com N marcado. O baixo valor de recuperação do N da fitomassa da consorciação aveia+vica confirma a existência de um equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização durante a decomposição dos resíduos.

A relação entre a quantidade de N mineralizada dos resíduos e a absorção de N pelo milho na subsubparcela coberta com resíduos indicou um $r^2=0,91$, evidenciando a importância dos resíduos culturais na nutrição do milho (Figura 32).

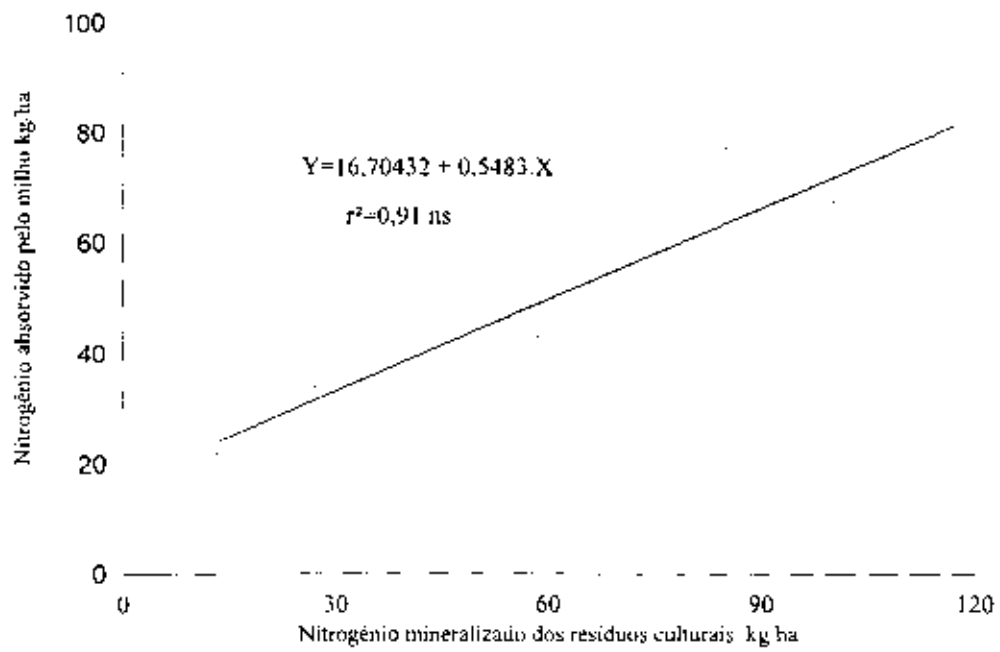


FIGURA 32. Relação entre a quantidade de nitrogênio mineralizada dos resíduos culturais até aos 95 DAE e a quantidade de nitrogênio absorvida pelo milho aos 95 DAE no tratamento com cultura de cobertura antecedendo ao milho e sem adição de adubação mineral. EEA/UFRGS, 1997.

4.5.4 Efeito residual do uso de culturas de cobertura no rendimento do milho

Os sistemas de preparo do solo, embora tenham influenciado a produção de matéria seca e a quantidade de N absorvido, não afetaram estatisticamente o rendimento do milho conforme apresentado na Tabela 11. Este resultado concorda com os obtidos por outros autores nos quais verificou-se que há menor disponibilidade de N avaliada pela absorção deste nutriente no plantio direto, porém o rendimento entre sistemas de preparo é semelhante (Varco et al., 1989; Sarrantonio e Scott, 1988).

O efeito residual do uso durante nove anos de leguminosas como culturas de cobertura apresentou efeito positivo no rendimento do milho. Assim, por exemplo o uso de leguminosas no sistema A+V(T)/M+C promoveu incremento no rendimento do milho de 0,55 t/ha em relação ao sistema A/M, correspondendo a um incremento de 19% (Figura 33). McCracken et al. (1989) encontraram um aumento de 1,31 t/ha no rendimento do milho cultivado em parcelas com histórico de uso de vica quando comparado ao rendimento obtido em parcelas com histórico de uso de centeio/milho. Em ambos os experimentos o aumento no rendimento do milho pode ser atribuído ao incremento da disponibilidade de N induzido pelo uso a longo prazo de leguminosas.

Por outro lado, o rendimento do milho verificado na presença de resíduos (Figura 34) acompanhou a absorção de N anteriormente apresentada (Figura 30), assim, sob resíduos de vica foi constatado 82% de incremento no rendimento do milho em relação ao obtido no sistema A/M (Figura 34). O rendimento do milho em sucessão a consorciação aveia+vica apresentou incremento de 58,3% em relação ao sistema A/M, porém apresentou decréscimo de 13,2% em relação ao sistema V/M. A comparação do rendimento obtido sob solo descoberto e coberto evidenciou que os resíduos de aveia tiveram efeito neutro no rendimento do milho, enquanto a presença

TABELA 11. Rendimento de grãos do milho (t/ha) ajustado para 13% de umidade no ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 2 formas de cobertura do solo (descoberto=sem cultura de cobertura antecedendo o milho e coberto=com cultura de cobertura). Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1996.

Preparo do Solo	Sistema de Cultura	Cobertura do Solo	
		Descoberto	Coberto
----- t/ha -----			
PC	A/M	3,05 (35)	2,87 (33)
	V/M	3,64 (42)	5,37 (62)
	A+V/M+C	3,42 (39)	4,38 (51)
PR	A/M	3,42 (39)	3,55 (41)
	V/M	3,95 (46)	5,45 (63)
	A+V/M+C	3,93 (45)	5,26 (61)
PD	A/M	2,47 (29)	2,24 (26)
	V/M	3,26 (38)	4,98 (57)
	A+V/M+C	3,26 (38)	4,07 (47)
CV (%)		12,05	
DMS (Duncan 5%)			
Cultura x Cobertura		0,356 ¹	
Cobertura x Cultura		0,454 ²	

Significância dos fatores na análise estatística Duncan (P>0,05)

Interação cultura*cobertura

¹ Compara três médias

² Compara duas médias

PC= Preparo convencional PR=Preparo reduzido e SP=Sem preparo

A=Aveja, V=Vieira, C=Caupi e M=Milho

Descoberto=ausência de cultura de cobertura antecedendo ao milho

Coberto=presença de cultura de cobertura antecedendo ao milho

Valores entre parênteses representam o rendimento relativo ao maior rendimento obtido no experimento (tratamento plantio direto vicia/milho 180 kg N/ha).

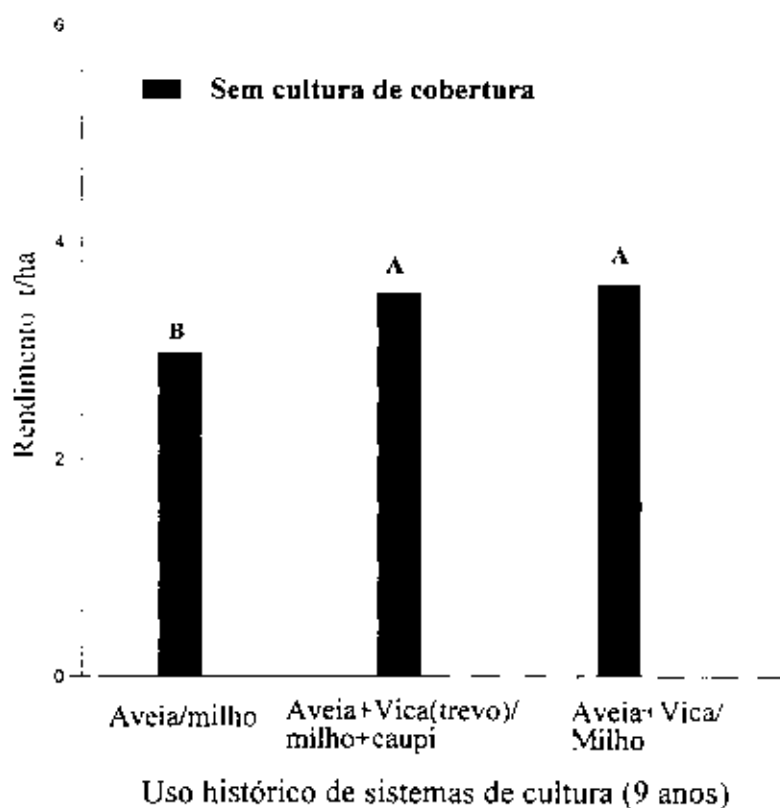


FIGURA 33. Rendimento do milho obtido em solo com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho e sem adição de adubação nitrogenada mineral. Média de três sistemas de preparo. Letras comparam o rendimento do milho obtido entre sistemas de cultura. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

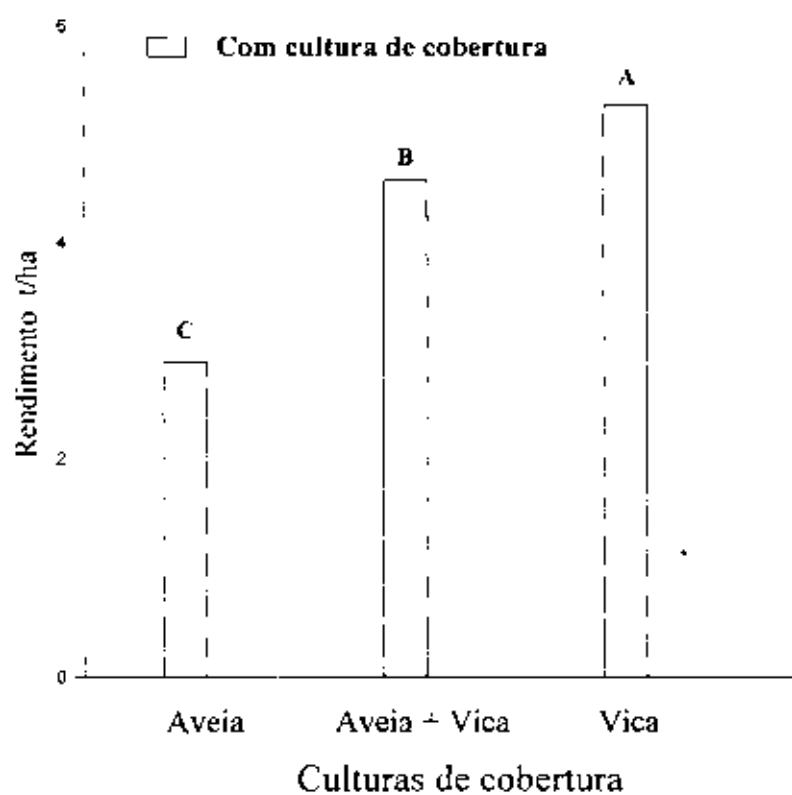


FIGURA 34. Rendimento do milho obtido em solo com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e com cultura de cobertura antecedendo ao milho e sem adição de adubação nitrogenada mineral. Média de três sistemas de preparo. Letras comparam o rendimento do milho obtido entre sistemas de cultura. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

de resíduos de leguminosas como cultura de inverno estatisticamente aumentou o rendimento do milho em relação ao solo descoberto. Assim, a presença de resíduos de vica aumentou em 45,6% o rendimento obtido em solo descoberto. Por outro lado, a consorciação aumentou o rendimento em 29,3% (Figura 35). No sistema com consorciação aveia+vica, embora a disponibilidade de N no solo descoberto não tenha sido significativamente aumentada pela presença de resíduos (apenas 6% de incremento), houve um incremento de 1/3 no rendimento do milho, sugerindo efeitos outros como melhoria das condições físicas, biológicas e químicas definidos como efeito de rotação (Russele et al., 1987). Porém a relação entre a quantidade de N liberada dos resíduos e o rendimento do milho foi de $r^2=0.82$, indicando que este foi o principal fator que influenciou no rendimento (Figura 36).

O menor rendimento do milho foi obtido no sistema A/M em plantio direto sem adição de N mineral (Tabela 11), representando apenas 26% do teto de rendimento do experimento obtido no tratamento A+V/M-C em plantio direto com fertilização de 180 kg N/ha. Por outro lado, a utilização do preparo reduzido com V/M apresentou o maior rendimento na ausência da adubação, alcançando 63% do rendimento máximo do experimento. Os rendimentos obtidos com a V/M, nos três sistemas de preparo e na ausência de adubação mineral, foi equivalente ao dobro do rendimento médio do milho obtido no Estado do Rio Grande do Sul.

4.6 Efeito da adubação nitrogenada mineral na nutrição e rendimento do milho

O efeito da adubação nitrogenada mineral foi avaliado através de três doses: 0, 90 e 180 kg N/ha aplicados parceladamente no milho cultivado nas subsubparcelas mantidas cobertas com resíduos culturais.

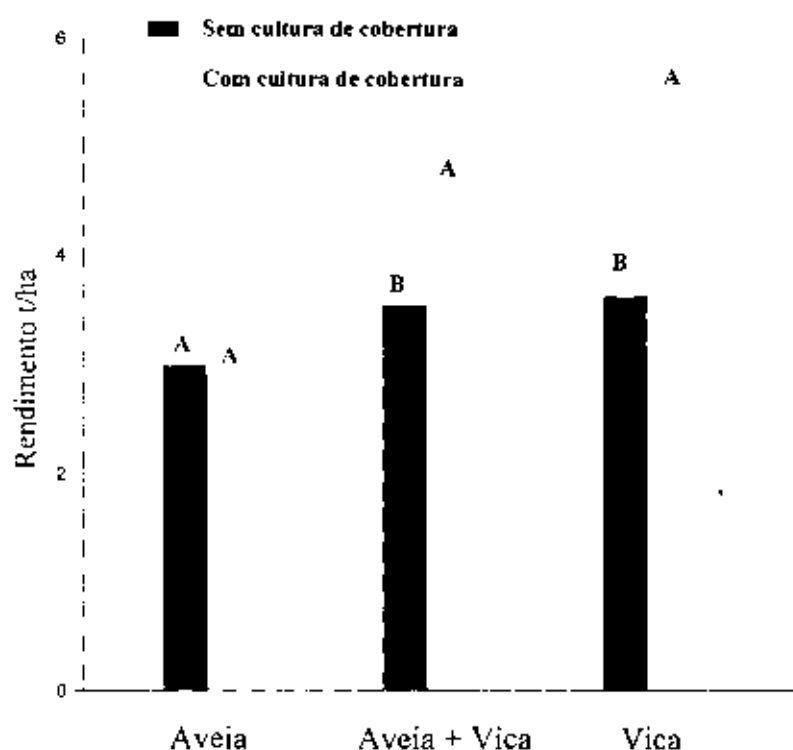


FIGURA 35. Rendimento do milho em solo com histórico de cultivo de três sistemas de cultura por 9 anos e sem (descoberto) e com cultura de cobertura (coberto) antecedendo ao milho e sem adição de adubação nitrogenada mineral, média de três sistemas de preparo. Letras comparam o rendimento do milho obtido dentro do mesmo sistemas de cultura. Duncan ($P > 0.05$). EEA/UFRGS, 1997.

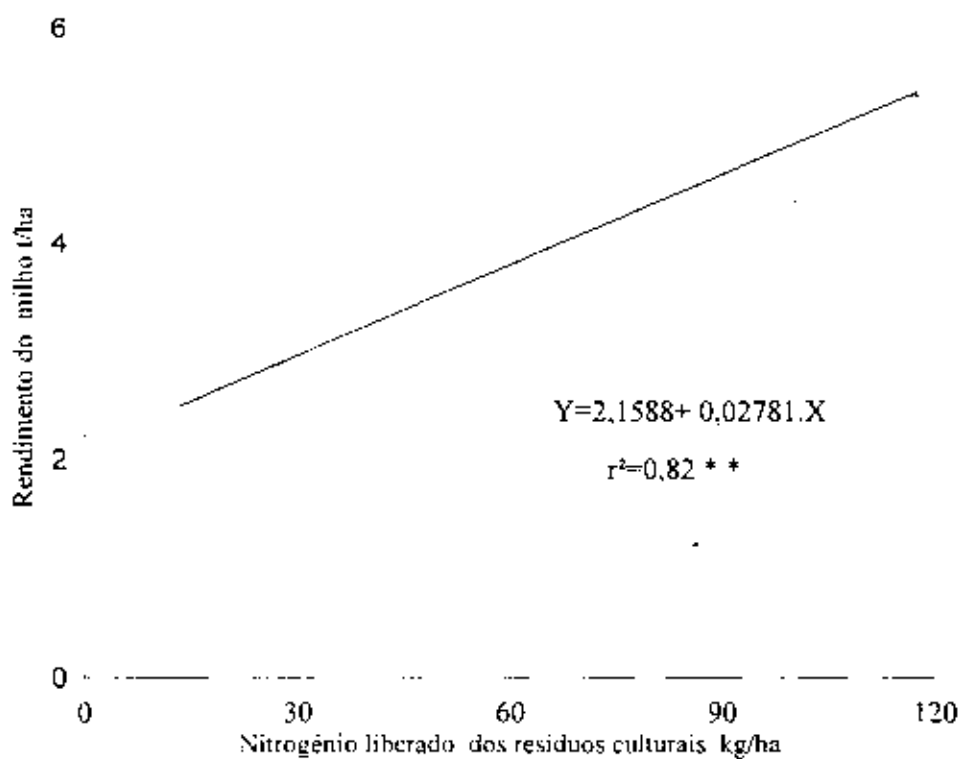


FIGURA 36. Relação entre a quantidade de nitrogênio mineralizada dos resíduos culturais até 95 DAE e o rendimento do milho obtido no tratamento com solo cultura de cobertura antecedendo ao milho e sem adição de adubação mineral. EEA/UFRGS, 1997.

TABELA 12. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa do milho avaliado 30 dias após a emergência no ano de 1996, em 2 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 3 doses de nitrogênio. Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1997.

Preparo do Solo	Sistema de Cultura	Dose de Nitrogênio aplicado até a amostragem (kg/ha)					
		0		20		40	
		MS -t/ha-	N -kg/ha-	MS -t/ha-	N -kg/ha-	MS -t/ha-	N -kg/ha-
PC	A/M	0,067	2,2	0,143	5,3	0,152	6,4
	V/M	0,100	4,4	0,123	5,2	0,153	6,9
	A+V/M+C	0,097	4,1	0,145	6,1	0,144	6,3
PD	A/M	0,051	1,6	0,079	3,2	0,161	7,1
	V/M	0,109	3,7	0,102	5,2	0,137	6,0
	A+V/M+C	0,074	2,8	0,115	4,9	0,116	5,3
CV (%)		21,77	23,79				
DMS (Duncan 5%)							
Cultura x Dose N		0,033 ¹	1,7 ¹	0,032 ²	1,6 ²		
Dose N x Cultura		0,031 ¹	1,4 ¹	0,030 ²	1,4 ²		

Significância dos fatores na análise estatística Duncan ($P > 0.05$)

Interação cultura*dose de N

¹ Compara três médias

² Compara duas médias

PC= Preparo convencional e PD=Plantio Direto

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

4.6.1 Efeito da adubação nitrogenada mineral na produção de matéria seca e N absorvido pelo milho aos 30 DAE

Nesta avaliação as doses de N mineral utilizadas foram: 0, 20 e 40 kg N/ha aplicados imediatamente após a semeadura do milho. Na Tabela 12 pode-se constatar que a produção de matéria seca e a quantidade de N acumuladas pelo milho aos 30 DAE foi influenciada pela adubação nitrogenada aplicada. Não houve efeito estatístico do sistema de preparo nestes parâmetros avaliados. Por outro lado, o efeito das doses de N mineral aplicado nos sistemas de cultura podem ser visualizados nas Figuras 37 e 38. Na ausência de aplicação de N fertilizante o sistema A/M apresentou a menor matéria seca (Figura 37) e menor quantidade de N absorvido (Figura 38) quando comparado a vica e a consorciação. Estes dois últimos tratamentos não diferiram entre si.

A aplicação de 40 kg/ha na base do milho em sucessão a aveia aumentou em 250% a quantidade de N absorvida (Figura 38) e em 166% a produção de matéria seca (Figura 37), evidenciando a importância da fertilização nitrogenada na base deste sistema incluindo sucessão de gramíneas. Com as aplicações de 20 e 40 kg/ha não houve diferença estatística na produção de massa seca e no N absorvido entre os sistemas de cultura. No sistema A/M houve resposta na quantidade de N absorvido a aplicação de até 40 kg N/ha na base, enquanto para os sistemas vica e aveia+vica somente houve resposta até a dose de 20 kg/ha. Este resultado está de acordo com a recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo - RS/SC (1995) que indica a necessidade da aplicação de 20 a 30 kg N/ha na semeadura do milho em sucessão a aveia. A resposta a maior dose de N aplicada no milho (40 kg/ha) em sucessão a aveia encontrada neste experimento, provavelmente esteja relacionada a elevada relação C/N dos resíduos da cultura de cobertura e o consequente potencial de imobilização do N.

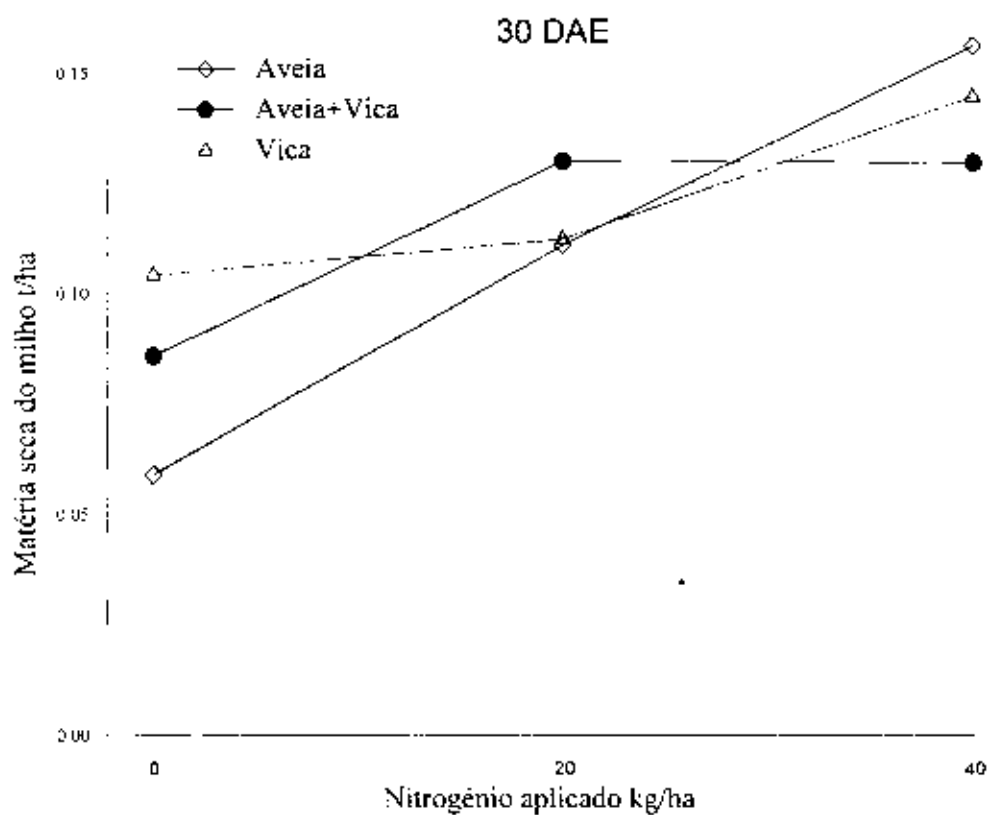


FIGURA 37. Produção de massa seca do milho aos 30 DAE influenciado por três doses de N aplicados na base do milho, média de dois sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.

