

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Dinâmica do nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays* L.), em cultivo
sucessivo com aveia preta (*Avena strigosa*), sob implantação do
sistema plantio direto**

Flávia Carvalho Silva Fernandes

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Agronomia. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

Piracicaba
2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Flávia Carvalho Silva Fernandes
Engenheiro Agrônomo

Dinâmica do nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays* L.), em cultivo sucessivo com aveia preta (*Avena strigosa*), sob implantação do sistema plantio direto

Orientador:

Prof. Dr. **PAULO LEONEL LIBARDI**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2006

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Fernandes, Flávia Carvalho Silva

Dinâmica do nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays* L.), em cultivo sucessivo com aveia preta (*Avena strigosa*), sob implantação do sistema plantio direto / Flávia Carvalho Silva Fernandes. - - Piracicaba, 2006.
197 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

1. Aveia 2. Física do Solo 3. Lixiviação 4. Milho 5. Nitrogênio – eficiência 6. Plantio direto 7. Química do Solo 8. Sulfato de amônio I. Título

CDD 633.15

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICO E OFEREÇO esta obra

Ao meu pai **João**;

Pela constante confiança, amizade, compreensão, carinho, amor ...

Ao **Ricardo**;

Pelo companheirismo e o amor que tudo pôde superar

À **Bruna**;

Minha maior riqueza

À minha mamãe **Delba**;

Que mesmo não estando perto, sempre esteve presente em meu coração

“O princípio da Sabedoria é o desejo autêntico de instrução, e a preocupação pela instrução é o amor. O amor é a observância das leis da Sabedoria. Por sua vez, a observância das leis é a garantia de imortalidade. E a imortalidade faz com que a pessoa fique perto de Deus”.

Sabedoria 6: 17-19

AGRADECIMENTOS

A DEUS.

Um agradecimento especial ao meu amigo Prof. Paulo Leonel Libardi, pela orientação, dedicação, ensinamentos, paciência, cooperação, otimismo, apoio, incentivo e principalmente muita confiança na minha capacidade de trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa – FAPESP, pelo auxílio ao projeto.

Ao Prof. Álvaro Pires da Silva, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade de realização deste programa.

Ao Prof. Paulo César Ocheuze Trivelin, pela grande cooperação ao trabalho, nas ajudas e sugestões e aos Profs. do CENA: Takashi Muraoka e José A. Bendassoli.

Aos Profs. do departamento de Ciências, Exatas Sérgio de Oliveira Moraes, Quirijn de Jong Van Lier e Jarbas Honório de Miranda, pela constante amizade.

Ao funcionário do Laboratório de Fertilidade do Solo Luís Silva, pelo apoio nas análises químicas de solos.

Aos funcionários do Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA, em especial ao Hugo, Miguel e Henriqueta, pelo auxílio nas realizações das atividades de laboratório.

À minha grande amiga Monica pela eterna amizade.

À minha irmãzinha Thaís pelo apoio e compreensão.

Aos meus amigos Laércio, Genelício, Marcela, Edmilson.

Aos meus colegas de curso e sala, pela ótima convivência.

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP pela oportunidade.

Agradeço a todos aqueles que de uma maneira ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	13
RESUMO.....	18
ABSTRACT	20
1 INTRODUÇÃO	22
2 DESENVOLVIMENTO	24
2.1 Revisão Bibliográfica	24
2.1.1 Sistema Plantio direto (SPD) em solos tropicais	24
2.1.3 Fatores que afetam a resposta do milho à adubação nitrogenada, em SPD.	29
2.1.4 Respostas do milho cultivado após aveia preta	31
2.1.5 Processos de perdas do N	34
2.1.6 Balanço e eficiência de utilização do nitrogênio pela cultura do milho	41
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	46
2.2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	46
2.2.2 Preparo do solo	47
2.2.3 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos	48
2.2.4 Características dos híbridos utilizados e semeadura do milho (<i>Zea mays</i> L.).....	50
2.2.4.1 Safra 2003/2004.....	50
2.2.4.2 Safra 2004/2005.....	50
2.2.5 Semeadura e condução de aveia preta (<i>Avena Strigosa</i>)	51
2.2.6 Aplicação dos adubos	51
2.2.7 Avaliações	53
2.2.7.1 Caracterização físico-hídrica do solo.....	53
2.2.7.2 Fluxo de água no solo	54
2.2.7.3 Lixiviação de Nitrato (N-NO ₃ ⁻) da solução no solo.....	55
2.2.7.4 Determinações físicas do solo.....	57
2.2.7.5 Determinações químicas do solo	57
2.2.7.6 Para a cultura do milho (safras 2003/2004 e 2004/2005).....	58
2.2.7.7 Para a cultura da aveia preta	59

