

TANGRIANI SIMIONI ASSMANN

**RENDIMENTO DE MILHO EM ÁREA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-
PECUÁRIA SOB O SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, EM PRESENÇA
E AUSÊNCIA DE TREVO BRANCO, PASTEJO E NITROGÊNIO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Ronzelli Júnior

CURITIBA
2001



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E FITOSSANITARISMO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL

PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de DOUTORADO, apresentada pela candidata **TANGRIANI SIMIONI ASSMANN**, sob o título "**RENDIMENTO DE MILHO EM ÁREA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA SOB O SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, EM PRESENÇA E AUSÊNCIA DE TREVO BRANCO, PASTEJO E NITROGÊNIO**", para obtenção do grau de Doutor em Ciências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido a candidata são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Tese.

Curitiba, 20 de Setembro de 2001.

Dr. Delmar Pöttker
Primeiro Examinador

Professor Dr. João Carlos de Moraes Sá
Segundo Examinador

Professor Dr. Paulo César de Faccio Carvalho
Terceiro Examinador

Professor Dr. Adelino Pelissari
Quarto Examinador

Professor Dr. Pedro Ronzelli Júnior
Presidente da Banca e Orientador

*Ao meu filho Lucas,
Ao meu esposo e colega de profissão Alceu,
Ao meu pai Benito e
À minha mãe Izzi*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao professor Pedro Ronzelli Júnior, pela orientação, amizade, incentivo e orientação segura.

Ao professor Anibal de Moraes, pela co-orientação, amizade e por sempre acreditar que tudo é possível.

Ao professor Henrique Soares Koelher, pela amizade, dedicação e valiosas sugestões.

Ao professor Flávio Felipe Kircher pela amizade e colaboração.

Ao Engenheiro Agrônomo Itacir Sandini pela amizade e pelo apoio e orientação na instalação e condução do experimento.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná pelos ensinamentos ministrados e amizade.

À administração da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária pela colaboração para o desenvolvimento do projeto.

À administração da Empresa Syngenta Proteção de Cultivos Ltda, pelas facilidades concedidas para a execução do trabalho experimental.

Ao meu marido e colega de curso pela colaboração e companheirismo.

A todos meus familiares, pelo apoio, compreensão e confiança depositada.

Aos colegas da Pós-Graduação que além de grandes amigos, várias vezes, muito me ensinaram.

À administração do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná e aos meus amigos, professores do curso de Agronomia da Unidade de Pato Branco, que possibilitaram a execução deste trabalho.

A todos meus amigos que de forma direta ou indireta auxiliaram na execução desta obra.

Sonho Domado

*Sei que é preciso sonhar.
Campo sem orvalho, seca
A frente de quem não sonha.
Quem não sonha o azul do vôo
perde seu poder de pássaro.
A realidade da relva
cresce em sonho no sereno
para não ser relva apenas,
mas a relva que se sonha.
Não vinga o sonho da folha
se não crescer incrustado
no sonho que se fez árvore.
Sonhar, mas sem deixar nunca
que o sol do sonho se arraste
pelas campinas do vento.
É sonhar, mas cavalgando
o sonho e inventando o chão
para o sonho florescer".*

Thiago de Mello

BIOGRAFIA DA AUTORA

TANGRIANI SIMIONI ASSMANN, filha de Benito Simione e de Ilzi Massolin Simioni, nasceu em Curitiba, Estado do Paraná, aos 03 de julho de 1967. É casada com Alceu Luiz Assmann e mãe de um filho, Lucas Simioni Assmann.

Cursou o ensino de primeiro e segundo graus em Curitiba, PR. Em 1985 ingressou no Curso de Agronomia na Universidade Federal do Paraná, tendo, em 1990, recebido o grau de Engenheira Agrônoma. Em 1991 iniciou o curso de Mestrado, área de concentração em Ciência do Solo, nesta mesma Universidade, obtendo o grau de Mestre em Ciência em 1995.

De 1992 à janeiro de 1994 trabalhou na Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Curitiba, PR e, de fevereiro de 1994 até o presente faz parte do quadro de professores do Curso de Agronomia do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Unidade de Pato Branco. Em março de 1998 iniciou o Curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, no Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo da Universidade Federal do Paraná. De abril de 2000 à março de 2001 participou do programa de Doutorado Sanduíche (CAPES) no Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de Clermont Ferrand, França.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA.....	3
2.1 ROTAÇÃO LAVOURA-PASTAGENS.....	3
2.2 NITROGÊNIO NO SISTEMA LAVOURA-PECUÁRIA.....	4
2.2.1 Matéria orgânica (MO), nitrogênio e carbono no solo.....	4
2.2.2 Perdas e contribuições do N-fertilizante.....	6
2.2.3 Lixiviação de N e textura do solo.....	7
2.2.4 N ₂ fixado por leguminosas e transferência para gramíneas na fase de pastejo..	8
2.2.5 Transferência do N para a cultura agrícola.....	10
2.2.6 Animais e a ciclagem de nitrogênio.....	12
3 METODOLOGIA.....	17
3.1 FASE I – INVERNO.....	18
3.1.1 Médias de temperaturas máximas, mínimas e precipitação.....	18
3.1.2 Condução do experimento.....	18
3.1.3 Matéria seca residual e composição botânica das pastagens.....	22
3.2 FASE II – VERÃO.....	22
3.2.1 Médias de temperaturas máximas, mínimas e precipitação.....	22
3.2.2 Condução do experimento.....	22

3.2.3 Produtividade de grãos.....	23
3.2.4 Coleta e análises de solo	24
3.2.5 Coleta e análise foliar.....	25
3.2.6 Análise estatística.....	25
3.2.7 Máxima eficiência técnica (MET)	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 ACÚMULO DE MASSA SECA (MS), E PORCENTAGEM DE SOLO DESCOBERTO PARA O PLANTIO DIRETO DO MILHO	27
4.1.1 Massa seca de forragem acumulada.....	27
4.1.2 Porcentagem de trevo na composição botânica da pastagem.....	29
4.1.3 Porcentagem de solo descoberto.....	30
4.2 NITROGÊNIO NO SOLO.....	31
4.2.1 Nitrato (N-NO ₃ ⁻).....	31
4.2.2 Amônio (N-NH ₄ ⁺).....	34
4.2.3 Nitrogênio mineral (N-NO ₃ ⁻ + N-NH ₄ ⁺)	35
4.3 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.....	38
4.3.1 Nitrogênio foliar	43
5 CONCLUSÕES.....	48
REFERÊNCIAS	49
ANEXOS.....	59

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Médias das temperaturas máximas e mínimas e média da precipitação, a cada mês, durante o período de março à outubro de 1999, observadas na Estação Metereológica de Entre Rios, Guarapuava, PR, 1999/2000.....	19
FIGURA 2 - Esquema de distribuição de parcela e subparcela do experimento, Guarapuava, PR, 1999/2000.....	20
FIGURA 3 - Croqui da área experimental da Fase I – Inverno (ST = Sem Trevo; CT = Com Trevo; N-TI = N Tratamento de Inverno), Guarapuava, PR, 1999/2000.....	21
FIGURA 4 - Médias das temperaturas máximas e mínimas e média da precipitação, a cada intervalo de 10 dias, durante o período de outubro/1999 a abril de 2000, na Estação Metereológica de Entre Rios, Guarapuava, PR, 1999/2000.....	23
FIGURA 5 - Croqui da área (Fase II – Verão), Guarapuava, PR, 1999/2000.....	24
FIGURA 6 - Datas de aplicação dos tratamentos em função dos Dias Após a Emergência (DAE) da cultura do milho, Guarapuava, PR, 1999/2000 ..	25
FIGURA 7 - Produção de massa seca em função de doses de N aplicadas no inverno (N-TI), Guarapuava, PR, 1999/2000.....	28
FIGURA 8 - Porcentagem de solo descoberto em função de doses de N aplicadas no inverno (N-TI) em presença (CT) ou ausência (ST) de trevo, 18 dias após a retirada dos animais, Guarapuava, PR, 1999/2000.....	31
FIGURA 9 - Teores de $N-NO_3^-$ no solo em função de doses crescentes de N aplicados no inverno (N-TI), nas áreas Sem Trevo e Sem Pastejo (STSP), nas áreas Sem Trevo e Com Pastejo (STCP), nas áreas Com Trevo e Sem Pastejo (CTSP) e nas áreas Com Trevo e Com Pastejo (CTCP), Guarapuava, PR, 1999/2000.....	32
FIGURA 10 - Teores de $N-NH_4$ no solo em função de doses crescentes de N aplicados no inverno (N-TI) em áreas Sem Trevo (ST) e Com Trevo (CP), Guarapuava, PR, 1999/2000.....	34
FIGURA 11 - Teores de N-mineral no solo em função de doses crescentes de N aplicadas no inverno (N-TI) nas áreas Sem Pastejo (SP) e Com Pastejo (CP), Guarapuava, PR, 1999/2000.....	36

FIGURA 12 - Teores de N-mineral no solo em função de doses crescentes de N aplicados no inverno (N-TI) nas áreas Sem Trevo (ST) e Com Trevo (CT), Guarapuava, PR, 1999/2000	36
FIGURA 13 - Produtividade de grãos de milho ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em função de doses crescentes de nitrogênio aplicadas no inverno (N-TI) em áreas Sem Pastejo (SP) e Com Pastejo (CP), Guarapuava, PR, 1999/2000	39
FIGURA 14 - Produtividade de grãos de milho em função de doses crescentes de N aplicadas no verão (N-TV) e no inverno (N-TI), Guarapuava, PR, 1999/2000.....	41
FIGURA 15 - Produtividade de grãos de milho para as parcelas que receberam 0 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N como adubação de verão (N-TV) em função acúmulo de massa seca resultante do rebrote da cultura de inverno, Guarapuava, PR, 1999/2000.....	42
FIGURA 16 - Produtividade de grãos de milho para as parcelas que receberam 60 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N como adubação de verão (N-TV) em função acúmulo de massa seca resultante do rebrote da cultura de inverno, Guarapuava, PR, 1999/2000.....	42
FIGURA 17 - Teores de N-foliar no milho ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) em função das doses de N aplicadas no inverno (N-TI) em áreas Sem Trevo (ST) e Com Trevo (CT), Guarapuava, PR, 1999/2000	44
FIGURA 18 - Teores de N-foliar no milho ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) em função de doses crescentes de N aplicadas no milho verão (N-TV) e no inverno (N-TI), Guarapuava, PR, 1999/2000	45
FIGURA 19 - Produtividade de grãos de milho em função de teores de N-foliar (Interação N-TI x NTV), Guarapuava, PR, 1999/2000	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Coeficientes de repartição do nitrogênio da urina e das fezes	14
TABELA 2 -	Rotação de cultura utilizada na área experimental desde o inverno de 1995, Guarapuava, PR	17
TABELA 3 -	Características químicas do solo antes do início do experimento (Fase I), Guarapuava, PR, 1999/2000	18
TABELA 4 -	Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R^2) e número de observações (n) dos teores de $N-NO_3^-$ no solo em função de doses crescentes de N aplicados no inverno (N-TI), nas áreas Sem Trevo e Sem Pastejo (STSP), nas áreas Sem Trevo e Com Pastejo (STCP), nas áreas Com Trevo e Sem Pastejo (CTSP) e nas áreas Com Trevo e Com Pastejo (CTCP), Guarapuava, PR, 1999/2000	33
TABELA 5 -	Teores de $N-NO_3^-$ no solo em função da profundidade de solo amostrada, Guarapuava, PR, 1999/2000	33
TABELA 6 -	Teores de $N-NH_4^+$ no solo em função da profundidade de solo amostrada, Guarapuava, PR, 1999/2000	35
TABELA 7 -	Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R^2) e número de observações (n) dos teores de N-mineral no solo em função de doses crescentes de N aplicadas no inverno (N-TI) nas áreas Sem Pastejo (SP), Com Pastejo (CP), Sem Trevo (ST) e Com Trevo (CP), Guarapuava, PR, 1999/2000	37
TABELA 8 -	Teores de N-mineral no solo em função da profundidade de solo amostrada, Guarapuava, PR, 1999/2000	38
TABELA 9 -	Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R^2) e número de observações (n) da produtividade de grãos de milho ($kg.ha^{-1}$) em função de doses crescentes de nitrogênio aplicadas no inverno (N-TI) em áreas Sem Pastejo (SP) e Com Pastejo (CP), Guarapuava, PR, 1999/2000	39
TABELA 10 -	Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R^2) e número de observações (n) da produtividade de grãos de milho em função de doses crescentes de N aplicadas no milho no verão (N-TV) e no inverno (N-TI), Guarapuava, PR, 1999/2000	41
TABELA 11 -	Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R^2) e número de observações (n) dos teores de N-foliar no	

milho (g.kg^{-1}) em função das doses de N aplicadas no inverno (N-TI) em áreas Sem Trevo (ST) e Com Trevo (CT), Guarapuava, PR, 1999/2000.....	44
TABELA 12 - Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R^2) e número de observações (n) dos teores de N-foliar no milho (g.kg^{-1}) em função de crescentes de N aplicadas no milho no verão (N-TV) e no inverno (N-TI), Guarapuava, PR, 1999/2000.....	46
TABELA 13 - Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R) e número de observações (n) da produtividade de grãos de milho em função do N-foliar no milho (g.kg^{-1}) dentro de cada dose de N aplicada no inverno (N-TI), Guarapuava, PR, 1999/2000	47

LISTA DE ABREVIATURAS

CP	Subparcelas Com Pastejo no inverno
CT	Subparcelas Com Trevo
DAE	Dias Após a Emergência
MET	Máxima Eficiência Técnica
N-TI	Nitrogênio aplicado na forma de uréia no período de inverno (Fase I)
N-TV	Nitrogênio aplicado na forma de uréia no período de verão (Fase II)
SP	Subparcelas Sem Pastejo no inverno
ST	Subparcelas Sem Trevo
MO	Matéria Orgânica

RESUMO

O trabalho experimental foi conduzido no campo, na Estação Experimental da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), nos anos agrícolas de 1999 e 2000, com o objetivo de verificar a influência da adubação nitrogenada residual para a cultura do milho, em sistema de plantio direto, em presença e ausência tanto de trevo branco quanto de animais em pastejo. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições. Os tratamentos foram arranjos em parcelas subdivididas. No inverno, nas parcelas, foram colocados quatro níveis de nitrogênio (N-TI = 0, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹ de N) e, nas subparcelas, a combinação de presença e ausência de trevo branco e de pastejo (CT = com trevo; ST = sem trevo; CP = com pastejo e SP = sem pastejo). No verão, em cada subparcela proveniente do inverno, foram colocadas cinco doses de N, em cobertura, (N-TV = 0, 60, 120, 180 e 240 kg.ha⁻¹ de N) e cultivado o milho. Dezoito dias após a retirada dos animais a máxima eficiência técnica de rebrote da cultura de inverno foi obtida com 231 kg.ha⁻¹ de N (N-TI). As áreas CP/N-TI mostraram tendência de apresentar maiores produtividades do milho que as áreas SP. As áreas sem N-TI produziram mais milho em subparcelas SP. As parcelas que receberam 300 kg.ha⁻¹ de N N-TI não mostraram resposta do milho ao N-TV, comprovando o efeito residual do N-TI. Conclui-se que a interação entre pastejo e N-TI contribui para a nutrição nitrogenada da cultura do milho.

Palavras-chave: milho, *Zea mays*, integração lavoura-pecuária, nitrogênio

ABSTRACT

A field experiment was carried out, during the 1999 and 2000 growing season, at the Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária [Agrarian Foundation for Agricultural and Cattle Research] (FAPA), in Guarapuava, state of Paraná, Brazil, with the objective to verify the influence of the residual nitrogen fertilization on maize crop, on no tillage system, in presence and absence of white clover and grazing. The experimental design was the complete randomized blocks with three replications. The treatments were arranged in split-plot model. During the previous Winter season four N levels (N-TI = 0, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹ de N), were applied to the main plots, and the combination of presence and absence of white clover and grazing (CT = clover presence; ST = clover absence; CP = grazing presence, and SP = grazing absence), to the sub-plots. At the Summer season in each sub-plot prepared during the previous Winter season five N cover levels (N-TV = 0, 60, 120, 180 e 240 kg.ha⁻¹ de N), were applied and corn cultivated. Eighteen days after the animals were removed out of the plots, the best technical re-growth efficiency of Winter plants was obtained with 231 kg.ha⁻¹ de N (N-TI). The areas CP/N-TI showed tendency to present better corn production. The areas without N-TI yielded more in the SP subplots. The plots that received 300 kg.ha⁻¹ de N N-TV did not show corn response to the N-TV, confirming the residual effect of N-TI. The conclusion is that the interaction between grazing and N-TI contributes to the maize nitrogen.

Key-words: corn, *Zea mays*, crop-pasture rotation, nitrogen

1 INTRODUÇÃO

A aplicação em larga escala de fertilizantes, muitas vezes exigida pelos sistemas agrícolas intensivos, vem se tornando impraticável por motivos econômicos e/ou ambientais. É necessário o estudo de modelos agrícolas que dependam menos da entrada de insumos e que reduzam o custo de produção tornando-os mais eficientes.

O nitrogênio é responsável por grande parte do gasto com as adubações, além de ser um dos elementos que mais contribui para a contaminação de lençóis freáticos. A utilização de fabáceas (leguminosas) em arranjos espaciais (consórcios) ou temporais (rotações) colaboraria para redução ou até mesmo eliminação destes gastos. Contudo, apenas o plantio de leguminosas, sem que estas apresentem retorno econômico imediato, desestimula a adoção desta prática pelos agricultores. Por outro lado, atualmente são poucas as opções agrícolas de inverno e estas, muitas vezes, estão sujeitas à grandes variações de comercialização.

Na safra 1996/97, aproximadamente quatro milhões de hectares da área de basalto, no terceiro planalto paranaense, foram utilizados no verão para produção de grãos, especialmente de soja e de milho. Em razão da baixa rentabilidade da exploração de cereais de inverno e da ausência de outras alternativas, apenas 28% desta mesma área foi utilizada no inverno com culturas rentáveis. Nos 72% restantes foram plantadas, apenas, culturas protetoras de solo, ou então deixados em pousio (SEAB, 1997). Igual situação tem sido empiricamente observada nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Além disso, nos casos dos sistemas exclusivamente agrícolas, cujas áreas durante o inverno são destinadas ao pousio, são grandes as perdas de nitrogênio, seja por volatilização, lixiviação, desnitrificação e erosão. Já em áreas em que, no inverno, são utilizadas poáceas (gramíneas) ou consórcios de gramíneas/leguminosas, ocorrem reduções na taxa de perdas de nitrogênio além de aumentos na eficiência de ciclagem deste nutriente.

Têm sido observados aumentos nos níveis de fertilidade dos solos, quando da utilização da rotação lavoura-pecuária e do plantio direto, no entanto, isso não tem resultado em redução da quantidade de adubos utilizados. Neste aspecto torna-se vital que a pesquisa e a extensão produzam e popularizem informações que assegurem tomadas de

decisão precisas por parte de técnicos e agricultores. O conhecimento de alterações, em condições específicas de solo e clima, é importante no entendimento da potencialidade dos sistemas de manejo, em relação à produtividade de culturas e da adoção, de práticas no sentido de contornar possíveis limitações advindas da sua utilização (Bayer e Mielniczuk, 1997a).

No Paraná, até o presente, são poucos os estudos do efeito do animal sobre as condições edafológicas, conhecimento de fundamental importância para o entendimento das interações entre solo, planta e animal para estabelecer sistemas de produção mais sustentáveis. Essa pesquisa baseou-se em três hipóteses e na interação das mesmas: a) a presença de uma fabácea (trevo branco) contribui com aporte de N o que dispensaria, parcial ou totalmente, a adubação nitrogenada; b) o pastejo altera, favoravelmente, a dinâmica de ciclagem do N para o cultivo de milho; e c) o nitrogênio residual, resultante da aplicação na pastagem de inverno, poderia influenciar a cultura de milho cultivada posteriormente. Assim, objetivou-se verificar o efeito residual do nitrogênio para o milho cultivado em áreas onde houve a combinação dos fatores: a) doses de N; b) presença ou não de animais pastejando; e c) presença ou não de trevo branco.

2 REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA

2.1 ROTAÇÃO LAVOURA-PASTAGENS

O sistema de rotação lavoura-pastagens é praticado nos países de clima temperado, embora o aumento de especialização da produção de culturas, a disponibilidade de fertilizantes nitrogenados baratos e mudanças em incentivos econômicos em décadas anteriores tenham reduzido a ocorrência de fazendas que explorem, em uma mesma área, atividades agrícolas e pecuárias. Na Europa e na América do Norte ainda existem sistemas integrados lavoura-pecuária baseados em trevos (*Trifolium spp*) e alfafa (*Medicago sativa*) (Humphreys, 1994).

Segundo Humphreys (1994) e Mohamed Sallem e Fisher (1993) a inclusão de forrageiras no sistema agrícola assegura vantagens tais como: a) manutenção das características físicas, químicas e biológicas do solo; b) controle da erosão; c) uso mais eficiente dos recursos ambientais e controle da poluição; d) aumento de culturas de proteção; aumentos nos níveis de produção animal e grãos; f) rentabilidade maior e mais estável; g) incremento no controle de plantas daninhas; e h) quebra de ciclos de pragas e doenças.

A rotação lavoura-pastagens aparece como uma das estratégias mais promissoras para desenvolver sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos, e por sua vez mais sustentáveis no tempo. Existe grande quantidade de trabalhos realizados que mostram o efeito depressor acarretado por vários anos de agricultura contínua sobre várias propriedades do solo. O efeito é invertido a medida que aumenta o número de anos sucessivos com pastagens (Panigatti, 1992; Diaz Rossello, 1992; Baethgen, 1992).

A exploração de áreas de inverno para a produção de carne pode aumentar a renda líquida da propriedade otimizando, desta forma, os custos de implantação de lavouras. Estes sistemas, por sua vez, são dinâmicos e se alteram em função das demandas de mercado, como se tem observado empiricamente. Os sistemas integrados lavoura-pecuária nunca foram largamente adotados nos trópicos e subtropicais, não obstante os esforços de pesquisadores e extensionistas.

2.2 NITROGÊNIO NO SISTEMA LAVOURA-PECUÁRIA

Quando as culturas anuais são comparadas às pastagens, estas últimas constituem um agrossistema particular que se caracteriza pela complexidade do ciclo e sub-ciclos do nitrogênio (Whitehead, 1995). A interação funcional mais importante nas agriculturas de rotação é aquela relacionada com as fases de acumulação e remoção do nitrogênio (N) no solo. O conhecimento mais preciso destes ciclos de descarga e recarga em diferentes ambientes e condições de manejo é um fator básico para selecionar a rotação mais adequada.