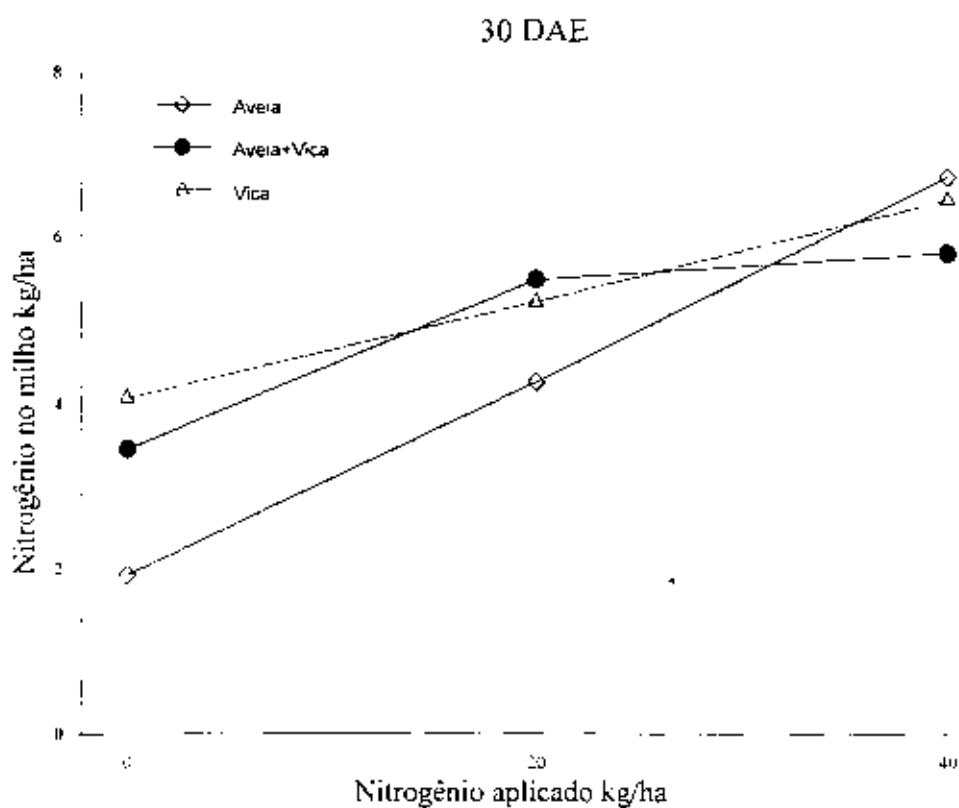


FIGURA 38. Quantidade de N absorvido pelo milho aos 30 DAE influenciado por três doses de N aplicados na base do milho, média de dois sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.

4.6.2 Efeito da adubação nitrogenada mineral na produção de massa seca e N absorvido pelo milho aos 50 DAE

Nesta avaliação as doses de N mineral utilizadas foram: 0, 60 e 120 kg/ha aplicados imediatamente após a semeadura e aos 26 DAE do milho. Na amostragem realizada aos 50 DAE foi constatado o efeito do sistema de preparo na produção de matéria seca e acumulação do N (Tabela 13). Desta forma, na média de três sistemas de cultura e três doses de N, houve no plantio direto uma redução de 10,4% na absorção de N em relação ao preparo convencional (Figura 39). A produção de matéria seca apresentou uma tendência semelhante (Figura 40).

Independente dos sistemas de preparo e cultura adotados foi verificada resposta na quantidade de N absorvida pelo milho aos 50 DAE às doses de N mineral aplicado, sugerindo que nesta fase a demanda de N pelo milho superou a disponibilizada pelos resíduos. Mesmo assim houve considerável diferença na resposta a adubação mineral entre os sistemas A/M e V/M. Desta maneira, no sistema A/M as aplicações de 60 e 120 kg N/ha aumentaram em 174 e 223 %, respectivamente, a quantidade de N absorvida pelo milho (Tabela 13). No sistema V/M sob plantio direto as mesmas doses de N mineral aumentaram em 83 e 131%, respectivamente, a quantidade de N absorvida pelo milho. Estes resultados evidenciam a importância do uso da leguminosa na nutrição desta cultura

A produção de matéria seca do milho foi influenciado pela interação entre dose de N e sistemas de cultura (Figura 40). Na ausência da adubação nitrogenada mineral constata-se que a disponibilidade de N no sistema A/M limitou o desenvolvimento do milho, quando comparado ao sistemas de cultura que incluíam leguminosas. Porém com a utilização de adubação nitrogenada neste sistema a produção de matéria seca do milho foi semelhante a obtida nos demais sistemas de cultura.

TABELA 13. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa do milho avaliado 50 dias após a emergência no ano de 1996, em 2 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 3 doses de nitrogênio. Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1996.

Preparo do Solo	Sistema de Cultura	Dose de Nitrogênio até a amostragem (kg/ha)					
		0		60		120	
		MS	N	MS	N	MS	N
		-t/ha-	-kg/ha-	-t/ha-	-kg/ha-	-t/ha-	-kg/ha-
PC	A/M	0,858	12,8	1,937	45,7	1,812	51,4
	V/M	1,592	31,7	2,100	53,1	1,592	45,9
	A+V/M+C	1,540	27,7	2,105	48,6	2,003	56,7
PD	A/M	0,712	12,8	1,366	35,1	1,529	41,4
	V/M	1,374	24,6	1,769	45,1	1,916	56,7
	A+V/M+C	1,192	19,8	1,769	46,2 ¹	1,792	53,3
CV (%)		14,39	18,80				
DMS (Duncan 5%)							
Preparo		0,218 ²	3,3 ¹				
Cultura x Dose N		0,532 ¹	--				
		0,513 ²	--				
Dose N x Cultura		0,290 ¹	--				
		0,276 ²	--				
Dose		----	5,4 ¹				
		----	5,1 ²				

Significância dos fatores na análise estatística Duncan (P>0,05)

Preparo

Interação cultura*dose de N

Dose de N

¹ Compara três médias

² Compara duas médias

PC= Preparo convencional e PD=Plantio Direto

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

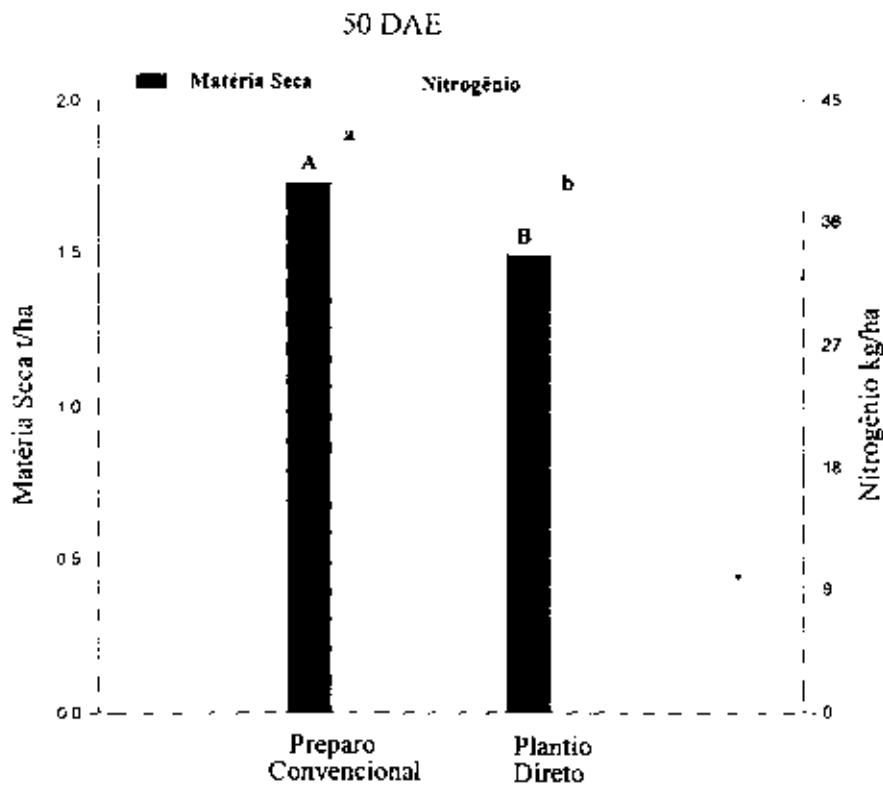


FIGURA 39. Produção de massa seca e N absorvido pelo milho aos 50 DAE sob preparo convencional e plantio direto, média de três sistemas de cultura e três doses de N aplicado no milho e três repetições. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de preparo. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

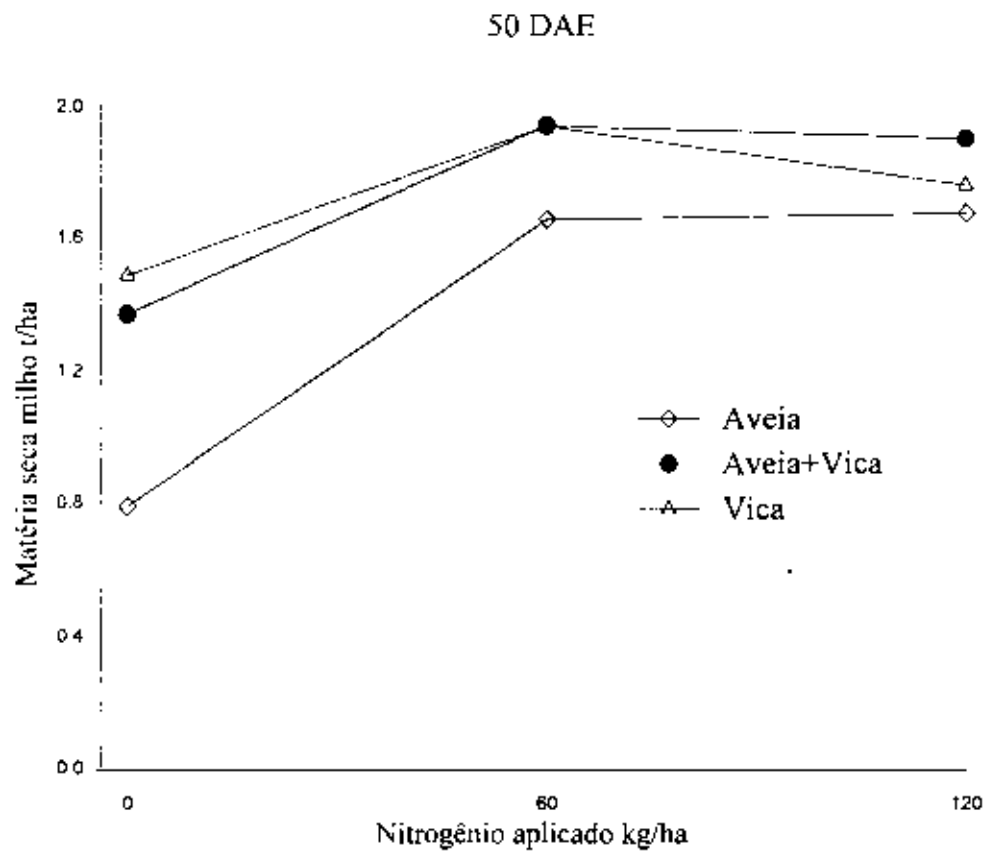


FIGURA 40. Produção de massa seca do milho aos 50 DAE influenciados por três doses de N, média de dois sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.

4.6.3 Efeito da adubação nitrogenada mineral na produção de matéria seca e N absorvido pelo milho aos 95 DAE

Nesta avaliação as quantidades de N mineral utilizadas foram: 0, 90 e 180 kg/ha aplicadas imediatamente após a semeadura e em cobertura aos 26 e 49 DAE do milho. Na amostragem realizada aos 95 DAE (Tabela 14) o efeito de menor absorção de N sob plantio direto em relação ao obtido sob convencional verificada aos 50 DAE foi confirmada. Assim sob o plantio direto a absorção de N foi reduzida em 15,8% e a produção de massa seca em 11,1% em relação aquela verificada no preparo convencional, na média de três sistemas de cultura e três doses de N mineral. Este último sistema não diferiu estatisticamente do preparo reduzido (Figura 41).

A produção de matéria seca do milho foi influenciada pela interação dose de N aplicado x sistema de cultura (Figura 42). Na ausência da adubação nitrogenada o milho em sucessão a aveia apresentou a menor produção de matéria seca, porém com a utilização de doses de N (90 e 180 kg/ha) esta tendência desapareceu, sendo a produção de matéria seca semelhante entre os sistemas de cultura.

Na Tabela 14 observa-se que houve resposta na quantidade de N absorvida às doses de N aplicado, nos três sistemas de cultura avaliados. Assim, mesmo no sistema V/M, que possuía a maior disponibilidade de N pela inclusão da leguminosa de inverno, ainda houve resposta a dose mais elevada de N aplicado. Este resultado indica que a leguminosa utilizada como fonte isolada de N para o milho, não foi suficiente para atender plenamente a demanda da cultura fazendo-se necessário uma complementação com adubação mineral.

No sistema de cultura A/M, na média de três doses de N, houve menor absorção de N, sendo 32% inferior aquela verificada no sistema V/M. Este último sistema não diferiu estatisticamente da consorciação. No sistemas com inclusão de leguminosas a

TABELA 14. Quantidades de matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumuladas na biomassa do milho avaliado 95 dias após a emergência no ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 3 doses de nitrogênio. Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1996.

Preparo do Solo	Sistema de Cultura	Dose de Nitrogênio aplicado até a amostragem (kg/ha)					
		0		90		180	
		MS -t/ha-	N kg/ha-	MS -t/ha-	N kg/ha-	MS -t/ha-	N kg/ha-
PC	A/M	6,356	33,9	12,583	102,7	13,004	117,8
	V/M	10,809	77,6	11,861	112,8	13,185	157,5
	A+V/M+C	10,029	67,4	13,220	121,9	14,074	136,6
PR	A/M	7,459	41,2	11,700	75,4	13,302	132,3
	V/M	10,081	67,4	11,725	122,6	13,728	164,5
	A+V/M+C	9,893	57,2	12,488	116,1	12,801	157,0
PD	A/M	4,764	21,9	10,601	63,7	11,769	108,8
	V/M	10,477	77,1	11,408	88,3	12,812	155,3
	A+V/M+C	7,401	42,8	11,424	96,6	12,813	127,1
CV (%)		11,51	17,54				
DMS (Duncan 5%)							
Preparo		0,485 ¹	12,0 ¹	0,475 ²	11,8 ²		
Cultura x Dose N		1,307 ¹	--	1,242 ²	--		
Dose N x Cultura		4,090 ¹	--	3,890 ²	--		
Cultura		----	12,2 ¹	----	11,7 ²		
Dose		----	9,5 ¹	----	10,0 ²		

Significância dos fatores na análise estatística Duncan (P>0,05)

Preparo

Interação cultura*dose de N

Cultura

Dose de N

¹ Compara três médias

² Compara duas médias

PC= Preparo Convencional, Pr= Preparo Reduzido e SP=Sem preparo

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

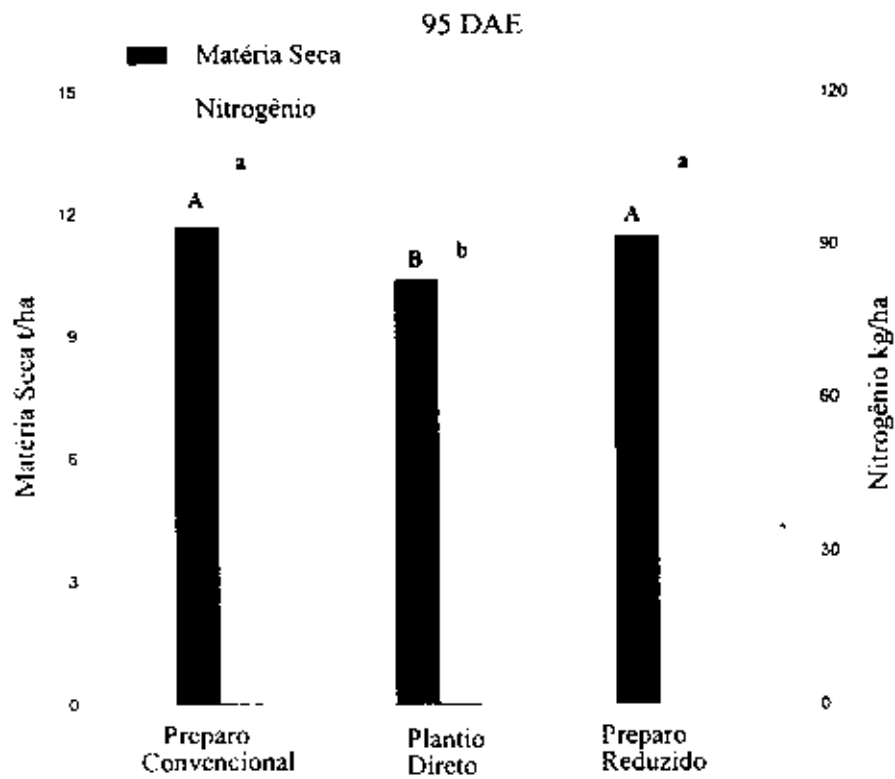


FIGURA 41. Produção de massa seca e N absorvido pelo milho aos 95 DAE sob preparo convencional, plantio direto e preparo reduzido. Média de três sistemas de cultura e três doses de N aplicado no milho. Letras maiúsculas comparam a produção de matéria seca entre sistemas de preparo e letras minúsculas comparam a quantidade de N entre sistemas de preparo. Duncan ($P > 0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

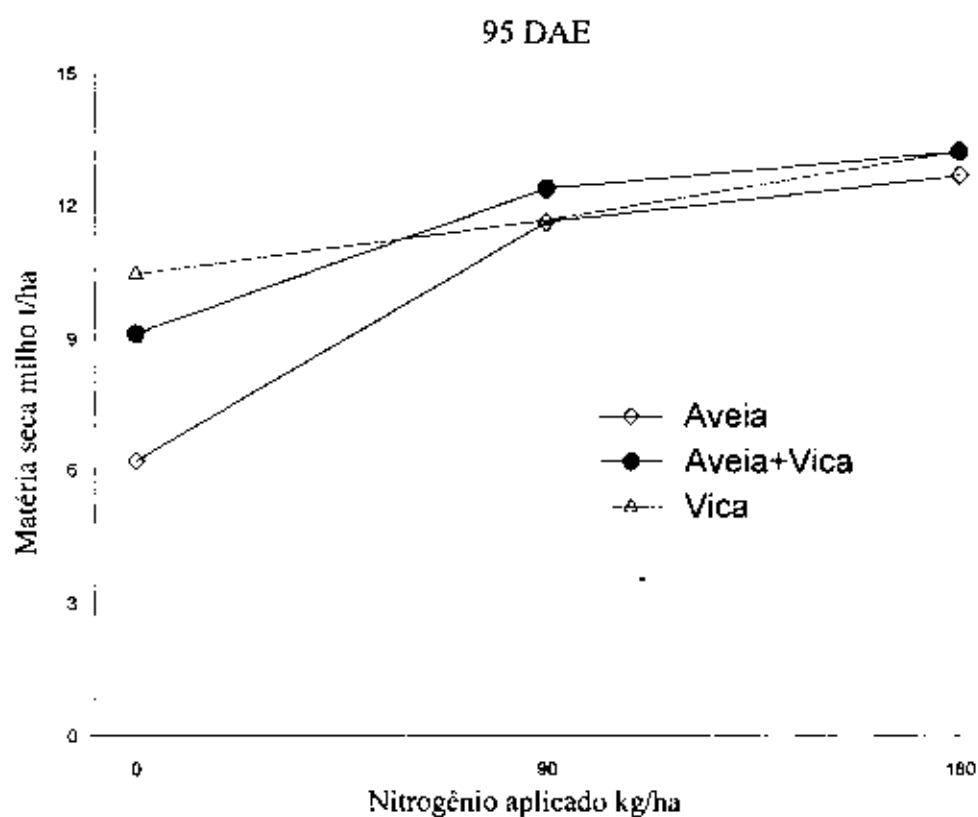


FIGURA 42. Produção de massa seca do milho aos 95 DAE influenciados por três doses de N. Média de três sistemas de cultura e três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.

1997.combinação do N fornecido pela leguminosa com o da adubação nitrogenada provavelmente explique esta maior absorção de N pelo milho quando comparado a sistemas que somente incluíam gramíneas (Figura 43).