2.2.7.8 Massa de sólidos do solo	60
2.2.7.9 Teor de N total no solo	60
2.2.7.10 N acumulado no solo.....	61
2.2.7.11 Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF), nitrogênio na planta proveniente do solo (NPPS), nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (NSPF) e recuperação de N-fertilizante (R%) pelas plantas e solos, pelo método isotópico.....	61
2.2.7.12 Recuperação do N fertilizante pelas culturas e pelo solo, pelo método da diferença.....	62
2.2.7.13 Pluviosidade e médias mensais de temperaturas máxima e mínima (Safras 2003/2004 e 2004/2005)	64
2.2.7.14 Análise estatística dos resultados	64
2.2.7.15 Fenologia da cultura do milho, cultivada nos anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005.....	64
2.3 Resultados e Discussão	66
2.3.1 Características agronômicas	66
2.3.1.1 Milho.....	66
2.3.1.2 Aveia preta	81
2.3.2 Características nutricionais do milho.....	84
2.3.3 Solo	90
2.3.3.1 Propriedades físicas do solo após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004).....	90
2.3.3.2 N-total no solo após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e após aveia preta (safra 2004)	103
2.3.3.3 Propriedades químicas do solo após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004).....	112
2.3.4 Densidade de fluxo de água no solo, na dose de 120 kg ha ⁻¹ de N, nas culturas de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004).....	130
2.3.5 Lixiviação de nitrato total e de nitrato proveniente do sulfato de amônio (¹⁵ N)...	134

2.3.6 Acúmulo de nitrogênio na parte aérea e recuperação de N pelo milho submetido a diferentes parcelamentos de N-sulfato de amônio, na dose de 120 kg ha ⁻¹ , no final dos 1º e 2º cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005	139
2.3.7 Nitrogênio (¹⁵ N) residual na parte aérea da aveia preta (safra 2004), em sucessão ao milho (safra 2003/2004), submetido a diferentes parcelamentos de N-sulfato de amônio, na dose de 120 kg ha ⁻¹	146
2.3.8 Nitrogênio (¹⁵ N) residual no solo, nas camadas 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m após o 1º cultivo de milho (safra 2003/2004), após aveia preta e após o 2º cultivo de milho (safra 2004/2005), submetidos a diferentes parcelamentos de N-sulfato, na dose de 120 kg ha ⁻¹ de N.	148
2.3.9 Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelo milho submetido a diferentes doses de N-sulfato de amônio, no final dos 1º e 2º cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005 e aveia preta (safra 2004) – Método da diferença.	151
2.3.10 Balanço do nitrogênio do fertilizante, na dose de 120 kg ha ⁻¹ de N, no sistema solo-planta, na sucessão milho-aveia preta–milho	155
3 CONCLUSÃO.....	158
REFERÊNCIAS.....	160
APÊNDICES.....	189
ANEXOS	193

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Preparo do solo	48
Figura 2 - Demarcação da área.....	48
Figura 3 - Detalhes da parcela experimental e disposição da subparcela para a aplicação ^{15}N -sulfato de amônio, na dose de 120 kg ha^{-1} de N.....	49
Figura 4 – Detalhe da parcela e subparcela experimental	52
Figura 5 - Experimento após a roçada de restos vegetais do milho	52
Figura 6 – Retirada da palhada de milho	52
Figura 7 – Retorno da palhada após a semeadura da aveia.....	52
Figura 8 – Semeadura da aveia preta	52
Figura 9 – Florescimento da aveia preta	52
Figura 10 - Perfil instantâneo	63
Figura 11 - Colocação do plástico	63
Figura 12 - Tensiômetros, manômetros, extrator e pluviômetro	63
Figura 13 - Extrator de solução do solo.....	63
Figura 14 - Atlas – CH_4	63
Figura 15 - ANCA.....	63
Figura 16–Dados pluviométricos e de temperaturas máxima e mínima (média mensal) ocorridos durante a condução dos experimentos, anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005	64
Figura 17 – Estádios de desenvolvimento da cultura do milho, safra 2003/2004.....	65
Figura 18 – Estádios de desenvolvimento da cultura do milho, safra 2004/2005.....	65
Figura 19- Altura de plantas, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga e comprimento de espigas de milho, em função de doses de N, safra 2003/2004.....	71
Figura 20- Altura de plantas, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga e comprimento de espigas de milho, em função de doses de N, safra 2004/2005.....	71

Figura 21-Massa da matéria seca avaliadas na época do florescimento (1ª amostragem) e no final do ciclo (2ª amostragem) da cultura do milho, em função de doses de N, safra 2004/2005	75
Figura 22- N na planta e N acumulado da aveia preta, em função de doses de N, safra 2004.....	82
Figura 23- Massa da matéria seca da aveia preta, em função de doses de N, safra 2004	83
Figura 24–Teor de N nos grãos, safra 2003/2004, teor de N foliar, teor de N nas plantas na época do florescimento (1ª amostragem) e no final do ciclo (2ª amostragem) e teor de N nos grãos de milho, em função de doses de N, safra 2004/2005	87
Figura 25–Macroporosidade, na profundidade de 0,05 m, após o 1º cultivo de milho e de aveia preta, porosidade total, após o 2º cultivo de milho, nas profundidades de 0,15 e 0,25 m, em função de doses de N.....	102
Figura 26 - Médias de N-total no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004).	105
Figura 27 - Médias de N-total no solo, na camada de 0,20-0,40 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004)..	108
Figura 28 – N-total no solo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, após o cultivo de milho, em função de doses de N, safra 2003/2004	109
Figura 29 – N-total no solo nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, após o cultivo de milho, em função de doses de N, safra 2004/2005	109
Figura 30- Médias de N-total no solo, na camada de 0,40-0,60 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004).	111
Figura 31- Médias de N-total no solo, na profundidade de 0,60-0,80 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004).	111
Figura 32 - Médias de teor de carbono no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004).	116