Nos últimos anos o incremento da fertilização nitrogenada combinada ao uso de altas cargas animais tem permitido aumentar a produtividade das superfícies pastejadas e manter os rendimentos individuais dos animais. No entanto, as novas restrições agro-ambientais estão conduzindo ao desenvolvimento de sistemas de pastejo dentro de conjuntos menos intensivos, visando diversificar as entradas de nitrogênio e a otimizar sua valorização para reduzir os riscos de perdas do nitrogênio principalmente em zonas de agriculturas intensivas. Pode-se também atribuir razões econômicas de manejo dos custos de produção (Humphreys, 1994).

2.2.1 Matéria orgânica (MO), nitrogênio e carbono no solo

Segundo Bayer e Mielniczuk (1999) o cultivo do solo promove alterações nas taxas de adição efetiva e de perda de matéria orgânica (MO), resultando numa variação nos seus conteúdos. Após um longo período sob manejo constantes, os teores de MO tendem novamente a estabilização. As taxas de perda de MO são influenciadas especialmente pelo preparo do solo, em particular pela intensidade de revolvimento, devido à influência que esta apresenta sobre a temperatura, umidade e aeração, ruptura de agregados, grau de fraturamento e incorporação dos resíduos culturais e pela cobertura do solo (Bayer e Mielniczuk, 1997a).

A recuperação dos teores de MO pode ser feita pela implantação de pastagens (Greenland, 1971) ou, no caso de sistemas de produção intensivos, pela redução do revolvimento do solo e da adoção de um sistema de rotação de culturas com a inclusão de espécies de alta produção de resíduos (Testa *et al.*, 1992; Mielniczuk *et al.*, 1993; Bayer e Mielniczuk, 1997a; Bayer e Mielniczuk, 1997b). Bayer (1996) observou que, após nove

anos, a associação do plantio direto ao sistema aveia+vica/milho+caupi, os quais apresentam menor taxa de decomposição de MO e maior taxa de adição de resíduo ao solo, respectivamente, e do preparo convencional e sistema aveia/milho que apresentam maior taxa de decomposição de MO e menor taxa de adição de resíduos, resultou em diferenças na quantidade de carbono orgânico e nitrogênio total no solo. Por meio de modelo matemático unicompartmental da dinâmica da MO no solo foram estimadas as taxas de decomposição e os conteúdos estáveis de carbono orgânico e nitrogênio total. A taxa de decomposição da matéria orgânica foi estimada em 2,9% no plantio direto e em 5,4% no preparo convencional.

Na Austrália, Helyar *et al.* (1997) estudando uma rotação trigo-pastagens anuais constataram que inicialmente o conteúdo de N e as concentrações de carbono orgânico no solo (0-10 cm) eram baixas, 1.300-1.400 kg.ha⁻¹ de N e 7 a 9 mg.dm⁻³ de carbono orgânico. A taxa de incremento do nitrogênio total na camada superficial de 20 cm aumentou com a proporção do tempo de pastagem na rotação, variando de 2, 12 e 21 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de N para relações entre pastagens/culturas na rotação variando de 0,33, 0,50 e 0,67. O carbono orgânico aumentou mais rapidamente à medida que aumentava a proporção de pastagem na rotação e não foram encontradas evidências de estabilização de concentração do elemento mesmo após 18 anos de estudo da rotação, variando de 8,8 a 10,5 g.dm⁻³ de C na profundidade de 0 – 10 cm.

Segundo Duxbury *et al.* (1989) e Schulz e Körschens (1998) a matéria orgânica do solo pode ser dividida em duas partes: a) o compartimento de maior tamanho, classificado como parte inerte da matéria orgânica, que varia principalmente com as condições do local, tais como textura, temperatura, precipitação e apresenta uma grande correlação entre o C orgânico e a textura do solo, especialmente para os solos com partículas inferiores a 63 µm (argila e silte fino); e b) o compartimento de menor tamanho e mais ativo da matéria orgânica do solo, classificado como parte "decomponível" da matéria orgânica e que varia especialmente de acordo com o sistema de manejo, tais como, uso de fertilizantes orgânicos e/ou minerais e a qualidade e quantidade do material colhido e dos resíduos de raízes. Sendo assim, como as alterações de manejo em valores absolutos atuam sobre um compartimento de menor tamanho, mas de grande atividade, estas alterações não são perceptíveis quando são examinados os teores totais de C e N.

Em experimentos conduzidos por sete anos com azevém perene (*Lolium perenne*) e trevo branco (*Trifolium repens*) em associações ou em cultivos isolados, não foi constatada influência do sistema de manejo sobre os teores de N e C total do solo, os

quais permaneceram inalterados (Elgersma e Hassink, 1997; Tao Kong *et al.*, 1993).

2.2.2 Perdas e contribuições do N-fertilizante

A capacidade das gramíneas absorverem N, expressa em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, é alta quando comparada com outros cultivos e, em condições favoráveis pode ser de mais de $500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Entretanto, existe uma larga variação na taxa de absorção diária, a qual depende de fatores tais como estágio de crescimento da gramínea, e intervalo desde a aplicação da última fertilização e/ou desfolha (Whitehead, 1995).

A recuperação aparente de N é definida como a quantidade de N na forrageira de uma parcela fertilizada, menos a quantidade de N na forrageira de uma parcela não fertilizada com N. A quantidade de N desta última parcela é uma estimativa do suprimento de N pelo solo e atmosfera. Conforme essa definição a quantidade de N recuperada dos fertilizantes nitrogenados pelas gramíneas fica usualmente entre 50% e 80%, e freqüentemente ao redor de 65%-70% (Whitehead, 1995).

Høgh-Jensen e Schjoerring (1997) constataram que a associação trevo-azevém perene recuperou até 46% do N aplicado na forma de uréia. Esta taxa de recuperação da uréia é comum devido a volatilização do NH_3 (Haynes e Willians, 1993 e Whitehead, 1995). No trabalho também observou-se que o trevo em mistura é um competidor fraco por nitrogênio inorgânico, uma vez que este absorveu apenas 11% do N-total acumulado na mistura. O azevém em associações recuperou maiores quantidades de N derivado do solo do que quando em cultivo solteiro. Portanto a vantagem de cultivo de consórcios não é apenas uma questão de transferência de N derivado atmosféricamente do trevo para o azevém, mas também significa um aumento da quantidade de extração do N do solo.

Uma maior eficiência da adubação nitrogenada pode ser observada quando o nutriente é aplicado em plantas que apresentam sistema radicular mais desenvolvido o que proporcionaria maior absorção de N pelas plantas. A presença de maiores teores de matéria orgânica contribui para imobilização temporal do nutriente que posteriormente ficaria disponível para as próximas culturas. Tais fatores reduzem os índices de perdas de N (Korndörfer *et al.*, 1997).

Para cultivos exclusivamente agrícolas, Korndörfer *et al.* (1997) obtiveram taxa de aproveitamento pela cana-planta de 87%, dos $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N aplicados na forma de uréia, e com o índice de aproveitamento baixando para 48%, quando foram aplicados $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N.

Segundo Bremmer (1995) o risco de perdas gasosas por volatilização de amônia é particularmente alto em sistemas reduzidos de manejo agrícolas, nos quais a uréia é aplicada superficialmente. A maior atividade da urease da palhada em relação ao solo deve facilitar a rápida hidrólise do N-amídico, favorecendo sua volatilização (Eckert *et al.*, 1986).

Em experimentos a campo foram registradas perdas de N variando de 40% até 78%, sendo que os maiores valores ocorrem em sistemas de plantio direto, com aplicação de doses elevadas de uréia e condições adversas de precipitação (Alfaia, 1997; Bayer e Mielniczuk, 1997b; Korndörfer *et al.*, 1997; Lara Cabezas *et al.*, 1997a e Lara Cabezas *et al.*, 1997b). Foram observadas perdas de até 50,8% de N-uréia decorridas 192 h após aplicação do fertilizante (Lara Cabezas *et al.*, 1997b).

No caso de pastagens, as quantidades de N perdidas por volatilização da amônia são bem menores. Jarvis *et al.* (1989) estudando gramíneas pastejadas que receberam taxa de adubação anual de 420 kg.ha⁻¹, estimaram que a quantidade de amônia volatilizada foi de 25 kg.ha⁻¹ de N, o que corresponderia a 6% do N da quantidade do adubo aplicado ou a 12% do N-urina.

2.2.3 Lixiviação de N e textura do solo

Muitas pesquisas têm identificado a maioria dos fatores determinantes para a magnitude de lixiviação de N. Dois desses fatores são textura e conteúdo de matéria orgânica do solo. Bergström e Johansson (1991) constataram que as maiores perdas de N-NO₃⁻ por lixiviação (65 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de N) ocorreram em solos arenosos que continham pequena quantidade de matéria orgânica. As menores perdas de N (20 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de N) ocorreram nos solos argilosos ou nos solos arenosos ricos em matéria orgânica. Macduff *et al.* (1990), citado por Whitehead, (1995) também observaram taxas de lixiviação de nitratos duas a três vezes maiores em solos arenosos que aquelas constatadas em solos argilosos.

Eriksen e Søgaard (2000) conduziram um experimento em solo siltoso e constataram que o manejo de forrageiras (corte ou pastejo) teve pequena influência sobre a lixiviação subsequente do nitrato, a qual variou 6 a 36 kg.ha⁻¹ de N, mesmo quando a soma de adubações nitrogenadas, dos últimos três anos, variaram de 36 a 984 kg.ha⁻¹ de N. Isto indicou que uma perda substancial de N ocorreu durante a condução da forrageira e constataram que a aplicação de fertilizantes nitrogenados em cereais cultivados na

seqüência teve mais influência sobre os teores de N-NO_3^- lixiviados.

Armstrong *et al.* (1998) trabalhando em um solo argiloso não encontraram diferenças nos teores de N-NO_3^- do solo em profundidades inferiores a 0-10 cm provocados por distintas aplicações de N (resíduos vegetais, adubos minerais).

2.2.4 N_2 fixado por leguminosas e transferência para gramíneas na fase de pastejo

Existe uma grande variação na quantidade de N_2 fixado por todas as espécies de leguminosas. Por exemplo, para o trevo branco (*Trifolium repens*), esta quantidade pode chegar a mais de 500 kg.ha^{-1} de N. Contudo, a quantidade usual de fixação para o consórcio gramínea-trevo na Nova Zelândia varia entre 85 e 350 kg.ha^{-1} de N (Hoglund *et al.*, 1979; Caradus, 1990; Hoglund *et al.*, 1979; Ledgard *et al.*, 1990).

A quantidade de N_2 fixado no consórcio gramínea-trevo freqüentemente reflete o vigor do crescimento do trevo, e devido a isto é usualmente limitada por fatores tais como temperatura, água ou suprimento de nutrientes e pela competição com as gramíneas. A presença de N inorgânico suprime a fixação de N_2 por meio da redução da atividade da nitrogenase, pelo decréscimo da formação de nódulos e, algumas vezes, devido ao aumento da taxa de senescência dos nódulos (Hoglund e Brock, 1987). No consórcio gramínea-trevo o N inorgânico também aumenta a força de competição das gramíneas e, conseqüentemente, pode reduzir a fixação de N_2 por unidade de área (Whitehead, 1995).

Quando o trevo cresce em consórcio com gramíneas, maior proporção de N é derivada da fixação que quando é cultivado isoladamente, sendo que esta proporção tende a aumentar com o incremento da relação gramínea/trevo. Em experimento de corte, em parcelas cultivadas com consórcio gramínea-trevo, a proporção do N-total na parte aérea do trevo atribuída a fixação foi, em média, de 75% para o trevo branco e de 86% para o trevo vermelho (*Trifolium pratense*) e a aplicação de fertilizante nitrogenado (30 kg.ha^{-1} de N por corte) pouco influenciou estas proporções (Boller e Nösberger, 1987). Na Nova Zelândia, em consórcios bem manejados, a fixação de N freqüentemente contribui com aproximadamente 40% do N total da cobertura vegetal (Hogland e Brock, 1987). Contudo, a quantidade total de N_2 fixado, por unidade de área, é geralmente maior com cultivos de trevo isolado que em consórcios gramínea-trevo. Boller e Nösberger (1987) sugeriram que três condições básicas devem ser atendidas para atingir-se fixação de N superior a $200 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ pelo trevo em consórcio: a) condições climáticas e de solo devem permitir produção de massa seca maior que $10.000 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$; b) a proporção de trevo presente

no consórcio deve ser de pelo menos 50%; e c) no mínimo 70% do N total presente no trevo deve ser proveniente da fixação biológica.

Em muitos estudos de consórcio gramínea-trevo a quantidade de N fixada foi maior nos segundo e terceiro anos de cultivo e apresentou declínio deste ponto em diante. Um dos motivos deste declínio é que, depois de um desenvolvimento inicial do consórcio gramínea-trevo, ocorre aumento no suprimento de N do solo, particularmente se o consórcio foi pastejado. Este aumento tende a reduzir a fixação e ao mesmo tempo aumentar o crescimento de gramíneas e, conseqüentemente, a competição com o trevo (Loiseau *et al.*, 2000).

Quando uma leguminosa cresce em associação com uma gramínea, esta inevitavelmente influenciará o crescimento daquela e, também, a taxa de fixação de N₂. Embora as gramíneas diminuam a quantidade de N inorgânico disponível para as leguminosas e por esta razão ocorre uma tendência de aumento do N₂ fixado por unidade de área, também ocorre tendência de redução no crescimento das leguminosas devido a competição (Loiseau *et al.*, 2000).

Quando um fertilizante nitrogenado é aplicado em um cultivo de leguminosa isolado, algum N é absorvido e isto corresponde a um decréscimo na fixação de N₂. Entretanto, em consórcios gramínea-trevo que receberam aplicações de taxas normais de fertilizantes nitrogenados, a maior parte do N é absorvido pela gramínea e apenas uma pequena proporção é absorvida pelo trevo. O crescimento das gramíneas é aumentado pelo fertilizante nitrogenado e, conseqüentemente, a quantidade de trevo no consórcio freqüentemente diminui (Laidlaw, 1984; Frame e Newbould, 1986). A diminuição no crescimento de trevo deve-se principalmente ao aumento de competição pela luz, água e/ou nutrientes (Frame e Newbould, 1986).

A influência do suprimento de N do solo, sobre a fixação de N₂ pelo trevo, tem sido demonstrada na Nova Zelândia. Em solos que inicialmente apresentaram baixos teores de matéria orgânica (MO) e que não tinham sido previamente pastejados, a fixação de N₂ por trevo recentemente semeado e com suprimento adequado de P e K, atingiu mais que 500 kg.ha⁻¹ de N por ano (Sears *et al.*, 1965). Entretanto, estudos subsequentes em solos que receberam suplementação nitrogenada mineral mostraram menores taxas de fixação de N₂ devido, provavelmente, ao aumento da decomposição dos resíduos de trevos e à excreção de N pelos animais (Whitehead, 1995).

Quando uma mistura gramínea-trevo é semeada em um solo infértil e nutrientes outros que não o N são adicionados, os trevos são dominantes e pouco N é transferido

para as gramíneas. Depois de alguns meses ocorre um aumento na quantidade de N transferido, o que resulta em uma promoção no crescimento das gramíneas. A gramínea então, tende a competir mais fortemente e uma menor proporção de trevo resultaria em menos fixação. O crescimento contínuo das gramíneas, eventualmente, resulta em queda dos teores de N disponível no solo, o que reduz o crescimento da gramínea, permitindo que o trevo cresça novamente (Loiseau *et al.*, 2000).

Quando o fertilizante nitrogenado não é aplicado o consórcio gramínea-trevo não só apresenta maior produtividade que a gramínea isolada, mas também, a produtividade do componente gramínea, usualmente, excede a produtividade da gramínea quando cultivada isoladamente. Este aumento do crescimento de gramíneas, em consórcios, é atribuído à transferência do N existente no trevo para as gramíneas (Whitehead, 1995). A proporção de N₂ fixado pelo trevo que é transferido para a gramínea varia de 0% até 75%, dependendo do intervalo de tempo desde semeadura e manejo. O N transferido do trevo pode ser responsável por grande parte do N contido nas gramíneas, possivelmente atingindo até 80% (Boller e Nösberger, 1987; Broadbent *et al.*, 1982).

2.2.5 Transferência do N para a cultura agrícola

Estudos utilizando fontes enriquecidas com ¹⁵N mostram que os resíduos de leguminosas contribuem com pequenas a moderadas quantidades de N (variando de 4% a 25% do N contido nos resíduos) para o primeiro cultivo subsequente quando comparados com a contribuição do N proveniente de N-fertilizante que é de 40%-50% (Ladd e Amato, 1986; Harris e Hesterman, 1990; Ta e Faris, 1990; Xu *et al.*, 1993 e Harris *et al.*, 1994). Apesar da contribuição de N de ambas as fontes diminuir significativamente no segundo cultivo (< 5% da quantidade de N adicionada), as leguminosas geralmente suprem mais N que os fertilizantes no segundo e subsequentes cultivos.

Armstrong *et al.* (1998) constataram que a recuperação do N pelas plantas de trigo (primeiro cultivo) foi de 35% proveniente do N adicionado por fertilizantes e apenas de 5% oriundo de resíduos vegetais. A absorção de N pelos cultivos foi diretamente proporcional às quantidades de N presentes nos resíduos vegetais e fertilizantes adicionados e inversamente proporcional à quantidade de resíduos aplicados, o que foi atribuído à imobilização do N durante a decomposição dos resíduos e à incorporação do C na matéria orgânica do solo. Contudo, quando foram avaliados quatro cultivos consecutivos, o efeito inicial da redução de absorção de N, provocada pela quantidade de resíduo adicionado,

não foi mais observado. Isto é esperado, uma vez que a imobilização de N poderia ocorrer apenas quando os resíduos adicionados decompõem, mas subsequentemente parte do N imobilizado pode ser re-mineralizado para cultivos posteriores.

Em razão da grande variação da contribuição de N dos resíduos de leguminosas, relatada em experimentos, por exemplo, 4% obtido por Xu *et al.* (1993) comparada com 22% - 25% observados por Ladd e Amato (1986) e Harris e Hesterman (1990), existe a necessidade de determinação da contribuição das leguminosas em ambientes e para rotações de culturas específicas.

Sá (1999) avaliou a influência da adubação nitrogenada aplicada na aveia não pastejada sobre o milho plantado na seqüência. Relatou que não houve diferença na produção de grãos de milho entre a aplicação a lanço de 90 kg.ha⁻¹ de N, na forma de uréia, feita antes do plantio do milho, por ocasião da dessecação da aveia (*Avena sativa*) e a cobertura a lanço, em pós-plantio, no estádio V6 da cultura do milho, além de ter sido constatado aumento na produção do milho em resposta ao N aplicado na aveia preta que antecedeu o milho. Contudo Pöttker (2000) mostrou que em anos de intensa precipitação pluvial, no período da primavera (anos de El Niño, como em 1997/98), não se deveria deixar de realizar adubações de cobertura no milho, o que pode ser feito em anos de menor precipitação pluvial (anos de La Niña, como 1998/1999). Resultados semelhantes foram obtidos na Universidade Federal de Santa Maria, por Basso *et al.* (1998) e na Universidade Federal do Rio Grande do Sul por Diekow *et al.* (1999). Nestes três trabalhos a comparação foi feita com o N aplicado na aveia dessecada. Embora estes dados tenham sido obtidos em condições de não pastejo, sabe-se que grande parte do N retorna ao solo na forma de dejetos e que em caso de pastagens consorciadas e sujeitas a adubação nitrogenada, observa-se maior fixação biológica de N nas áreas pastejadas quando comparadas àquelas não pastejadas.

Em sistemas de rotação lavoura-pastagens, durante a fase de pastejo, podem ser aplicadas quantidades de N que variam de 100 a 300 kg.ha⁻¹ de N. Este nitrogênio pode se constituir em fonte residual futura. Algumas características físicas, químicas e biológicas do solo, condições climáticas e manejo do pastejo têm importante papel na determinação de perdas ou manutenção do N no sistema.

Webb e Sylvester-Bradley (1994), em experimento conduzido na Inglaterra, mostraram que as quantidades de fertilização nitrogenada ótima para o trigo, cultivado em seqüência a uma pastagem conduzida por quatro anos, foram de 188, 147, 87 e 0 kg.ha⁻¹ de N, quando a pastagem havia recebido, respectivamente, 100, 250, 450 e

750 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de N. Observa-se que embora tenha havido um decréscimo da necessidade de N para o trigo, provocada pela adubação nitrogenada na pastagem, esta foi pequena, se considerada a quantidade de N total aplicado previamente durante os quatro anos (400, 1.000, 1.800 e 3.000 kg.ha⁻¹ de N).

Unkovick *et al.* (1998) constataram em uma área pastejada durante três anos e depois cultivada com aveia, triticale e canola que as parcelas onde houve alta intensidade de pastejo mostraram aumento da disponibilidade de N-mineral no solo para as culturas subsequentes, refletido no aumento da quantidade de N absorvido pelas culturas e eventualmente na quantidade de proteínas dos grãos em relação às parcelas que tiveram leve intensidade de pastejo. Os autores indicam que o manejo da intensidade de pastejo, antes do cultivo de culturas agrícolas, pode ser uma ferramenta útil para melhoria da nutrição nitrogenada e produtividade de culturas não leguminosas, cultivadas em sistemas de rotação lavoura-pastagens.

2.2.6 Animais e a ciclagem de nitrogênio

Os herbívoros são um componente dos ecossistemas pastoris e seus efeitos nos mesmos podem incluir transformação de nutrientes, de taxas de ciclagem de nutrientes, de disponibilidade de nutrientes ocasionados por respostas das plantas ao pastejo e à ciclagem de N. O pastejo pode influenciar os processos de mineralização/imobilização de N, facilitar a rápida decomposição de substratos (Singh *et al.* 1991) além de aumentar a taxa de reciclagem de N resultante da deposição de urina e fezes (Bauer *et al.*, 1987). O pastejo também pode aumentar a disponibilidade de nutrientes por meio da manutenção na superfície do solo de uma fração de nutrientes orgânicos facilmente mineralizáveis, onde são mais acessíveis às plantas e aos microorganismos (Archer e Smeins, 1991).

Em sistemas de utilização de forrageiras sob corte, a eficiência de utilização do N oriundo de fertilizantes é geralmente alta e mesmo com elevadas taxas de aplicação de adubos (400 kg.ha⁻¹ de N) pouco N resta no campo (Prins, 1980). Conseqüentemente a lixiviação de nitratos após o corte é freqüentemente baixa (Simmelsgaard, 1998).