4.6.4 Efeito da adubação nitrogenada mineral no rendimento do milho

Na Tabela 15 é apresenta a análise estatística do rendimento de grãos de milho no ano de 1996. Nela constata-se a influência do sistema de preparo e da interação do sistema de cultura com as doses de N mineral aplicada sobre o rendimento do milho . O efeito do sistema de preparo é apresentado na Figura 44, onde observa-se que o plantio direto não diferiu do convencional porém foi aproximadamente 4,8% inferior ao rendimento obtido com escarificador, na média de três doses de N e três sistemas de cultura. O milho sob sistema de preparo reduzido foi somente avaliado aos 95 DAE, porém nesta avaliação este sistema apresentava a maior absorção de N e a maior produção de matéria seca (Figura 41) sendo o rendimento obtido compatível com estes parâmetros fenológicos. O sistema de plantio direto apresentou menor produção de matéria seca e quantidade de N absorvido pelo milho, na média das três doses, comparativamente ao preparo convencional. No entanto, o rendimento do milho não diferiu entre estes dois sistemas de preparo . Resultados semelhantes foram obtidos por Sarrantonio e Scott (1988), Rosso (1989), Salton (1989), Varco et al. (1989) e Bayer (1992) sugerindo maior eficiência de uso do N absorvido no sistema de plantio direto.

O efeito de doses de N sobre o rendimento do milho em sistemas de cultura é apresentado na Figura 45. No sistema A/M houve resposta as duas doses de N aplicado, o mesmo ocorrendo com a consorciação A+V/M. No sistema V/M somente houve resposta a dose 90 kg/ha. O efeito de sistemas de cultura no rendimento do milho foi anulado pela utilização da dose mais elevada de N mineral (180 kg/ha). Na dose de 90 kg

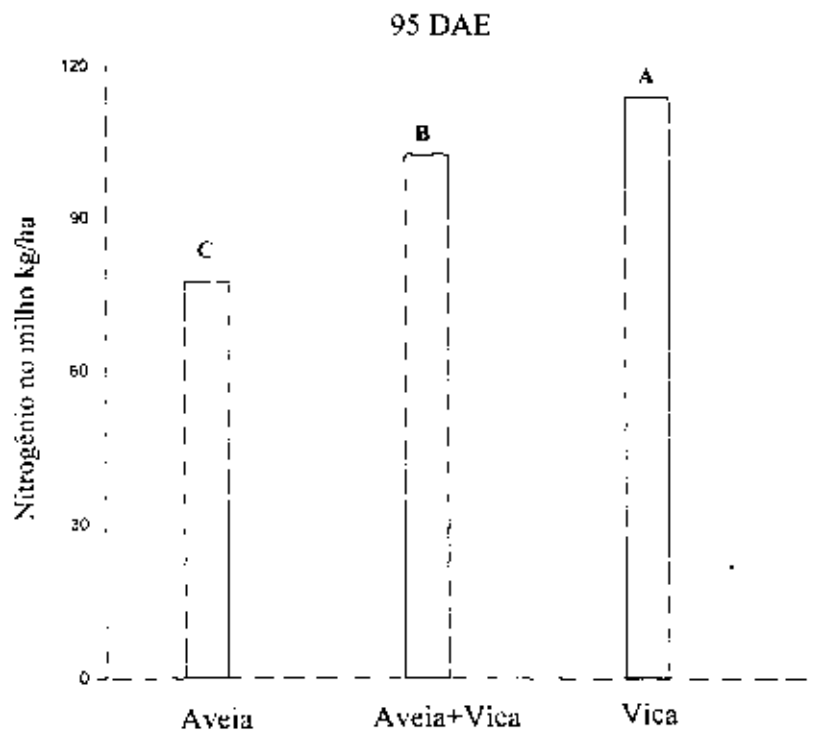


FIGURA 43. Quantidade de N absorvido pelo milho aos 95 DAE, média de três sistemas de preparo e três doses de N mineral. Letras comparam quantidade de N absorvido entre sistemas de cultura. Duncan ($P>0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

TABELA 15. Rendimento de grãos do milho (t/ha) ajustado para 13% de umidade no ano de 1996, em 3 métodos de preparo, 3 sistemas de cultura e 3 doses de nitrogênio. Média de três repetições. EEA/UFRGS, 1997.

Preparo do Solo	Sistema de Cultura	Dose de Nitrogênio (kg/ha)		
		0	90	180
-----t/ha-----				
PC	A/M	2,87	6,25	7,79
	V/M	5,37	7,73	8,23
	A+V/M+C	4,38	8,04	7,97
PR	A/M	3,55	6,86	7,93
	V/M	5,45	8,40	7,93
	A+V/M+C	5,26	7,70	8,37
PD	A/M	2,24	5,96	7,79
	V/M	4,98	7,24	8,07
	A+V/M+C	4,07	7,22	8,67
CV (%)		9,30		
DMS (Duncan 5%)				
Preparo		0,351 ¹ 0,343 ²		
Cultura x Dose		0,611 ¹ 0,581 ²		
Dose x Cultura		0,611 ¹ 0,581 ²		

Significância dos fatores na análise estatística Duncan (P>0,05)

Preparo

Interação cultura*dose

¹ Compara três médias

² Compara duas médias

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

A=Aveia, V=Vica e C=Caupi

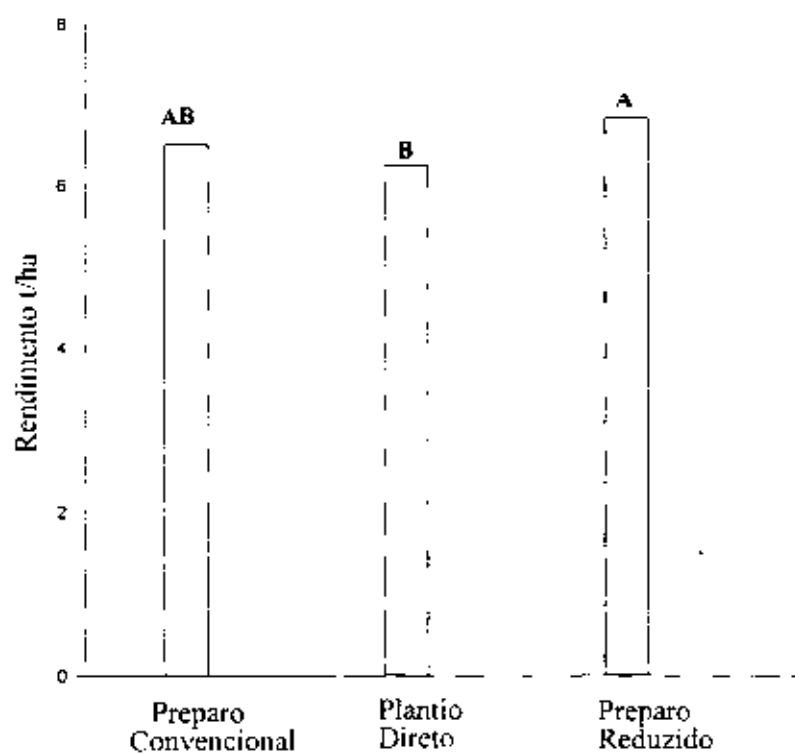


FIGURA 44. Rendimento do milho sob preparo convencional, plantio direto e preparo reduzido, média de três sistemas de cultura e três doses de N aplicado no milho. Letras comparam o rendimento do milho obtido entre sistemas de cultura. Duncan ($P > 0,05$). EEA/UFRGS, 1997.

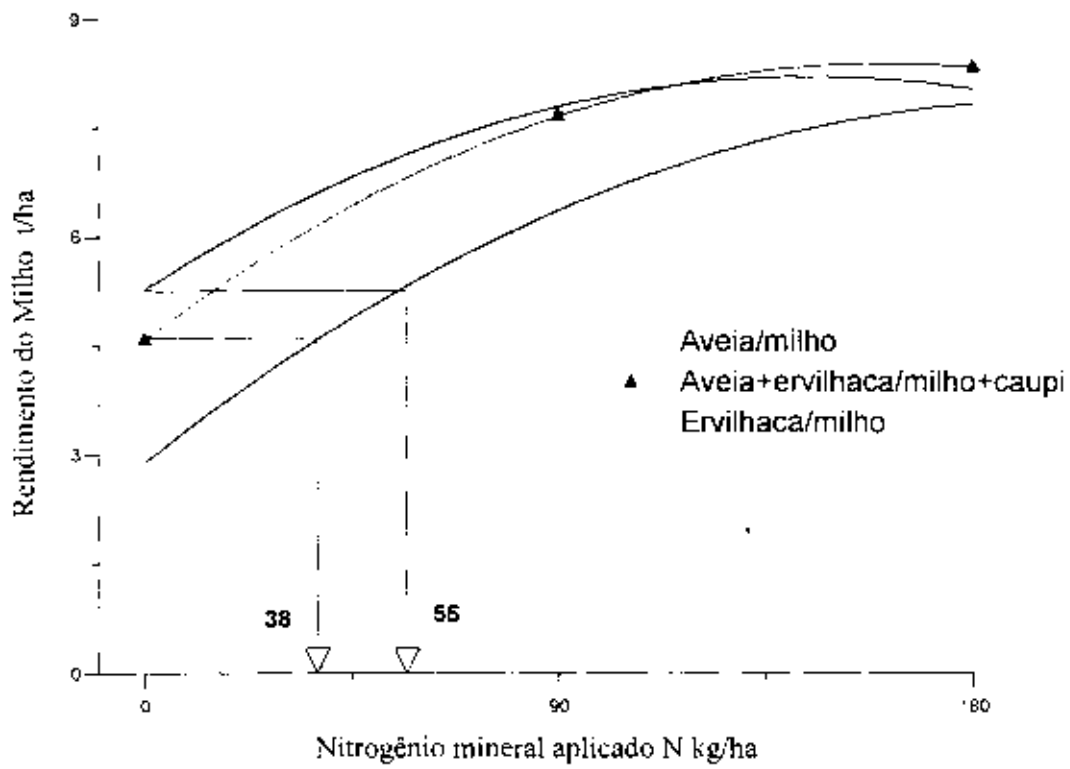


FIGURA 45. Equivalência em N fertilizante dos sistemas aveia+vica/milho+caupi e vica/milho. Média de três sistemas de preparo do solo. EEA/UFRGS, 1997.

N/ha o sistema A+V/M e V/M foram superiores ao sistema A/M. Na ausência da adubação nitrogenada o maior rendimento foi obtido com a vica, seguido da consorciação aveia+vica, enquanto o tratamento A/M apresentou o menor rendimento.

A equivalência em fertilizante nitrogenado estimada para a vica, com base na curva de resposta de rendimento do milho em sucessão a aveia a doses de N, foi estimado em 55 kg/ha. Este valor se aproxima da faixa de 45 a 90 kg/ha encontrada por Pons et al. (1984) no Rio Grande do Sul. Blevins et al. (1990) também encontram valores semelhantes. Já que para a consorciação aveia - vica a equivalência em fertilizante nitrogenado foi estimada em 38 kg/ha (Figura 45). Segundo Reeves (1994) uma análise econômica pode auxiliar na tomada de decisão sobre qual cultura de cobertura utilizar antes do plantio da cultura econômica. Considerando os atuais preços de mercado e as densidades de semeadura utilizadas neste experimento pode-se estimar os custos de implantação das culturas de cobertura. Assim, a aveia semeada com 80 kg/ha teria um custo de R\$ 33,20/ha, a consorciação aveia+vica semeada com 70 kg/ha teria um custo de R\$ 42,00/ha e vica semeada com 60 kg/ha teria um custo de R\$ 51,00/ha. Verifica-se que a inclusão da leguminosa em consorciação ou isolada aumentou o custo com semente em R\$ 8,80 e R\$ 17,80, respectivamente. No entanto, este aumento de despesa foi balanceado pelo valor da equivalência em fertilizante nitrogenado. Considerando o preço de R\$ 0,58/kg de N fertilizante (uréia), a vica com equivalência de 55 kg/ha estaria proporcionando uma economia em fertilizante de R\$ 32,00/ha e a consorciação, aveia+vica com equivalência de 38 kg/ha, uma economia em fertilizante de R\$ 22,04/ha. Desta maneira, desconsiderando outros custos e receitas além do preço da semente e da equivalência em fertilizante, pode-se constatar que a utilização de leguminosas como cultura de cobertura foi mais rentável do que a utilização da gramínea isoladamente. Reeves (1994) com base nos custos e receitas do Sul dos USA chegou a conclusão

semelhante.

4.6.5 Efeito do sistema de preparo sobre o rendimento do milho em três sistemas de cultura e três doses de N

Embora não tenha sido constatado estatisticamente o efeito da interação sistema de preparo x sistema de cultura x dose de N aplicado no rendimento do milho, os resultados apresentados nas Figuras 46, 47 e 48 aqueles obtidos por outros pesquisadores. Assim, na ausência de utilização de adubos nitrogenados e com a menor dose de N aplicado (90 kg/ha) foi verificado nos três sistemas de cultura uma tendência de menor rendimento no plantio direto em relação aos preparos convencional e reduzido. Resultados semelhantes tem sido reportados por Juo e Lal, 1979; Phillips et al., 1980; Blevins et al., 1985; Shear e Moschler, 1969; Triplett e Vandown, 1969; Muzilli, 1983; Freitas, 1988; Rosso, 1989 e Bayer, 1992. Estes resultados provavelmente estão relacionados com a menor disponibilidade de N no plantio direto anteriormente discutido. Com a utilização da dose mais elevada (180 kg/ha N) esta tendência de menor rendimento no plantio direto desaparece. Com isto Gilliam e Hoyt (1987) acreditam que há um estímulo na utilização de doses mais elevadas de N no plantio direto.

A análise estatística apresentada na Tabela 15 indica que na média das três doses de N o plantio direto não diferiu do preparo convencional, porém foi inferior ao preparo reduzido.

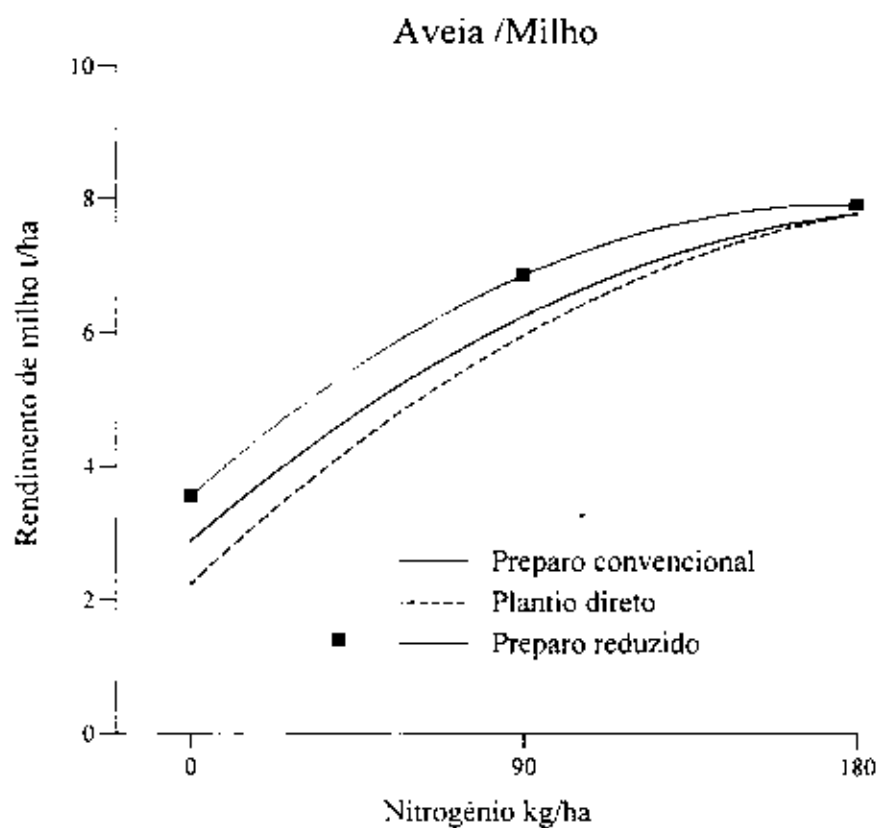


FIGURA 46. Rendimento do milho em sucessão a aveia influenciado por três doses de N aplicado em três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.

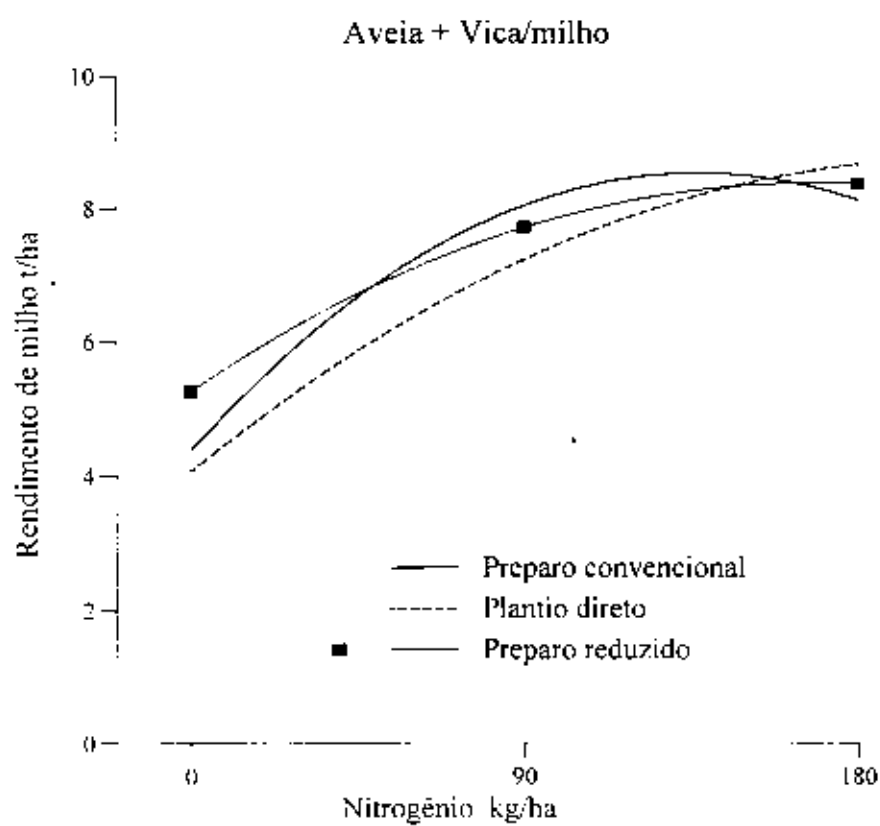


FIGURA 47. Rendimento do milho em sucessão a aveia+vica influenciado por três doses de N aplicado em três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.

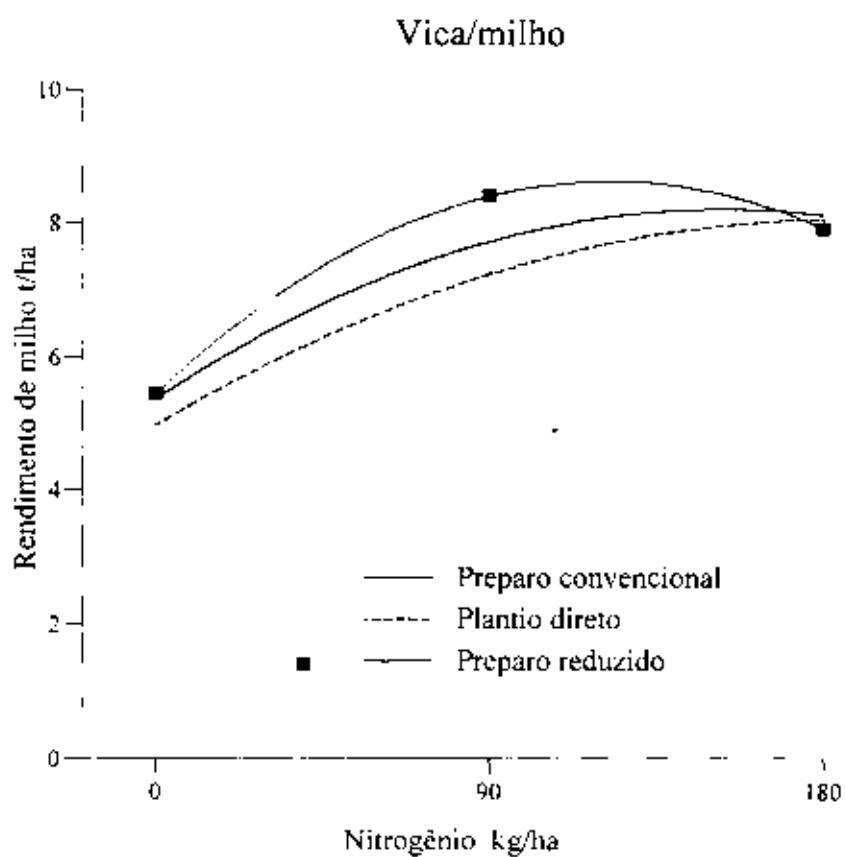


FIGURA 48. Rendimento do milho em sucessão a vica influenciado por três doses de N aplicado em três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.

4.6.6 Análise econômica da adubação nitrogenada mineral em sistemas de cultura

Com base no custo de produção da cultura do milho na safra 1997/98 apresentado pela Recomendações (1997) e utilizando as equações (Apêndice 13) das curvas de resposta do milho à adubação nitrogenada, apresentadas na Figura 45, foi realizada a análise econômica dos resultados obtidos.

Considerou-se nesta análise os custos da semente das culturas de cobertura e do N mineral (uréia) já apresentados anteriormente no item 4.6.4, o preço do milho no mês de novembro/97 que foi de R\$ 0,12/kg, e os custos totais compostos pelos custos variáveis + custos fixos determinados pela Recomendações (1997) acrescidos do custo de semente das culturas de cobertura. (Apêndice 12).

Na Figura 49 está representado o resultado da análise econômica do sistema aveia/milho. Nesta Figura pode-se constatar que na ausência da adubação nitrogenada houve um prejuízo de R\$ 113,50/ha, decorrente da baixa disponibilidade de N neste sistema, que limitou o rendimento do milho. Por outro lado, quando foi utilizada adubação nitrogenada mineral houve acentuada resposta no rendimento do milho. Assim, considerando a resposta média da faixa de adubação de 0-90 kg N/ha, constatou-se um aumento médio na receita bruta de R\$ 7,97 para cada real investido com adubação nitrogenada, enquanto para a faixa de 90-180 kg N/ha este aumento médio na receita bruta foi de R\$ 3,41. Outro resultado que ilustra a dependência do sistema aveia/milho da adubação nitrogenada mineral é que foram necessários aplicar 22,52 kg N mineral/ha para que a receita bruta fosse equivalente ao custo de produção (lucro=0).