Figura 33 - Médias de teor matéria orgânica no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004).	116
Figura 34 - Médias de teor de fósforo no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004).	117
Figura 35 - Médias de teor de potássio no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004).	119
Figura 36—Teor de potássio em função de doses de N, após a 1ª safra (2003/2004) e 2ª safra (2004/2005) de milho e após a de aveia preta.....	119
Figura 37- Médias de teor de alumínio trocável no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004).	121
Figura 38- Médias de acidez potencial no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004).	121
Figura 39 - Médias de pH do solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004).	123
Figura 40- Médias de teor de cálcio no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004).	123
Figura 41- Médias de teor de magnésio no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004).	124
Figura 42 – Teor de cálcio e magnésio em função de doses de N, após o 2º cultivo de milho, safra 2004/2005	125
Figura 43 - Médias de soma de bases no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004).	126

Figura 44- Médias de capacidade de troca catiônica no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004).	127
Figura 45- Médias de saturação por bases, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004).	128
Figura 46 – Soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases em função de doses de N, após o 1º cultivo de milho, safra 2003/2004 ..	128
Figura 47 – Soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases em função de doses de N, após o 1º cultivo de milho, safra 2004/2005 ..	129
Figura 48 - Densidade de fluxo de água e precipitação pluvial em função do tempo (DAE), na cultura de milho, safra 2003/2004, nos tratamentos T ₄ e T ₅	130
Figura 49 - Densidade de fluxo de água e precipitação pluvial em função do tempo (DAE), na cultura de milho, safra 2004/05, nos tratamentos T ₄ e T ₅	131
Figura 50 - Densidade de fluxo de água e precipitação pluvial em função do tempo (DAE), na cultura de aveia preta, safra 2004, nos tratamentos T ₄ e T ₅	131
Figura 51- Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (120 kg ha ⁻¹), na parte aérea de plantas de milho, safra 2003/2004	145
Figura 52- Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (120 kg ha ⁻¹), na parte aérea de plantas de milho em sucessão a aveia preta, safra 2004/2005.....	145
Figura 53- Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (120 kg ha ⁻¹), na parte aérea de plantas de aveia preta, safra 2004.	147
Figura 54–Nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (120 kg ha ⁻¹), nas camadas 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004).	149
Figura 55– Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado no solo (120 kg ha ⁻¹), nas camadas 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004).	150

Figura 56–Eficiência de utilização de nitrogênio pela aveia preta, em função de doses de N, safra 2004.....	155
Figura 57–Balanço de N, aplicado na forma de sulfato de amônio, na sucessão milho-aveia preta-milho.	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades químicas do solo antes da instalação do experimento, nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m.....	47
Tabela 2 – Densidade do solo, densidade de partículas, análise granulométrica e classe textural do solo, antes da instalação do experimento, nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 m.....	47
Tabela 3 - Doses e parcelamentos de nitrogênio nos tratamentos utilizados	49
Tabela 4- Quadrados médios e coeficientes de variação referentes à altura de plantas, número de grãos/fileira, número de fileiras/espiga e comprimento de espigas de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005.....	66
Tabela 5–Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes à: altura de plantas, número de grãos/fileira, número de fileiras/espiga e comprimento de espigas de milho, safra 2003/2004.....	68
Tabela 6–Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes à altura de plantas, número de grãos/fileira, número de fileiras/espiga e comprimento de espigas de milho, safra 2004/2005.....	69
Tabela 7-Quadrados médios e coeficientes de variação, referentes à massa da matéria seca (MS) - época do florescimento – 1ª amostragem, massa da matéria seca - final do ciclo da cultura – 2ª amostragem, massa de 100 grãos, rendimento de grãos e índice de colheita (IC), safras 2003/2004 e 2004/2005.....	72
Tabela 8–Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes à massa da matéria seca (MS) - época do florescimento – 1ª amostragem, massa da matéria seca - final do ciclo da cultura – 2ª amostragem, massa de 100 grãos, rendimento de grãos e índice de colheita (IC), safra 2003/2004	73
Tabela 9–Teste de tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes à massa da matéria seca (MS) - época do	