O pastejo por vacas leiteiras tem efeito marcante na ciclagem de N e aumenta o potencial de perdas do nutriente. Isto se dá porque os ruminantes excretam 75% a 95% do N por eles absorvidos, criando um considerável estoque de N na pastagem e a extensão disto dependerá das taxas de fertilização do solo, da ingestão ou não de concentrados, da taxa de lotação da área, do tempo de pastejo e da composição botânica da pastagem

(Cuttle e Scholefield, 1995). Sendo assim, as áreas influenciadas pela urina podem receber quantidade de uréia que equivaleria a aplicação de 300 a 600 kg.ha⁻¹ de N. A comunidade de plantas desta área é severamente influenciada, incluindo a redução de atividade de fixação de N₂ por um ou dois meses (Haynes e Willians, 1993). A uréia é rapidamente degradada (meia-vida de 3 a 4 horas) e, subseqüentemente, ocorre um rápido aumento nos teores de N-NH₄⁺ e em menor extensão, um incremento de N-NO₃⁻. Contudo, após três semanas os níveis de N inorgânico voltam ao normal. Portanto, a maior parte de áreas de pastagem que recebem baixas doses de adubação nitrogenada devem apresentar, em geral, um baixo teor de nitrogênio inorgânico no solo. Contudo, a concentração de N inorgânico em pequenas áreas poderia acarretar em perdas por volatilização, lixiviação e desnitrificação e o N presente na urina é considerado como um dos aspectos críticos entre os que influenciam o balanço entre a reciclagem e as perdas de N (Marriott *et al.*, 1987).

Parsons *et al.* (1991) em trabalho realizado com ovinos, em pastejo de trevo-azevém perene, concluíram que as gramíneas cultivadas em consórcios que recebem baixa entrada de N, via fertilizantes, encontram-se expostas, constantemente, a uma limitação de N para o crescimento da planta, provocando rápida absorção do N pelas plantas, sustentando grande proporção de N da "fração de ciclagem rápida de N", conforme definido por Floate (1981) o que reduziria, conseqüentemente, a perda do elemento. Em adição, sob uma situação de limitação de N, os componentes senescentes da planta apresentaram um alta relação C/N o que contribuiria para um aumento de demanda de N pela biomassa do solo. Uma taxa de suprimento de C mais elevada que de N para o solo poderia acentuar a acumulação de N na matéria orgânica do solo e sua imobilização na fração de ciclagem lenta de N, o que poderia reduzir sua disponibilidade para o crescimento das plantas, mas também e indubitavelmente, reduziria as perdas de N (Hoglund, 1985 e Thornley e Verberne, 1990). Armstrong *et al.* (1998) constataram que a biomassa microbiana do solo aumentou após a aplicação de resíduo de plantas (sorgo e *Desmanthus virgatus*) e manteve-se mais alta que quando comparada àquelas parcelas que receberam apenas N, via fertilizante químico. Aproximadamente 20% do N adicionado por resíduo de plantas foi observado na massa microbiana do solo e poucos indícios foram encontrados de que essa quantidade varie como o tempo. Além disso, este N poderia vir a se tornar disponível para culturas posteriores. Assmann *et al.* (2001) constataram que o N presente na fração jovem da matéria orgânica do solo composta pela fitomassa de raízes (MO > 2 mm) e por partículas de macro-matéria orgânica (MO > 0,2 mm), têm um tempo de residência no solo que decresce de 11 a 6 meses, à medida que se aumenta a proporção

de trevo branco em áreas de pastagens não fertilizadas, cultivadas com azevém perene (*Lolium perenne*). Estas preposições estão de acordo com a afirmação de Floate (1981): "Uma ciclagem de N altamente eficiente poderia ser estabelecida em condições de pastejo, se ocorrer uma rápida reciclagem de N entre solo, plantas e animais, de tal forma que o N na verdade fosse reutilizado muitas vezes durante a estação de crescimento e estando assim sujeito a pequenas perdas".

Decau *et al.* (1997) fizeram descrição quantificada dos fluxos anuais do N em uma pastagem com vacas leiteiras e, em média, encontraram os seguintes coeficientes de destino para o N oriundo das dejeções que constam da Tabela 1.

TABELA 1 - Coeficientes de repartição do nitrogênio da urina e das fezes

Destino	Fezes (%)	Urina (%)
N orgânico do solo	69	31
Absorção pela planta	9	29
Volatilização	3	16
Desnitrificação	2	2
Lixiviação	17	22

Fonte: Decau *et al.* (1997)

Unkovich *et al.* (1998) estudando o efeito de intensidade de pastejo de ovelhas em pastagem composta por trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum*), azevém (*Lolium rigidum*), *Hordeum leporinum* e *Vulpia bromoides*, encontraram que as parcelas com baixa intensidade de pastejo produziram 11,5 t.ha⁻¹ de MS e as áreas com pastejo intensivo produziram 7,9 t.ha⁻¹. Entretanto, não houve diferença entre a acumulação de N total (300 kg.ha⁻¹ de N - baixa intensidade de pastejo e 302 kg.ha⁻¹ de N - alta intensidade de pastejo). A menor produção de MS sob alta intensidade de pastejo foi compensada pela alta concentração de N nas plantas e pelo aumento do conteúdo de trevo na pastagem.

Shariff *et al.* (1994) observaram que um pastejo moderado (50% de remoção da parte aérea) resultou em taxas mais altas de decomposição e mineralização de N que os tratamentos não pastejados ou daqueles tratamentos que foram intensamente pastejados (100% de remoção da parte aérea). A taxa de decomposição de raízes e da parte aérea das plantas pastejadas moderadamente foi de 59%, enquanto que as áreas não pastejadas e as altamente pastejadas atingiram taxas de decomposição de 13% e 19%, respectivamente, no mesmo período.

As áreas com alta intensidade de pastejo apresentaram maiores teores de N-mineral, o que foi atribuído ao retorno da urina. Um efeito adicional, porém indireto, da

deposição do N-urina sobre a disponibilidade de N no solo é o aumento de solubilização do N-orgânico que pode ser incentivado pelo aumento do pH na região de deposição da urina (Sen e Chalk, 1994; Williams e Haynes, 1994).

Angus *et al.* (1998) ao semear a cultura do trigo em uma área que dois anos antes fora pastejada, observaram que os teores de N-mineral do solo foram praticamente o triplo que nos outros locais estudados e que anteriormente não eram pastejados. Contudo, indiferentemente a isto, foram constatadas as mesmas taxas de mineralização durante o cultivo de trigo, tanto nas áreas pastejadas quanto nas áreas não pastejadas. Áreas pastejadas anteriormente por ovelhas apresentaram taxa de mineralização durante o cultivo de até duas vezes maiores àquelas de áreas não pastejadas o que pode ser atribuído à alta taxa de mineralização e à ciclagem de formas lábeis de N provocado pelo pastejo das ovelhas (Heenan e Chan, 1992; Thompson e Fillery, 1997).

Ao contrário, quando se estudou a manutenção do N-fertilizante aplicado em culturas de inverno, sem a presença de animais, em alguns casos constatou-se que esta é menor. Porn *et al.* (1999) determinaram a disponibilidade de N-mineral no solo em função da época de aplicação do fertilizante nitrogenado, nas seguintes épocas de amostragem, na semeadura e aos 29, 58 e 104 dias após a semeadura. De modo geral, os maiores valores de N-mineral no solo foram obtidos em função da dose e da época de aplicação. Assim a antecipação total da dose de N recomendada, para uma única época (na pré-semeadura ou na semeadura), proporcionou aumento do N no solo na primeira avaliação subsequente à aplicação. Nas avaliações posteriores a quantidade diminuiu, chegando aos 58 dias após a semeadura com valores de N-mineral equivalentes ao tratamento sem aplicação de N, demonstrando que haveria necessidade de aplicar N em cobertura. Discordando desta afirmação, Armstrong *et al.* (1998) encontraram que mais de 83% do ¹⁵N-fertilizante foi recuperado na fração de N-mineral do solo 35 dias depois que o fertilizante foi adicionado em áreas não pastejadas e até 56 dias após a aplicação ainda restavam 45,5% do N-fertilizante nesta mesma fração.

Angus *et al.* (1998) concluíram que uma importante contribuição de N oriundo de pastagens para as culturas subsequentes é a acumulação de N-mineral no solo e de matéria orgânica facilmente mineralizável, que se encontra disponível por um ou dois anos depois do fim da fase de pastagem. Entretanto, Puckridge e French (1983) trabalhando em regiões de clima mais seco encontraram que o N fixado nas pastagens provoca uma estocagem de matéria orgânica, que se decompõe gradualmente e sustentará a produtividade de muitos cultivos posteriores. A diferença de persistência do benefício da

fase de pastejo e sem pastejo pode ser atribuída aos diferentes regimes de chuva das áreas estudadas. No caso de pastagens, também pode se atribuir maior persistência de N-mineral à processos de lixiviação que levam o nitrato do solo produzido e mineralizado durante a fase de pastejo, para maiores profundidades que são inacessíveis à pastagem mas que podem vir a serem atingidos pelas raízes da cultura cultivada posteriormente.

Segundo Tisdale *et al.* (1993) os teores N-NO_3^- no solo são inconstantes, o que torna os testes de solos realizados antes do plantio da cultura pouco indicados para recomendações de adubação nitrogenada. Portanto quando as amostras de solos são coletadas próximas a máxima taxa de mineralização do N no solo, aumenta-se a eficiência destes testes uma vez que a contribuição do N da matéria orgânica é melhor quantificada.

Nos Estados Unidos da América foi desenvolvida metodologia de amostragem de solo, para a cultura do milho, o sistema denominado Pre-Side-Dress Soil Test, que melhora a eficiência das recomendações nitrogenadas para as regiões úmidas. Neste teste a análise dos teores de nitrato são feitas em amostras de solos coletadas a 30 cm de profundidade, entre as linhas de plantio do milho que apresenta 30 cm de altura. Quando os teores de N-NO_3^- apontados por este teste encontram-se com valores superiores à 24 mg.dm^{-3} a aplicação de adubação nitrogenada não é recomendada (Tisdale *et al.*, 1993)

Os efeitos deletérios das excreções sobre o trevo são devido mais à urina que às fezes. A urina fornece grande quantidade de N solúvel que é rapidamente convertido a amônio e nitratos, que vêm suprimir a fixação de N_2 nas áreas que foram atingidas pela urina (Carran *et al.*, 1982; Ledgard *et al.*, 1982; Marriott *et al.*, 1987). O decréscimo inicial na fixação de N_2 é devido a absorção do amônio e do nitrato pelo trevo (Ledgard *et al.*, 1982) mas, a longo prazo, a urina também causa a morte dos nódulos e reduz o comprimento e peso dos estolões (Marriott *et al.*, 1987). No caso das fezes, particularmente de gado, existe freqüentemente afogamento de ambas, gramíneas e trevo, mas este efeito é as vezes seguido pela estimulação do crescimento do trevo (Weeda, 1977).

3 METODOLOGIA

O trabalho experimental foi conduzido nos anos agrícolas de 1999 (inverno) e 1999/2000 (verão), em área pertencente a Cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda., Colônia Vitória, distrito de Entre Rios no município de Guarapuava, PR. A área experimental está localizada na região fisiográfica denominada Terceiro Planalto Paranaense. Encontra-se entre as coordenadas de 25°33' latitude Sul e 51°29' longitude Oeste e tem altitude média de 1.095 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb (Maak, 1968). A precipitação anual varia de 1.400 a 1.800mm e os meses de abril e maio são os mais secos. (IAPAR, 1994).

A área experimental é utilizada em sistema de plantio direto há mais de dez anos, sendo que no verão eram cultivados milho ou soja e no inverno utilizava-se a rotação com cereais de inverno e nabo forrageiro antes de 1995. A partir desta data começa o pastejo no período de inverno. A rotação de cultura utilizada desde então encontra-se descrita na Tabela 2.

TABELA 2 Rotação de cultura utilizada na área experimental desde o inverno de 1995, Guarapuava, PR

Período	Culturas
Inverno 1995	Centeio (<i>Secale cereale</i>) + Aveia branca (<i>Avena sativa</i>) + Azevém (<i>Lolium multiflorum</i>)
Verão 1995/1996	Soja (<i>Glycine max</i>)
Inverno 1996	Aveia branca + Azevém + Trevo Branco (<i>Trifolium repens</i>) + Trevo vermelho (<i>Trifolium pratense</i>)
Verão 1996/1997	Milho
Inverno 1997	Aveia branca + Azevém + Trevo Branco + Trevo vermelho
Verão 1997/1998	Soja
Inverno 1998	Aveia branca + Azevém + Trevo Branco
Verão 1998/1999	Soja

O solo onde o experimento foi desenvolvido é classificado como uma associação LATOSSOLO BRUNO ÁLICO relevo suave ondulado + CAMBISSOLO ÁLICO Tb relevo ondulado de vertentes curtas, substrato de rochas do derrame de Trapp ambos com A

proeminente, textura argilosa, fase campo subtropical (EMBRAPA, 1984). Foi feita coleta de solo nas profundidades de 0,0 a 5,0 cm; 5,0 a 10,0 cm e de 10,0 a 20,0 cm, realizada antes da entrada dos animais para caracterização química da área (Tabela 3).

TABELA 3 - Características químicas do solo antes do início do experimento (Fase I), Guarapuava, PR, 1999/2000

Prof.	PH	MO	Al ⁺³	H+Al	Ca	Mg	K	P	V	N-min
cm	CaCl ₂	g.dm ⁻³cmol _c ⁽⁺⁾ .dm ⁻³					mg.dm ⁻³	%	mg.dm ⁻³
0,0-5,0	5,1	74,0	0,06	6,1	7,2	3,6	0,5	16,7	64,7	12,1
5,0-10,0	4,9	63,4	0,19	7,0	6,0	3,1	0,3	14,1	57,3	7,6
10,0-20,0	4,7	58,6	0,63	8,5	5,0	2,1	0,3	7,6	46,5	8,0

MO=Matéria orgânica V= Saturação de bases N-min= N mineral (N-NO₃ + N-NH₄)

Como o objetivo do experimento foi avaliar o efeito residual de nitrogênio proveniente da fixação biológica pelo trevo e do adubo e também o efeito do pastejo sobre a disponibilidade do elemento, o trabalho foi conduzido em duas fases, no campo. A Fase I, conduzida com pastagem durante o inverno (1999), foi uma fase preparatória onde foram aplicados os tratamentos de N de inverno (N-TI) em áreas sem pastejo (SP), com pastejo (CP), sem trevo (ST) e com trevo (CT). Na Fase II, conduzida durante o verão (1999/2000) com a cultura do milho, foram avaliados os efeitos residuais dos tratamentos aplicados na primeira fase.

3.1 FASE I – INVERNO

3.1.1 Médias de temperaturas máximas, mínimas e precipitação

As médias das temperaturas máximas, mínimas e a quantidade de chuva a cada mês encontram-se descritas na Figura 1. Observa-se um grande período de estiagem no mês de agosto/1999 (5,2 mm) sendo que a média histórica da região nesse mês, segundo IAPAR (1994), varia de 100 a 125 mm.

3.1.2 Condução do experimento

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições. Os

tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas. Nas parcelas foram alocados quatro níveis dos nitrogênio ($N-TI = 0, 100, 200$ e $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e nas subparcelas, a combinação de presença e ausência de trevo branco (*Trifolium repens*) e pastejo (**CT**-com trevo; **ST**-sem trevo; **CP**-com pastejo e **SP**-sem pastejo), perfazendo quatro tratamentos (Figura 2). Os tratamentos **CP** apresentaram uma área de subparcela de 4.000 a 6.000 m^2 , e os tratamentos **SP** apresentaram uma área de 140 m^2 totalizando uma área experimental de 15.000 m^2 . Optou-se por esta diferenciação de área de subparcelas para que o experimento não apresentasse dimensões elevadas. O croqui completo da área experimental da primeira fase é apresentado na Figura 3.

No dia 04 de abril de 1999, em sistema de plantio direto na palha foram semeados $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de aveia branca (*Avena sativa*) da mistura de 50 % da variedade FAPA 2, 37,5 % da variedade FAPA 1 e 12,5% da linhagem ER 93152 e $20 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de azevém (*Lolium multiflorum*), com espaçamento entre linhas de 17 cm. Sendo assim, a pastagem hiberna foi constituída por um consórcio de azevém, trevo branco (*Trifolium repens*) originário da ressemeadura (nos tratamentos em que este deveria estar presente) e aveia.

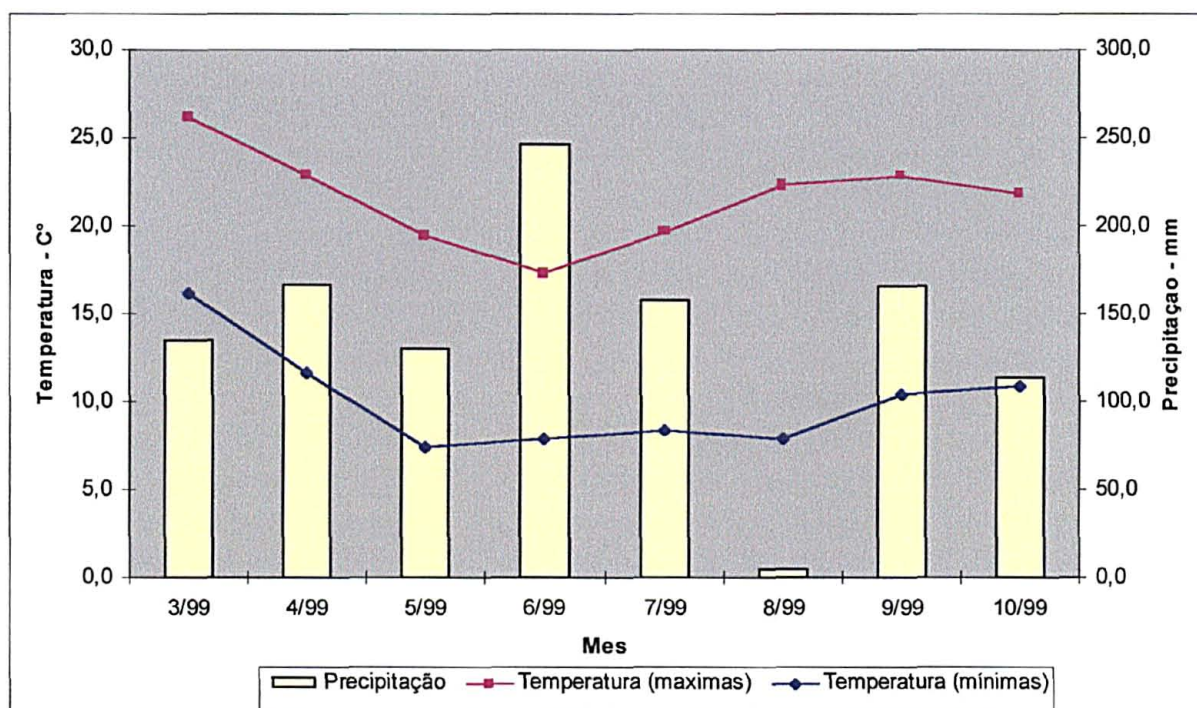


FIGURA 1 - Médias das temperaturas máximas e mínimas e média da precipitação, a cada mês, durante o período de março à outubro de 1999, observadas na Estação Meteorológica de Entre Rios, Guarapuava, PR, 1999/2000

Após 15 dias da emergência da pastagem de inverno foi feita aplicação do herbicida Metsulfuron - Methyl (Allay) na dose de $2,4 \text{ g.ha}^{-1}$ de ingrediente ativo para a eliminação do trevo branco, nas subparcelas que não deveriam ter esta leguminosa (ST), uma vez que a espécie apresenta ressemeadura natural.

Foram aplicados 250 kg.ha^{-1} do adubo formulado 0-25-25 + 1% Zn como adubação de semeadura e 25 dias após a emergência (DAE), no início do perfilhamento, foi aplicado 1/3 do N-TI (0, 100, 200 e 300 kg.ha^{-1} de N). Após 122 dias da primeira aplicação, no dia 08/09/1999, foram aplicados os 2/3 restantes das doses de N.

O pastejo foi iniciado no dia 13 de julho e prolongou-se até o dia 14 de outubro, totalizando 93 dias de pastejo. Para permitir um melhor desenvolvimento da leguminosa nas parcelas sem pastejo (SP), foram feitos três cortes na cobertura vegetal destas parcelas deixando os resíduos no local.