Na Tabela 16 são apresentadas as doses de N para atingir a máxima eficiência técnica (MET), e a máxima eficiência econômica (MEE) e o lucro na dose de N mineral de máxima eficiência econômica. As doses de N para a MET e MEE, obtidos por

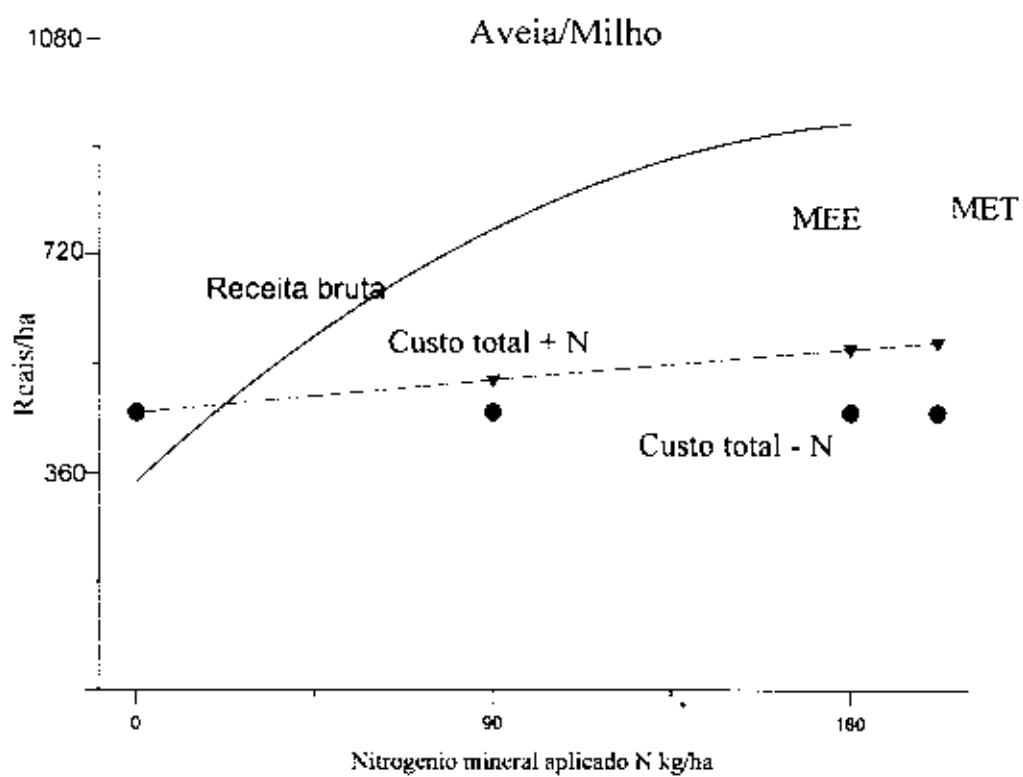


FIGURA 49. Representação gráfica da análise econômica do sistema aveia/milho. Média de três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.

extrapolação, foram superiores a maior dose de N aplicada (180 kg N/ha). A MEE foi estimada em 182 kg N/ha, sendo este valor superior ao encontrado por Sá (1996) que observou, em anos favoráveis, resposta à doses de até 143 kg N/ha aplicados no milho em sucessão a aveia. Este resultado deve-se provavelmente as diferenças de potencial de suprimento de N dos solos pesquisados. Assim na ausência da adubação nitrogenada, na média de quatro locais, Sá (1996) estimou um rendimento de 7.108 kg/ha de milho em sucessão a aveia, enquanto neste experimento o rendimento foi de 2.888 kg/ha.

Além dos elevados valores de MEE e MET encontrados no sistema aveia/milho, o lucro neste sistema foi inferior em relação aos sistemas de cultura que incluíam leguminosas (Tabela 16).

Na Figura 50 está representada a análise econômica do sistema aveia+vica/milho. Neste sistema estima-se que na ausência da adubação nitrogenada mineral houve um lucro de R\$ 79,5/ha, indicando um efeito econômico positivo da inclusão da leguminosa em consorciação com aveia quando comparado ao sistema de cultura com uso exclusivo de gramíneas (aveia/milho). O aumento médio na receita bruta na faixa de adubação de 0-90 kg N/ha foi de R\$ 7,08 para cada real investido com adubação nitrogenada, enquanto que na faixa de 90-180 kg N/ha o aumento na receita foi de R\$ 1,57 para cada real investido. Na consorciação aveia+vica observou-se doses de N intermediárias para atingir o rendimento de MET e MEE e o maior lucro em relação aos demais sistemas de cultura (Tabela 16).

Na Figura 51 está representa a análise econômica do sistema vica/milho. Nesta Figura pode-se constatar que na ausência da adubação nitrogenada mineral houve um lucro de R\$ 153,9/ha correspondendo a 41% e 36% do máximo lucro obtido nos sistemas aveia/milho e aveia+vica/milho com adubação mineral, respectivamente. Estes resultados indicam que este sistema é uma excelente opção para a agricultura com limitada utilização

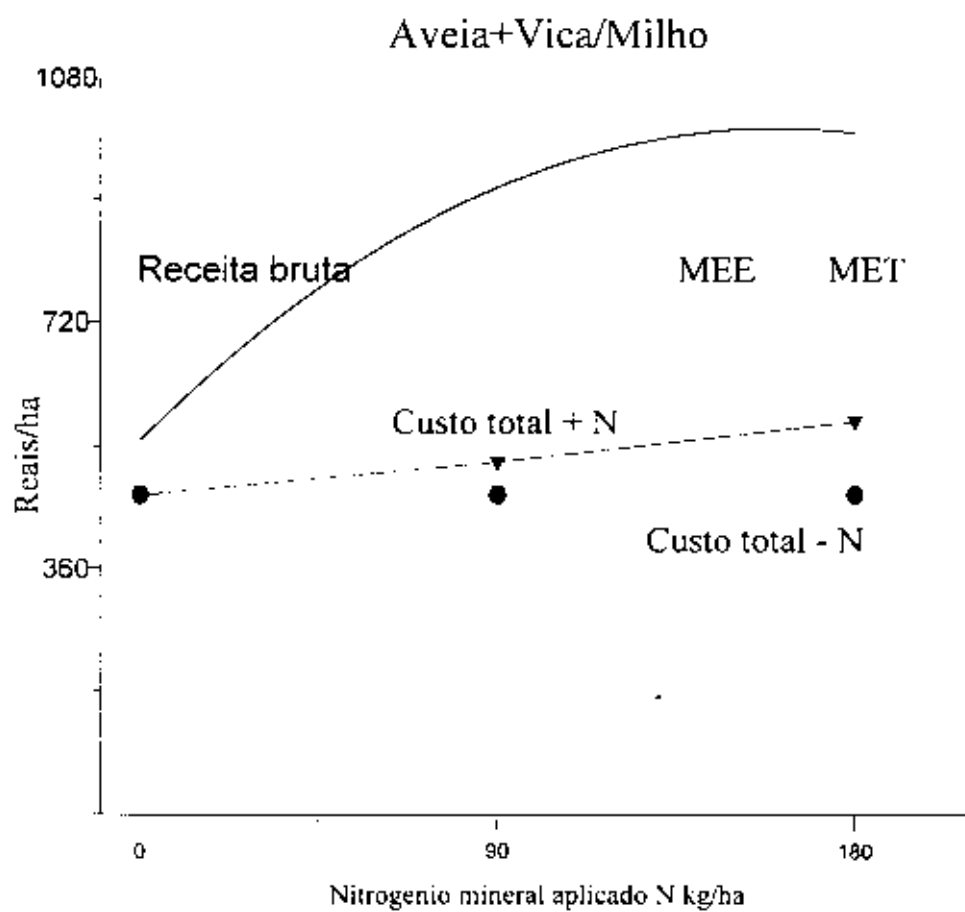


FIGURA 50. Representação gráfica da análise econômica do sistema aveia+vica/milho. Média de três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.

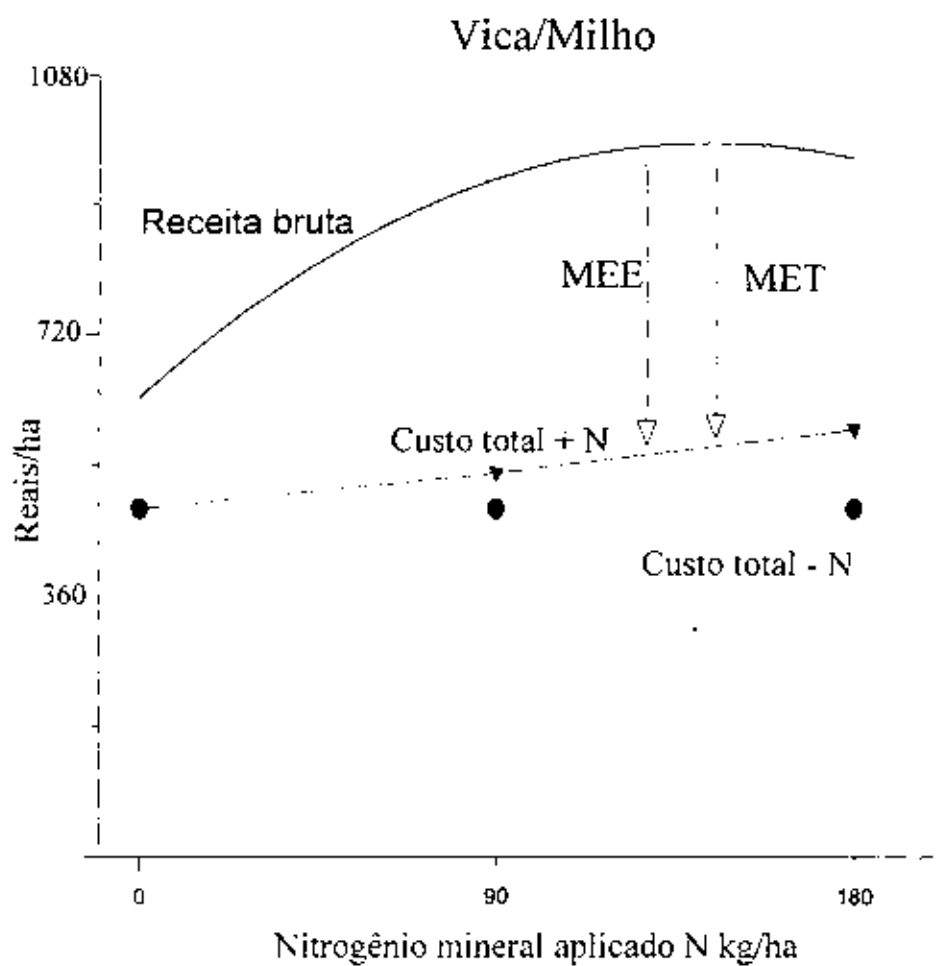


FIGURA 51. Representação gráfica da análise econômica do sistema vica/milho, média de três sistemas de preparo. EEA/UFRGS, 1997.

de N mineral. O aumento da disponibilidade de N ao milho proporcionado pela utilização da vica foi o principal fator que influenciou este resultado. A resposta média da faixa de adubação de 0-90 kg N/ha foi de aumento na receita bruta de R\$ 5,80 para cada real investido com adubação nitrogenada. As doses de N mineral necessárias para atingir a MEE e MET foram as menores em relação aos demais sistemas de cultura (Tabela 16).

TABELA 16. Doses de N para atingir a máxima eficiência econômica (MEE) e máxima eficiência técnica (MET) e o lucro na dose de máxima eficiência econômica de três sistemas de cultura. UFRGS, 1997.

Sistema de Cultura	Quantidade de N kg/ha		Lucro R\$/ha
	MET	MEE	
Aveia/Milho	202	182	376
Aveia+Vica/Milho+Caupi	161	144	450
Vica/Milho	145	128	429

4.6.7 Equação utilizada para estimativa da disponibilidade de N em sistemas de preparo e cultura

Com base na Equação 6, descrita na introdução e utilizando os resultados obtidos neste experimento relativos a safra 1995/96, foram calculados os coeficientes de eficiência desta equação (k_1 , k_2 e k_3). Para tanto, a quantidade de N disponível foi estimada pela quantidade de N absorvida pelo milho. Assim o coeficiente de eficiência (mineralização) do N total do solo foi obtido pela seguinte razão:

$$k_1 = \frac{\text{N absorvido milho}}{\text{N total no solo}}$$

No numerador desta razão utilizou-se a quantidade de N absorvida pelo milho na subsubparcela sem cultura de cobertura e sem adição de N mineral, no denominador utilizou-se a quantidade de N total acumulada no solo na camada de 0-17,5 cm (Apêndice 1). Neste caso, considerou-se que o N mineralizado do solo foi integralmente absorvido pelo milho (cultura teste). Esta pressuposição é aceitável devido ao baixo potencial de suprimento de N deste solo aliada a elevada demanda de N pelo milho na ausência da adubação mineral, condições estas que favorecem este elevado índice de eficiência. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 17. Nesta Tabela observa-se que o preparo do solo (convencional e escarificador) estimulou a mineralização do N do solo, enquanto o plantio direto conservou um ambiente menos oxidativo e portanto com menor taxa de mineralização do N do solo. Os valores de mineralização do N do solo apresentados na Tabela 17 foram obtidos considerando o período de desenvolvimento do milho (4 meses envolvendo primavera e verão) e são superiores a faixa anual de 1 a 3 % do N total do solo (que considera um período de inverno com menor mineralização), proposta por Keeney (1982).

TABELA 17. Estimativa do coeficiente de mineralização (k_1) do N total do solo em sistemas de preparo. EEA, UFRGS, 1997.

Sistema de Preparo	Coeficiente de mineralização (K_1)
Preparo convencional	0,021
Preparo reduzido	0,021
Plantio direto	0,011

A quantidade de N dos resíduos das culturas de cobertura que foi absorvida pela cultura do milho foi estimada subtraindo-se da quantidade de N absorvido pelo milho na subsubparcela coberta com resíduos de cultura de cobertura e sem adição de N mineral, a quantidade de N absorvido pelo milho na subsubparcela mantida sem cultura de cobertura e sem adição de N mineral, como anteriormente descrito. Neste procedimento foi pressuposto que a adição de resíduos culturais não alterou o coeficiente de mineralização (k_1) obtido na subsubparcela sem cultura de cobertura. Portanto, neste trabalho considerou-se efeito neutro da adição de N (tanto da cultura de cobertura, como de N fertilizante mineral) sobre a taxa de mineralização do N total do solo.

Para estimar a contribuição das culturas de cobertura na absorção de N pelo milho introduziu-se uma modificação na Equação 6 onde, além da quantidade total de N da parte aérea das culturas de cobertura utilizou-se também a relação C/N da fitomassa destas culturas. Assim, com os valores de N absorvido pelo milho atribuídos às culturas de cobertura (Y) e os teores deste elemento na fitomassa da cultura de cobertura (X_1) e a sua relação C/N (X_2), determinou-se por regressão linear múltipla os coeficientes da equação, como apresentado a seguir:

$$\text{N disponível da cultura de cobertura} = 5,066 + 0,1334.N \text{ fitomassa} - 0,242.Rel \text{ C/N}$$

A estimativa da quantidade de N da adubação mineral que ficará disponível ao milho pode ser obtida pelo produto da multiplicação do coeficiente de eficiência (k_1) pela dose de N aplicada. O coeficiente de eficiência da adubação nitrogenada irá depender das condições de manejo, clima, solo, cultura e outros. Assim, a estimativa deste coeficiente deve ser feita com base em condições locais e, para o mesmo local, deve considerar variações de ano para ano. No presente experimento não foi possível constatar o efeito dos

sistemas de preparo e cultura sobre a eficiência da adubação nitrogenada utilizada. Assim, optou-se por utilizar a média geral do experimento que foi próxima a 50%.

A equação completa desenvolvida com base nos dados obtidos neste experimento é apresentada a seguir:

$$N \text{ disp} = NT \text{ solo} \cdot K_1 + (5,066 + 0,1334 \cdot N \text{ fitomassa} - 0,242 \cdot \text{Rel C/N}) + K_2 \cdot \text{Dose N fertilizante}$$

Com o objetivo de proceder a validação desta equação utilizou-se dados experimentais obtidos no mesmo local em anos diferentes por Freitas (1988), Teixeira (1988), Rosso (1989), Testa (1989), Bayer (1992) e Amado (1994)². Considerando que atualmente não se dispõem de uma metodologia padrão para avaliar a exatidão de simulações através de modelos matemáticos dos processos biológicos, Dou (1993) sugere a combinação de técnicas estatísticas incluindo coeficiente de correlação linear (r), diferença média (DM), raiz quadrada do erro médio (RQEM), associados com métodos gráficos que apresentem os valores preditos e observados.

Segundo Dou (1993), o coeficiente de correlação (r) indica o grau de associação entre valores preditos e os observados. A diferença média, determinada por $DM = \sum (\text{valor predito} - \text{valor observado}) / n^\circ \text{ observações}$, fornece uma medida do grau de coincidência entre valores preditos e observados. Valores de diferença média com sinal (+) sugerem superestimação do valor observado e, por outro lado, um valor com sinal (-) sugere subestimação do valor observado. A raiz quadrada do erro médio, determinada por $RQEM = [\sum (\text{predito} - \text{observado})^2 / n]^{0,5} \times (100 / \bar{x} \text{ valores observados})$, mede o desvio do valor predito do valor observado referenciado sobre uma média dos valores observados.

² Dados não publicados

Este índice é útil para comparar a exatidão do modelo para diferentes tratamentos e anos.

O método gráfico é um complemento ao procedimento estatístico, auxiliando na interpretação dos resultados. Na Tabela 18 é apresentada uma comparação entre valores preditos pela equação e valores observados de absorção de N pelo milho.

O coeficiente de correlação linear foi elevado indicando boa associação entre os valores preditos e observados. A diferença média indicou que houve superestimação de valores nos dados apresentados por Freitas, Teixeira, Testa e Bayer e subestimação nos dados de Rosso e Amado. No entanto, a magnitude da diferença média pode ser considerada baixa. A raiz quadrada média do erro mais elevada foi obtida nos dados encontrados por Freitas. A representação gráfica encontra-se nas Figuras 52, 53 e 54. As observações visuais dos gráficos concordam com os parâmetros estatísticos avaliados, sugerindo um ajuste satisfatório entre os valores preditos pela equação e observados em diferentes sistemas de preparo, cultura e doses de N. Em trabalhos futuros de pesquisa recomenda-se a validação desta equação em condições de solo e clima diferentes daquelas em que foi conduzido este experimento.

4.6.8 Contribuição para o aprimoramento da recomendação da adubação nitrogenada em sistemas conservacionistas

O uso adequado da adubação nitrogenada é definido por Stanford (1973) como aquele que atende a demanda da cultura com mínima possibilidade de comprometimento ambiental. A crescente utilização de sistemas conservacionistas, com reduzida ou ausência de mobilização do solo e emprego de culturas de cobertura, introduz novas variáveis no sistema de produção que tem reflexos na disponibilidade de N e que, portanto, devem ser consideradas visando otimizar o manejo da adubação nitrogenada.

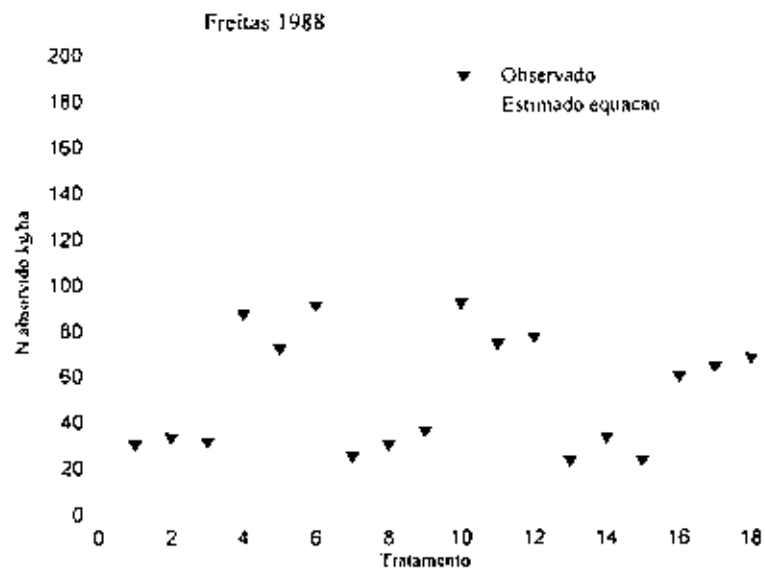
TABELA 18. Comparação entre valores de N absorvido pelo milho preditos pela equação e observados utilizando diferença média (DM), raiz quadrada do erro médio (RQEM) e coeficiente de correlação linear (r).

Autor	Nº observação	Intercepto	Decisividade	r	DM ¹ kg/ha	RQEM ² %
Freitas (1988)	18	14,90	1,33	0,93	+ 25,91	54,27
Rosso (1988)	18	8,27	0,87	0,94	-5,84	19,67
Teixeira (1988)	12	7,60	1,07	0,95	+ 25,78	45,64
Testa (1989)	20	8,87	0,89	0,93	+ 1,15	21,96
Bayer (1992)	18	16,22	0,86	0,96	+16,08	36,09
Amado (1994)	27	11,31	0,92	0,88	-9,44	33,85
Total	113	23,63	0,78	0,90	+ 3,93	24,79

1 Diferença média = $[\sum(\text{predito-observado})/n]$

2 Raiz quadrada do erro médio = $[\sum(\text{predito-observado})^2/n]^{1/2} \times 100$ valores observados)

a)



b)

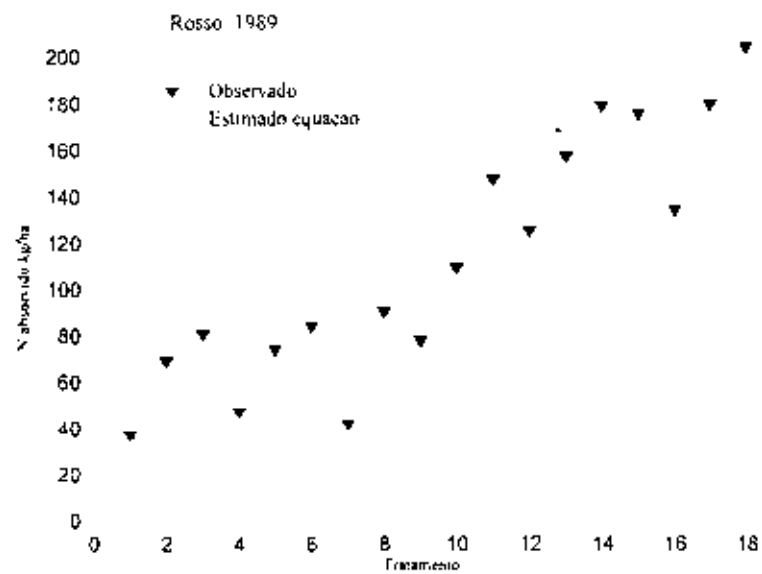


FIGURA 52. Representação gráfica entre valores preditos pela equação e valores observados por Freitas (a) e por Rosso (b).