florescimento – 1ª amostragem, massa da matéria seca - final do ciclo da cultura – 2ª amostragem, massa de 100 grãos, rendimento de grãos e índice de colheita (IC), safra 2004/2005	74
Tabela 10–Teste de Tukey do desdobramento parcelamento dentro de doses de N referentes à massa da matéria seca (final do ciclo da cultura – 2ª amostragem) e rendimento de grãos, safra 2003/2004	78
Tabela 11–Teste de Tukey do desdobramento parcelamento dentro de doses de N referentes à massa de 100 grãos e rendimento de grãos, safra 2004/2005.....	78
Tabela 12–Quadrados médios e coeficientes de variação referente ao teor de N na planta, massa da matéria verde (MV), massa da matéria seca (MS) e N acumulado na aveia preta, safra 2004	82
Tabela 13–Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes ao teor de N na planta, massa da matéria verde e massa da matéria seca da aveia preta, safra 2004	83
Tabela 14–Quadrados médios e coeficientes de variação referentes ao teor de N foliar, ao teor de N na planta (época do florescimento – 1ª amostragem), teor de N na planta (final do ciclo da cultura – 2ª amostragem) e teor de N nos grãos, safras 2003/2004 e 2004/2005.....	84
Tabela 15–Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes ao teor de N foliar, ao teor de N na planta (época do florescimento – 1ª amostragem), teor de N na planta (final do ciclo da cultura – 2ª amostragem) e teor de N nos grãos, safra 2003/2004.....	86
Tabela 16–Teste de Tukey do desdobramento parcelamento dentro de doses de N referentes ao teor de N na foliar, teor de N na planta (época do florescimento – 1ª amostragem), teor de N na planta (final do ciclo da cultura – 2ª amostragem), safra 2003/2004.....	87
Tabela 17–Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes ao teor de N foliar, ao teor de N na planta (época do florescimento – 1ª amostragem), teor de N na planta (final	

do ciclo da cultura – 2ª amostragem) e teor de N nos grãos, safra 2004/2005.....	89
Tabela 18-Quadrados médios e coeficientes de variação referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m, após o 1º cultivo de milho, safra 2003/2004	91
Tabela 19-Quadrados médios e coeficientes de variação referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m, após o cultivo de aveia preta, safra 2004	92
Tabela 20-Quadrados médios e coeficientes de variação referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m, após o 2º cultivo de milho, safra 2004/2005	93
Tabela 21 - Médias e teste de tukey de tratamentos referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo na profundidade de 0,05 m.....	96
Tabela 22 - Médias e teste de tukey de tratamentos referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo na profundidade de 0,15 m.....	98
Tabela 23 - Médias e teste de tukey de tratamentos referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo na profundidade de 0,25 m.....	100
Tabela 24 - Médias e teste de tukey de tratamentos referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo na profundidade de 0,35 m.....	101
Tabela 25- Quadrados médios e coeficientes de variação referentes ao teor de N-total no solo, nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0-60-0,80 m, após os cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005	103

Tabela 26-Quadrados médios e coeficientes de variação referentes ao teor de N-total no solo, nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0-60-0,80 m, após o cultivo de aveia preta, safra 2004	104
Tabela 27-Teste de Tukey do desdobramento do parcelamento dentro de doses de N referente ao N total no solo, na camada de 0-0,20 m de profundidade, após o 2º cultivo do milho, safra 2004/2005	107
Tabela 28-Quadrados médios e coeficientes de variação referentes a carbono (C) matéria orgânica (MO), fósforo (P), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) na camada de 0-0,20 m após o 1º cultivo de milho, safra 2003/2004.....	113
Tabela 29-Quadrados médios e coeficientes de variação referentes a carbono (C) matéria orgânica (MO), fósforo (P), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) na camada de 0-0,20 m após o cultivo de aveia preta, safra 2004 .	114
Tabela 30-Quadrados médios e coeficientes de variação referentes a carbono (C) matéria orgânica (MO), fósforo (P), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) na camada de 0-0,20 m após o 2º cultivo de milho, safra 2004/2005.....	115
Tabela 31-Teste de Tukey do desdobramento do parcelamento dentro de doses de N referente ao pH do solo, na camada 0-0,20 m de profundidade, após o 2º cultivo de milho, safra 2004/2005	129
Tabela 32-Drenagem de água e lixiviação de nitrato total e proveniente do fertilizante (PF) a 0,80 m de profundidade, na cultura do milho, safra 2003/2004.....	134

Tabela 33–Drenagem de água e lixiviação de nitrato total e proveniente do fertilizante (PF) a 0,80 m de profundidade, nas entressafras e na cultura de aveia preta (safra 2004).....	137
Tabela 34–Drenagem de água e lixiviação de nitrato total e proveniente do fertilizante (PF) a 0,80 m de profundidade, na cultura do milho, safra 2004/2005.....	139
Tabela 35- Nitrogênio acumulado, nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) e nitrogênio na planta proveniente do solo (NPPS) no final dos cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005.....	141
Tabela 36- Nitrogênio acumulado, nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) e nitrogênio na planta proveniente do solo (NPPS) no final do cultivo de aveia preta, safra 2004.....	147
Tabela 37– Quadrados médios e coeficientes de variação, referentes à eficiência de utilização do N-fertilizante na parte de plantas de milho (R%) no final dos 1º e 2º cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005 e na época do florescimento da aveia-preta – método da diferença.....	151
Tabela 38–Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes à eficiência de utilização do N-fertilizante na parte de plantas de milho (R%) no final dos 1º e 2º cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005 e na época do florescimento da aveia-preta – método da diferença.....	153
Tabela 39–Teste de Tukey do desdobramento de parcelamento dentro de doses de N referentes à eficiência de utilização de nitrogênio (R%) pela cultura do milho, safras 2003/2004 e 2004/2005.....	154