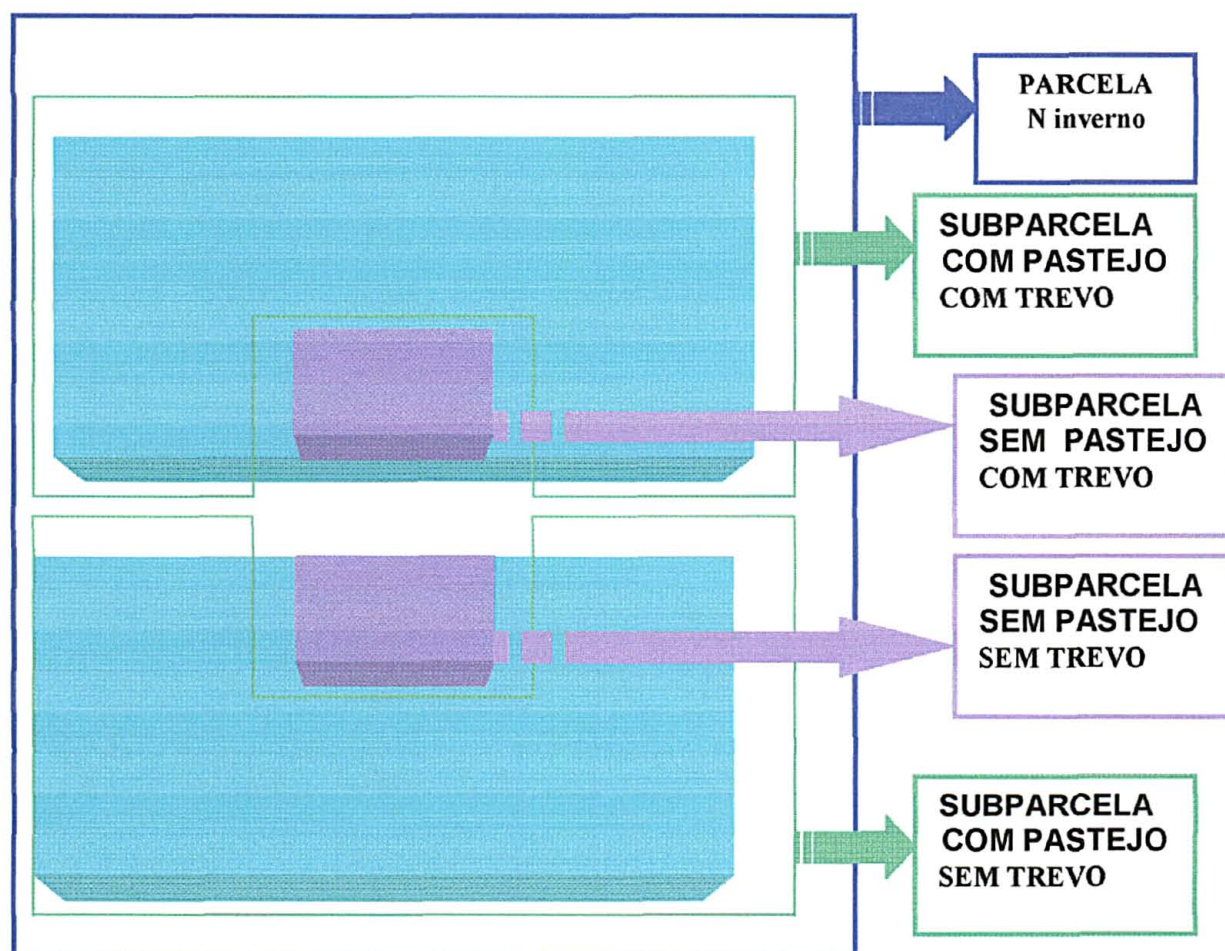


FIGURA 2 - Esquema de distribuição de parcela e subparcela do experimento, Guarapuava, PR, 1999/2000

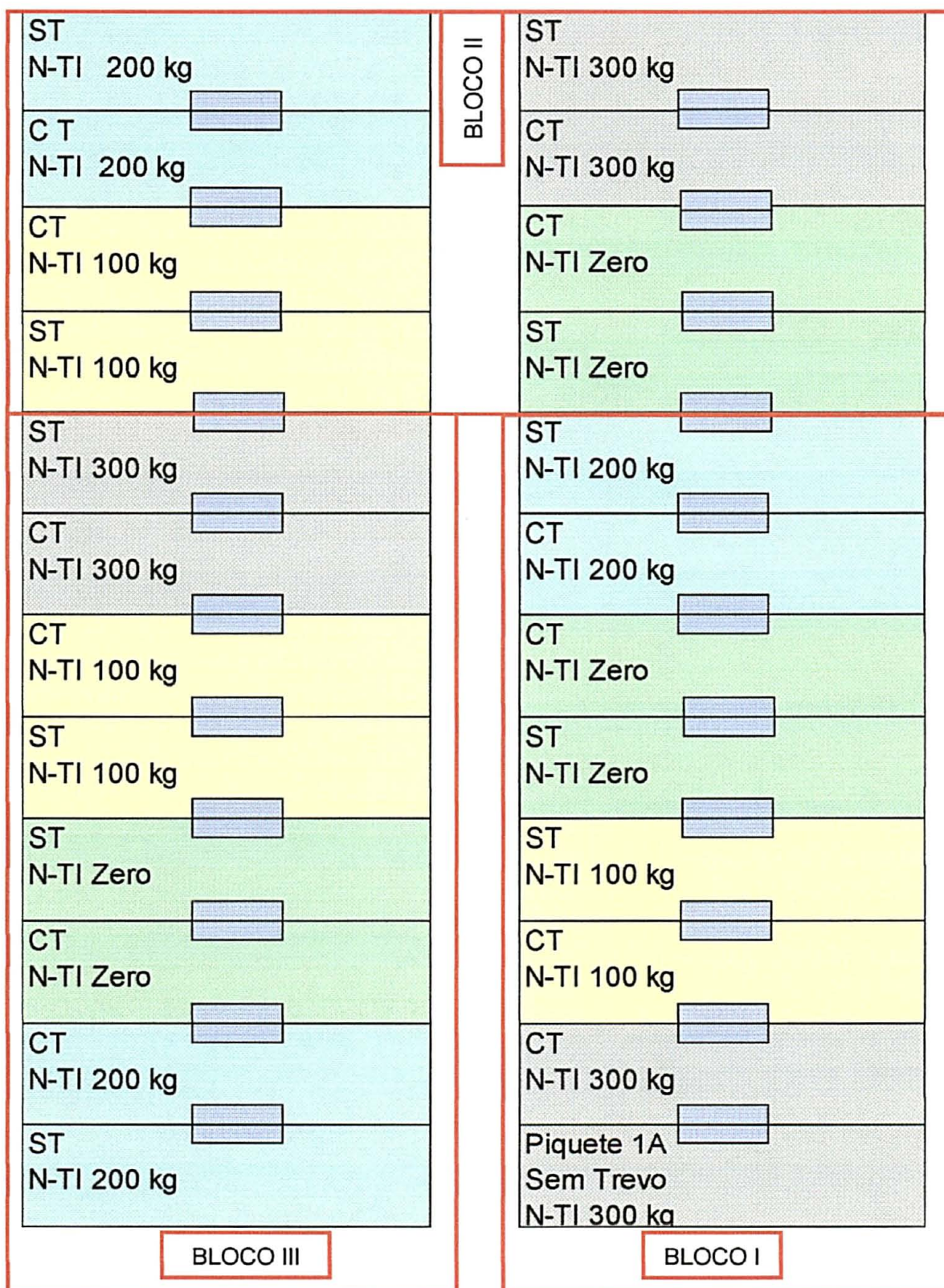


FIGURA 3 - Croqui da área experimental da Fase I – Inverno (ST = Sem Trevo; CT = Com Trevo; N-TI = N Tratamento de Inverno), Guarapuava, PR, 1999/2000

Os animais utilizados foram novilhas da raça Charolês, desmamadas e com idade entre 9 e 10 meses. O método de pastejo empregado foi o contínuo, sendo mantida uma altura de pastejo de 14 cm (Lustosa, 1998) com a técnica do controle da altura da vegetação usando lotações variáveis [*put-and-take*].

3.1.3 Matéria seca residual e composição botânica das pastagens

A quantidade de massa seca de forragem e a porcentagem de solo descoberto foram estimadas utilizando-se o método BOTANAL (Tothill *et al.* 1978) no dia 28/10/99 (18 dias após a retirada dos animais).

Para utilização do BOTANAL, em cada subparcela, foram traçadas três linhas imaginárias, com cinco pontos amostrais de 0,25 m² cada um. E para a calibração do método, foi colhido o material cortado rente ao solo em 15 pontos com 0,125 m² cada, escolhidos aleatoriamente dentro da área experimental. Para cada ponto o observador dava uma nota variando de 1 a 5, sendo estas notas correlacionadas posteriormente com a quantidade de massa seca colhida, para a estimativa da reta de regressão.

3.2 FASE II – VERÃO

3.2.1 Médias de temperaturas máximas, mínimas e precipitação

As médias das temperaturas máximas, mínimas e a quantidade de chuva no intervalo do plantio a colheita do milho encontram-se descritas na Figura 4.

3.2.2 Condução do experimento

Os animais foram retirados 18 dias antes da dessecação da pastagem (29/10/99), que foi feita com menores doses de herbicida (1,5 L.ha⁻¹ de glifosate) que as usuais, objetivando a eliminação das gramíneas e apenas o estresse do trevo branco. No dia 30/10/99 o milho foi semeado, em sistema de plantio direto, com espaçamento de 80 cm entre linhas, apresentando uma população final de 62.000 plantas.ha⁻¹. Utilizou-se o híbrido P30F33. A área foi adubada no sulco com 250 kg ha⁻¹ do formulado 00-25-25.

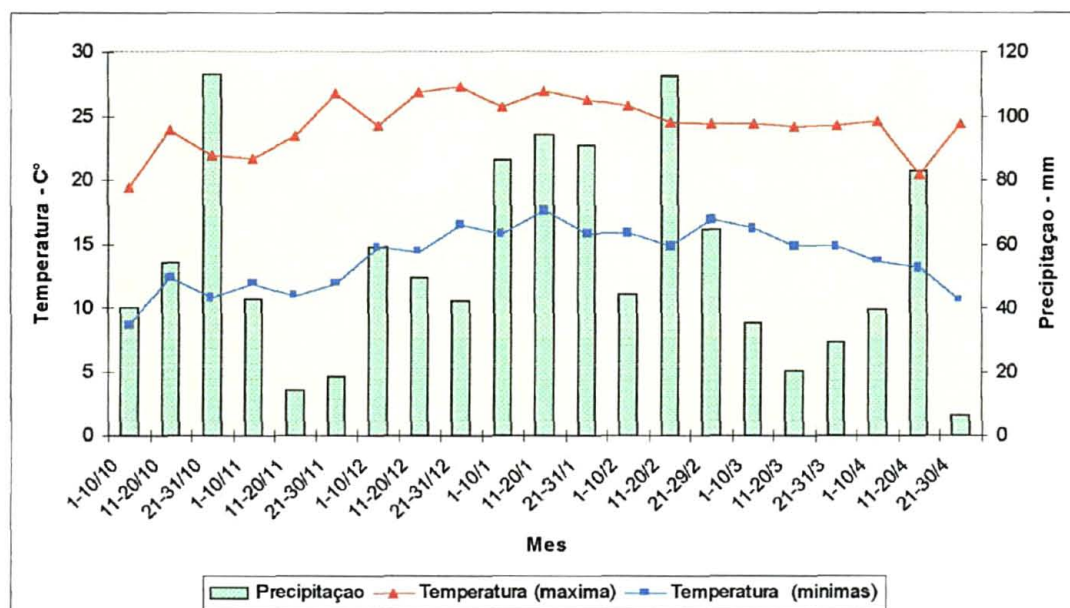


FIGURA 4 - Médias das temperaturas máximas e mínimas e média da precipitação, a cada intervalo de 10 dias, durante o período de outubro/1999 a abril de 2000, na Estação Meteorológica de Entre Rios, Guarapuava, PR, 1999/2000

O delineamento foi o de blocos ao acaso, e nas subparcelas resultantes da combinação dos tratamentos na Fase I do experimento (Parcela: N-TI; Subparcela: combinação de presença ou ausência de trevo e pastejo) foram alocadas cinco doses crescentes de N em cobertura na forma de uréia (N-TV = 0; 60; 120; 180 e 240 kg.ha⁻¹ de N), parcelados em duas vezes. A primeira aplicação, metade da dose, foi feita no estádio V5-V6 da cultura (03/12/99) e a segunda aplicação feita no estádio V9-V10 (24/12/99). Cada subsubparcela apresentava uma área de 22,4 m² (3,2 x 7,0 m), com área útil de 8 m². O croqui da segunda fase encontra-se na Figura 5 e a Figura 6 mostra o cronograma de aplicação dos tratamentos em função dos DAE da cultura do milho. No estádio V2-V3 das plantas de milho foi aplicado o herbicida Simazina+Atrazina na dose de 7 L.ha⁻¹.

3.2.3 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos de milho foi determinada em uma área útil de 8 m², e depois da correção de umidade para 13%, o valor obtido foi convertido para kg.ha⁻¹.

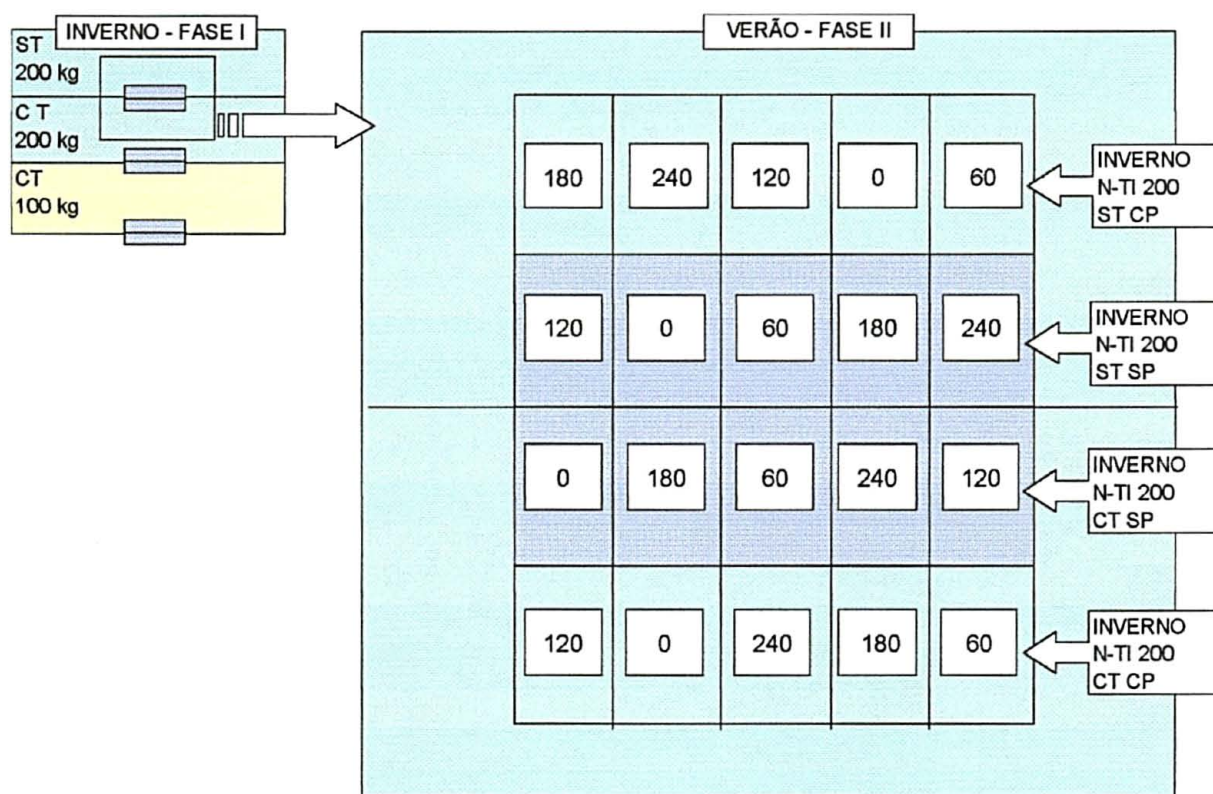


FIGURA 5 - Croqui da área (Fase II – Verão), Guarapuava, PR, 1999/2000

3.2.4 Coleta e análises de solo

A amostragem de solo foi realizada quando a cultura do milho encontrava-se no estágio V5-V6 (01/12/99), antes da aplicação da adubação nitrogenada. Foram coletadas com pá de corte, duas amostras simples para formar uma amostra composta para cada subsubparcela alocada nas subparcelas que receberam pastejo anteriormente. Nas subparcelas não pastejadas foram feitas três amostras simples para cada amostra composta, desconsiderando, neste caso, as subsubparcelas. Cada ponto de coleta foi estratificado em quatro profundidades (0 a 2,5 cm; 2,5 a 5,0 cm; 5,0 a 10,0 cm e 10,0 a 20,0 cm). Esta operação foi realizada, três dias antes da primeira aplicação de nitrogênio. Os teores de nitrato e amônio foram determinados pelo método espectrofotométrico, utilizando-se dois comprimentos de onda na região ultravioleta (Miyazawa *et al.*, 1985). A variável N-mineral foi obtida do somatório dos valores de N-NO_3^- e N-NH_4^+ .

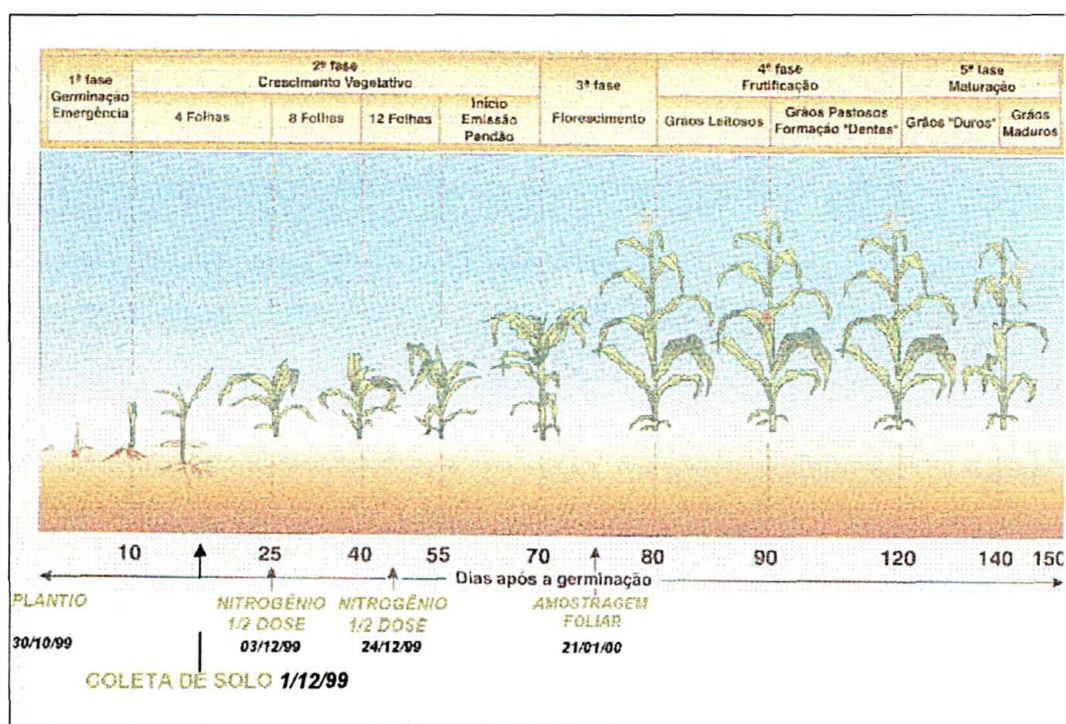


Figura adaptada do folheto técnico: BASF – Programa de adubação foliar em milho

FIGURA 6 - Datas de aplicação dos tratamentos em função dos Dias Após a Emergência (DAE) da cultura do milho, Guarapuava, PR, 1999/2000

3.2.5 Coleta e análise foliar

Foi coletada a primeira folha oposta e abaixo da primeira espiga, quando 51% das plantas de milho estavam pendoadas (21/01/2000). Cada amostra composta por subsubparcela foi constituída por dez folhas. Foram determinados os teores de nitrogênio total por meio de digestão sulfúrica (método Kjeldahl, conforme descrito pela EMBRAPA (1999), para posterior determinação por titulação com NaOH 0,02 N.

3.2.6 Análise estatística

Os resultados das avaliações foram submetidos a análise de variância. As variâncias foram avaliadas pelo Teste de Bartlett quanto à homogeneidade. As variáveis

que se mostraram homogêneas tiveram os tratamentos avaliados pelo Teste F. Quando os resultados revelaram significância a 5% ou 1% de probabilidade as médias dos fatores qualitativos (Trevo e Pastejo) foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para os fatores quantitativos (N-TI ou N-TV) foram ajustadas regressões polinomiais entre os níveis de N (variável independente) com as demais variáveis dependentes buscando o modelo que melhor expressasse esta relação. Foram testados modelos linear e quadrático e a escolha foi baseada na significância (menor que 7%), e no coeficiente de determinação.

Quando alguma interação foi significativa, analisou-se o comportamento das doses crescentes de N-TI ou de N-TV dentro de cada situação (ST, CT, ou SP, CP) individualmente e posteriormente, o comportamento das situações dentro de cada dose de N. Quando a interação não foi significativa, os fatores foram analisados separadamente, sendo assim de acordo com a variável analisada e com a significância, ou não, de cada fator o número de observações que compunham a média era diferenciados (Anexo 1 a Anexo 3).

3.2.7 Máxima eficiência técnica (MET)

A Máxima Eficiência Técnica foi obtida a partir do ponto de máxima de uma equação de segundo grau, que é calculado igualando-se a zero a derivada de primeira da equação e encontrando-se posteriormente o valor de x, conforme a equação apresentada a seguir (Chaston, 1971).

$$Y = a + bx - cx^2$$

$$\frac{dY}{dX} = b - 2cx \quad \rightarrow \quad x = \frac{b}{2c}$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ACÚMULO DE MASSA SECA (MS), E PORCENTAGEM DE SOLO DESCOBERTO PARA O PLANTIO DIRETO DO MILHO

Os dados apresentados do item 4.1.1 ao item 4.1.3 referem-se a quantidade de massa seca de forragem acumulada, após a retirada dos animais da área pastejada durante o inverno. A última aplicação de dois terços das doses de N foi realizada 54 dias antes desta avaliação, sendo que durante estes 54 dias, a pastagem permaneceu os últimos 18 dias. sem pastejo.

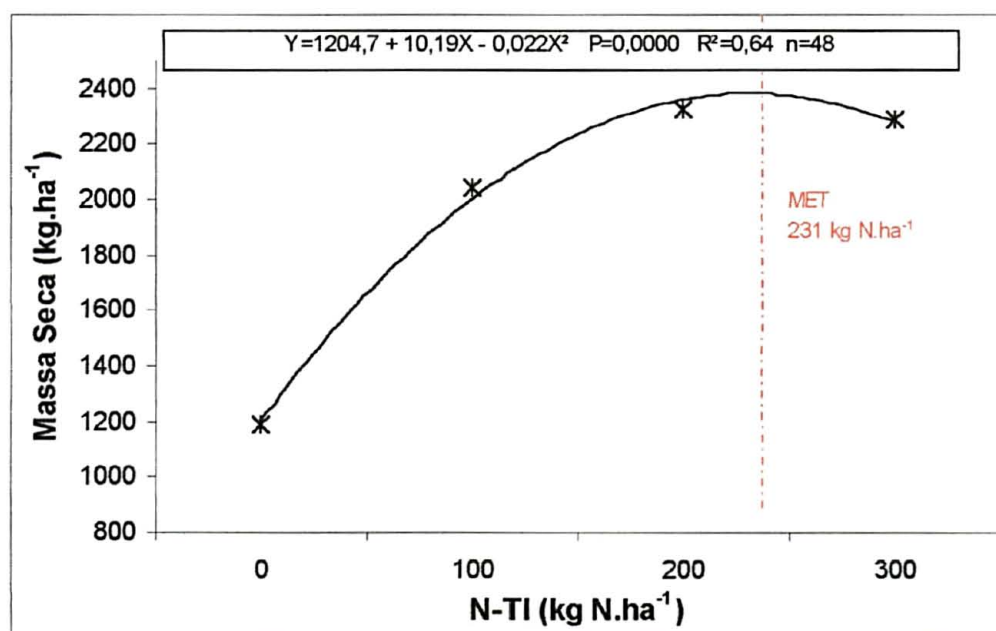
4.1.1 Massa seca de forragem acumulada

Observou-se influência do nitrogênio aplicado no inverno (N-TI) sobre a quantidade de massa seca acumulada após a retirada dos animais (Anexo 4). Constatou-se que mesmo após 54 dias da aplicação da última parcela de N, este continuou a influenciar a quantidade de massa seca acumulada (Figura 7). As parcelas que receberam N-TI, produziram em média 86% mais massa seca que aquelas que não receberam adubação nitrogenada. Este valor pode estar indicando o bom potencial da pastagem para recuperação de N aplicado. Em trabalho semelhante Høgh-Jensen e Schoerring (1997), constataram que a associação recuperou até 46% do N aplicado como fertilizante.