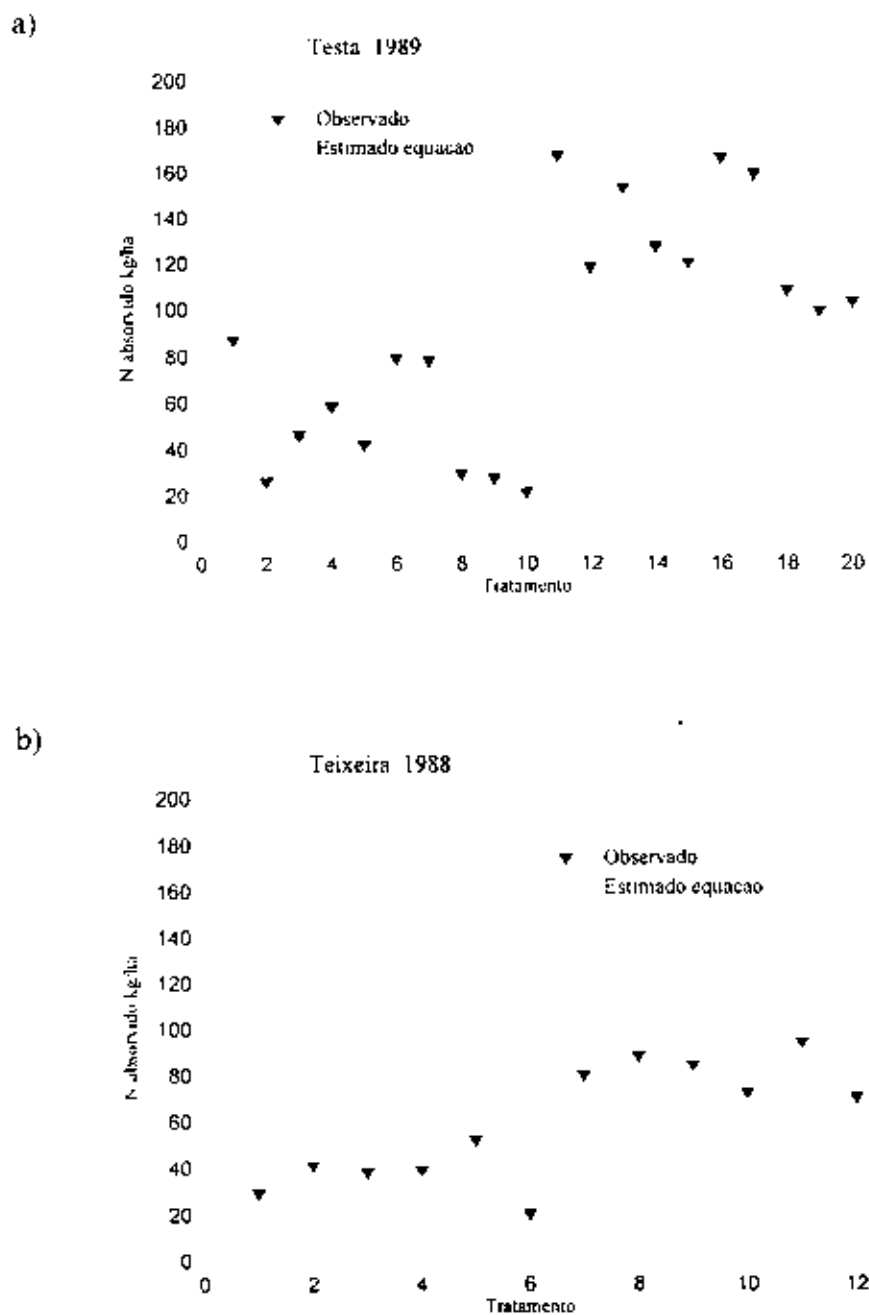


FIGURA 53. Representação gráfica entre valores preditos pela equação e valores observados por Teixeira (a) e por Testa (b).

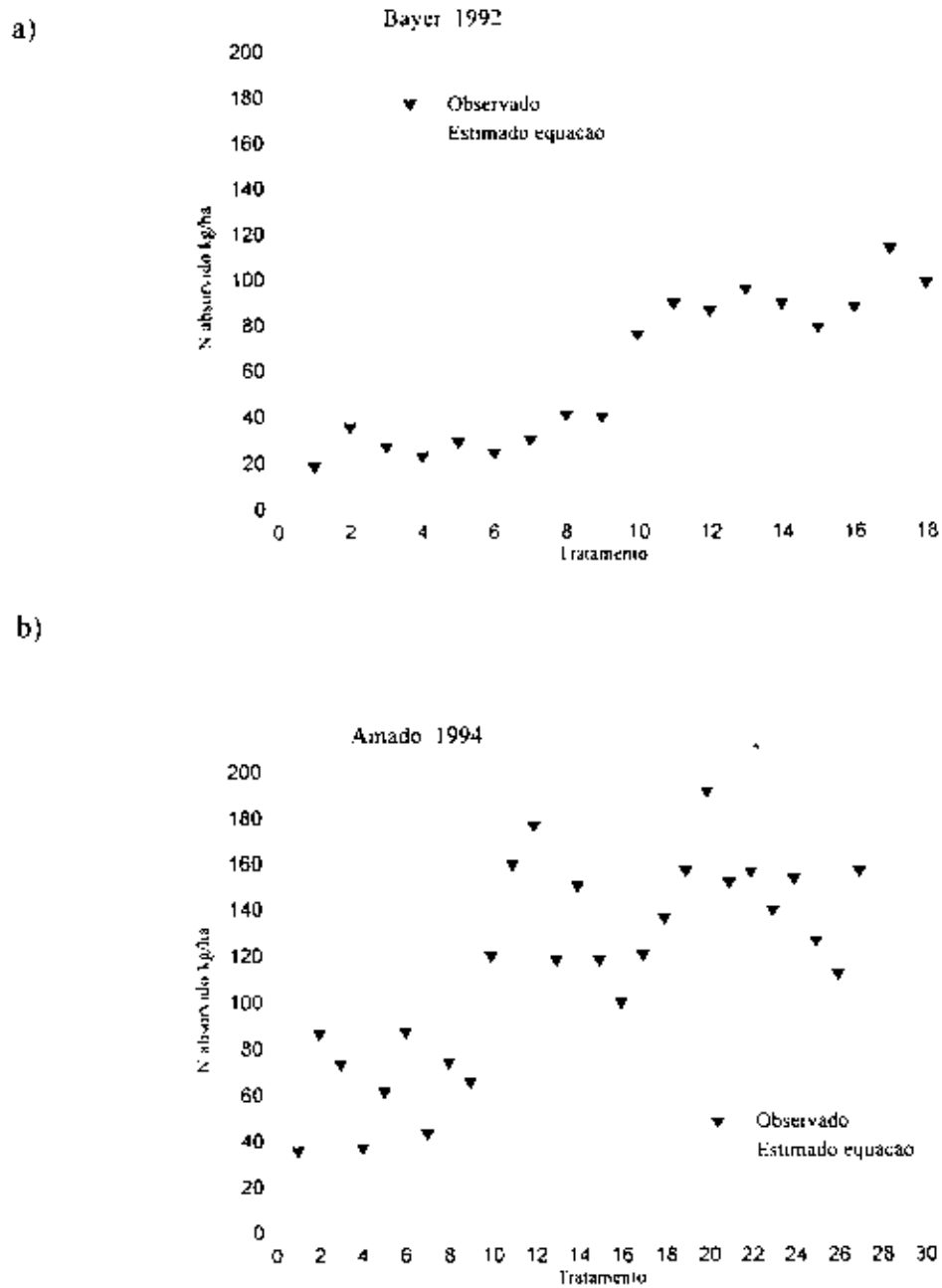


FIGURA 54. Representação gráfica entre valores preditos pela equação e valores observados por Bayer (a) e por Amado (b).

As informações básicas requeridas para alcançar o ótimo uso da adubação nitrogenada incluem: a) requerimento do N pela cultura para atingir um rendimento alvo, b) estimativa do potencial de mineralização do N do solo, c) quantidade de N mineralizada (ou imobilizada) da cultura de cobertura, d) expectativa da eficiência de recuperação do N disponível (solo, cultura de cobertura e fertilizante mineral) pela cultura econômica. Stanford (1973) acrescenta ainda a quantidade de N mineral presente na zona radicular no início da estação de crescimento da cultura econômica. Este último parâmetro tem sido utilizado com sucesso em clima temperado, porém em condições de clima tropical úmido sua importância parece ser menor.

Na Tabela 19 é apresentada a disponibilidade de N no sistema, definida neste trabalho como a quantidade de N absorvida pelo milho advinda do suprimento de N do solo acrescido da quantidade de N mineralizada da cultura de cobertura. Assim, foi pressuposto que a recuperação do N mineralizado do solo pelo milho foi 100%, enquanto a recuperação do N das culturas de cobertura foi dependente da quantidade de N na fitomassa e relação C/N, porém não ultrapassou a 35% do N na fitomassa. Esta estimativa foi obtida utilizando os dois primeiros membros da Equação 6, como apresentado a seguir:

$$N_d = [(NT.K_1) + (5,066 + 0,1334.N_{\text{fitomassa}} - 0,242.Rel\ C/N)]$$

A estimativa da quantidade de N requerida pelas culturas para atingir um rendimento alvo tem despertado o interesse de muitos pesquisadores. Stanford (1973) fazendo uma análise dos dados disponíveis de um grande número de experimentos conduzidos nos EUA sobre a relação de matéria seca total (grão+palha) e a quantidade de N absorvida pelo milho encontrou que o rendimento máximo estava associado

TABELA 19. Requerimento de N do milho e dose de N fertilizante mineral estimada com base em três índices. EEA/UFRRGS, 1997.

Sistema	Preparo	Sistema Cultura	N solo N cult Cob.	Requerimento de N pelo milho		Dose de N fertilizante a adicionar			MET	
				Para o máx. rend.	Como base Stanford ¹	Como base Stanford ²	Para o máx. rend.	Como base Stanford		Como base Stanford modificado
Convencional	A-M	A-M	44,7	173	198	146	257	306	177	202
			68,8	173	198	146	208	258	128	145
			68,5	173	198	146	209	260	129	161
Reduzido	A-M	A-V-M-C	46,5	145	202	159	198	312	163	202
			62,1	145	202	159	166	280	132	145
			66,9	145	202	159	156	270	122	161
Direto	A-M	A-V-M-C	26,5	141	208	160	230	364	227	202
			45,8	141	208	160	190	334	188	145
			49,9	141	208 *	160	182	316	180	161

¹ Eficiência da adubação mineral estimada em 50%

² Índices utilizados em Stanford: relação matéria seca grão=1,40; rendimento máximo do experimento preparo convencional=8,23 t/ha, preparo reduzido=8,40 t/ha, plantio direto=8,67 t/ha; concentração crítica de N=0,312

³ Índices utilizados em Stanford modificado: relação grão matéria seca total (avaliada aos 95 DAE) preparo convenc. com 8,23 t/ha=0,62, preparo reduzido com 8,40 t/ha=0,72, plantio direto com 8,67 t/ha=0,68; concentração crítica de N=0,011.

* MET calculada com base na média de três sistemas de preparo.

a 1,2% de N na matéria seca total. Este valor representa a média entre a amplitude de valores de 1,16 e 1,25% encontrada nestes experimentos. O autor ainda conclue que, a despeito da ampla faixa de condições representadas por estes experimentos, a percentagem de N na matéria seca total necessárias para atingir o rendimento máximo não foi afetada por variedade, local, clima e teto de rendimento atingido. Com base nos resultados encontrados no presente trabalho e considerando como limites 90 a 100% da máxima produção de massa seca de milho observou-se uma concentração de 0,9 a 1,25% de N na matéria seca (Figura 55). Assim, é razoável considerar 1,1% como concentração crítica de N na matéria seca necessária para atingir o rendimento máximo. Este valor é inferior ao proposto por Stanford (1973) avaliando variedades de milho adaptadas a clima temperado.

Stanford (1973) também afirma que a matéria seca total pode ser estimada com confiabilidade com base no rendimento de grãos. Assim, o autor conclue que o peso de grãos (12% de umidade) representa 50,4% da matéria seca total (grão + palha) do milho, com erro padrão de 4%. Com base nos resultados encontrados no presente trabalho e apresentados na Tabela 20 observa-se que a média geral da relação grão/matéria seca total foi de 0,53, estando a diferença entre este valor e o estimado por Stanford (1973) dentro do erro padrão encontrado pelo autor. No entanto, observou-se que, na condição subtropical e com a variedade de milho utilizada neste experimento, a relação grão/matéria seca total foi influenciada pela disponibilidade de N e rendimento da cultura. Para ilustrar este fato observa-se na Tabela 20 e na Figura 56 sob condições de baixa disponibilidade de N (solo descoberto e sem adição de N mineral) esta relação foi inferior a proposta por Stanford (0,50), sugerindo que, nestas condições, a produção de grãos foi mais afetada do que a produção de matéria seca. Por outro lado, quando em condições de elevada disponibilidade de N (fertilização mineral com 90 e

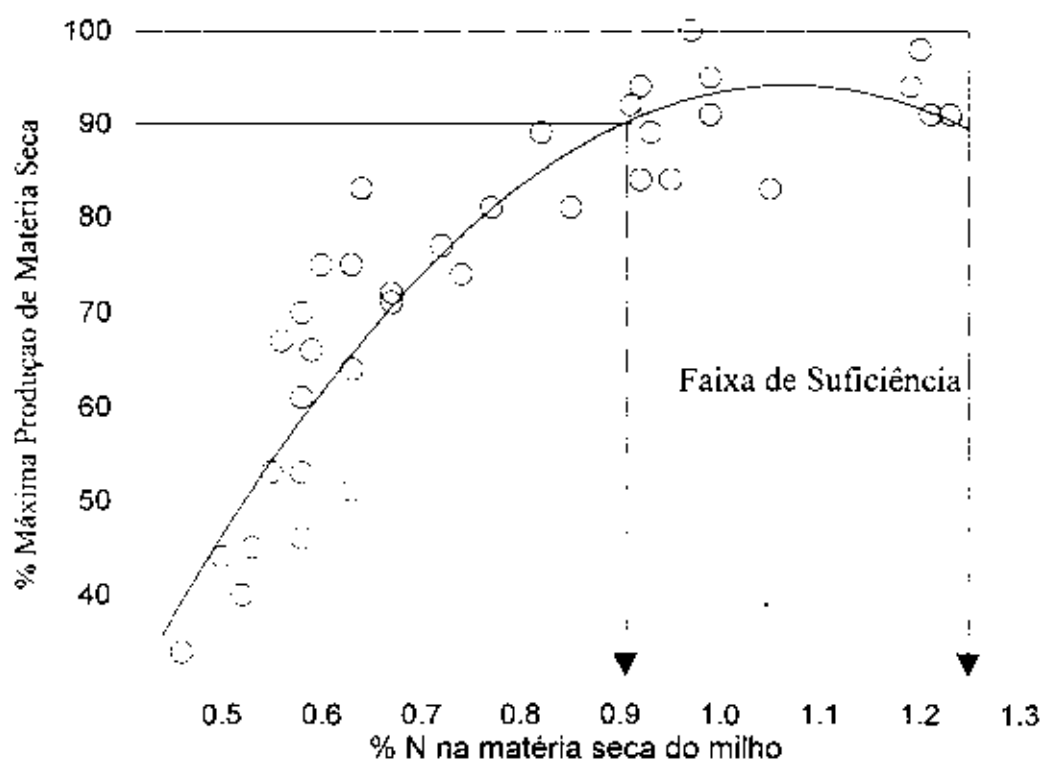


FIGURA 55. Relação entre a concentração de N e a produção de matéria seca da parte aérea do milho. EEA/UFRGS, 1997.

TABELA 20. Relação entre a produção de grãos (12,5% de umidade)/matéria seca total da parte aérea do milho (avaliada aos 95 DAE), EEA/UFRGS, 1997.

Sistema Preparo	Sistema Cultura	Relação grão:matéria seca total				R geral exper.
		Solo desc.	Solo coberto com culturas cobertura			
		0 kg N/ha	0 kg N/ha	90 kg N/ha	180 kg N/ha	
Convencional	A/M	0,43	0,45	0,50	0,60	
	V/M	0,42	0,50	0,65	0,62 ¹	
	A+V/M+C	0,32	0,44	0,61	0,57	
Reduzido	A/M	0,37	0,48	0,52	0,60	
	V/M	0,44	0,54	0,72 ²	0,58	
	A+V/M+C	0,42	0,53	0,62	0,65	
Direto	A/M	0,44	0,47	0,56	0,66	
	V/M	0,52	0,48	0,64	0,63	
	A+V/M+C	0,51	0,55	0,63	0,68 ³	
sist. preparo e cultura		0,39	0,49	0,61	0,62	
R geral do experimento					0,53	

¹ Relação grão:matéria seca total no teto de rendimento (8,23 t/ha) para o preparo convencional

² Relação grão:matéria seca total no teto de rendimento (8,40 t/ha) para o preparo reduzido

³ Relação grão:matéria seca total no teto de rendimento (8,67 t/ha) para o plantio direto

180 kg N/ha e rendimento de grãos superiores a 7,2 t/ha) verificou-se que a relação grão/matéria seca total foi alterada, apresentando valores superiores a 0,60. Com isto, optou-se por utilizar um novo índice chamado Stanford modificado, no qual a relação grão/matéria seca total foi obtida com base no teto de rendimento para cada sistema de preparo e utilizando os valores desta relação correspondentes ao teto de rendimento como apresentado na nota de rodapé da Tabela 19. Neste índice considerou-se 1,1% como concentração crítica de N na matéria seca. Os resultados obtidos neste trabalho sugerem a necessidade de realizar pesquisas com diferentes variedades, solo, disponibilidade de N e tetos de rendimento visando estabelecer com mais confiabilidade a relação grão/matéria seca total e a concentração crítica de N na matéria seca.

A equação de requerimento de N, com base nos coeficientes de N na fitomassa e relação massa seca/grão discutidos anteriormente, pode ser descrita como segue:

$$NR=0,012x(RA/Rel\ G/MS)$$

onde:

NR= nitrogênio requerido

RA= rendimento de grãos alvo (12,5 % de umidade)

Rel G/MS= relação grão/matéria seca total

Outro índice que pode ser utilizado para estimar o requerimento de N pela cultura do milho pode ser obtido das Figuras 57, 58 e 59. Com base nestas Figuras e igualando a zero a primeira derivada das equações utilizadas no ajuste dos dados obtem-se a quantidade de N absorvida pelo milho no ponto de máximo rendimento. Assim, estas quantidades foram estimadas em 173, 145 e 141 kg N/ha, respectivamente, para preparo convencional, reduzido e direto (Tabela 19). Estes resultados concordam com os obtidos anteriormente por Freitas

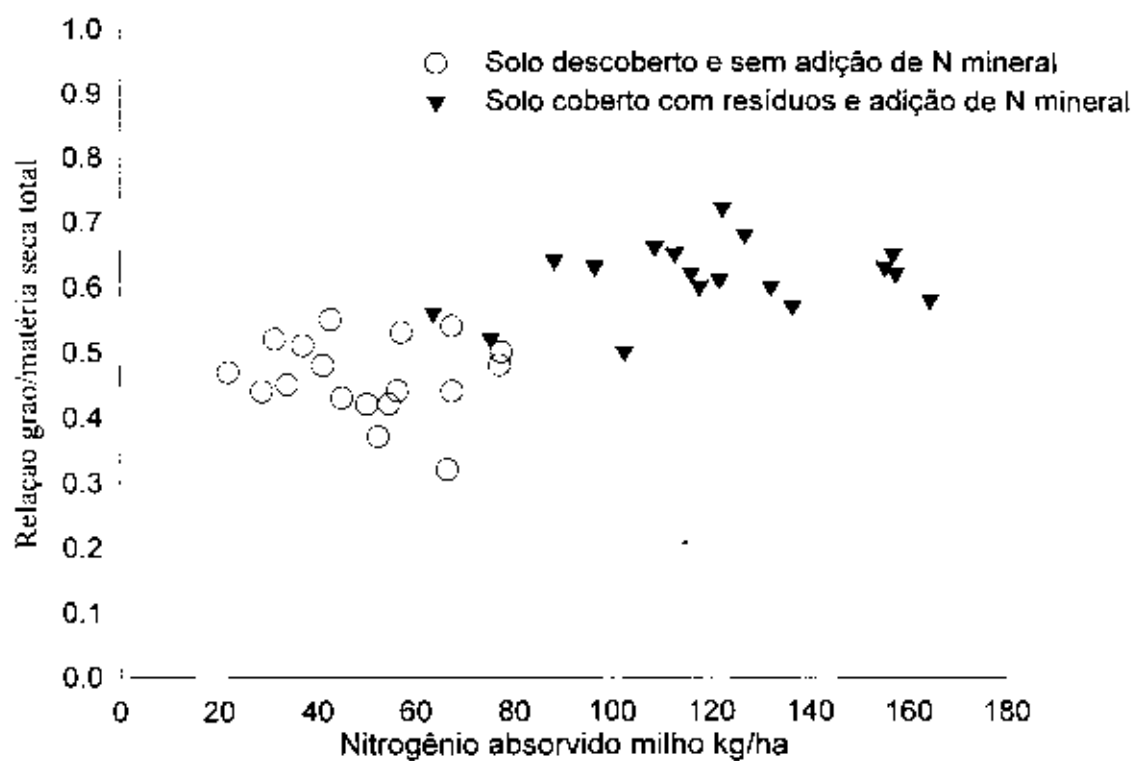


FIGURA 56. Relação grão/matéria seca total avaliada aos 97 DAE em função da quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho. EEA/UFRGS, 1997.