RESUMO

Dinâmica do nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays* L.), em cultivo sucessivo com aveia preta (*Avena strigosa*), sob implantação do sistema plantio direto

O presente trabalho foi desenvolvido na área experimental da ESALQ-USP, localizada no município de Piracicaba/SP, em um Latossolo Vermelho Amarelo, textura areno-argiloso. O experimento teve como objetivo estudar a dinâmica do N no sistema solo-planta da cultura do milho, sob implantação do sistema plantio direto, e, pela técnica do ^{15}N , avaliar a lixiviação de nitrato à profundidade de 0,80 m, a eficiência de utilização do N e o efeito residual do fertilizante nas culturas subsequentes. O projeto envolveu dois cultivos de milho e um de aveia preta, cultivada na entressafra. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados (3x2), com 4 repetições. Os tratamentos consistiram de doses de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio (60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N) e uma testemunha, além dos parcelamentos (30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e o restante em cobertura; 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura e o restante em cobertura). A aplicação de sulfato de amônio enriquecido com ^{15}N foi feita, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, em subparcelas, previamente definidas, apenas no primeiro cultivo do milho. Foram feitas as seguintes avaliações: densidade de fluxo de água e de nitrato na profundidade de 0,80 m do solo (dose de 120 kg ha⁻¹ de N); massa de 100 grãos; massa de matéria seca; teor de N; rendimento de grãos de milho; átomos % ^{15}N nas plantas e solo; fração do N fertilizante na solução do solo na profundidade de 0,80 m, e no perfil do solo; balanço do N na sucessão de culturas; efeito residual do N fertilizante (aplicado no primeiro cultivo de milho) na aveia e no segundo cultivo de milho. Pelos resultados obtidos, concluiu-se que: a) a perda de nitrato total por lixiviação, a 0,80 m de profundidade, no 1º cultivo de milho, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, foi de aproximadamente 96 e 68 kg ha⁻¹, para os parcelamentos com 60 kg ha⁻¹ e 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura, respectivamente, dos quais apenas 3 e 1 kg ha⁻¹ foram provenientes do fertilizante nitrogenado; b) na dose 120 kg ha⁻¹ de N, o tratamento com maior quantidade de N aplicado na semeadura (60 kg ha⁻¹), no cultivo de milho do ano agrícola 2003/2004, proporcionou um maior aproveitamento do N do fertilizante (65%), em relação ao tratamento com a dose de 30 kg ha⁻¹ na semeadura (45%) e que, para

esse ano, a recuperação do N fertilizante pelo solo, na camada 0-0,80 m, para ambos os tratamentos, 60-60 e 30-90 kg ha⁻¹, foi de 40 e 49%, respectivamente; c) Ainda referindo-se aos tratamentos 60-60 e 30-90 kg ha⁻¹, do N remanescente do sulfato de amônio (120 kg ha⁻¹), aplicado no primeiro ano agrícola (efeito residual), 3,72 e 1,79% foram utilizados pela aveia preta e 2,84 e 2,06% pelo milho cultivado no ano subsequente (2004/2005), permanecendo no solo (camada 0-0,80 m), 30,19 e 33,47% após o cultivo de aveia preta e 16,79 e 17,91% após o segundo cultivo de milho, respectivamente, para os referidos tratamentos.

Palavras-chave: Densidade de fluxo; Lixiviação; ¹⁵N-Sulfato de amônio; Plantio direto; Eficiência de utilização de N; milho; física do solo; química do solo

ABSTRACT

Nitrogen dynamics in maize (*Zea Mays* L) and black oats (*Avena strigosa*) successive cropping under the introduction of the no-tillage system