Embora os dados apresentados indiquem a manutenção de parte do adubo nitrogenado no sistema por um longo prazo, Bremmer (1985) aponta que o risco de perdas gasosas é particularmente alto em sistemas de preparo de solo reduzidos e que, em experimentos a campo foram registrados perdas de N variando de 40% até 78%, sendo que os maiores índices ocorrem em sistemas de plantio direto, com aplicação de doses elevadas de uréia e condições adversas de precipitação (Alfaia, 1997; Bayer e Mielniczuk, 1997b; Komdörfer *et al.*, 1997; Lara Cabezas *et al.*, 1997a e Lara Cabezas *et al.*, 1997b). Lara Cabezas *et al.* (1997b) observaram perdas de até 50,8% de N-uréia decorridas 192 h após aplicação do fertilizante.

Parte da manutenção do fertilizante em pastagens pode ser explicada, segundo

Korndörfer *et al.* (1997), pela existência de um sistema radicular mais desenvolvido no momento da aplicação do adubo, o que proporcionaria maior absorção de N pelas plantas. A existência de maiores conteúdos de matéria orgânica contribuiriam para imobilização temporal do nutriente, que, posteriormente, ficaria disponível para as próximas culturas e tais fatores reduziriam o índice de perda de N. Provavelmente o N foi incorporado à biomassa microbiana na *fração de ciclagem lenta de N* e posteriormente foi reciclado pelas plantas (Floate, 1981).



MET=Máxima eficiência técnica

FIGURA 7 - Produção de massa seca em função de doses de N aplicadas no inverno (N-TI), Guarapuava, PR, 1999/2000

A máxima eficiência técnica (MET) para recuperação da pastagem foi obtida com a dose de 231 kg.ha⁻¹ de N. Se for avaliado apenas o acúmulo de massa seca após a retirada dos animais (18 dias), sem considerar a quantidade de MS anteriormente consumida e acumulada durante a produção animal, com a aplicação de 100 kg.ha⁻¹ de N, cada quilograma de N proporcionou um acúmulo de 8,5 kg de massa seca durante o período de 18 dias. Para as doses de 200 e 300 kg.ha⁻¹ de N, esta mesma relação baixou para 5,7 e 3,7 kg de MS acumulada por quilograma de N aplicado. Esta diminuição da eficiência do uso de N poderia estar indicando uma ação mais efetiva dos processos de perda e/ou imobilização de N. Diminuição da eficiência do uso de N acompanhando o aumento das doses aplicadas foram observadas por Armstrong *et al.* (1998).

Não se constatou influência do fator trevo sobre a quantidade de massa seca produzida contudo, Assmann *et al.* (2000) observaram, em avaliação realizada na mesma área, cinco meses após o plantio da pastagem, que as parcelas com trevo apresentaram resíduo de massa seca de 1.030 kg ha⁻¹ o que corresponde a uma produtividade 30% superior àquela observada nas parcelas sem trevo. Isto deve-se provavelmente a liberação de nitrogênio prontamente assimilável dos tecidos mortos das plantas, sendo esta reciclagem mais acentuada, neste período (Figura 1), devido a estiagem (08/1999) que aumentou o índice de mortalidade de plantas e acelerou o processo de senescência das mesmas. Por outro lado nas avaliações posteriores não foi observado o mesmo efeito, podendo indicar um esgotamento e/ou imobilização temporária das reservas de N oriundas da leguminosa. Elgersma e Hassink (1997) observaram alta taxa de mineralização de N que foi relacionada com a mortalidade de muitos estolões de trevo provocada por uma severa geada.

Segundo Hoglund e Brock (1987) a quantidade de N₂ fixado no consórcio gramínea-trevo freqüentemente reflete o vigor do crescimento do trevo, e devido a isto é usualmente limitada por fatores tais como temperatura, água ou suprimento de nutrientes e pela competição com as gramíneas.

Tanto as parcelas pastejadas como as não pastejadas acumularam a mesma quantidade de massa seca, em média 1.962 kg.ha⁻¹ durante o período de recuperação da pastagem. A baixa produtividade de massa seca da área não pastejada quando comparada às produtividades obtidas em áreas que no inverno são cultivadas com adubação verde (aveia) é justificada pelos cortes realizados durante o inverno para possibilitar o desenvolvimento do trevo nas áreas não pastejadas. Não obstante, a igualdade de acúmulo de massa seca também indica que caso o pastejo tenha provocado uma compactação superficial da área esta não interferiu diretamente no acúmulo de resíduo da pastagem. Moraes e Lustosa (1997) mostraram que os efeitos negativos do pisoteio são rapidamente revertidos após o cultivo da lavoura do milho, quando este vem em seqüência na área de pastejo.

4.1.2 Porcentagem de trevo na composição botânica da pastagem

Para análise da porcentagem de trevo na composição botânica consideraram-se apenas as parcelas que continham a leguminosa (CT), uma vez que no tratamento sem trevo (ST) a aplicação de herbicida eliminou completamente a leguminosa. Conforme se

constata no Anexo 5, ao contrário do que se esperava (Laidlaw, 1984; Frame e Newbould, 1986), as doses de N aplicadas não influenciaram a porcentagem de trevo na pastagem. Provavelmente isto se deva ao curto período transcorrido entre a aplicação de uréia e a última avaliação ou ao efeito da seca, o qual provavelmente foi preponderante ao efeito das doses de N aplicadas.

A influência do déficit hídrico pode ser observada indiretamente por meio da avaliação dos blocos. O Bloco I, mais úmido, apresentou em média 20,5% de trevo, enquanto que os Blocos II e III, localizados na parte mais elevada do terreno, apresentaram em média 8,9% e 13,6% de trevo na composição botânica, respectivamente.

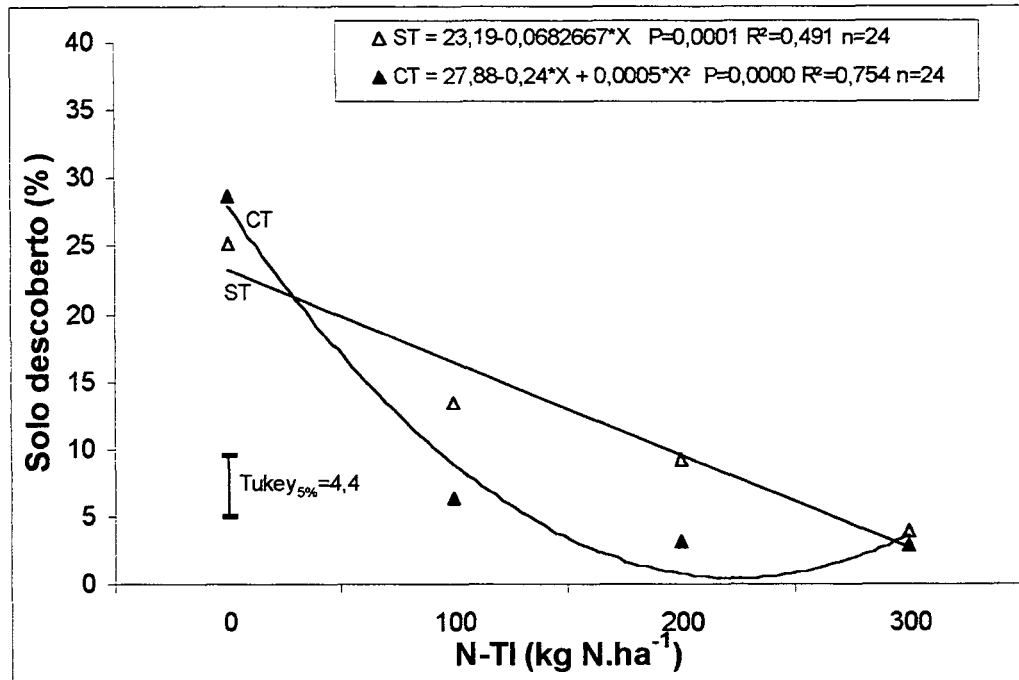
4.1.3 Porcentagem de solo descoberto

Constatou-se influência altamente significativa da interação de doses de N aplicadas no inverno (N-TI) x fator trevo, sobre a porcentagem de solo descoberto (Anexo 4), sendo que tanto o aumento das doses de N, quanto a presença de trevo tiveram um efeito positivo, fazendo com que a porcentagem de solo descoberto diminuísse. Nas áreas com trevo, a aplicação de 100 kg.ha⁻¹ de N foi suficiente para abaixar 22,3 pontos percentuais da proporção de solo descoberto, enquanto que, nas áreas sem trevo, ocorreu uma diminuição de 12 pontos percentuais, mostrando que nas parcelas em que o N não foi aplicado o solo apresentava vários espaços vazios mas, mesmo assim, provavelmente devido a seca o trevo não os preencheu (Figura 8). A aplicação de 100 kg.ha⁻¹ de N além de ter beneficiado o crescimento das gramíneas, igualmente incentivou o desenvolvimento do trevo, que embora seja uma leguminosa, provavelmente não apresentava índices elevados de fixação biológica de nitrogênio devido a debilidade da planta causada pela estiagem.

O pastejo também teve influência positiva, sendo que, as áreas pastejadas apresentavam 8,4% de solo descoberto contra 14,8% das áreas não pastejadas. As plantas tendem a se adaptar ao pastejo por meio da adoção de hábito de crescimento mais prostrado, fazendo com que desta forma maior percentual de solo permaneça coberto.

Uma condição mais propícia para o cultivo posterior de milho, encontra-se naquelas parcelas com maior quantidade de MS e menores porcentagens de solo descoberto. Estas condições são proporcionadas tanto pela presença de pastejo quanto pelo trevo e pela aplicação de nitrogênio, atestando, desta forma, que, a presença contínua de animais em uma área, desde que seja bem manejada (controle de lotação, reposição de

perdas e/ou exportação de nutrientes, associação de espécies forrageiras, etc.), não tem efeitos deletérios à conservação da fertilidade do solo.



Tukey_{5%} = Barra de diferença usada para comparação de duas médias dentro de uma mesma dose de N aplicada.

FIGURA 8 - Porcentagem de solo descoberto em função de doses de N aplicadas no inverno (N-TI) em presença (CT) ou ausência (ST) de trevo, 18 dias após a retirada dos animais, Guarapuava, PR, 1999/2000

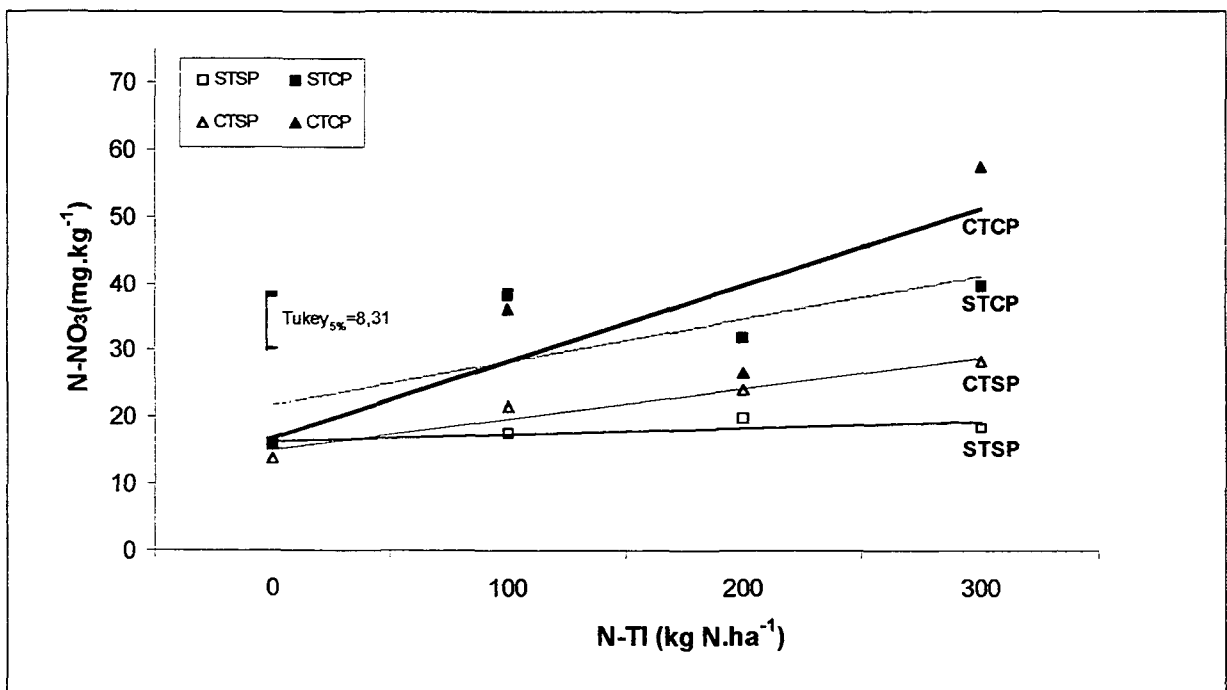
4.2 NITROGÊNIO NO SOLO

4.2.1 Nitrato (N-NO₃⁻)

A interação tripla entre o nitrogênio aplicado no inverno (N-TI) x trevo x pastejo teve influência significativa sobre os teores de N-NO₃⁻ (Anexo 6). Quando o N não foi aplicado, não foi observada qualquer diferença entre a presença ou ausência de trevo e/ou pastejo (Figura 9), mas à medida que as doses de nitrogênio aplicadas no inverno (N-TI) aumentam, as diferenças provocadas pelos distintos tratamentos passam a ser mais acentuadas. A maior disponibilidade de N-NO₃⁻ é atingida nas áreas que tinham trevo, foram pastejadas anteriormente (CTCP) e que receberam 300 kg.ha⁻¹ de N, mostrando que a presença de trevo e pastejo simultaneamente aumentaram a permanência de teores N-NO₃⁻, os quais foram 3,1 vezes maiores que naquelas áreas que apenas

receberam a mais alta dose de N, mas não foram pastejadas e nem apresentavam trevo em sua composição botânica (STSP).

No presente trabalho, as áreas sem trevo e sem pastejo não apresentaram grandes variações dos teores de N-NO_3^- , contudo a inclusão de pastejo ou da leguminosa implicou na manutenção de maiores teores de N-NO_3^- no solo, o que pode estar indicando maiores taxas de mineralização de N nestas parcelas. Bromfield e Simpson (1974) e Unkovich *et al.* (1998) apontam que uma alta intensidade de pastejo pode aumentar a disponibilidade de N principalmente para cultivos nos anos subsequentes. Armstrong *et al.* (1998) observaram recuperação de até 33% do N-fertilizante, na fração de N-mineral do solo, mesmo passados 155 dias após sua aplicação.



Tukey_{5%} = Barra de diferença usada para comparação entre quatro médias dentro de uma mesma dose de N aplicada

FIGURA 9 - Teores de N-NO_3^- no solo em função de doses crescentes de N aplicados no inverno (N-TI), nas áreas Sem Trevo e Sem Pastejo (STSP), nas áreas Sem Trevo e Com Pastejo (STCP), nas áreas Com Trevo e Sem Pastejo (CTSP) e nas áreas Com Trevo e Com Pastejo (CTCP), Guarapuava, PR, 1999/2000

As equações constantes da Tabela 4 mostram que a cada quilograma de N adicionado nas áreas com trevo e com pastejo (CTCP) 0,11 mg de N-NO_3^- foram acrescidos no solo, enquanto que para as áreas sem trevo e sem pastejo (STSP) nem mesmo obteve-se uma equação significativa, indicando que sob este tipo de manejo o

nitrogênio aplicado no inverno (N-TI) não estava presente no solo na forma de N-NO_3^- na data de avaliação.

TABELA 4 - Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R^2) e número de observações (n) dos teores de N-NO_3^- no solo em função de doses crescentes de N aplicados no inverno (N-TI), nas áreas Sem Trevo e Sem Pastejo (STSP), nas áreas Sem Trevo e Com Pastejo (STCP), nas áreas Com Trevo e Sem Pastejo (CTSP) e nas áreas Com Trevo e Com Pastejo (CTCP), Guarapuava, PR, 1999/2000

Tratamentos	Equação	P	R^2	n
STSP	$Y = 16,407 + 0,00944167X$	0,4299	0,0000	48
STCP	$Y = 21,878 + 0,064275X$	0,0014	0,1827	48
CTSP	$Y = 15,011 + 0,0463583X$	0,0010	0,1937	48
CTCP	$Y = 16,735 + 0,114975X$	0,0000	0,3871	48

A distribuição do N-NO_3^- no perfil do solo se deu de forma diferenciada conforme a profundidade amostrada. A Tabela 5 mostra que a medida que aumenta-se a profundidade da camada de solo avaliada, diminui a concentração dos teores de N-NO_3^- , pois, em sistemas de preparo de solo reduzidos, tais como, o plantio direto, tendem a provocar acúmulo de nutrientes nas camadas superficiais do solo.

TABELA 5 - Teores de N-NO_3^- no solo em função da profundidade de solo amostrada, Guarapuava, PR, 1999/2000

Profundidade (cm)	N-NO_3^- (mg.kg^{-1})
0 – 2,5	40,0 A
2,5 – 5,0	27,8 B
5,0 – 10,0	20,8 C
10,0 – 20,0	16,5 D

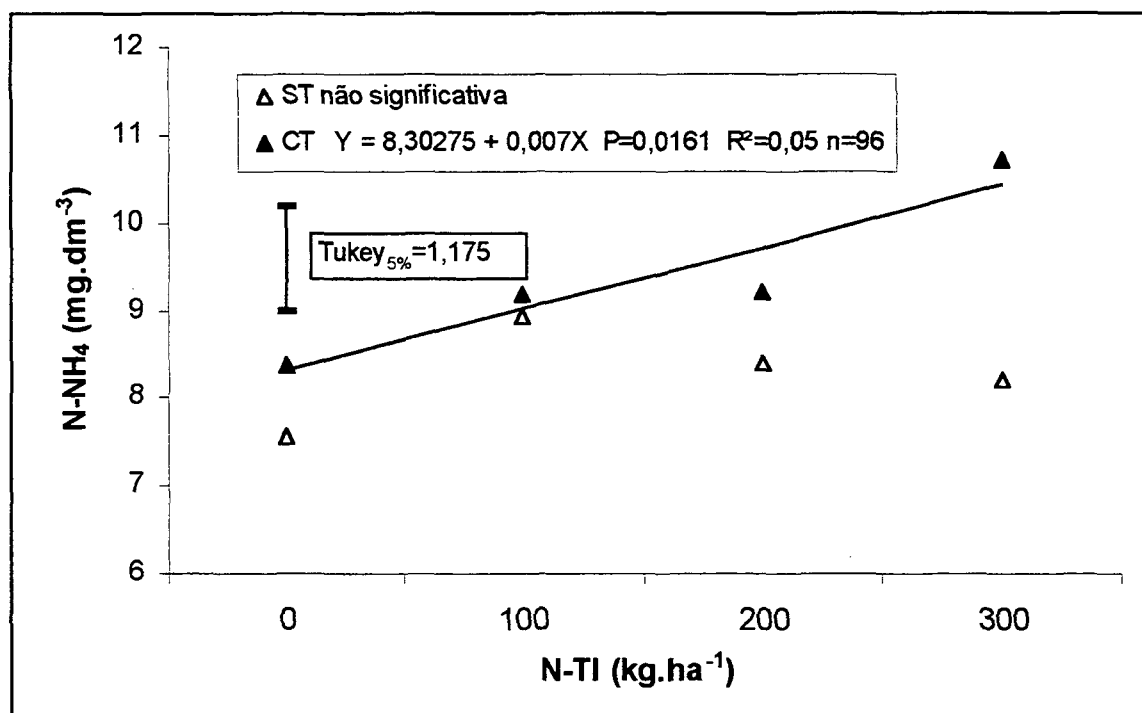
Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste Tukey ao nível de 5%.

Três hipóteses poderiam justificar este comportamento: a) considera-se que a zona de lixiviação de nitratos encontra-se além dos 20 cm amostrados e, sendo assim, as diferenças só seriam observadas em maiores profundidades; b) considera-se que as quantidades de chuvas não foram suficientes para provocar lixiviação mais intensa nas áreas que apresentavam urina; e c) que parte do nitrogênio também foi perdido por volatilização e desnitrificação do N-urina e/ou do N-uréia preferencialmente ao processo de lixiviação.

4.2.2 Amônio (N-NH_4^+)

Os teores de N-NH_4^+ no solo foram influenciados significativamente pela interação entre as doses de N aplicadas no inverno (N-TI) x trevo e isoladamente pelo fator pastejo e pelo fator profundidade (Anexo 6).

Observa-se na Figura 10 que apenas na dose de $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N-TI foi observada diferença estatisticamente significativa, sendo que nesta dose, as áreas com trevo (CT) apresentavam maiores teores de N-NH_4^+ no solo.



Tukey_{5%} = Barra de diferença usada para comparação entre duas médias dentro de uma mesma dose de N aplicada

FIGURA 10 - Teores de N-NH_4 no solo em função de doses crescentes de N aplicados no inverno (N-TI) em áreas Sem Trevo (ST) e Com Trevo (CT), Guarapuava, PR, 1999/2000

As áreas que foram pastejadas (CP) apresentaram $9,2 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ de N-NH_4^+ enquanto que as áreas não pastejadas (SP) tinham teores levemente inferiores ($8,3 \text{ mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Esperava-se tal comportamento, uma vez que, no processo de decomposição da urina, o N-NH_4^+ encontra-se na fase inicial, contudo, passando, na fase seguinte, rapidamente para a forma de N-NO_3^- (Marriott *et al.*, 1987).

A medida que se aumentou a profundidade do solo amostrada, a contração de N-NH_4^+ diminuiu (Tabela 6) indicando, da mesma forma, a manutenção dos teores do elemento na camada superficial do solo, comum em sistemas de preparo de solo reduzido.

TABELA 6 - Teores de N-NH_4^+ no solo em função da profundidade de solo amostrada, Guarapuava, PR, 1999/2000

Profundidade (cm)	N-NH_4^+ (mg.kg^{-1})
0 – 2,5	11,8 A
2,5 – 5,0	9,4 B
5,0 – 10,0	7,7 C
10,0 – 20,0	6,4 D

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste Tukey ao nível de 5%.