(1988), Rosso (1989) e Bayer (1992) neste mesmo experimento, nos quais o rendimento máximo do milho sob plantio direto foi atingido com menor absorção de N do que a verificada no sistema convencional, sugerindo maior eficiência de uso do N absorvido naquele sistema.

A dose de N fertilizante a adicionar apresentada na Tabela 19 foi estimada descontando-se do requerimento do N pelo milho a quantidade de N suprida pelo solo acrescida da quantidade de N suprida pela cultura de cobertura e dividindo pela eficiência da adubação mineral. No presente trabalho a média geral de eficiência foi estimada em 0,50. Assim a dose de N fertilizante foi estimada pela seguinte equação:

$$Nf = \frac{NR - Nd}{Ef}$$

onde:

Nf= necessidade de fertilizante

NR= N requerido pela cultura

Nd= nitrogênio disponível

Ef= eficiência da adubação mineral

A dose de adubação mineral estimada com base em Stanford (1973) superestimou a dose de máxima eficiência técnica e a quantidade de N absorvida no teto de rendimento (Tabela 19), sugerindo que a quantidade de N fertilizante que exceder estes valores poderia ser utilizada para consumo de luxo e/ou ser perdida, ambas situações indesejáveis. Por outro lado, a modificação introduzida em Stanford (1973) apresentou melhor concordância com os valores de MET e para os preparos conservacionistas apresentou melhor concordância entre o valor estimado e o requerimento de N para alcançar o máximo rendimento.

Preparo Convencional

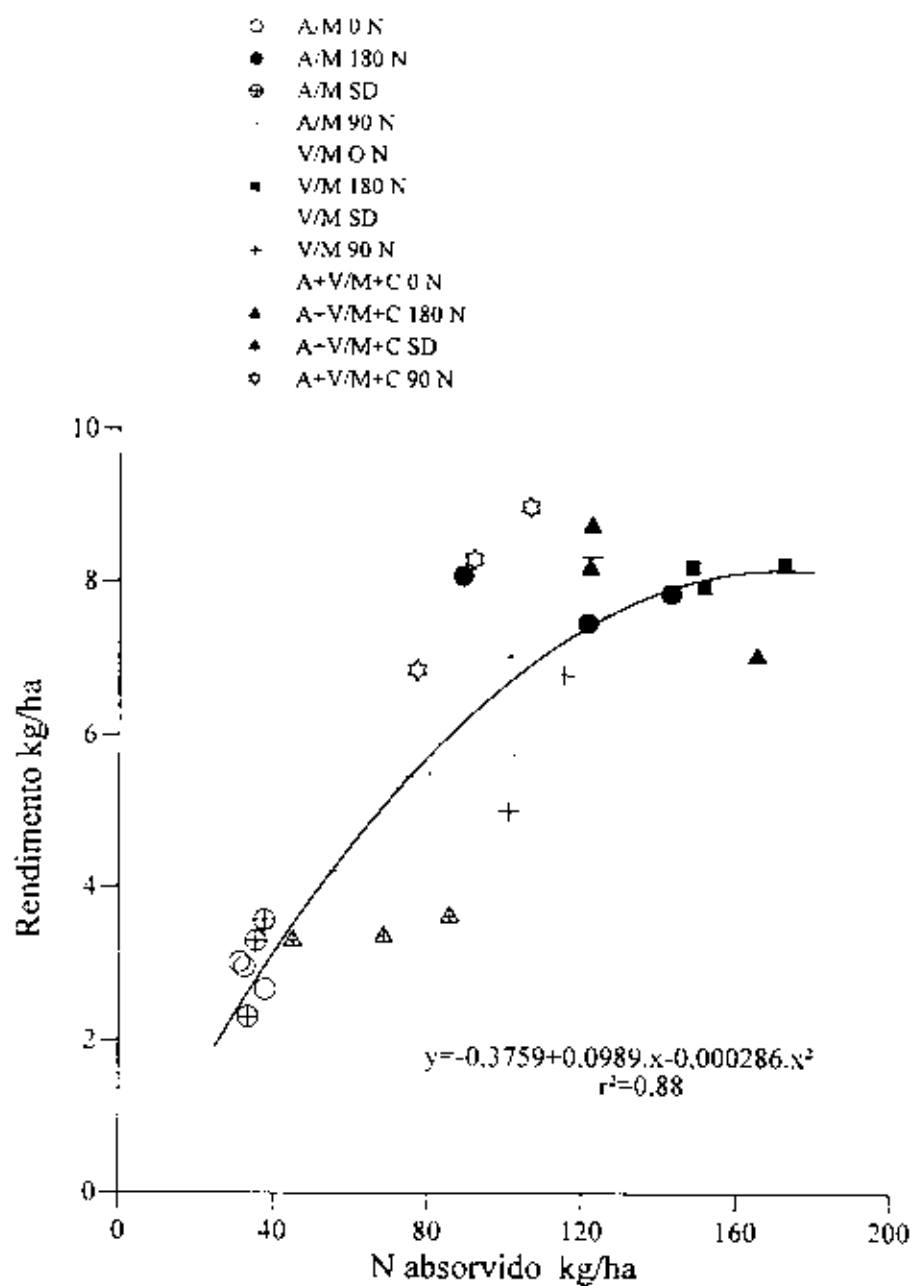


FIGURA 57. Relação entre a quantidade de N absorvido e o rendimento de milho no sistema de preparo convencional. EEA/UFRGS, 1997.

Preparo Reduzido

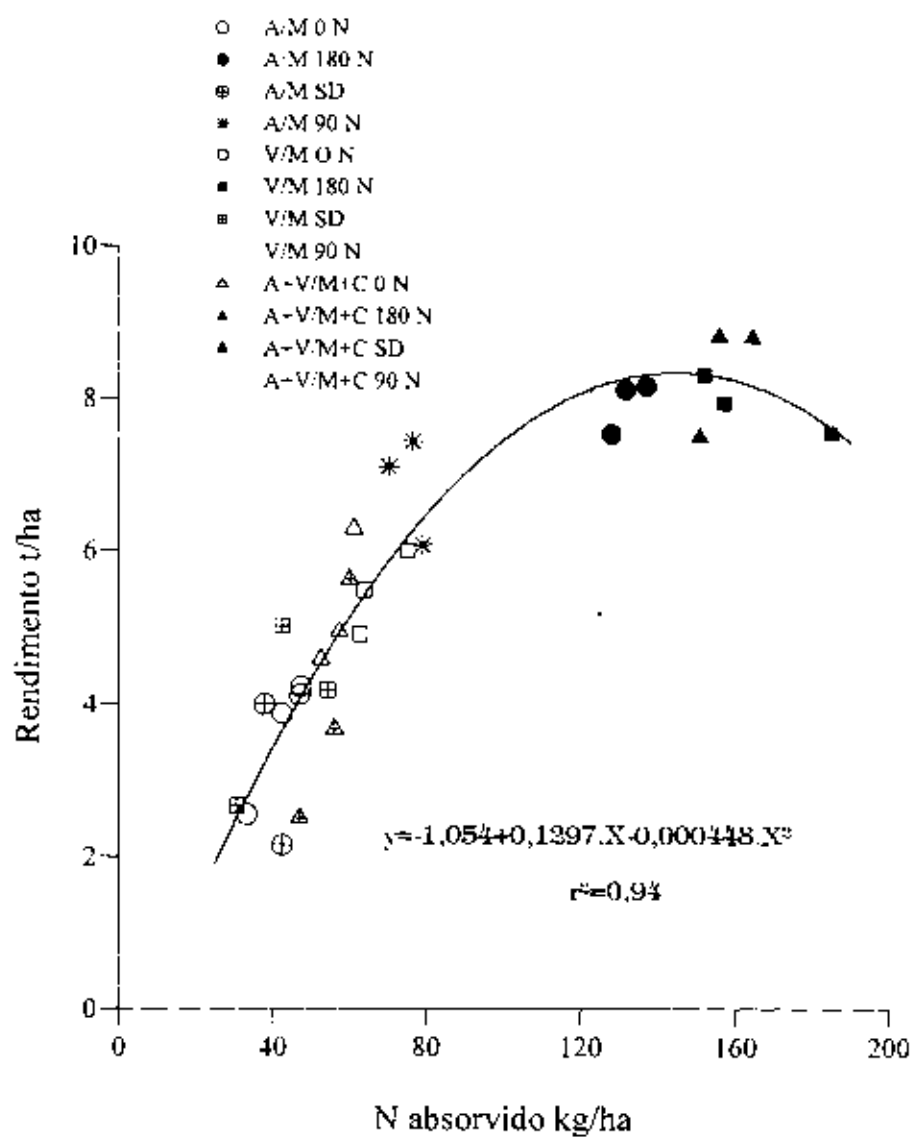


FIGURA 58. Relação entre a quantidade de N absorvido e o rendimento de milho no sistema de preparo reduzido. EEA/UFRGS, 1997.

Plantio Direto

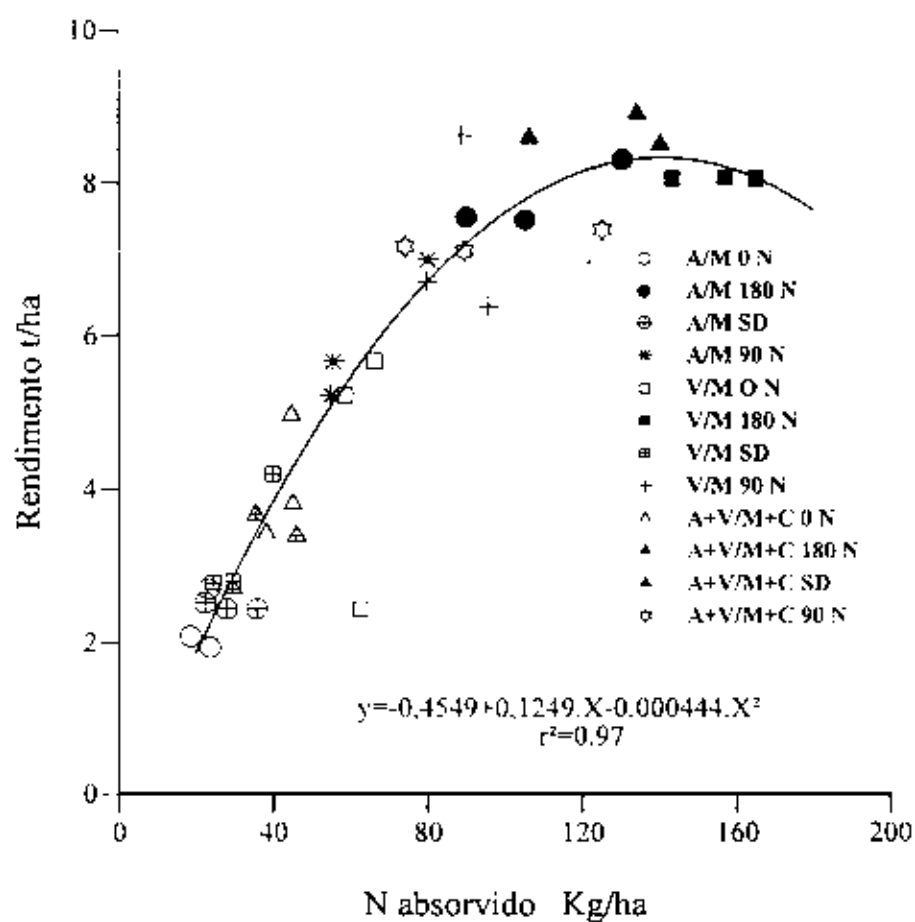


FIGURA 59. Relação entre a quantidade de N absorvido e o rendimento de milho no sistema de plantio direto. EEA/UFRGS, 1997.

Assim, somente no sistema de plantio direto o novo índice superestimou a absorção de N no teto de rendimento e mesmo assim o maior valor de superestimação foi de 13%.

Com base nos resultados apresentados verifica-se que a Equação 6 apresenta potencial para ser utilizada na recomendação da adubação nitrogenada. No entanto, sugere-se avaliar e validar com um maior número de experimentos a concentração crítica de N na matéria seca e a relação grão/palha das variedades de milho atualmente utilizadas em condições tropicais e subtropicais e validar a equação para diferentes condições de clima, solo e manejo daquelas verificadas neste experimento.

5. CONCLUSÕES

Com base nas condições de clima, solo e planta em que foi conduzido este experimento pode-se concluir:

- A associação do sistema de plantio direto com o uso de leguminosas como cultura de cobertura promoveu aumento das reservas de N total do solo. Sob preparo convencional, o aumento das reservas de N total ocorreu mais lentamente.

- Aproximadamente 70 % da liberação do N da fitomassa das leguminosas, em condições subtropicais deste trabalho, ocorreu nas primeiras quatro semanas após o manejo, em ambos sistemas de preparo. A liberação de N dos resíduos das culturas de cobertura foi inversamente proporcional a relação C/N da fitomassa.

- O histórico de uso durante 10 anos de leguminosas no sistema A+V/M+C promoveu incrementos de 26 e 19% na quantidade de N absorvido e rendimento de grãos, respectivamente, em relação ao histórico de uso de A/M, indicando o efeito do uso, a longo prazo, de leguminosas no incremento do potencial de suprimento de N do solo.

- Embora a recuperação do N da fitomassa de vicia pelo milho tenha sido estimada em apenas 25.5%, este valor correspondeu a 2/3 do N requerido no máximo rendimento do experimento.

- O sistema de cultura V/M apresentou a menor dose de N necessária para alcançar a MEE e MET.

- O sistema de plantio direto, quando da utilização da adubação nitrogenada, apresentou menor quantidade de N absorvido e produção de matéria seca do milho em relação ao preparo convencional, porém não houve diferença estatística no rendimento do milho entre estes dois tratamentos.

- A Equação desenvolvida neste trabalho ($N_d = NT_{\text{solo}} \cdot k_1 + (5,066 - 0,1334 \cdot N_{\text{fitomassa}} - 0,242 \cdot \text{Rel C/N}) + k_2 \cdot \text{dose de N fertilizante}$) visando estimar a disponibilidade de N em sistemas de preparo e cultura apresentou satisfatória concordância com os resultados obtidos anteriormente por outros pesquisadores neste experimento. Recomenda-se o seu ajuste e validação para condições distintas de clima, solo e manejo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C.; CERETTA, C.A.; THOMAS, A.L. et al. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p.101-108, 1994.
- ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York: J. Wiley, 1977. 467p.
- AZAM, F. ; SIMMONS, F.W. ; MULVANEY, R.L. Mineralization of N from plant residues and its interaction with native soil N. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 25, n. 12, p.1787-1792, 1993.
- AZAM, F. ; MALIK, A.; SAJJAD, M. I.. Transformations in soil and availability to plants of ¹⁵N applied as inorganic fertilizer and legume residues. **Plant and Soil**, The Hague, v. 86, p.3-13, 1985.
- BALDOCK, J.O.; MUSGRAVE, R.B. Manure and mineral fertilizer effects in continuous and rotational crop sequences in central New York. **Agron. J.**, Madison, v. 72, n. 2, p.511-518, 1980.
- BAKER, J.L.; LAFLÉN, J.M. Water quality consequences of conservation tillage. **J. Soil and Water Cons.**, Ankeny, v. 38, n. 3, p.186-193, 1983.
- BANDEL, V.A.; DZIENIA, S.; STANFORD, G. et al. N behavior under no-till vs conventional corn culture. I. First year results using unlabeled n fertilizer. **Agron. J.**, Madison, v. 67, n. 6, p.782-786, 1975.
- BARBER, S.A. The diffusion and mass-flow concept of soil nutrient availability. **Soil Sci.**, Baltimore, v. 93, n. 1, p.39-49, 1962.
- BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: J. Willey, 1984. 396p.

- BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas.** Porto Alegre, 1992. 183 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.
- BAYER, C.; AMADO, T.J.C.; FERNANDES, S.V. et al. Teores de carbono e nitrogênio total em um solo podzólico vermelho-escuro submetido 9 anos a diferentes sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., 1995, Viçosa. **Resumos expandidos...** Viçosa: SBCS, 1995. p. 2036-2038.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos.** Porto Alegre, 1996. 240f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p.105-112, 1997a.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p.235-239, 1997b.
- BEALE, O.W.; NUTT, G.B.; PEELE, T.C. The effect of mulch tillage on runoff, erosion, soil properties and crop yields. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v. 19, n. 2, p.244-247, 1955.
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.M. ; PHILLIPS, R.E. Moisture relationships and nitrogen movement in no-tillage and conventional corn production. In: NO-TILLAGE SYSTEMS SYMPOSIUM, 1., 1972. Ohio. **Proceedings...** Ohio: SCSA, 1972. p.383-386.
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.M.; SMITH, M.S. et al. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, v. 3, n. 2, p.135-146, 1983.
- BOULDIN, D.R. Mathematical description of diffusion processes in the soil-plant system. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v. 25, n. 6, p.476-480, 1961.
- BROWN, P. ; DICKEY, D.D. Losses of wheat straw residue under simulated field conditions. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v. 34, p.118-121, 1970.
- BROWN, S.M.; WHITWELL, T.; TOUCHTON, J.T. et al. Conservation tillage systems for cotton production. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 49, n. 2, p.1256-1260, 1985.

- BRUCE, R.R.; HENDRIX, P.F.; LANGDALE, G.W. Role of cover crops in recovery and maintenance of soil productivity. In: COVER CROPS FOR CLEAN WATER. 1991, Jackson. **Proceedings...**Ankeny: SCSA, 1991. p.109-115.
- BRUULSEMA, T.W. ; CHRISTIE, B.R. Nitrogen contribution to succeeding corn from alfafa and red clover. **Agron. J.**, Madison, v. 79, n. 1, p.96-100, 1987.
- BURLE, M.L. **Efeito de sistemas de cultura em características químicas do solo.** Porto Alegre, 1995. 105f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- CAMARGO, P.B.; TRIVELIN, P.C.O.; LIBARDI, P.L. et al. Destino do N de fertilizantes - ^{15}N (uréia e aquamônia) aplicados na cultura da cana-de-açúcar. I. Deslocamento no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 22., 1989, Recife. **Resumos...**Recife : SBCS, 1989. p.70-71.
- CARTER, J.N.; BENNETT, O.L.; PEARSON, R.W. Recover of fertilizer nitrogen under field conditions using nitrogen-15. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v. 31, n. 1, p.50-56, 1967.
- CARTER, J.N.; WESTERMANN, D.T.; JENSEN, M.E. Sugar beet yield and quality as affected by nitrogen level. **Agron. J.**, Madison, v. 68, n. 1, p.49-55, 1976.
- CERRATO, M.E.; BLACKMER, A.M. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. **Agron. J.**, Madison, v. 82, n. 1, p.138-143, 1990.
- COELHO, A.M. **Balanco do nitrogênio (^{15}N) na cultura do milho (*Zea mays* L.) em Latossolo vermelho-escuro fase cerrado.** Lavras: UFV, 1987. 142f. Dissertação (Mestrado - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação, Escola Superior de Agronomia de Lavras, Lavras, 1987.
- DALAL, R.C.; MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland.I. Overall changes in soil properties and trends in winter cereal yields. **Aust. J. Soil Res.**, Melbourne, v. 24, p.265-279, 1986a.
- DALAL, R.C.; MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. V. Rate of loss of total nitrogen from the soil profile and changes in carbon:nitrogen ratios. **Aust. J. Soil Res.**, Melbourne, v. 37, p.493-504, 1986b.

- DA RÓS, C.O. **Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto**. Santa Maria: UFSM, 1993. 85f. Dissertação (Mestrado - Biodinâmica do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1993.
- DEBARBA, I. **Sistemas de produção de milho adaptados à conservação do solo**. Santa Maria: UFSM, 1993. 150 f. Dissertação (Mestrado - Biodinâmica do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1993.
- DECHEN, S.C.F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O.M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em Latossolo Roxo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 5, p.133-137, 1981.
- DECKER, A.M.; HOLDERBAUM, J.F.; MULFORD, R.F. et al. Fall-seeded legume nitrogen contributions to no-till corn production. In: **ROLE OF LEGUMES IN CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS**, 1987, Athens. **Proceedings...**Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1987. p.21-22.
- DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v. 44, n. 3, p.765-771, 1980.
- DORAN, J.W.; POWER, J.F. The effects of tillage on the nitrogen cycle in corn and wheat production. In: LOWRANCE, R.R.; TODD, R.L.; ASMUSSEN, L.E. et al. **Nutrient cycling in agricultural ecosystems**. Athens: The University of Georgia, 1983. p.441-455. (Georgia Agric. Spec. Pub., 23)
- DORAN, J.W.; SMITH, M.S. Role of cover crops in nitrogen cycling. In: **COVER CROPS FOR CLEAN WATER**, 1991, Jackson. **Proceedings...**Ankeny: SWCS, 1991. p.99-100.
- DOWDELL, R.J.; CANNELL, R.Q. Effect of ploughing and direct drilling on soil nitrate content. **J. Soil Sci.**, London, v. 6, p.53-61, 1975.
- DOU, Z. **Nitrogen dynamics in conventional and no-tillage corn production following legume cover crops**. Pennsylvania: Penn. State Univ., 1993. 204p. Thesis (Doctor of Philosophy - Agronomy). Dept of Agronomy, Penn. State Univ., Pennsylvania, 1993.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.M. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OAEDES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii, 1989. p.33-67.
- EBELHAR, S.A.; FRYE, W.W.; BLEVINS, R.L. Nitrogen from legume cover crops for no-tillage corn. **Agron. J.**, Madison, v. 76, n. 1, p.51-55, 1984.