The general objective of this work was to study the dynamics of nitrogen in the soil-plant system of two maize crops with a black oats one in between, introducing the no-tillage system. Besides, fertilizing the first maize crop with ^{15}N enriched nitrogen fertilizer, it was also objective of this work to assess the total and the derived from fertilizer nitrate leached at the depth of 0.8 m, the nitrogen use efficiency by the crops and the residual effect of the labeled nitrogen fertilizer. The experiment was carried in the experimental areas of ESALQ-USP in the country of Piracicaba (SP), in a yellow red latossol, sandy-loamy texture. The first maize crop was in 2003/2004 and the second one in 2004/2005. The experimental design was randomized blocks (3 x 2), with four replications. Treatments consisted of nitrogen (as ammonium sulphate) levels (60, 120 and 180 kg ha⁻¹ of nitrogen) and the control, besides the splittings (30 and 60 kg ha⁻¹ of nitrogen in the sowing and the rest in covering). The fertilization with ^{15}N enriched ammonium sulphate in the first maize crop was made only for the level of 120 kg ha⁻¹ of nitrogen, in subplots previously defined. The following measurements were carried out: soil-water and nitrate flux densities at the depth of 0.8 m (120 kg ha⁻¹ of N); weight of 100 grains; weight of plant dry matter; nitrogen content; grain yield; total nitrogen; plant nitrogen use efficiency; fraction of the applied nitrogen in the soil solution at the depth of 0.8 m and in the soil profile; nitrogen balance in the crops succession; nitrogen residual effect in the black oat and the second maize crop. From the results, it could be concluded that: a) the leaching losses of total N, at the depth of 0,80 m, in the first maize crop, at the fertilization level of 120 kg ha⁻¹ of N, were of 96 and 68 kg ha⁻¹ for the splittings 60 and 30 kg ha⁻¹ of N at sowing, respectively, from which only 3 and 1 kg ha⁻¹ were derived from the nitrogen fertilizer; b) at the N fertilization level of 120 kg ha⁻¹, the treatment with higher amount of applied N at sowing (60 kg ha⁻¹) of the first maize crop (2003/2004) led to a higher plant N fertilizer recovery (65%) than the 30 kg ha⁻¹ of applied N at the sowing treatment (45%) and that, at the end of this crop cycle, the N fertilizer recovery by the 0-0,80 m soil layer, for 60-60 and 30-90 kg ha⁻¹ treatments,

were 40 and 49%, respectively; c) still for treatments 60-60 and 30-90 kg ha⁻¹, from the total N applied in the first maize crop (120 kg ha⁻¹), 3.72 and 1.79% were used by the black oats and 2.84 and 2.06% by the second maize crop, remaining in the soil (0-0.8 m layer), 30.19 and 33.47% after the black oats crop and 16.79 and 17.91% after the second maize crop, respectively for 60-60 and 30-90 kg ha⁻¹ of N treatments.

Key-words: water and nitrate flux densities, ¹⁵N ammonium sulphate, no-tillage system, nitrogen use efficiency, maize, black oats.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, constitui-se num dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. Em termos de produção, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial (3,28 t ha⁻¹), sendo que o rendimento médio de grãos da cultura no Estado de São Paulo é de 4,25 t ha⁻¹ (FNP, 2005). O nitrogênio (N) é o nutriente que mais freqüentemente limita o rendimento de grãos de milho, mas também é o que proporciona as maiores respostas para a cultura. O custo crescente e/ou perda crescente dos fertilizantes nitrogenados demanda práticas de manejo que resulta em uma alta eficiência de utilização de N pelas culturas. No manejo de N em sistemas agrícolas deve-se considerar também, os riscos ao ambiente, uma vez que este nutriente está sujeito a elevadas perdas por erosão, lixiviação, desnitrificação e volatilização. Desta forma, o manejo ideal da adubação nitrogenada deve ser definido como sendo aquele que permite satisfazer a necessidade da cultura, mas com o mínimo de risco ao ambiente.

O plantio direto é uma importante alternativa tecnológica e prática de manejo para o setor primário, pois reduz os custos de produção, além de melhorar a fertilidade do solo, proteger o solo e água contra erosão e controlar invasoras. A utilização do sistema plantio direto favorece o aumento do N total do solo, o qual é detectado inicialmente na camada mais superficial e que, com o passar dos anos, estende-se para camadas mais profundas. O aumento do estoque do nitrogênio no solo está relacionado à diminuição das perdas, especialmente por erosão, e ao aumento das adições por meio da fixação biológica do N atmosférico, da ciclagem do N disponível no solo e do incremento da matéria orgânica.

Com o aumento da cultura do milho no sistema plantio direto, várias espécies de inverno estão sendo avaliadas, visando a obtenção de uma cobertura de solo que beneficie o milho cultivado em sucessão. As consorciações de culturas de cobertura (gramíneas, leguminosas, crucíferas e outras) apresentam vários benefícios à melhoria da qualidade do solo. Especificamente quanto ao N, as leguminosas adicionam este nutriente pela fixação biológica do N atmosférico, contribuindo para o

aumento da disponibilidade de N para as culturas em sucessão, enquanto que as gramíneas e as crucíferas atuam na ciclagem do N mineral do solo, reduzindo os riscos de lixiviação.

Dentre as alternativas de cobertura do solo no inverno, no sul do Brasil, verifica-se a preferência pela aveia preta, devido ao baixo custo de produção em relação a outros cultivos utilizados para essa finalidade, à quantidade de massa verde produzida, ao bom desenvolvimento do sistema radicular, que melhora as condições físicas do solo, e ao controle de doenças e invasoras proporcionado por essa espécie. A aveia é muito utilizada no sul do país, mas já há algum tempo se fala de sua utilização no sistema plantio direto no Estado de São Paulo.