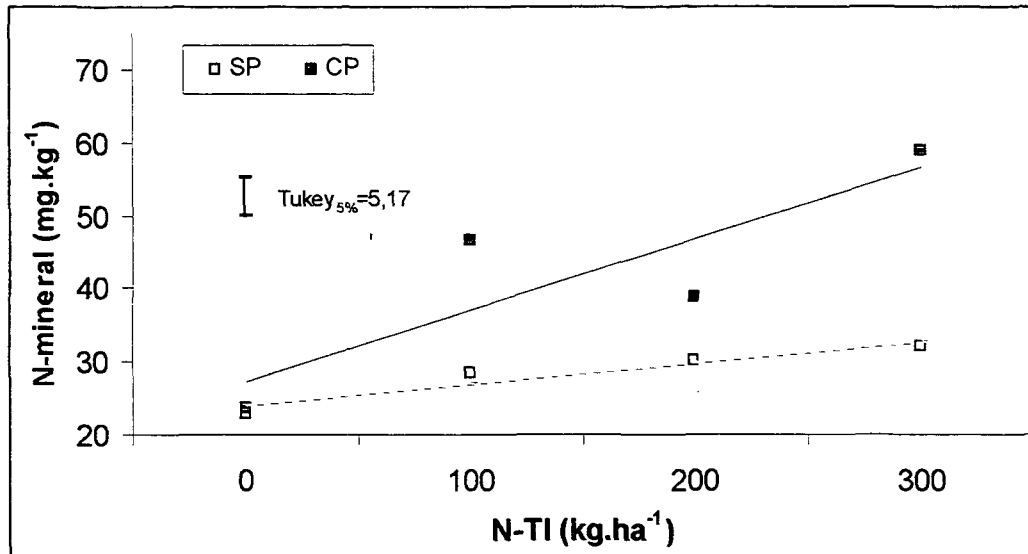
4.2.3 Nitrogênio mineral ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$)

Observa-se no Anexo 6 que a interação entre pastejo x N-TI e trevo x N-TI tiveram influência altamente significativa sobre os teores de N-mineral do solo. Bem como os teores de N-mineral eram diferentes conforme a profundidade de solo amostrada. As Figuras 11 e 12 mostram que mesmo 83 dias após a aplicação das doses de N no inverno (N-TI) este continua a influenciar os teores de N-mineral no solo. As parcelas que não receberam N-TI, nas áreas com trevo (CT), sem trevo (ST), com pastejo (CP) e sem pastejo (SP) apresentaram um valor médio de 23 mg.kg^{-1} de N-mineral, mas a partir da aplicação de 100 kg.ha^{-1} de N, os teores de N-mineral passaram a ser mais elevados quando comparados às áreas que não receberam N no inverno, sendo este comportamento potencializado em maior intensidade pela presença de pastejo (Figura 11) e em menor intensidade pela presença de trevo (Figura 12).

As parcelas CP que receberam 300 kg.ha^{-1} de N apresentaram teores de N 1,8 vezes maiores que as áreas SP para a mesma dose de N aplicada. E as áreas CT apresentaram teores de N-mineral 1,4 vezes maiores que as áreas ST, indicando que tanto o fator pastejo quanto o fator trevo foram determinantes para a manutenção e/ou elevação do N no solo, oriundo da aplicação do elemento feita anteriormente no sistema (Sen e Chalk, 1994; Williams e Haynes, 1993; Shariff *et al.*, 1994;. Angus *et al.*, 1998; Heenan e Chan, 1992; Puckridge e French, 1983).

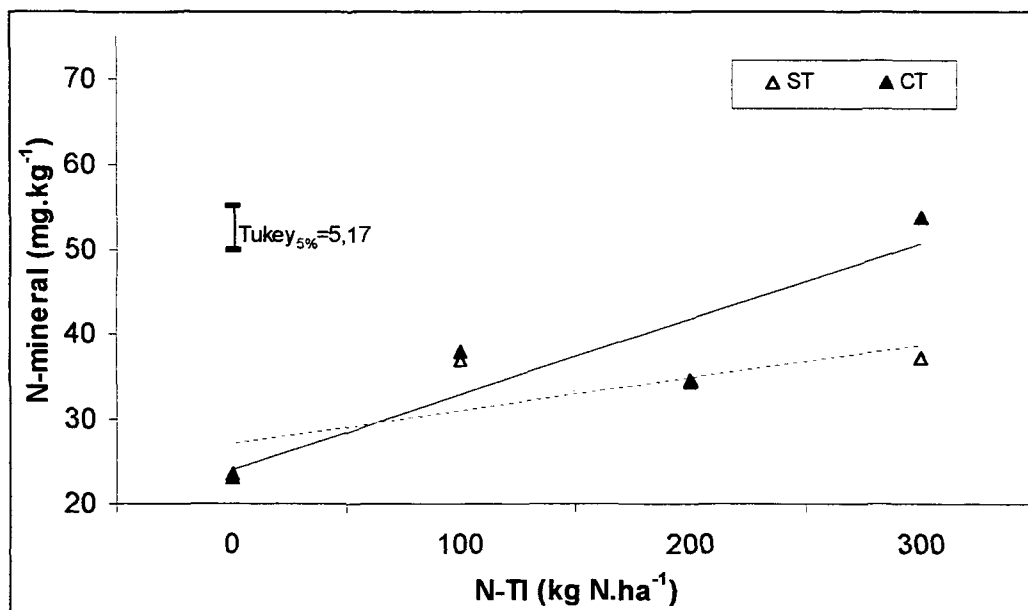
Na Tabela 7 constata-se, conforme as equações, que nas áreas pastejadas (CP) a cada quilograma de N adicionado $0,1 \text{ mg}$ de N-mineral permaneciam no solo enquanto que

para as áreas sem pastejo (SP) a mesma relação era de 0,03. Situação semelhante foi observada quando comparadas as parcelas com trevo (CT) e sem trevo (ST).



Tukey_{5%} = Barra de diferença usada para comparação entre duas médias dentro de uma mesma dose de N aplicada

FIGURA 11 - Teores de N-mineral no solo em função de doses crescentes de N aplicadas no inverno (N-TI) nas áreas Sem Pastejo (SP) e Com Pastejo (CP), Guarapuava, PR, 1999/2000



Tukey_{5%} = Barra de diferença usada para comparação entre duas médias dentro de uma mesma dose de N aplicada

FIGURA 12 - Teores de N-mineral no solo em função de doses crescentes de N aplicadas no inverno (N-TI) nas áreas Sem Trevo (ST) e Com Trevo (CT), Guarapuava, PR, 1999/2000

TABELA 7 - Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R^2) e número de observações (n) dos teores de N-mineral no solo em função de doses crescentes de N aplicadas no inverno (N-TI) nas áreas Sem Pastejo (SP), Com Pastejo (CP), Sem Trevo (ST) e Com Trevo (CP), Guarapuava, PR, 1999/2000

Tratamento	Equação	P	R^2	n
SP	$Y = 24,0004 + 0,0289208 \cdot X$	0,0107	0,0573	96
CP	$Y = 27,3826 + 0,09713 \cdot X$	0,0000	0,2634	96
ST	$Y = 27,2073 + 0,03829 \cdot X$	0,0115	0,0561	96
CT	$Y = 24,1757 + 0,0877608 \cdot X$	0,0000	0,2351	96

Quando Pom *et al.* (1999) aplicaram $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N, na fase de dessecação da aveia, observaram 58 dias depois, que os teores de N-mineral no solo igualavam-se estatisticamente aos teores da testemunha que não havia recebido nenhuma adubação nitrogenada. O presente trabalho apresentou um comportamento semelhante, se analisadas apenas as parcelas sem pastejo (SP) e sem trevo (ST), contudo, a presença destes dois fatores, novamente mostrou influência determinante sobre a disponibilidade do N no solo na data de amostragem.

Embora a maior disponibilidade de N-mineral seja considerada positiva, pois o nutriente estaria na forma que as plantas teriam fácil acesso, esta disponibilidade pode expor o elemento mais intensamente aos processos de lixiviação que são intensificados pela urina dos animais. Contudo, tal tendência não foi observada (Anexo 6) pois apenas o fator profundidade foi significativo, indicando que independentemente das doses de N-TI aplicadas, ou da presença e ausência de trevo ou de pastejo o deslocamento do N-mineral no perfil do solo se deu de forma semelhante (Tabela 8), sendo as diferenças constatadas nas distintas profundidades, resultante da estratificação na distribuição de nutrientes que é comumente observada nos sistemas com número reduzido de operações de revolvimento do solo como o plantio direto. Eriksen e Søgaard (2000) também não encontraram diferenças nos teores de N-mineral lixiviados em um cultivo de trigo, provocados pelo manejo diferenciado (corte ou pastejo) de forrageiras conduzidas anteriormente. A maior taxa de lixiviação provocada pelo pastejo normalmente ocorre durante a fase de pastejo. Além disso, o experimento foi conduzido em área de solo argiloso com elevado teor de matéria orgânica e segundo Bergström e Johansson (1991) são os solos menos susceptíveis a lixiviação do elemento.

TABELA 8 - Teores de N-mineral no solo em função da profundidade de solo amostrada, Guarapuava, PR, 1999/2000

Profundidade (cm)	N-mineral (mg.kg ⁻¹)
0 – 2,5	51,9 A
2,5 – 5,0	37,2 B
5,0 – 10,0	28,6 C
10,0 – 20,0	22,9 D

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo Teste Tukey ao nível de 5%.

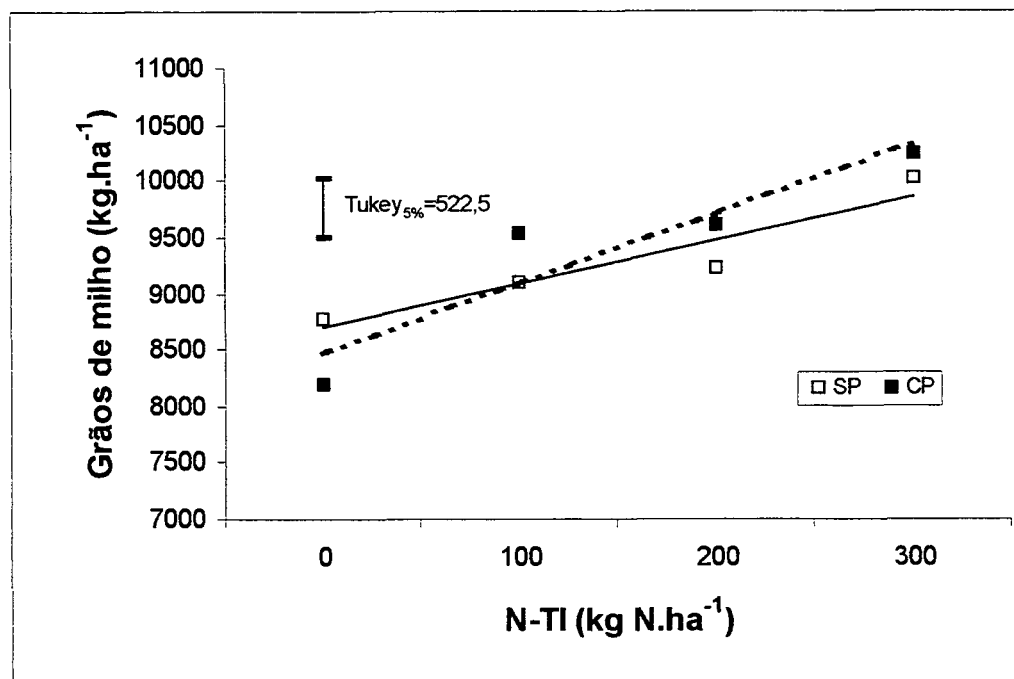
A adoção do sistema de plantio direto também reduz as altas taxas de lixiviação de N-mineral, tais como as observadas na Europa. Lá, normalmente antes do plantio, SE faz-se uma aração da área, aumentando repentinamente a taxa de decomposição de matéria orgânica o que leva a um rápido incremento na disponibilidade de N, que será facilmente lixiviado pelas primeiras chuvas (Viaux *et al.*, 1999).

4.3 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

A produtividade de grãos de milho foi influenciada pela interação entre as doses de N aplicadas no inverno (N-TI) e pastejo e pela interação entre N-TI e as doses de N aplicadas no verão (N-TV), conforme observado no Anexo 7. As áreas que não receberam N no inverno (N-TI) e foram pastejadas, apresentaram produtividades inferiores às áreas sem pastejo (SP) e inversamente, em presença das doses de N no inverno, apesar de a diferença observada não ter sido significativa, a presença de pastejo (CP) resultou em produtividades de milho superiores às áreas SP (Figura 13).

O pastejo feito anteriormente, provavelmente favoreceu a reciclagem mais rápida do N aplicado, atuando como bombeador do N no solo e possibilitando, desta forma, maior aproveitamento do nutriente aplicado quando comparado às áreas que não receberam pastejo (Floate, 1981; Hoglund, 1985; Thornley e Verberne, 1990 e Parsons *et al.* 1991). Esta tendência é confirmada pelos teores de N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ e N-mineral no solo, examinados no estágio V5 da cultura do milho, que eram significativamente superiores nas áreas que foram pastejadas anteriormente e que receberam N-TI (Figura 11).

Verifica-se pelas equações apresentadas na Tabela 9, que a inclusão do pastejo no sistema, aumentou a eficiência da utilização do N aplicado no inverno (N-TI). Nas áreas CP, para cada quilograma de N adicionado no inverno (N-TI), 6,2 kg de grãos de milho por ha foram produzidos, enquanto que nas áreas SP esta relação baixou para 3,9.



Tukey_{5%} = Barra de diferença usada para comparação entre duas médias dentro de uma mesma dose de N aplicada.

FIGURA 13 - Produtividade de grãos de milho (kg.ha⁻¹) em função de doses crescentes de nitrogênio aplicadas no inverno (N-TI) em áreas Sem Pastejo (SP) e Com Pastejo (CP), Guarapuava, PR, 1999/2000

TABELA 9 - Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R²) e número de observações (n) da produtividade de grãos de milho (kg.ha⁻¹) em função de doses crescentes de nitrogênio aplicadas no inverno (N-TI) em áreas Sem Pastejo (SP) e Com Pastejo (CP), Guarapuava, PR, 1999/2000

N-TI (Kg.ha ⁻¹)	Equação	P	R ²	n
SP	$Y = 8702,8 + 3,86828X$	0,0017	0,0725	120
CP	$Y = 8462,26 + 6,21198X$	0,0000	0,1877	120

Nas áreas que não receberam N no inverno e foram pastejadas, o consumo animal passa a ser mais um fator de degradação do sistema que um fator de intensificação de uso de N, uma vez que, conforme observado na Figura 7, as áreas com N-TI apresentaram um acúmulo de massa seca da pastagem duas vezes maior que as parcelas que não receberam N no inverno (N-TI), indicando desta forma a carência do N nestas, o que posteriormente continuou a se manifestar na cultura do milho.

Deve-se considerar, também, que embora quantidade igual de MS tenha restado nas áreas pastejadas (CP) e nas áreas sem pastejo (SP), não se avaliou a qualidade desta

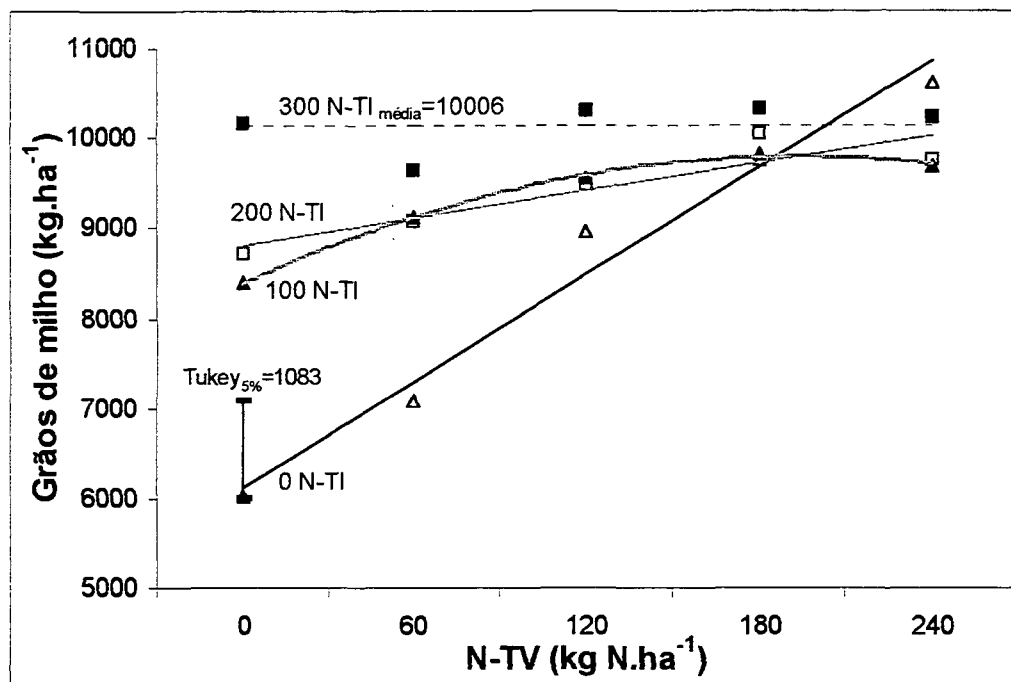
MS (% de N, relação C/N, proporção de material senescente, etc.). As áreas não pastejadas tem tendência a apresentar maiores quantidades de material senescente e provavelmente com maiores relações C/N. Desta forma, maiores quantidades de N seriam exigidas pelos microorganismos para degradarem materiais oriundos das áreas SP (Hoglund, 1985 e Thornley e Verberne, 1990).

Observa-se na Figura 14 o grande efeito residual do N aplicado no inverno (N-TI). As áreas que não receberam N no inverno apresentaram respostas à aplicação de N no milho no verão (N-TV), sendo que a cada quilograma de N aplicado a produtividade de grãos de milho aumentou 19,8 kg (Tabela 10). E ao contrário, as parcelas que receberam 300 kg.ha⁻¹ de N no inverno (N-TI) não responderam à adição de N no milho (N-TV) e, em média, apresentaram elevadas produtividades de grãos de milho (10.006 kg.ha⁻¹), comprovando desta forma que grande parte do N aplicado no inverno permaneceu disponível para o cultivo posterior e, conseqüentemente, este não necessitaria de adubações nitrogenadas.

Esta permanência do N-TI aplicado foi favorecida, principalmente, pela baixa intensidade de chuvas que ocorreu no período entre a segunda parcela de aplicação de N-TI e a última aplicação de N-TV no milho, que totalizou 487 mm em 100 dias, o que diminuiria as quantidades de N lixiviadas. Se o N não fosse aplicado na cultura do milho no verão (N-TV) a produtividade média deste tratamento seria de 10.167 kg.ha⁻¹ de grãos de milho. Isto corresponde a uma produção de 34 kg.ha⁻¹ de grãos de milho para cada quilograma de N-TI aplicado.

A utilização do N aplicado no verão pela a cultura do milho (N-TV) passa a ser mais eficiente quando aplicado sobre parcelas que não receberam N-TI. Para atingir-se os mesmos 10.167 kg.ha⁻¹ de grãos de milho do caso anterior, tendo como base a equação constante na Tabela 10, seriam necessários 205 kg.ha⁻¹ de N-TV, o que corresponde a aproximadamente 50 kg.ha⁻¹ de grãos de milho por quilograma de N ha⁻¹ aplicado no verão na cultura do milho (N-TV). Significando que este tipo de aplicação foi 1,5 vezes mais eficiente que quando o adubo foi utilizado no inverno.

Provavelmente o efeito residual do nitrogênio aplicado no inverno (N-TI) sobre a produtividade de grãos de milho foi resultante da quantidade de massa seca produzida no período de descanso da pastagem, uma vez que, esta variável foi fortemente influenciada pela adubação nitrogenada de inverno (Figura 7).



Tukey_{5%} = Barra de diferença usada para comparação entre quatro médias dentro de uma mesma dose de N aplicada.

FIGURA 14 - Produtividade de grãos de milho em função de doses crescentes de N aplicadas no verão (N-TV) e no inverno (N-TI), Guarapuava, PR, 1999/2000

TABELA 10 - Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R²) e número de observações (n) da produtividade de grãos de milho em função de doses crescentes de N aplicadas no milho no verão (N-TV) e no inverno (N-TI), Guarapuava, PR, 1999/2000

N-TI (Kg.ha ⁻¹)	Equação	P	R ²	n
0	$Y = 6111,91 + 19,7964X$	0,0000	0,6320	60
100	$Y = 8379,91 + 14,5846X - 0,0376662X^2$	0,0001	0,2583	60
200	$Y = 8798,93 + 5,14103X$	0,0185	0,0764	60
300	$Y = 9973,2 + 1,34326X$	0,3356	0,0000	60

A relação entre a produtividade da massa seca da pastagem com a produtividade de grãos de milho foi estudada, contudo, como a adubação nitrogenada de verão (N-TV) teria apenas influência sobre a produtividade do milho, a relação foi avaliada para as parcelas referentes a cada dose de N-TV isoladamente. Só foram encontradas equações significativas para as parcelas que receberam 0 kg.ha⁻¹ de N (Figura 15) e 60 kg.ha⁻¹ de N (Figura 16) em N-TV.