- ELLIOTT, L.F.; COCHRAN, V.L.; PAPENDICK, R.I. Wheat residue and nitrogen placement effects on wheat growth in the greenhouse. *Soil Sci.*, Baltimore, v. 131, n. 2, p.48-52, 1981.
- ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A.; SCOPEL, T. et al. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo Laterítico Bruno-avermelhado distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v. 8, n. 3, p.117-125, 1984.
- EVANYLO, G.K. Dryland corn response to tillage and nitrogen fertilization. I. Growth-yield-N relationships. *Commun. Soil Sci. Plant*, New York, v. 21, n. 2, p.137-170, 1990.
- FREE, G.R. Minimum tillage for corn production. [S.l.: s.n.], 1970.
- FREITAS, V.H. **Eficiência de sistemas de preparo do solo e de culturas no fornecimento de nitrogênio para o milho**. Porto Alegre, 1988. 148f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- FLEMING, A.A.; GIDDENS, J.E.; BEATY, E.R. Corn yields as related to legumes and inorganic nitrogen. *Crop Sci.*, Madison, v. 21, p.977-980, 1981.
- FRYE, W.W.; BLEVINS, R.L.; SMITH, M.S. et al. **Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen**. Madison: American Society of Agronomy, 1988. p.129-154. Role of annual legume cover crops in efficient use of water and nitrogen. (Special Publication, 51)
- FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P. A rapid method for estimating the nitrogen-supplying capability of a soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 42, n. 5, p.751-753, 1978.
- GANTZER, C.J.; ANDERSON, S.H.; THOMPSON, A.L. et al. Evaluation of soil loss after 100 years of soil and crop management. *Agron. J.*, Madison, v. 83, n. 1, p.74-77, 1991.
- GHIDEY, F.; GREGORY, J.M.; McCARTY, T.R.; ALBERTS, E.E. Residue decay evaluation and prediction. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 28, n. 1, p.102-105, 1985.
- GILLIAM, J.W.; HOYT, G.D. Effect of conservation tillage on fate and transport of nitrogen. In: LOGAN, T.J. et al. (Coord.) **Effects of conservation tillage on groundwater quality: nitrates and pesticides**. Chelsea: Lewis, 1987. p.217-240.
- GROFFMANN, P.M. Nitrification and denitrification in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 49, n. 2, p.329-334, 1985.
- GROFFMANN, P.M.; HENDRIX, P.F.; CROSSLEY JR, D.A. Nitrogen dynamics in conventional and no-tillage agroecosystems with inorganic fertilizer or legume nitrogen inputs. *Plant and Soil*, Madison, v. 97, n. 3, p.315-332, 1987.

- HANWAY, J.J. Growth stages of corn (*Zea mays*, L.). **Agron. J.**, Madison, v. 55, n. 4, p.487-492, 1963.
- HARGROVE, W.L.; FRYE, W.W. The need for legume cover crops in conservation tillage production. In: POWER, J.F. **The role of legumes in conservation tillage systems**. Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1987. p.1-4.
- HARPER, J.E. Uptake of organic nitrogen forms by roots and leave. In: HAUCK, R.D. **Nitrogen in crop production**. Madison: Soil Science Society of America, 1984. p.165-170.
- HARRIS, G.H.; HESTERMAN, O.B. Quantifying the nitrogen contribution from alfafa to soil and two succeeding crops using Nitrogen-15. **Agron. J.**, Madison, v. 82, n. 1, p.129-134, 1990.
- HEINZMANN, F. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v. 20, n. 9, p.1021-1030, 1985.
- HESTERMAN, O.B.; SHEAFFER, C.C.; BARNES, D.K. et al. Alfafa dry matter and nitrogen production, and fertilizer nitrogen response in legume-corn production. **Agron. J.**, Madison, v. 78, n.1, p.19-23, 1986.
- HOUSE, G.J.; STINNER, B.R.; CROSSLEY, D.A. et al. Nitrogen cycling in conventional and no-tillage agroecosystems in the Southern Piedmont. **J. Soil Water Conserv.**, Ankeny, v. 39, n. 3, p.194-200, 1984.
- HOLDERBAUM, J. F.; DECKER, A.M.; MEISINGER, J.J. et al. Fall-seeded legume cover crops for no-tillage corn in the humid East. **Agron. J.**, Madison, v. 82, n. 1, p. 117-124, 1990.
- HUNTINGTON, T.G.; GROVE, J.H.; FRYE, W.W. Release and recovery of nitrogen from winter annual cover crops in no-till corn production. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 16, n. 2, p.193-211, 1985.
- IPAGRO. **Observações meteorológicas no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ipagro, 272p. 1979. (Boletim técnico, 3).
- JONES, R.J. Nitrogen losses from Alabama soils in lysimeters as influenced by various systems of green manure crop management. **J. Am. Soc. Agron.**, Madison, v. 34, n. 3, p.574-585, 1942.
- JUO, A.S.R.; LAL, R. Nutrient profile in a tropical Alfisol under conventional and no-tillage systems. **Soil Sci.**, Baltimore, v. 127, n. 3, p.168-173, 1979.

- KANWAR, R.S.; BAKER, J.L.; LAFLEN, J.M. Nitrate movement through the soil profile in relation to tillage system and fertilization application method. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 6, p.1802-1807, 1985.
- KEENEY, D.R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F.J. **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: Soil Sci. Soc. of America, 1982. p.605-649.
- KITUR, B.K.; SMITH, M.S.; BLEVINS, R.L. et al. Fate of N-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn. **Agron. J.**, Madison, v. 76, n. 2, 240-242, 1984.
- LADD, J.N.; OADES, J.M.; AMATO, M. Distribution and recovery of nitrogen from legume residues decomposing in soils sown to wheat in the field. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 13, n. 4, p.251-256, 1981.
- LATHWELL, D.J.; BOULDIN, D.R. Soil organic matter and soil nitrogen behaviour in cropped soils. **Trop. Agric., Survey**, v. 58, n. 4, p.341-348, 1981.
- LEGG, J.O.; MEISINGER, J.J. Soil nitrogen budgets. In: STEVENSON, F.J. **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: Soil Sci. Soc. of America, 1982, p.503-567.
- LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. Destino da uréia aplicada a um solo tropical. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 2, n. 1, p.40-44, 1978.
- LINN, D.M.; DORAN, J.W. Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 48, n. 2, p.794-799, 1984.
- MANSOER, Z. **Release of nitrogen from 'tropic sun' sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) residue under no-tillage and conventional tillage systems**. Auburn: AU, 1993. 88f. Thesis (M. S. Thesis - Agronomy & Soils). Auburn University, Auburn, 1993.
- MARTIN, G.W.; TOUCHTON, J.T. Legume as a cover crop and source of nitrogen. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 38, n. 3, p.214-216, 1983.
- McCRACKEN, D.V.; CORACK, S.J.; SMITH, M.S. et al. Residual effects of nitrogen fertilization and winter cover cropping on nitrogen availability. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 53, n. 3, p.1459-1464, 1989.
- McVAY, K.A.; RADCLIFFE, D.E.; HARGROVE, W.L. Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirements. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 53, n. 5, p.1856-1862, 1989.

- MEIRELLES, N.M.F.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. Absorção e lixiviação de nitrogênio em cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 4, n. 2, p.83-88, 1980.
- MEISINGER, J.J. Evaluating plant available nitrogen in soil crop systems. In: HAUCK, R.D. **Nitrogen in crop production**. Madison: Soil Science Society of America, 1984. p.391-417.
- MELLO, W.M.P. **Desenvolvimento do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo do solo**. Porto Alegre, 1991. 89f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.
- MERTEN, G.H. **Rendimento de grãos e distribuição do sistema radicular das culturas sob diferentes sistemas de manejo em um oxissolo (Latossolo Roxo distrófico)**. Porto Alegre, 1988. 178f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- MENGEL, D.B.; NELSON, D.W.; HUBER, D.H. Placement of nitrogen fertilizers for no-till and conventional till corn. **Agron. J.**, Madison, v. 68, n. 4, 437-442, 1982.
- MITCHELL, W.H.; TELL, M.R. Winter-annual cover crops for no-tillage corn production. **Agron. J.**, Madison, v. 69, n. 4, 569-573, 1977.
- MITCHELL, C.C.; WESTERMAN, R.L.; BROWN, J.R. et al. Overview of long-term agronomic research. **Agron. J.**, Madison, v. 83, n. 1, p.24-29, 1991.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 7, n. 1, p.95-102, 1983.
- NANAGARA, T.; PHILLIPS, R.E. Diffusion and mass flow of nitrate-nitrogen into corn roots grown under field conditions. **Agron. J.**, Madison, v. 68, n. 1, p.67-72, 1976.
- OLSON, R.A.; KURTZ, L.T. Crop nitrogen requirements, utilization, and fertilization. In: STEVENSON, F.J. **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: Soil Sci. Soc. of America, 1982., p.567-604.
- OLSON, R.V. Fate of tagged nitrogen fertilizer applied to irrigated corn. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 44, n. 3, p.514-517, 1980.
- ORTIZ, R.A.; POWER, J.F. The effects of tillage on the nitrogen cycle in corn and wheat production. In: **Annual Southeast No-Tillage Systems Conf.**, 7., 1983. **Proceedings**...Auburn: Soil Water Conservation Society, 1983.

- PARR, J.F. Chemical and biochemical considerations for maximizing the efficiency of fertilizer nitrogen. *J. Environ. Qual.*, Madison, v. 2, n.1, p.75-82, 1973.
- PAVINATO, A. **Teores de carbono e nitrogênio do solo e produtividade de milho afetados por sistemas de culturas**. Porto Alegre, 1993, 122f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.
- PHILLIPS, R.E.; BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W. et al. No-tillage agriculture. *Science*, Washington, v. 208, p.1108-1113, 1980.
- PHILLIPS, R.E.; PHILLIPS, J.H. **No-tillage agriculture**. New York:Van Nostrand Reinhold, 1984. 306p.
- PONS, A.L.; NUSS, C.N.; PINTO, R.J.B. 1984. Efeito de doses de nitrogênio sobre o rendimento do milho, em cultivo mínimo e convencional após o cultivo da vicia. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 29., 1984, Porto Alegre. *Ata...* Porto Alegre: IPAGRO/EMATER-RS, 1984. p.97-98.
- PÖTTKER, D.; ROMAN, E. Efeito de resíduos de cultura e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. *Pesq. Agr. Bras.*, Brasília, v. 29, n. 6, p.763-770, 1994.
- POWER, J.F. **The role of legumes in conservation tillage systems**. Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1987. 153p.
- POWER, J.F.; LEGG, J.O. Nitrogen-15 recovery for five years after application of ammonium to crested wheatgrass. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 48, n. 2, p.322-326, 1984.
- RECOMENDAÇÕES técnicas para a cultura do milho no Rio Grande do Sul, Porto Alegre: FEPAGRO: EMATER/RS; FECOTRIGO, 1997.140p.(Boletim técnico, 4)
- REEVES, D.W.. Cover crops and rotations. In: HATFIELD, J.L.; STEWART, B.A. **Crops residue management**. Florida: Lewis, 1994. p.125-172. (Advances in Soil Science).
- REEVES, D.W. Sustaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.*, Amsterdam, No prelo.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; VICTORIA, R.L. et al. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v. 3, n. 1, p.17-20, 1979.
- RICE, C.W.; SMITH, M.S. Denitrification in no-till and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 46, n. 6, p.1168-1173, 1982.

- RICE, C.W.; SMITH, M.S.; BLEVINS, R.L. Soil nitrogen availability after long-term continuous no-tillage and conventional tillage corn production. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 50, n. 5, p.1206-1210, 1986.
- ROBERTSON, T.; BENSON, V.; WILLIAMS, J.R. et al. Long-run impacts of cover crops on yield, farm income, and nitrogen recycling. In: *COVER CROPS FOR CLEAN WATER*, 1991, Jackson. *Proceedings...*Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1991, p.117-120.
- ROSSO, A. **Manejo de culturas de cobertura do solo no inverno e sua relação com a produtividade do milho**. Porto Alegre, 1989. 117f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- RUSSELLE, M.P.; HESTERMAN, O.B.; SHEAFFER, C.C. et al. Estimating nitrogen and rotation effects in legume-corn rotations. In: *THE ROLE OF LEGUMES IN CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS*, 1987, Athens. *Proceedings...*Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1987, p.41-42.
- SÁ, J.C. de M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro (PR): Fundação ABC, 1992. 57p.
- SALET, R.I. **Dinâmica de ions na solução de um solo submetido ao sistema de plantio direto**. Porto Alegre, 1994. 110f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- SALTON, J.C. **Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade do solo**. Porto Alegre, 1991. 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.
- SANDOR, J.A.; EASH, N.S. Significance of ancient agricultural soils for long-term agronomic studies and sustainable agriculture research. *Agron. J.*, Madison, v. 83, n. 1, p.29-37, 1991.
- SHEAR, G.M.; MOSCHLER, W.W. Continuous corn by the no-tillage and conventional tillage methods: a six-year comparison. *Agron. J.*, Madison, v. 61, n. 1, p.67-72, 1969.
- SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R.; ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v. 8, n. 3, p.265-268, 1984.
- SMITH, M.S.; FRYE, W.W.; VARCO, J.J. Legume winter cover crops. In: STEWART, B.A. (ed.) *Advances in Soil Science*. New York: Springer-Verlag, 1987. v. 7, p.95-139.

- SOMDA, Z.C.; FORD, P.B.; HARGROVE, W.L. Decomposition and nitrogen recycling of cover crops and crop residues. In: COVER CROPS FOR CLEAN WATER, 1991, Jackson. **Proceedings...**Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1991. p.103-105.
- STANFORD, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. **J. Environ. Qual.**, Madison, v. 2, n. 2, p.159-166, 1973.
- STEVENSON, F.J. **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: Soil Science Society of America, 1982. Chap.1: Origem and distribution of nitrogen in the soil.
- STINNER, B.R.; HOYT, G.D.; TODD, R.L. Changes in soil chemical properties following a 12-year fallow: A 2-year comparison of conventional tillage and no-tillage agro-ecosystems. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, v. 3, n. 3, p.277-290, 1983.
- TEIXEIRA, L.A.J. **Fornecimento de nitrogênio ao milho por sistemas de culturas**. Porto Alegre, 1988. 110f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- TESTA, V.M. **Características químicas de um Podzólico Vermelho-escuro, nutrição e rendimento do milho afetados por sistemas de culturas**. Porto Alegre, 1989. 96f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- THOMAS, G.W.; BLEVINS, R.L.; PHILLIPS, R.E. et al. Effect of a tilled sod mulch on nitrate movement and corn yield. **Agron. J.**, Madison, v. 65, n. 5, p.736-739, 1973.
- TORBERT, H.A.; REEVES, D.W. Benefits of a winter legume cover crop to corn: rotation versus fixed-nitrogen effects. In: COVER CROPS FOR CLEAN WATER, 1991, Jackson. **Proceedings...**Ankeny: SWCS, 1991. p.99-100.
- TOUCHTON, J.T.; HARGROVE, W.L. Nitrogen sources and methods of application for no-tillage corn production. **Agron. J.**, Madison, v. 74, n. 5, p.823-826, 1982.
- TOUCHTON, J.T.; RICKEEL, D.H.; BURMESTER, C.H. et al. Starter fertilizer combinations and placement for conventional and no-tillage cotton. **J. Fertilizer Issues**, Peoria, v. 3, p.91-98, 1986.
- TOUCHTON, J.T.; RICKEEL, D.H.; WALKER, R.H. et al. Winter legumes as a nitrogen source for no-tillage cotton. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, v. 4, n. 4, p.391-401, 1984.
- TRIPLETT, G.B. Jr; VAN DOREN, D.M. Jr. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization of non-tilled maize. **Agron. J.**, Madison, v. 61, n. 3, p.637-639, 1969.

- TYLER, D.D.; THOMAS, G.W. Lysimeter measurements of nitrate and chloride losses from soil under conventional and no-tillage corn. *J. Environ. Qual.*, Madison, v. 6, n. 1, p.63-66, 1977.
- URQUIAGA, S.; LIBARDI, P.L.; REICHARD, K. et al. Lixiviação do nitrogênio proveniente do solo e do fertilizante ($^{15}\text{NH}_4$) $_2\text{SO}_4$ durante o ciclo de uma cultura de feijão. *Pesq. Agrop. Bras.*, Brasília, v. 21, n. 1, p.25-31, 1986.
- UTOMO, M.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Effect of legume cover crops and tillage on soil water, temperature, and organic matter. In: *THE ROLE OF LEGUMES IN CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1987*, Athens. *Proceedings...*Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1987. p.5-6.
- VAN VEEN, J.A.; PAUL, E.A. Organic carbon dynamics in grassland soils. 1. Background information and computer simulation. *Can. J. Soil Sci.*, Ontario, v. 61, n. 2, p.185-201, 1981.
- VARCO, J.J.; FRYE, W.W.; SMITH, M.S. et al. Tillage effects on nitrogen recovery by corn from a nitrogen-15 labeled legume cover crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 53, n. 3, p.822-827, 1989.
- VARCO, J.J.; FRYE, W.W.; SMITH, M.S. et al. Tillage effects on legume decomposition and transformation of legume and fertilizer nitrogen-15. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 57, n. 3, p.750-756, 1993.
- YADVINDER-SINGH, BIJAY-SINGH ; KHIND, C.S. Nutrient transformation in soils amended with green manure. *Advance in Soil Science*, New York, v. 20, p.237-309, 1992.
- WAGGER, M.G.; MENGEL, D.B. The role of non leguminous cover crops in the efficient use of water and nitrogen. In: HARGROVE, W.L. (ed.). *Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen*. Madison: American Society of Agronomy, 1988. p.115-127. (Special Publication, 51).
- WAGGER, M.G. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agron. J.*, Madison, v. 81, n. 3, p.236-241, 1989.
- WENDT, R.C.; BURWELL, R.E. Run off and soil losses for conventional, reduced and no-till corn. *J. Soil and Water Cons.*, Ankeny, v. 40, n. 5, p.450-454, 1985.
- WESTERMAN, R.L.; KURTZ, L.T.; HAUCK, R.D. Recovery of ^{15}N -labeled fertilizers in field experiments. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v. 36, n. 1, p.82-86, 1972.

- WIEDER, R.K.; LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, Tempe, v. 63, n.6, p.1636-1642, 1982.
- WILSON, D.O.; HARGROVE, W.L. Release of nitrogen from crimson clover residue under two tillage systems. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 50, n. 5, p.1251-1254, 1986.
- WOOD, C.W.; EDWARDS, J.H.; CUMMINS, C.G. Tillage and crop rotation effects on soil organic matter in a typic Hapludult of northern Alabama. **J. Sustainable Agric.**, Madison, v.2, p.31-41, 1991.
- WOODRUFF, C.M. Estimating the nitrogen delivery of soil from the organic matter determination as reflected by sanborn field. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 52, n. 5, p.1371-1376, 1949.

7. APÊNDICES

Apêndice 1. Teores e quantidades de nitrogênio total no solo em 3 métodos de preparo e 3 sistemas de cultura e histórico de doses de N mineral aplicado. FEA UFRGS, 1997.

Sist	Sist	Prof	Nitrogênio Total no Solo											
			Sem histórico de adubação nitrogenada						Com histórico anual de 120 kg/ha de adub. nitrogenada					
			I		II		III		I		II		III	
Conv	A-M	cm	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha
		0-2,5	0,1502	376	0,1173	293	0,1224	306	0,1799	427	0,1173	293	0,1377	344
		2,5-5,0	0,1451	355	0,1036	259	0,1309	327	0,1628	457	0,1691	273	0,1254	314
		5,0-7,5	0,1385	346	0,1091	275	0,1309	327	0,1495	374	0,1167	292	0,1254	314
		7,5-12,5	0,1555	393	0,1184	292	0,1260	530	0,1695	848	0,1238	619	0,126	630
		12,5-17,5	0,1476	338	0,1027	512	0,1430	700	0,1585	793	0,1163	582	0,1292	646
		17,5-30,0	0,1340	1675	0,0908	1148	0,1319	1649	0,1457	1821	0,1319	1649	0,1295	1491
Cerc	A-V-M	0-2,5	0,1652	405	0,1275	519	0,1479	370	-	-	-	-	-	-
		2,5-7,5	0,1418	369	0,1230	640	0,1418	709	-	-	-	-	-	-
		7,5-17,5	0,1400	1400	0,1292	1292	0,1400	1400	-	-	-	-	-	-
Conv	A+V+M-C	0-2,5	0,1460	365	0,1577	344	0,1550	388	0,1605	421	0,1418	362	0,1530	383
		2,5-5,0	0,1783	446	0,1309	327	0,1527	382	0,1707	427	0,1418	355	0,1549	387
		5,0-7,5	0,1717	429	0,1200	300	0,1472	368	0,1828	457	0,1263	341	0,1549	387
		7,5-12,5	0,1695	848	0,1453	327	0,1346	675	0,1595	848	0,1346	673	0,1400	700
		12,5-17,5	0,1476	338	0,1206	603	0,1238	629	0,1520	760	0,1184	592	0,1421	710
		17,5-30,0	0,1596	1995	0,1515	1649	0,1262	1578	0,1457	1821	0,1159	1449	0,1205	1506

Prep	Sist	Prof cm	Nitrogênio Total no Solo											
			Semirresaca de adubação nitrogenada						Comitamento anual de 120 kg/ha de adub. nitrogenada					
:			I		II		III		I		II		III	
			g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha
Red	A-M	0-2,5	0,1683	425	0,1071	268	0,1428	357	-	-	-	-	-	-
		2,5-7,5	0,1386	690	0,1130	565	0,1386	693	-	-	-	-	-	-
		7,5-17,5	0,1212	772	0,0976	975	0,1232	232	-	-	-	-	-	-
Red	A-V-M	0-2,5	0,2091	523	0,1713	428	0,1785	446	-	-	-	-	-	-
		2,5-7,5	0,1592	396	0,1948	524	0,1438	319	-	-	-	-	-	-
		7,5-17,5	0,1284	1284	0,1138	1130	0,1284	1284	-	-	-	-	-	-
Red	A-V-M+C	0-2,5	0,2091	523	0,2142	536	0,2550	638	-	-	-	-	-	-
		2,5-7,5	0,1849	925	0,1540	390	0,1540	379	-	-	-	-	-	-
		7,5-17,5	0,1284	1284	0,1179	1130	0,1181	1181	-	-	-	-	-	-
Dir	A-M	0-2,5	0,2066	522	0,1482	371	0,1372	343	0,2141	523	0,2580	645	0,2696	673
		2,5-5,0	0,1623	406	0,1343	336	0,1790	448	0,2584	596	0,1846	462	0,1567	392
		5,0-7,5	0,1399	350	0,1063	266	0,1421	355	0,1955	484	0,1585	397	0,1287	322
		7,5-12,5	0,1428	714	0,1130	565	0,1438	354	0,1666	833	0,1428	714	0,1309	655
		12,5-17,5	0,1428	714	0,1001	506	0,1428	714	0,1487	744	0,1226	613	0,1249	625
		17,5-20,0	0,1205	596	1010	1263	0,3056	2320	0,1305	1506	0,1265	1506	0,1205	1506

Sist	Sist	Prof	Nitrogênio Total no Solo												
			Sem Fístioco de adubação nitrogenada						Com fístioco atual de 120 kg/ha de adub. nitrogenada						
			I		II		III		I		II		III		
g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha	g/100cm ³	kg/ha		
Dir	A-V-M	0-2,5	0,2690	675	0,2250	563	0,2470	618	-	-	-	-	-	-	-
		2,5-7,5	0,1925	965	0,1755	868	0,1846	923	-	-	-	-	-	-	-
		7,5-17,5	0,1483	1487	0,1369	1365	0,1428	1428	-	-	-	-	-	-	-
Dir	A-V-M+C	0-2,5	0,2664	741	0,2399	700	0,3096	774	0,3066	767	0,2832	708	0,2470	628	
		2,5-5,0	0,2406	602	0,2294	574	0,2238	560	0,2294	574	0,2014	504	0,1679	420	
		5,0-7,5	0,1733	474	0,1790	448	0,1757	439	0,1846	462	0,1623	406	0,1421	355	
		7,5-12,5	0,1642	821	0,1457	744	0,1606	803	0,1690	845	0,1666	833	0,1606	800	
		12,5-17,5	0,1606	806	0,1249	625	0,1428	714	0,1487	743	0,1547	774	0,1249	625	
		17,5-30,0	0,1319	1649	0,0918	1148	0,1119	1399	0,1147	1434	0,1297	1621	0,1147	1434	

Apêndice 2. Quantidade de nitrogênio mineral no solo na camada de 0-20 cm de profundidade imediatamente antes da emergência do milho. EEA-UFRGS, 1997.