Sabe-se que o ciclo do N no solo é um processo dinâmico e, no entanto, no Brasil, são poucos os estudos em campo, utilizando ^{15}N , para verificar o balanço e o efeito residual de nitrogênio em sucessão de culturas, principalmente na sucessão milho-aveia-milho nos solos de São Paulo. A maioria dos estudos do balanço de N, tem sido conduzida em casa de vegetação e os resultados obtidos podem ser muito diferentes daqueles encontrados sob condições de campo.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo estudar a dinâmica do N no sistema solo-planta da cultura do milho (*Zea mays* L.), fertilizado com sulfato de amônio, em sucessão à aveia preta, sob implantação do sistema plantio direto e, pela técnica do ^{15}N , avaliar especificamente a lixiviação de nitrato (total e proveniente do fertilizante) à profundidade de 0,80 m, a eficiência de utilização do N pelas culturas e o efeito residual do fertilizante.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Sistema Plantio direto (SPD) em solos tropicais

Os solos dominantes no cerrados, notadamente os Latossolos, são, de modo geral, de textura argilosa, bem estruturados e com alta estabilidade de agregados. São solos altamente intemperizados, com baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e altamente dependentes da matéria orgânica (GOEDERT, 1980). As limitações devidas à baixa CTC, bem como à baixa capacidade de água disponível, podem ser corrigidas ou amenizadas pelo aumento da matéria orgânica nos solos, utilizando rotação de culturas adequadas. (YAMADA; ABDALLA, 2004). Devido a inúmeras vantagens comparativas, a evolução do SPD, no que se refere a sua adoção por agricultores de todo o planeta, tem sido bastante representativa. Segundo Bartz (2005), a base de sustentação do SPD consiste, além da não mobilização do solo, na adoção de rotação de culturas capazes de produzir e manter, por maior período de tempo, grande quantidade de massa vegetal na superfície do solo. Sendo assim, o plantio direto tem sido adotado considerando a sua eficiência na conservação dos recursos naturais solo e água, apresentando-se como uma alternativa viável em substituição ao sistema convencional.

Segundo Yamada e Abdalla (2004), a formação e a manutenção da cobertura morta nos trópicos, em especial nos Cerrados, foram alguns dos principais obstáculos encontrados para o estabelecimento do SPD, considerando-se que altas temperaturas associadas à adequada umidade promovem rápida decomposição dos resíduos vegetais mantidos na superfície do terreno. Seguy; Bouzinac e Matsubara (1992) relataram que, no Estado do Mato Grosso, num período de 90 dias após a primeira chuva, as palhadas de milho, arroz e soja foram reduzidas, respectivamente, em 63%, 65% e 86% de sua massa inicial, e, nesta mesma ordem, aos 90 dias, promoveram cobertura de solo de 30%, 38% e 7%. Silveira e Stone (2001) relataram que, independente do sistema de manejo do solo, inclusive no SPD, em 12 cultivos consecutivos, rotações envolvendo arroz, feijão, milho, soja, trigo e arroz consorciado

com calopogônio não alteraram o teor de matéria orgânica do solo. Entretanto, Kanno et al. (1999) consideram a *Brachiaria brizantha* como a melhor opção a ser introduzida na rotação cultura-pastagem para melhorar a qualidade do solo, no que diz respeito à quantidade e distribuição de biomassa radicular.

Já Aidar et al.(2000), quando estudaram diferentes fontes de resíduos para cobertura morta, em Latossolo Roxo de alta fertilidade, na região Brasil Central, verificaram que, dentre as principais culturas anuais, apenas os restos culturais do milho apresentaram um quantitativo suficiente , no que refere à formação de cobertura morta.

O acúmulo de materiais orgânicos, em diferentes estágios de decomposição, nas camadas superficiais do solo, confere ao SPD inúmeras vantagens, quando comparado ao sistema convencional. Sem a pretensão de esgotar o assunto, pode-se dizer que a interação dos efeitos físicos, químicos e biológicos do acúmulo superficial de materiais orgânicos, em estágios de decomposição, produz reflexos imediatos na conservação e, ao longo dos anos, também na fertilidade do solo (BARTZ, 2005). Nesse sentido, Sá (1996) observou que até o quarto ano da implantação do SPD o caráter drenante da matéria orgânica do solo foi maior que o caráter fonte. O autor observou ainda que dependendo das condições edafoclimáticas e da seqüência estabelecida em rotação de culturas, após o quarto ano ocorreu reestabelecimento entre a demanda e a oferta de N no sistema. Mas somente após 9 a 12 anos da implantação ocorreu maior liberação de N no sistema. Em virtude disso, normalmente se recomenda para o manejo da adubação nitrogenada no SPD, principalmente fase inicial de adoção, doses de N de 10 a 30% maiores que as aplicadas no plantio convencional (CERETTA; FRIES, 1998) e de no mínimo 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura (SÁ, 1996). Sabe-se, porém, que a dinâmica dos nutrientes é diferente nos sistemas sem preparo quando comparado com o preparo convencional, pois as condições criadas no ambiente pelo acúmulo de resíduos modificam a velocidade e a intensidade das reações que controlam a disponibilidade da maioria dos nutrientes, o que poderá influenciar o rendimento da cultura subsequente. Avaliando a resposta do milho ao fertilizante nitrogenado em SPD sobre diferentes adubos verdes, Sá (1996) verificou que a maior dose de N fertilizante na sucessão aveia preta/milho proporcionou o

mesmo rendimento de grãos que uma dose menor de N fertilizante na sucessão ervilhaca/milho. Aidar et al.(2000), utilizando um Latossolo Roxo eutrófico, obtiveram melhores rendimentos de feijão, cv. Pérola, em palhadas de *Brachiaria brizantha*, arroz e *Brachiaria ruziziensis*, sendo o pior rendimento sobre a palhada de milho, atribuído ao seqüestro do N pela palhada. A seqüência de culturas com predominância de gramíneas (alta relação C/N) pode, pelo menos nos primeiros anos do SPD acarretar queda significativa na produtividade do milho, a menos que se realize a adubação nitrogenada para balancear essa relação (RIZZARDI, 1995).