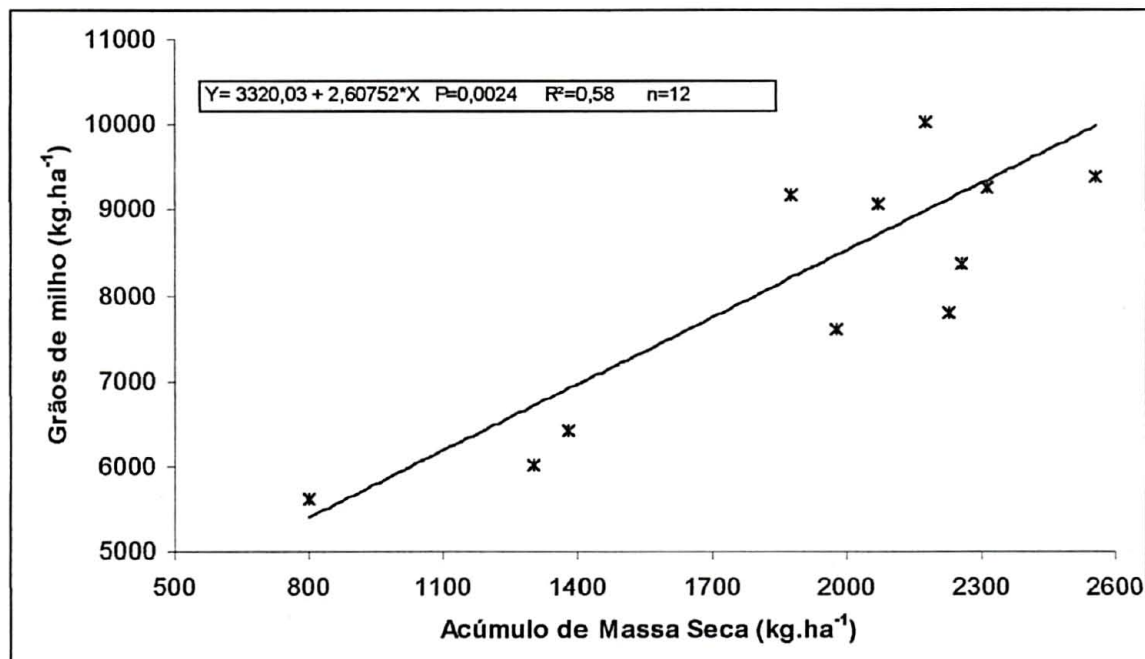


FIGURA 15 - Produtividade de grãos de milho para as parcelas que receberam 0 kg.ha⁻¹ de N como adubação de verão (N-TV) em função acúmulo de massa seca resultante do rebrote da cultura de inverno, Guarapuava, PR, 1999/2000

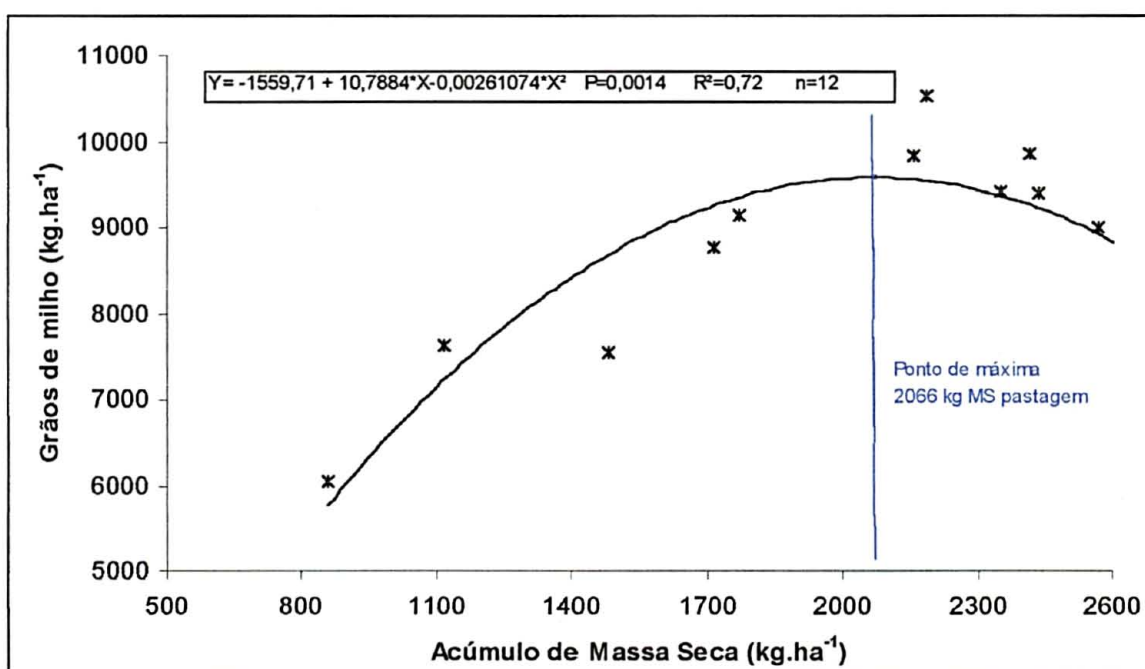


FIGURA 16 - Produtividade de grãos de milho para as parcelas que receberam 60 kg.ha⁻¹ de N como adubação de verão (N-TV) em função acúmulo de massa seca resultante do rebrote da cultura de inverno, Guarapuava, PR, 1999/2000

A partir da aplicação de 120 kg.ha^{-1} de N em N-TV não se constataram mais regressões significativas entre produtividade de grãos de milho e produção de massa seca no rebrote da pastagem. A adição desta dose de N na cultura do milho, ou de maiores doses, poderia corrigir a carência de N deixada anteriormente, provavelmente, devido à baixa quantidade de resíduo que restou para o plantio da cultura em sistema de plantio direto.

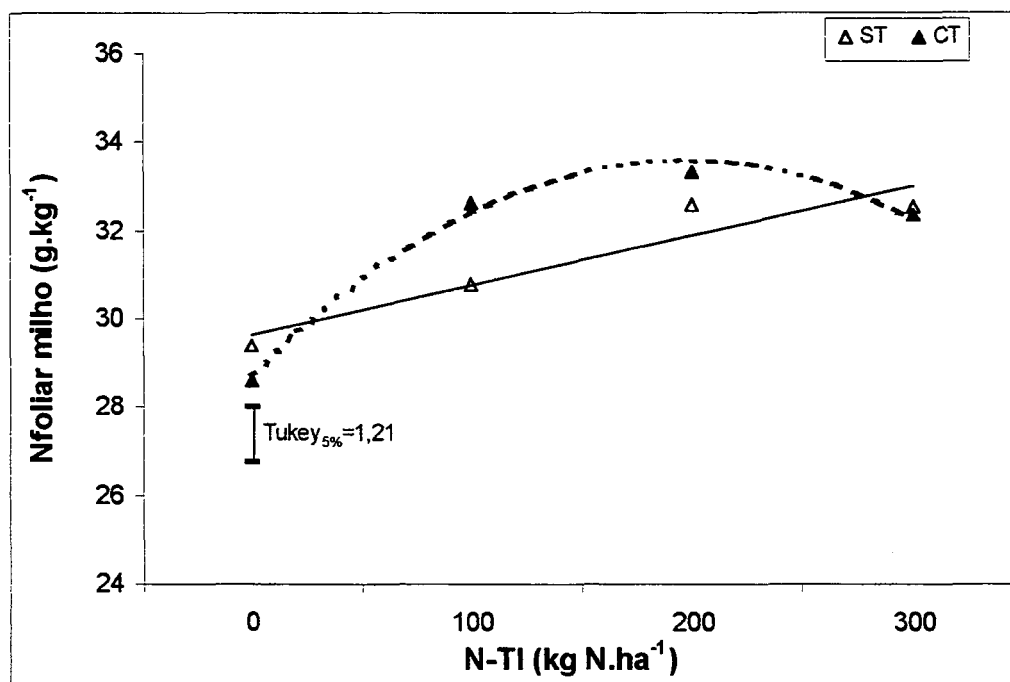
Quando o N não foi adicionado, ou foi feita uma adubação com pequenas quantidades (60 kg.ha^{-1} de N) na cultura do milho (N-TV), a quantidade de resíduo deixada pelo rebrote da pastagem passou a atuar mais significativamente. Na Figura 16 observa-se pela equação que o ponto de máxima produtividade de milho nas parcelas que receberam 60 kg.ha^{-1} de N-TV foi de 9.586 kg.ha^{-1} e foi obtida quando o resíduo da pastagem era de 2.066 kg.ha^{-1} .

Para o caso da não adição de N na cultura do milho (N-TV), a produtividade aumentou linearmente em função da quantidade de massa seca deixada como resíduo e para atingir o mesmo nível de produtividade máxima constatada para as parcelas adubadas com 60 kg.ha^{-1} de N-TV seria necessário um resíduo de 2.403 kg.ha^{-1} de massa seca.

Conforme a equação apresentada na Figura 7, observa-se que a máxima produção de massa seca resultante da brotação da pastagem é obtida quando 231 kg.ha^{-1} de N são adicionados na pastagem (N-TI) e corresponde a uma produção de 2.383 kg.ha^{-1} de massa seca. Sendo assim, pode-se afirmar que a adição de 231 kg.ha^{-1} de N-TI assegurou o rebrote da pastagem e também elevados patamares de produtividade de milho, comprovando desta forma o efeito residual da adubação nitrogenada de inverno sobre a cultura de verão.

4.3.1 Nitrogênio foliar

Conforme Anexo 7, constata-se influência significativa das interações dos fatores doses de N aplicado no inverno (N-TI) x fator trevo e da interação N-TI x doses de N aplicadas no verão (N-TV) sobre a concentração de N no tecido foliar do milho. Na Figura 17 observa-se o efeito diferenciado da aplicação de doses de N-TI nas parcelas sem trevo (ST) e com trevo (CT) sobre os teores de N-foliar. Na Tabela 11 encontram-se os dados das respectivas equações contidas na figura.



Tukey_{5%} = Barra de diferença usada para comparação entre duas médias dentro de uma mesma dose de N aplicada

FIGURA 17 - Teores de N-foliar no milho (g.kg⁻¹) em função das doses de N aplicadas no inverno (N-TI) em áreas Sem Trevo (ST) e Com Trevo (CT), Guarapuava, PR, 1999/2000

TABELA 11 - Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R²) e número de observações (n) dos teores de N-foliar no milho (g.kg⁻¹) em função das doses de N aplicadas no inverno (N-TI) em áreas Sem Trevo (ST) e Com Trevo (CT), Guarapuava, PR, 1999/2000

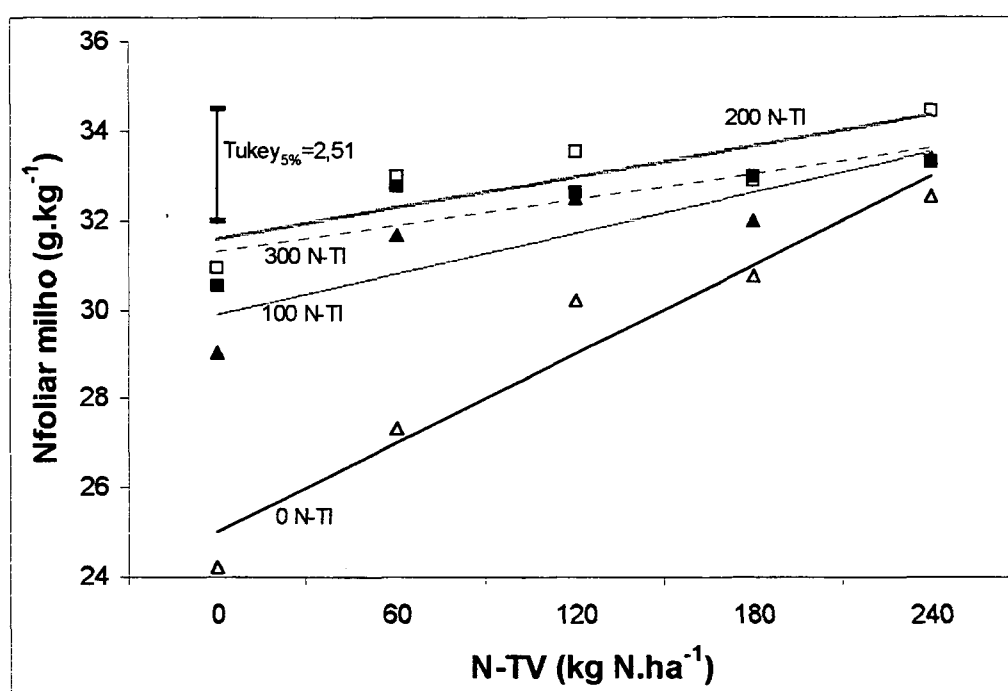
N-TI (kg.ha ⁻¹)	Equação	P	R ²	n
ST	$Y = 29,6317 + 0,0112833X^*$	0,0000	0,1238	120
CT	$Y = 28,7122 + 0,049305X - 0,000124917X^2$	0,0000	0,2551	120

Embora a interação N-TI x trevo tenha sido significativa em relação aos teores de N-foliar do milho, a mesma não foi significativa no caso da variável produtividade de grãos de milho (Anexo 7). A maior eficiência de absorção de N pelas plantas de milho em áreas CT, a medida que aumentavam-se as doses de N aplicadas (Figura 17 e Tabela 11) pode estar novamente indicando que o trevo beneficiou-se da aplicação de N-TI, devido a redução de fixação biológica, provavelmente, causada pela seca.

Trani *et al.* (1983) e Malavolta (1980) indicam 30 g de N.kg⁻¹ de MS de tecido foliar do milho, como valor crítico de N na folha e segundo Amon (1974) quando os teores de N-

foliar são maiores que 31 g.kg^{-1} pouca ou nenhuma resposta de aumentos de produtividades são esperados quando doses de N-fertilizantes são adicionadas ao solo.

Neste caso, conforme Figura 18 e Tabela 12 as plantas que não receberam N no inverno (N-TI) responderiam mais acentuadamente às adubações nitrogenadas de verão (N-TV) e atingiriam o nível adequado de N-foliar com a adição de 180 kg.ha^{-1} de N-TV. Contudo, outros autores indicam um nível crítico mais elevado, de 32 g.kg^{-1} (Fageria *et al.*, 1991). Tomando este índice como nível crítico, as parcelas que receberam 100, 200 e 300 kg.ha^{-1} de N-TI necessitariam respectivamente de 139, 38 e 74 kg.ha^{-1} de N-TV. No presente experimento a adoção do nível de 31 g.kg^{-1} parece mais adequada, uma vez que, de acordo com o índice de Fageria *et al.* (1991) a necessidade de adubação das plantas que receberam 300 kg.ha^{-1} de N-TI são superiores às que receberam 200 kg.ha^{-1} de N-TI.



Tukey_{5%} = Barra de diferença usada para comparação entre quatro médias dentro de uma mesma dose de N aplicada.

FIGURA 18 - Teores de N-foliar no milho (g.kg^{-1}) em função de doses crescentes de N aplicadas no milho verão (N-TV) e no inverno (N-TI), Guarapuava, PR, 1999/2000

A interação entre o N aplicado no inverno (N-TI) e o N aplicado no verão (N-TV) foi significativa para as variáveis produtividade de grãos de milho (Figura 14) e teores de N foliar (Figura 18). Com base nos valores médios obtidos desta interação, na Figura 19, encontra-se a representação das produtividades de grãos de milho em função dos teores

de N-foliar. De acordo com a equação obtida, com o nível crítico de 31 g.kg^{-1} seria atingida uma produtividade de 9.616 kg.ha^{-1} de grãos de milho. O ponto de máxima da regressão polinomial é alcançado com um teor de N-foliar de $33,2 \text{ g.kg}^{-1}$ e corresponde a uma produtividade de 9.852 kg.ha^{-1} .

TABELA 12 - Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R^2) e número de observações (n) dos teores de N-foliar no milho (g.kg^{-1}) em função de crescentes de N aplicadas no milho no verão (N-TV) e no inverno (N-TI), Guarapuava, PR, 1999/2000

N-TI (kg.ha^{-1})	Equação	P	R^2	n
0	$Y = 25,02 + 0,0332639X$	0,0000	0,5727	60
100	$Y = 29,8983 + 0,0150694X$	0,0005	0,1786	60
200	$Y = 31,5633 + 0,0115833X$	0,0253	0,0675	60
300	$Y = 31,2883 + 0,00966667X$	0,0096	0,0947	60

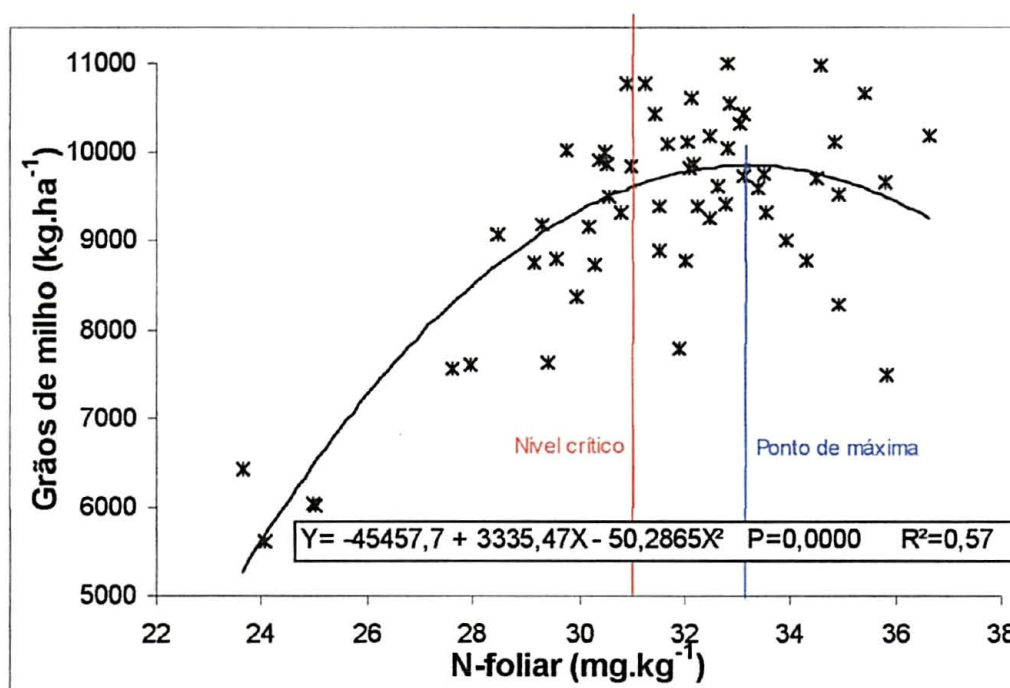


FIGURA 19 - Produtividade de grãos de milho em função de teores de N-foliar (Interação N-TI x NTV), Guarapuava, PR, 1999/2000

Se a relação produtividade de grãos de milho em função dos teores de N-foliar for analisada, considerando o efeito da aplicação de N-TV dentro de cada dose de N-TI (Tabela 13), observa-se que o maior coeficiente de determinação (0,91) é obtido com a equação referente as parcelas que não receberam N no inverno (N-TI) indicando que esta equação é particularmente eficiente para determinação de produtividades em função de N-

foliar. Com a adoção do nível crítico de N-foliar (31 g.kg^{-1}) a produtividade obtida por esta equação seria de 9.588 kg.ha^{-1} de grãos de milho.

Contudo a não obtenção de uma equação significativa para os níveis de 200 e 300 kg.ha^{-1} de N-TI está indicando que provavelmente os valores iniciais de produtividade e de N-foliar já eram elevados, fazendo com que a adição de N-TV pouco alterasse qualquer uma das variáveis e não gerando desta forma um comportamento plausível de modelização e consequentemente indicando um baixo índice de aproveitamento da adubação N-TV nestes níveis.

TABELA 13 - Equações, níveis de probabilidade (P), coeficiente de determinação ajustado (R²) e número de observações (n) da produtividade de grãos de milho em função do N-foliar no milho (g.kg^{-1}) dentro de cada dose de N aplicada no inverno (N-TI), Guarapuava, PR, 1999/2000

N-TI (Kg.ha^{-1})	Equação	P	R ²	n
0	$Y = -7571,41 + 553,532X$	0,0000	0,91	12
100	$Y = 968,269 + 263,295X$	0,0035	0,46	12
200	Não significativa	0,8237	0,00	12
300	Não significativa	0,5743	0,00	12

5 CONCLUSÕES

A máxima eficiência técnica do rebrote da cultura de inverno, após 18 dias da retirada dos animais, é obtida com a adição de 231 kg.ha^{-1} de N como adubação de inverno (N-TI).

A presença do fator pastejo isoladamente e a adição de N-TI em presença do trevo resulta em uma menor porcentagem de solo descoberto na área de rebrote da cultura de inverno e, conseqüentemente, para a implantação da cultura de verão.

A aplicação de N-TI não influencia a porcentagem de trevo na composição botânica do rebrote.

A presença de trevo não influenciou a produtividade de grãos de milho quando cultivado em seqüência a leguminosa, mas as plantas de milho cultivadas em áreas com trevo acumulam mais N-foliar, na proporção em que doses crescentes de N foram aplicadas anteriormente no inverno (N-TI), que aquelas plantas de milho cultivadas em parcelas que não tinham trevo.

As áreas pastejadas que receberam adubação nitrogenada durante o inverno apresentam uma tendência de exibir maiores produtividades de grãos de milho que aquelas áreas não pastejadas. E ao contrário, nas áreas que não receberam adubação nitrogenada durante o inverno, as maiores produtividades foram obtidas em áreas sem pastejo.

Plantas de milho cultivadas em parcelas que receberam 300 kg.ha^{-1} de N como N-TI não respondem a aplicação de adubação nitrogenada de verão, comprovando desta forma o efeito residual da adubação nitrogenada de inverno (N-TI).

Quando o N não é adicionado ou é adicionado em pequenas quantidades (kg.ha^{-1} de N) como N-TV é necessário um acúmulo mínimo de aproximadamente 2.000 kg.ha^{-1} de de resíduo de massa seca da cultura de inverno para assegurar produtividades de milho superiores a 9.000 kg.ha^{-1} .

Na fase V5 da cultura do milho, maiores quantidades de N-NO_3^- originários do N aplicado como tratamento de inverno foram encontrados nas áreas pastejadas e com trevo, o que indica taxas de mineralização mais elevadas nestas áreas.

REFERÊNCIAS

- ALFAIA, S.S. Destino de adubos nitrogenados marcados com ^{15}N em amostras de dois solos da Amazônia Central. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.21, n.3, p.379-385, 1997.
- ANGUS, J.F.; van HERWAARDEN, A. F.; FISCHER, R. A.; HOWE, G. N.; HEENAN, D. P. The source of mineral nitrogen for cereals in south-eastern Australia. *Australian Journal of Agriculture Research*, Victoria, v.49, p.511-522, 1998.
- ARCHER, S.; SMEINS, F. E. Ecosystem-level processes. In HEITSCHIMIDT, R.K.; STUTH, J. W. (Ed.) *Grazing management: an ecological perspective*. Portland: Timber Press, 1991. p.109-139.
- ARMSTRONG, R.D.; PROBERT, M.E.; McCOSKER, K.; MILLAR, G. Fluxes of nitrogen derived from plant residues and fertiliser on a cracking clay in a semi-arid environment. *Australian Journal of Agriculture Research*, Victoria, v.49, p.437-449, 1998.
- ARNON, I. *Mineral nutrition of maize*. Bern-Worblaufen: International Potash Institute, 1974. 452 p.
- ASSMANN, A.L.; ASSMANN, T.S.; MORAES de, A.; SANDINI, I.; PELISSARI, A.; CARVALHO, P. C. de F. Efeito de nitrogênio na composição botânica e no resíduo de matéria seca de uma pastagem azevém e aveia associados ou não ao trevo branco em rotação lavoura-pecuária. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. *Anais*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2000. 1 CD-ROM.
- ASSMANN, T. S.; LOISEAU, P.; DELPY, R.; OLLIER, J-L. Soil organic matter fractions and the kinetics of inorganic N as affected by previous white clover (*Trifolium repens* L.) content in grasslands. In: NITROGEN WORKSHOP, 11., 2001, Reims. *Book of abstracts*. Reims: INRA, 2001.
- BAETHGEN, W.E. Dinamica del nitrogeno en sistemas de rotacion cultivos-pasturas. *Revista INIA de Investigaciones Agronómicas*. Montevideo, v.1, n.1, p.3-25, 1992.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; MARCOLAN, A. L.; DURIGON, R. Possibilidade de manejo do nitrogênio na cultura do milho em sucessão a aveia preta, no sistema plantio direto. In REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., 1998, Santa Maria. **Resumos expandidos**. Santa Maria: NRS/SBCS, 1998. p. 98-101.