Sistema de preparo	Sistema de cultura	Repetição	NO ₃ -NO ₂		NH ₄		N mineral total	
			Descoberto	Coberto	Descoberto	Coberto	Descoberto	Coberto
Convencional	A/M	I	3,21	1,46	1,46	1,46	4,67	2,92
		II	2,19	0,73	1,60	0,73	3,79	1,46
		III	2,48	0,73	2,92	1,75	5,40	2,48
	V/M	I	2,92	8,02	2,92	3,94	5,84	31,96
		II	4,38	6,56	6,56	2,92	10,94	9,48
		III	3,79	15,36	7,29	17,50	11,08	33,86
	A-V/M+C	I	3,21	2,92	1,90	1,02	5,11	3,94
		II	4,81	6,13	4,38	5,10	9,19	11,23
		III	3,65	2,33	4,38	3,79	8,03	6,12
P Direto	A/M	I	2,92	1,75	1,46	1,11	4,38	2,92
		II	2,19	2,9	4,38	2,19	6,57	2,48
		III	2,48	1,02	3,65	1,46	6,13	2,48
	V/M	I	4,96	4,38	2,19	1,46	7,15	5,84
		II	2,92	5,83	1,75	3,65	4,67	9,48
		III	2,92	2,92	2,92	1,75	5,84	4,67
	A-V/M+C	I	2,92	2,92	1,46	1,31	4,38	4,23
		II	2,48	2,92	1,46	1,75	3,94	4,67
		III	6,73	1,17	2,19	0,73	2,92	1,90

Apêndice 3. Análise da variância da quantidade de nitrogênio mineral do solo na camada de 0-20 cm amostrada imediatamente antes da emergência do milho.

Causas da variação	Variáveis		
	NH ₄	NO ₃ - NO ₂	N mineral total
	----- (Prob. > F) -----		
Preparo (P)	0,2348	0,1906	0,2055
Cultura (C)	0,0969	0,0076	0,0269
P*C	0,1056	0,2787	0,1525
Cob. Solo (CS)	>>	0,2290	>>
P*CS	>>	0,1323	0,2644
C*CS	>>	0,070	0,0781
P*C*CS	>>	0,0773	0,3501
CV	71,20	49,00	58,96

Apêndice 4. Matéria seca e quantidade de nitrogênio na parte aérea das culturas de cobertura e nos resíduos culturais.
EEA/UFRGS, 1997.

Sistema de Preparo	Sistema de Cultura	Repetição	Parte aérea da cultura de cobertura				Resíduos culturais			
			Matéria seca		Nitrogênio		Matéria seca		Nitrogênio	
			Dose de N		Dose de N		Dose de N		Dose de N	
			60	120	60	120	60	120	60	120
-----kg/ha-----										
Convenc	A/M	I	1453	1869	21,1	18,3	3683	4068	29,0	22,8
		II	7461	5068	55,4	40,8	1128	2977	4,9	13,0
		III	3809	6096	28,7	46,9	2345	3336	13,0	14,3
	V/M	I	4621	4498	117,9	127,2	1162	4423	10,3	49,5
		II	3806	4538	102,6	125,5	2202	3166	21,6	20,5
		III	5257	4904	158,2	143,3	3486	2102	15,9	20,2
	A+V/M+C	I	6341	6044	95,4	117,4	9161	7751	63,5	58,3
		II	6223	7048	93,7	105,3	2170	3784	14,1	24,5
		III	6556	6941	169,8	134,8	6561	2991	44,8	19,4
Reduzido	A/M	I	7616	3737	64,0	30,7	2200	3614	13,5	22,8
		II	5445	4962	41,0	38,7	2214	2817	7,4	8,4
		III	6898	5771	57,9	45,9	1177	2389	7,8	10,4
	V/M	I	3169	3153	94,8	84,1	1162	3531	7,7	34,6

Apêndice continua

Sistema de Preparo	Sistema de Cultura	Repetição	Parte aérea da cultura de cobertura				Resíduos culturais			
			Matéria seca		Nitrogênio		Matéria seca		Nitrogênio	
			Dose de N		Dose de N		Dose de N		Dose de N	
			60	120	60	120	60	120	60	120
-----kg/ha-----										
Reduzido	V/M	II	3591	5115	96,8	141,7	2848	2817	35,9	31,1
		III	3767	3746	108,8	106,9	2928	1398	23,1	14,2
	A+V/M+C	I	6757	6504	110,0	89,9	1320	2970	12,5	25,0
		II	5589	3403	91,0	50,0	2228	2910	17,9	18,3
		III	6543	5777	130,5	91,0	878	4512	8,8	37,1
P Direto	A/M	I	5773	8094	57,6	68,0	843	-	6,8	9,5
		II	6129	3570	43,1	34,6	3053	2353	17,6	11,7
		III	4376	4148	33,7	37,8	1934	1182	17,6	7,3
	V/M	I	3916	4084	107,6	112,2	2400	1869	17,2	24,1
		II	3299	3407	98,5	94,2	2633	2882	28,6	24,7
		III	2830	2979	66,4	86,5	1844	2402	19,0	22,4
	A+V/M+C	I	6399	4333	67,6	89,5	4136	4226	37,6	47,0
		II	7101	6029	107,4	105,5	7186	1923	50,3	15,2
		III	7285	6724	142,8	107,0	2867	2537	24,1	20,4

Apêndice 5. Análise de variância da matéria seca e quantidade de nitrogênio na culturas de cobertura.

Causas da variação	Variáveis da culturas de cobertura	
	Matéria Seca	Nitrogênio
	------(Prob>F)-----	
Preparo (P)	>>	0,2433
Cultura (C)	0,028	0,0000
P*C	0,3588	0,3058
Dose N (N)	0,2626	>>
P*N	0,2868	0,2294
C*N	0,2494	0,1493
P*C*N	>>	>>
CV (%)	19,73	16,50

Apêndice 6. Matéria seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 30 DAE. EEA/UFRRGS, 1997

Sistema de Preparo	Sistema de Cultura	Repetição	Matéria seca do milho aos 30 DAE			Nitrogênio no milho aos 30 DAE				
			Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Sem Cult.Cob.	Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Com Cultura Cobertura		
			0	20	40	0	20	40		
			Nitrogênio mineral aplicado (kg/ha)			Nitrogênio mineral aplicado (kg/ha)				
			0	20	40	0	20	40		
			-----kg/ha-----			-----kg/ha-----				
Convenc.	A/M	I	115,9	79,0	123,7	150,3	3,64	2,59	4,96	6,58
		II	148,6	66,7	174,5	165,3	5,15	2,22	6,55	6,83
		III	84,3	55,8	130,7	129,2	2,81	1,77	4,33	5,64
	V/M	I	74,9	83,3	155,1	125,8	2,46	3,42	6,87	5,42
		II	99,5	81,6	105,0	173,2	3,32	3,12	4,35	7,79
		III	69,8	163,7	107,8	159,1	2,72	6,58	4,31	7,37
	A=V/M+C	I	147,5	114,2	175,5	152,5	4,85	4,83	7,20	6,64
		II	148,0	100,3	112,2	168,5	5,03	4,22	4,81	7,62
		III	96,8	77,2	148,5	111,3	3,47	3,31	6,14	4,60
Direto	A/M	I	55,1	34,0	68,3	124,6	1,78	1,00	2,60	5,49
		II	67,1	67,6	89,5	209,2	2,24	2,16	3,59	9,53
		III	60,3	50,2	78,9	140,8	1,67	1,75	3,54	6,18
	V/M	I	80,9	108,3	93,0	168,6	2,82	3,62	3,79	7,11

Sistema de Preparo	Sistema de Cultura	Repetição	Matéria seca do milho aos 30 DAE				Nitrogênio no milho aos 30 DAE			
			Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura
			Nitrogênio mineral aplicado (kg/ha)				Nitrogênio mineral aplicado (kg/ha)			
0	0	20	40	0	0	20	40	0	20	40
			-----kg/ha-----				-----kg/ha-----			
Direto	V/M	II	62,5	110,8	166,3	146,2	2,03	4,00	7,61	6,64
		10	63,2	107,2	106,7	96,0	1,83	3,59	4,32	4,22
	A+V/M+C	I	84,8	68,2	106,0	110,2	2,79	2,70	4,45	4,82
		II	119,3	87,7	141,2	136,5	4,11	3,15	5,76	6,46
		III	63,6	66,8	96,4	100,9	2,10	2,41	4,49	4,58

Apêndice 7. Matéria seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 50 DAE. EEA UFRRGS, 1997.

Sistema de Preparo	Sistema de Repetição	Matéria seca do milho aos 50 DAE				Nitrogênio no milho aos 50 DAE					
		Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura		
		Nitrogênio mineral aplicado (kg/ha)				Nitrogênio mineral aplicado (kg/ha)					
0	0	20	40	0	0	20	40	0	0	20	40
-----kg/ha-----				-----kg/ha-----				-----kg/ha-----			
Convenc.	A/M	I	1497	951	1651	1910	20,64	13,11	32,67	57,27	
		II	1022	840	1933	1833	11,91	13,19	45,18	46,88	
		III	1058	784	2227	1693	14,16	12,23	58,75	50,18	
	V/M	I	779	1541	1644	1619	13,19	38,85	42,57	50,26	
		II	1064	1618	2441	2032	18,06	30,41	60,30	51,56	
		III	1442	1617	2217	1126	24,48	25,79	56,62	35,91	
	A-V/M-C	I	1608	1600	2041	2121	26,20	28,81	47,61	58,77	
		II	1864	1918	2340	2005	27,17	34,13	41,80	54,57	
		III	1736	1105	1935	1882	25,35	20,28	56,52	56,67	
Direto	A/M	I	1486	843	2080	1742	21,87	18,49	52,43	51,14	
		II	891	535	852	1422	10,48	7,10	20,47	38,45	
		III	549	760	1167	1422	9,30	12,77	32,41	34,57	
V/M	I	990	1266	1423	1655	14,53	33,24	31,97	47,24		

Apêndice continua...

Apêndice continuação...

Sistema de Preparo	Sistema de Cultura	Repetição	Matéria seca do milho aos 30 DAE			Nitrogênio no milho aos 30 DAE				
			Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Sem Cult.Cob.	Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Com Cultura Cobertura		
			Nitrogênio mineral aplicado (kg/ha)			Nitrogênio mineral aplicado (kg/ha)				
0	20	40	0	20	40	0	20	40		
			-----kg/ha-----			-----kg/ha-----				
Direto	V/M	II	962	1611	2061	2075	12,77	27,18	55,73	62,02
			954	1244	1824	2019	14,40	23,25	47,50	60,68
			1015	921	1617	1767	16,71	17,16	46,88	55,56
	A+V/M+C	I	1321	1322	1998	2079	18,30	17,82	46,71	60,75
			1061	1334	1690	1530	17,75	24,38	44,86	43,67

Apêndice 8. Matéria seca e quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho aos 95 DAE. EEA:UFRGS, 1997.

Sistema de Preparo	Sistema de Cultura	Repetição	Matéria seca do milho aos 95 DAE			Nitrogênio no milho aos 95 DAE				
			Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Com Cultura Cobertura	Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Com Cultura Cobertura		
		Nitrogênio mineral aplicado (kg/ha)		Nitrogênio mineral aplicado (kg/ha)						
		0	20	40	0	0	20	40		
		-----kg/ha-----			-----kg/ha-----					
Convenc.	A/M	I	9079	6723	11916	13769	63.84	31.36	102.18	121.37
		II	5492	6111	13814	12331	33.53	32.70	80.50	142.96
		III	6834	6233	12648	12913	37.74	38.06	125.37	89.03
	V/M	I	9063	10370	12369	12334	57.51	71.14	100.98	148.49
		II	9278	11039	12207	12308	49.65	85.95	115.14	151.56
		III	7596	11019	11007	14913	42.99	75.59	122.33	172.38
	A+V/M-C	I	13584	10744	12773	13477	85.73	86.23	106.46	122.50
		II	11241	9875	11367	12738	68.63	54.19	77.20	121.90
		III	6977	9467	15571	16013	45.23	61.70	182.12	165.33
Reduzido	A/M	I	6921	8260	9592	12606	37.99	47.60	70.41	137.07
		II	12299	6716	12209	13522	71.72	33.40	79.15	131.72
		III	8884	7400	13298	13777	47.23	42.64	76.63	128.06
	V/M	I	11905	9334	12178	14757	83.71	64.03	112.78	184.46
		II	5971	9303	12178	12541	30.72	62.86	118.14	157.01

Apêndice continua...

Apêndice continuação...

Sistema de Preparo	Sistema de Cultura	Repetição	Matéria seca do milho aos 97 DAE			Nitrogênio no milho aos 97 DAE				
			Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Sem Cult.Cob.	Sem Cult.Cob.	Com Cultura Cobertura	Com Cultura Cobertura		
Preparo de Cultura			Nitrogênio mineral aplicado (kg/ha)			Nitrogênio mineral aplicado (kg/ha)				
			0	20	40	0	20	40		
			-----kg/ha-----			-----kg/ha-----				
Reduzido	V/M	III	9141	11607	10790	13886	54,55	75,24	139,90	151,93
Reduzido	A+V/M+C	I	10334	9932	12121	12648	60,22	61,32	124,72	155,74
		0	7962	9639	13318	11697	47,24	57,53	116,03	150,86
		0I	9657	10108	12025	14057	56,31	52,70	107,65	164,41
Direto	A/M	I	6132	3951	8979	11413	35,76	18,57	55,74	105,47
		0	4505	5309	9452	12911	22,41	23,67	55,41	130,64
		0I	6047	5031	13371	10964	28,00	23,30	80,23	90,26
	V/M	I	7884	12118	12643	13963	40,02	105,99	95,84	157,09
		0	5366	10047	10862	11759	24,48	66,51	80,10	143,58
		0I	5439	9267	10718	12715	29,66	58,80	88,96	165,29
	A+V/M+C	I	5150	8443	8322	12480	35,68	44,89	74,50	106,59
		0	8160	6037	12890	14082	46,18	38,31	89,75	140,55
		0I	5911	7721	13060	11876	29,60	45,29	125,42	134,43

Apêndice 9. Análise da variância da matéria seca, quantidade de nitrogênio absorvido e rendimento do milho em solo com e sem cultura de cobertura antecedendo ao milho.

Causas da Variação	Variáveis do milho												
	30 DAE				50 DAE				97 DAE				Rendimento
	MS	N	MS	N	MS	N	MS	N	MS	N			
Preparo (P)	0,0289	0,0882	0,0045	0,0145	0,0092	0,0040	0,1338						
Cultura (C)	0,1700	0,0545	0,0235	0,0021	0,0012	0,0005	0,0006						
P×C	0,3210	>>	>>	0,2672	0,2518	0,3326	>>						
Cob. Solo (CS)	0,3116	>>	>>	0,0373	0,2096	0,0466	0,0000						
P×CS	0,1189	>>	>>	>>	0,3223	0,2482	>>						
C×CS	0,0183	0,0044	0,0029	0,0044	0,0092	0,0007	0,0001						
P×C×CS	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>						
CV (%)	27,05	24,28	17,68	22,44	19,00	24,32	12,05						

Apêndice 10. Matéria seca, quantidade de nitrogênio absorvido e rendimento do milho em solo com cultura de cobertura e doses de N.

Causas da Variação	Variáveis do milho											
	30 DAE			50 DAE			97 DAE			Rendimento		
	MS	N	N	MS	N	N	MS	N	N	MS	N	N
Preparo (P)	0,1390	0,2484	0,0412	0,0296	0,0033	0,0266	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0235
Cultura (C)	>>	0,0730	0,0500	0,0646	0,0017	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
P*C	>>	>>	>>	>>	0,3742	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>
Cob. Solo (CS)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
P*CS	0,1790	>>	0,0901	>>	>>	0,2482	>>	>>	>>	>>	>>	>>
C*CS	0,0250	0,0557	0,0477	>>	0,0002	0,1677	>>	>>	>>	>>	>>	0,0759
P*C*CS	0,3889	>>	0,3685	0,1756	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>
C.V (%)	21,77	23,79	14,39	18,80	11,51	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54	9,30

Apêndice 11. Rendimento do milho no ano de 1995/96. EEA/UFRGS, 1997.

Sistema de preparo	Sistema de cultura	Tratamento	Rendimento		
			Repetição		
			I	II	III
-----kg/ha-----					
Convencional	A/M	SD	3289	2304	3566
		0	3012	2950	2658
		90	5736	5490	7521
		180	7460	7845	8075
	V/M	SD	4120	3197	3597
		0	5397	5351	5321
		90	8075	6783	8322
		180	8199	7937	8245
	A+V/M+C	SD	3612	3343	3289
		0	4305	4274	4566
		90	8983	6844	8291
		180	8722	8168	7013
Reduzido	A/M	SD	3977	2150	4120
		0	4228	2550	3874
		90	7090	6059	7429
		180	8152	8106	7521
	V/M	SD	5013	2658	4182
		0	5474	4905	5982
		90	7814	8060	9337
		180	7537	7937	8306

Tabela continua

Continuação Tabela

Sistema de preparo	Sistema de cultura	Tratamento	Rendimento		
			Repetição		
			I	II	III
			-----kg/ha-----		
Reduzido	A+V/M+C	SD	3720	1700	2460
		0	6275	4936	4582
		90	8137	6921	8045
		180	8814	7491	8799
Plantio Direto	A/M	SD	2442	2519	2442
		0	2081	1935	2704
		90	5659	5228	6998
		180	7521	8306	7552
	E/M	SD	4196	2781	2796
		0	5244	4951	4736
		90	6382	6706	8629
		180	8075	8060	8060
	A+V/M+C	SD	3674	3397	2704
		0	4967	3427	3812
		90	7167	7106	7383
		180	8599	8506	8906

Apêndice 12. Estimativa do custo de produção do milho mecanizado com produtividade base de 4500 kg/ha. Ano base 1996/97.

Sistema de cultura	Custo Total em 01/10/96		
	Sem adubação N	Com adubação N (kg/ha)	
	0	90	180
	-----R\$/ha-----		
A/M	460	512	564
V/M	469	521	573
A- V/M+C	478	530	582

Adaptado: Fecotrigo: Assessoria Econômica (1997)

Indicadores Econômicos utilizados: Preço do milho: R\$ 0,12/kg, preço do N (uréia): R\$ 0,58/kg N fertilizante, semente de aveia: R\$ 0,415/kg, semente de aveia+vica: R\$ 0,60/kg e vica: R\$ 0,850/kg.

Apêndice 13. Equações utilizadas no ajuste da curva de resposta de rendimento do milho a doses de nitrogênio mineral aplicado. EEA/UFRGS, 1997.

Sistemas de cultura	Equação
Aveia/milho	$Y = 2888 + 49,588.X - 0,1227.X^2$
Aveia+Vica/milho	$Y = 4571 - 47,578.X - 0,1481.X^2$
Vica/milho	$Y = 5266 + 40,683.X - 0,1404.X^2$

VITA

Telmo Jorge Carneiro Amado, filho de Telmo Amado e Carlinda Carneiro Amado, nasceu em 24 de novembro de 1959, em Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul.

Estudou no Colégio João Neves da Fontoura, onde completou seus estudos de primeiro e segundo graus. Em 1978 ingressou na Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria graduando-se como Engenheiro-Agrônomo em 1982. Em fevereiro de 1983 iniciou seus estudos de Mestrado em Ciência do Solo no Programa da Pós-Graduação da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul titulando-se como Mestre em Agronomia em 1985. De 1985 a 1990 exerceu atividades profissionais como pesquisador na EMPASC. Em 1990 transferiu-se para Universidade Federal de Santa Maria onde ocupa o cargo de professor assistente. Em 1994 iniciou seus estudos de Doutorado em Ciência do Solo no Programa da Pós-Graduação da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.