BAUER, A.; COLE, C.V.; BLACK, A. L. Soil property comparisons in virgin grassland between grazed and non grazed management systems. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.51, p.176-182, 1987.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre, 1996. 241f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.105-112, 1997a.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Gênese, 1999, p. 9-26.

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

BERGSTRÖM, L.; JOHANSSON, R. Leaching of nitrate from monolith lysimeters of different types of agricultural soils. **Journal of Environment Quality**, v.20, p.801-807, 1991.

BOLLER, B.C.; NÖSBERGER, J. Symbiotically fixed nitrogen from field-grown white and red clover mixed with ryegrasses at low levels of N¹⁵ fertilization. **Plant and Soil**, The Hague, v.104, p.219-226, 1987.

BREMMER, J.M. Recent research on problems in the use of urea as a nitrogen fertilizer. **Fertilizer Research**, The Netherlands, v.42, p.321-329, 1985.

BROADBENT, F.E.; NAKASHIMA, T.; CHANG, G.Y. Estimation of nitrogen fixation by isotope dilution in field and greenhouse experiments. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.625-628, 1982.

BROMFIELD, S. M.; SIMPSON, J. R. Effects of management on soil fertility under pasture

2. Changes in nutrient availability. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Melbourne, v.14, p.479-486, 1974.

CARADUS, J. R. The structure and function of white clover roots systems. **Advances in Agronomy**, New York. v.43, p.1-46, 1990.

CARRAN, R. A.; BALL, P. R.; THEOBALD, P. W.; COLLINS, M. E. G. Soil nitrogen balances in urine-affected areas under two moisture regimes in Southland. **New Zealand Journal of Experimental Agriculture**, Wellington, v.10, p.377-381, 1982.

CHASTON, I. **Mathematics for ecologists**. London: Butterworth e Co., 1971. 132 p.

CUTTLE, S. P.; SCHOLEFIELD, D. Management options to limit leaching from grassland. **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v.20, p.299-312, 1995.

DECAU, M. L.; DELABY, L.; ROCHE, B. AzoPât: une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. II- Les flux du système sol-plante. **Fourrages**, Versailles, v.151, p.313-330, 1997.

DIAZ ROSSELO, R. Evolucion del nitrogeno total en rotaciones con pasturas. **Revista INIA de Investigaciones Agronómicas**, Montevideo, v.1, n.1, p.27-35, 1992.

DIEKOW, J.; MEURER, E. J.; SALET, R. L. Quando aplicar o fertilizante nitrogenado para a cultura do milho no sistema plantio direto? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Anais**. Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 1 CD-ROM.

DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAM, J. W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Ed.) **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**, Honolulu: University of Hawaii Press, 1989, p.33-67.

ECKERT, D. J.; DICK, W. A.; JOHNSON, J.W. Response of no-tillage grown in corn and soybean residues to several nitrogen fertilizer sources. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, p.231-235, 1986.

ELGERSMA, A.; HASSINK, J. Effects of white clover (*Trifolium repens* L.) on plant and soil nitrogen and soil organic matter in mixtures with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). **Plant and Soil**, The Hague, v.197, p.177-186, 1997.

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de**

análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná.** Curitiba: SUDESUL/ IAPAR, 1984. 2V. (Boletim Técnico, 27).

ERIKSEN, J.; SØEGAARD, K. Nitrate leaching following cultivation of contrasting temporary grasslands. In: GENERAL MEETING OF THE EUROPEAN GRASSLAND FEDERATION, 18., 2000, Aalborg. **Proceedings.** Aalborg: European Grassland Federation, 2000. p. 477-479.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops.** New York: Marcel Dekker, Inc., 1991. 476 p.

FLOATE, M. J. S. Effects of grazing by large herbivores on nitrogen cycling in agricultural ecosystems. In: CLARK, F. E.; ROSSWALL, T. (Ed.) **Terrestrial Nitrogen Cycles.** Stockholm: Ecological Bulletin, n.33, 1981, p.585-601.

FRAME, J.; NEWBOULD, P. Agronomy of white clover. **Advances in Agronomy,** New York, v.40, p.1-88, 1986.

GREENLAND, D. J. Change in the nitrogen status and physical condition of soils under pasture, with special reference to the maintenance of the fertility of australian soils used for growing wheat. **Soil and Fertilizers,** Berlin, v.34, p.237-251, 1971.

HARRIS, G. H.; HESTERMAN, O. B. Quantifying the nitrogen contribution from alfalfa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. **Agronomy Journal,** Madison, v.82, p.129-134, 1990.

HARRIS, G. H.; HESTERMAN, O. B.; PAUL, E. A.; PETERS, S. E.; JANKE, R. R. Fate of legume and fertiliser nitrogen¹⁵ in a long-term cropping systems experiment. **Agronomy Journal,** Madison, v.86, p.910-915; 1994.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy,** New York, v.49, p.119-199, 1993.

HEENAN, D. P.; CHAN, K. Y. The long-term effects of rotation, tillage and stubble management on soil mineral nitrogen supply to wheat. **Australian Journal of Agriculture Research,** Victoria, v.30, p.77-988, 1992.

HELYAR, K. R.; CULLIS, B. R.; FURNISS, K.; KOHN, G. D; TAYLOR, A. C. Changes in the

acidity and fertility of red earth soil under wheat-annual pasture rotations. **Australian Journal of Agriculture Research**, Victoria, v.48, p.561-586, 1997.

HØGH-JENSEN, H.; SCHJOERRING, J. K. Interactions between white clover and ryegrass contrasting nitrogen availability: N₂ fixation, N fertilizer recovery, N transfer and water use efficiency. **Plant and Soil**, The Hague, v.197, p.187-199, 1997.

HOGLUND J. H.; BROCK, J. L. Nitrogen fixation in managed grasslands. In: SANAYDON, R. W. (ed.) **Managed Grasslands: analytical Studies**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p.187-196.

HOGLUND, J.H. Grazing intensity and soil nitrogen accumulation. **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**, v.46, p.65-69, 1985.

HOGLUND, J. H.; CRUSH, J. R.; BROCK, J. L.; BALL, R.; CARRAN, R. A. Nitrogen fixation in pasture. 12. General discussion. **New Zealand Journal of Experimental Agriculture**, Wellington, v.7, p.45-51, 1979.

HUMPREYS, L. R. **Tropical forages: their role in sustainable agriculture**. London: Longman Group Limited, 1994. 414p.

IAPAR – Instituto Agronômico do Paraná. **Cartas climáticas do Estado do Paraná 1994**. Londrina:IAPAR, 1994. 49 p.

JARVIS, S. C.; HATCH, D. J.; ROBERTS, D. H. The effects of grassland management on nitrogen losses from grazed swards through ammonia volatilization; the relationship to excretal N returns from cattle. **Journal of Agriculture Science, Cambridge**, v.112, n.2, p.205-216, 1989.

KORNDÖRFER, G. H.; VALLE, M. R.; MARTINS, M.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio da uréia pela cana-planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.23-26, 1997.

LADD, J. N.; AMATO, M. The fate of nitrogen from legume and fertiliser sources in soils successively cropped with wheat under field conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.18, p.417-425, 1986.

LAIDLAW, A. S. Quantifying the effect of nitrogen fertilizer application in spring on white clover content in perennial ryegrass-white clover swards. **Grass and Forage Science**, Oxford, v.39, p.317-321, 1984.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDÖRFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na

cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.3, p.481-487, 1997.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDÖRFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.3, p.489-496, 1997.

LEDGARD, S. F.; BRIER, G. J.; UPSDELL, M. P. Effect of clover cultivar on production and nitrogen fixation in clover-ryegrass swards under dairy cow grazing. **New Zealand Journal of Agriculture Research**, Wellington, v.33, p.243-249, 1990.

LEDGARD, S. F.; STEELE, K. W.; SAUNDERS, W. H. M. Effects of cow urine and its major constituents on pasture properties. **New Zealand Journal of Agriculture Research**, Wellington, v.25, p.61-68, 1982.

LOISEAU, P.; ASSMANN, T.; DEPLY, R. Flux de carbone et d'azote et dynamique des associations ray-grass/trefle blanc. In: COLLOQUE ROUMAIN-FRANÇAIS - TENDANCES ACTUELLES DANS LA RECHERCHE SUR LES PRAIRES PERMANENTES. 2000, Tisoara – Brasov. **Résumés**. Tisoara – Brasov: Institut National de la Recherche Agronomique, 2000.

LUSTOSA, S. B. C. **Efeito do pastejo nas propriedades químicas do solo e no rendimento de soja e milho em rotação com pastagem consorciada de inverno no sistema plantio direto**. Curitiba, 1998. 84p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MAAK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: Banco de Desenvolvimento do Paraná. 1968. 350p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MARRIOTT, C. A.; SMITH, M. A.; BAIRD, M. A. The effect of sheep urine on clover performance in a grazed upland sward. **Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v.109, p.177-185, 1987.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; BLOCK, M. de F. Determinação espectrofotométrica de nitrato em extratos de solo sem redução química. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.1, p.129-133, 1985.

- MOHAMED SALLEN, M. A.; FISHER, M.J. Role of ley farming in crop rotations in the tropics. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, Rockhampton., **Proceedings**. Rockhampton, 1993. p.2179-2187.
- MORAES, A.; LUSTOSA, S. B. C. Efeito do animal sobre as características do solo e a produção da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, 2., 1997, Maringá. **Anais**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1997. p. 129-149.
- PANIGATTI, J.L. Las rotaciones agrícolas con pasturas en la pampa húmeda de Argentina. **Revista INIA de Investigaciones Agronómicas**, Montevideo, v.1, n.2, p.215-225, 1992.
- PARSONS, A. J.; ORR, P. D.; PENNING, P. D.; LOCKYER, D. R. Uptake, cycling, and fate of nitrogen in grass-clover swards continuously grazed by sheep. **Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v.116, p.47-61, 1991.
- PORN, R. L.; DA ROS, C. O.; MACHADO, J. N. C.; SALET, R. L. Disponibilidade de nitrogênio para o milho no sistema plantio direto com diferentes estratégias de adubação. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO e II MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4., 1999, Cruz Alta. **Anais**. Cruz Alta: UNICRUZ, 1999. 1 CD-ROM.
- PÖTTKER, D. Recentes avanços no manejo químico do solo para a cultura do milho. In: SANDINI, I.E. e FANCELLI, A.L. (Ed.) **Milho: Estratégias de manejo para a região sul**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2000. p. 63-88.
- PRINS, W. H. Changes in quantity of mineral nitrogen in three grassland soils as affected by intensity of nitrogen fertilization. **Fertilizer Research**, The Netherlands, v.1, p.51-63, 1980.
- PUCKRIDGE, D. W.; FRENCH, R. J. The annual legume pasture in cereal-ley farming systems of Southern Australia: a review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.9, n.3, p.229-267, 1983.
- SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O., MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURLANI NETO, A.E.; CARVALHO, J. G. (Eds.) **Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships**. Lavras: Soc. Bras. Ci. Solo, 1999. p. 267-320.

SCHULZ, E.; KÖRSCHENS, M. Characterization of the decomposable part of soil organic matter (SOM) and transformation processes by hot water extraction. **Eurasian Soil Science**, v.31, n.7, p.809-813, 1998.

SEAB - Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Paraná. **Preços médios mensais de venda no atacado**. Disponível em: <<http://www.celepar.br/celepar/seab/>> Acesso em 23 jun.2001.

SEAB **Calendário Agrícola do Paraná Safra 1995/1996**. Curitiba: SEAB, 1997.

SEARS, P. D.; GOODALL, V. C.; JACKMAN, R. H.; ROBINSON, G. S. Pasture growth and soil fertility. VIII. The influence of grasses, white clover, fertilizers and the return of herbage clippings on pasture production of an impoverished soil. **New Zealand Journal of Agriculture Research**, Wellington, v.8, p.270-283, 1965.

SEN, S.; CHALK, P. M. Chemical interactions between soil N and alkaline-hydrolysing N fertilizers. **Fertilizer Research**, The Netherlands, v.36, p.239-248. 1994.

SHARIFF, A. R.; BIONDINI, M. E.; GRYGIEL, C. E. Grazing intensity effects on litter decomposition and soil nitrogen mineralization. **Journal of Range Management**, Denver, v.47, n.6, p.444-449, 1994.

SIMMELSGAARD, W. H. The effect of crop, N-level, soil type and drainage on nitrate leaching from Danish soil. **Soil Use and Management**, Wallinoford, v.14, p.30-36, 1998.

SINGH, R. S.; RAGHUBANSHI, A. S.; SINGH, J. S. Nitrogen mineralization in dry tropical savanna: Effects of burning and grazing. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.23, p.269-273, 1991.

TA, T.C.; FARIS, M. A. Availability of N from ¹⁵N-labelled alfalfa residues to three succeeding barley crops under field conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.22, p.835-838, 1990.

TAO KONG, D. L.; ROBINSON, D. L.; SAVOY, H. J. Jr. Soil nitrogen and carbon status following clover production in Louisiana. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Madison, v. 24, n.11 e 12, p.1345-1357, 1993.

TESTA, V. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-escuro afetadas por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.107-114, 1992.

THOMPSON, R. B.; FILLERY, I. R. P. Transformation in soil and turnover to wheat of nitrogen from components of grazed pasture in the south of Western Australia **Australian Journal of Agriculture Research**, Victoria, v.48, n.7, p.1033-1047, 1997.

THORNLEY, J. H. M.; VERBERNE, E. L. J. A model of nitrogen flows in grassland. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.12, p.863-886, 1990.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan Publishing Company, 1993. 634 p.

TOTHILL, J. C.; HARGREAVES, J. N. G.; JONES, R. M. Botanal: a comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. I. Field sampling. CSRIO: Division of Tropical Crops and Pastures, Tropical Agronomy, (Technical memorandum, 8), 1978.

TRANI, P. E.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. Análise foliar: amostragem e interpretação, Campinas: Fundação Cargil, 1983. 18 p.

UNKOVICH, M.; SANFORD, P.; PATE, J.; HYDER, M. Effects of grazing on plant and soil nitrogen relations of pasture-crop rotations. **Australian Journal of Agriculture Research**, Victoria, v.49, p.475-485, 1998.

VIAUX, P.; BODET, J. M.; LE GALL, A. Complémentarité herbe-cultures dans les rotations. **Fourrages**, Versailles, v.160, p.345-358, 1999.

WEBB, J.; SYLVESTER-BRADLEY, R. Effects of fertilizer nitrogen on soil nitrogen availability after a grazed grass ley and on the response of the following cereal crops to fertilizer nitrogen. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.122, p.445-457, 1994.

WEEDA, W. C. The effect of cattle dung patches on pasture growth, botanical composition and pasture utilisation. **New Zealand Journal of Agriculture Research**, Wellington, v.10, p.150-159, 1977.

WHITEHEAD, D. C. **Grassland Nitrogen**. Wallingford: CAB International. 1995. 397 p.

WILLIAMS, P. H.; HAYNES, R. J. Comparison of initial wetting pattern, nutrient concentrations in soil solution and the fate of N¹⁵-labelled urine in sheep and cattle urine patch areas of pasture soil. **Plant and Soil**, The Hague, v.162, p. 49-59, 1994.

XU, Z. H., MYERS, R. J. K., SAFFIGNA, P. G.; CHAPMAN, A. L. Nitrogen cycling in leucaena (*Leucaena leucocephala*) alley cropping in semi-arid tropics. II. Response of

maize growth to addition of nitrogen fertiliser and plant residues. **Plant and Soil**, The Hague, v.148, p.73-82, 1993.

ANEXOS

ANEXO1 - Número de observações que compõe a média em função de significância de fator isolado ou de interações para as variáveis acúmulo de massa seca, porcentagem de solo descoberto, e porcentagem de aveia, azevém e trevo, Guarapuava, PR, 1999/2000

Fator significativo	Número de observações por média
N-TI	12
Trevo	24
N-TI x Trevo	6
Pastejo	24
N-TI x Pastejo	6
Trevo x Pastejo	12
N-TI x Trevo x Pastejo	3

ANEXO 2- Número de observações que compõe a média em função de significância de fator isolado ou de interações para as variáveis N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ e N-mineral, Guarapuava, PR, 1999/2000

Fator significativo	Número de observações por média
N-TI	48
Trevo	96
N-TI x Trevo	24
Pastejo	96
N-TI x Pastejo	24
Trevo x Pastejo	48
N-Ti x Trevo x Pastejo	12
Profundidade	48
N-TI x Profundidade	12
Trevo x Profundidade	24
N-TI x Trevo x Profundidade	6
Pastejo x Profundidade	24
N-TI x Pastejo x Profundidade	6
Trevo x Pastejo x Profundidade	12
N-TI x Trevo x Pastejo x Profundidade	3

ANEXO 3 - Número de observações que compõe a média em função de significância de fator isolado ou de interações para as variáveis produtividade de grãos de milho e teor de N-foliar em plantas de milho, Guarapuava, PR, 1999/2000

Fator significativo	Número de observações por média
N-TI	60
Trevo	120
N-TI x Trevo	30
Pastejo	120
N-TI x Pastejo	30
Trevo x Pastejo	60
N-TI x Trevo x Pastejo	15
N-TV	48
N-TI x N-TV	12
Trevo x N-TV	24
N-TI x Trevo x N-TV	6
Pastejo x N-TV	24
N-TI x Pastejo x N-TV	6
Trevo x Pastejo x N-TV	12
N-TI x Trevo x Pastejo x N-TV	3

ANEXO 4 Quadrados médios, coeficiente de variação e média geral de massa seca, e % de solo descoberto na última avaliação da cultura de inverno, Guarapuava, PR, 1999/2000

Fonte de variação	GL	Massa seca	% de solo descoberto
		Quadrados médios	
Bloco	2	86628,9 ^{ns}	265,2 ^{ns}
N-TI	3	3356736,5^{**}	1345,7^{**}
Erro	6	263384,8 ^{ns}	79,4 ^{ns}
Trevo	1	88356,9 ^{ns}	85,3[*]
N-TI x Trevo	3	186312,2 ^{ns}	69,3^{**}
Pastejo	1	7931,0 ^{ns}	486,4^{**}
N-TI x Pastejo	3	514,9 ^{ns}	25,9 ^{ns}
Trevo x Pastejo	1	5006,2 ^{ns}	24,7 ^{ns}
N-TI x Trevo x Pastejo	3	17581,3 ^{ns}	2,9 ^{ns}
Erro	24	112839,1 ^{ns}	13,8 ^{ns}
Coeficiente de Variação		17,2	
Média		962,5	

ANEXO 5 Quadrado médio, coeficiente de variação e média geral da porcentagem de trevo na última avaliação da cultura de inverno, Guarapuava, PR, 1999/2000

Fonte de variação	GL	Trevo	
		Quadrado médio	
Bloco	2	545,4	*
N-TI	3	91,7	ns
Erro	6	79,9	ns
Pastejo	1	131,6	*
N-TI x Pastejo	3	36,6	ns
Erro		22,3	ns
Coeficiente de Variação		42,9	
Média		11,22	*

ANEXO 6 Quadrados médios, coeficiente de variação e média geral de N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ e N-mineral no solo amostrado antes de aplicação do N-TV, Guarapuava, PR, 1999/2000

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-mineral	
Bloco	2	30,6	23,0	2,4	ns
N-TI	3	3473,2	19,4	4007,7	**
Erro	6	163,8	24,5	309,7	ns
Trevo	1	524,9	56,4	925,5	**
N-TI x Trevo	3	618,2	11,5	785,2	**
Pastejo	1	7937,6	27,4	8898,0	**
N-TI x Pastejo	3	1366,9	9,4	1505,8	**
Trevo x Pastejo	1	33,5	2,5	17,7	ns
N-TI x Trevo x Pastejo	3	184,0	4,8	186,2	ns
Prof.	3	5049,2	265,2	7621,2	**
N-TI x Prof.	9	83,0	6,8	132,1	ns
Trevo x Prof.	3	53,8	2,2	73,9	ns
N-TI x Trevo x Prof.	9	20,5	1,0	21,6	ns
Pastejo x Prof.	3	97,1	1,3	111,6	ns
N-TI x Pastejo x Prof.	9	31,8	1,0	35,9	ns
Trevo x Pastejo x Prof.	3	5,6	1,4	11,9	ns
N-TI x Pastejo x Trevo x Prof.	9	19,0	0,9	25,6	ns
Erro	120	60,8	3,9	75,2	ns
Coeficiente de Variação		29,62	22,35	24,68	
Média		26,32	8,82	35,15	

ANEXO 7 Quadrados médios, coeficiente de variação e média geral da produtividade de grãos e dos teores de N foliar das plantas de milho, Guarapuava, PR, 1999/2000

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		Grãos de milho	N-foliar
Bloco	2	7274338,1 ^{ns}	88,7 ^{ns}
N-TI	3	27289677,8^{ns}	184,7[*]
Erro	6	7855027,9 ^{ns}	24,7 ^{ns}
Trevo	1	1232455,91 ^{ns}	10,2 ^{ns}
N-TI x Trevo	3	11167,9 ^{ns}	19,7[*]
Pastejo	1	736357,6 ^{ns}	0,1 ^{ns}
N-TI x Pastejo	3	3314668,1[*]	8,2 ^{ns}
Trevo x Pastejo	1	3039856,1 ^{ns}	1,2 ^{ns}
N-TI x Trevo x Pastejo	3	730851,8 ^{ns}	10,8 ^{ns}
N-TV	4	29215318,3^{**}	151,6^{**}
N-TI x N-TV	12	7546943,2^{**}	13,9^{**}
Trevo x N-TV	4	197569,0 ^{ns}	2,8 ^{ns}
N-TI x Trevo x N-TV	12	741459,8 ^{ns}	5,4 ^{ns}
Pastejo x N-TV	4	1570833,3 ^{ns}	5,6 ^{ns}
N-Ti x Pastejo x N-TV	12	1491020,1 ^{ns}	8,1 ^{ns}
Trevo x Pastejo x N-TV	4	535883,9 ^{ns}	4,0 ^{ns}
N-TI x Trevo x Pastejo x N-TV	12	927223,7 ^{ns}	5,4 ^{ns}
Erro	152	1067501,5 ^{ns}	5,7 ^{ns}
Coeficiente de Variação		11,0	7,5
Média		9338,7	31,5