2.1.2 Adubação nitrogenada em milho

O milho é uma das culturas mais exigentes em fertilizantes, especialmente os nitrogenados. O suprimento inadequado de nitrogênio (N) é considerado um dos principais fatores limitantes ao seu rendimento de grãos. Assim, o manejo da adubação nitrogenada deve suprir a demanda da planta nos períodos críticos, maximizar a eficiência de utilização do nitrogênio (EUN) e minimizar o impacto no ambiente pela redução de perdas.

Vários trabalhos, tanto na literatura nacional como estrangeira, mostram os efeitos do nitrogênio no aumento da produtividade da cultura do milho (COUTINHO et al., 1987; JOKELA; RANDALL, 1997). Analisando os dados obtidos em 170 experimentos conduzidos em Minas Gerais, França et al. (1985) relataram que, em 99% dos ensaios, o milho apresentou resposta positiva à adubação nitrogenada. Resultados, incluindo médias de diversos experimentos, mostram respostas com a aplicação de até 120 kg ha⁻¹ de N. O maior incremento, entretanto, foi verificado com a dose de 30kgha⁻¹ de N, cuja produção foi de 47% superior à testemunha sem adubação. Trabalhando com doses de N em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura, Escosteguy; Rizzardi e Argenta (1997) concluíram que a dose 160 Kg ha⁻¹ de N proporcionou maior rendimento de grão quando comparada com 80 Kg ha⁻¹ de N. Kuramoto e Fernandes (1998) concluíram que a dose de 120 Kg ha⁻¹ de N combinada com aplicações no plantio e cobertura influenciou positivamente o número de espigas/planta e o stand final. Cardoso e Melo (1998), testando cinco doses de N (0, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹) sendo 1/3 na semeadura e o restante por volta dos 40 dias após

a emergência das plantas, verificaram, por meio do ajuste, que a produção máxima obtida (5713 kg ha^{-1}) correspondeu à dose de 107 kg ha^{-1} . O acréscimo em relação à testemunha foi de 57%, indicando que o N foi um fator limitante. O número de grãos por espiga e o peso de grãos foram os componentes de produção que mais contribuíram para a produção de grãos. Silva et al. (1999), trabalhando com tratamentos que constavam de doses de N na semeadura (20, 40, 50, 100 e 200 kg ha^{-1}) e em cobertura (0, 50, 80 e 160 kg ha^{-1}) em até três parcelamentos (épocas de aplicação), nos estádios de 4-5 folhas, 6-8 folhas e 12 folhas e dois níveis de potássio em cobertura (0 e 50 kg ha^{-1}), no estádio de 6-8 folhas, em um Latossolo Vermelho Escuro, concluíram que o tratamento que recebeu 20 kg ha^{-1} de N na semeadura e 80 kg ha^{-1} no estádio de 6-8 folhas seria o recomendado, se considerar o preço do N e o custo de aplicação. Com o objetivo de avaliar épocas de aplicação de N no rendimento de grãos de milho, Silva e Silva (2002) observaram que o maior rendimento de grãos, na dose de 120 kg ha^{-1} de N, foi obtido com o tratamento 0-1/3-2/3, mas todos os outros tratamentos proporcionaram rendimentos equivalentes, exceto os tratamentos 1-0-0, 1/3-2/3-0 e 2/3-1/3-0, que propiciaram os menores rendimentos. Entretanto, Fornasieri Filho e Casagrande (2002), trabalhando com épocas de aplicação de uréia (todo N em semeadura ou todo em cobertura) em milho safrinha, não observaram efeitos significativos de épocas de aplicação e nem de doses de N nas características agrônomicas do milho no cultivo safrinha. Resultados semelhantes foram encontrados por Fernandes; Buzetti e Silva (2004) que avaliaram doses ($90, 180$ e 270 kg ha^{-1} de N), além da testemunha e épocas de aplicação de N (na semeadura e 1 ou 2 vezes, em cobertura), na cultura do milho e concluíram que as doses e/ou parcelamentos de N não influenciaram na produtividade da cultura.

Já em semeadura direta, Guimarães (2000), em experimento com um Latossolo Vermelho-Escuro, testou 20 rotações de culturas no rendimento de grãos de milho e soja e concluiu que a produtividade de soja não foi influenciada pelos tratamentos, mas observou-se melhor desempenho da cultura do milho na sucessão milho-mucuna preta-milho. Já Amado; Mielniczuk e Fernandes (2002), estudando a disponibilidade de N na semeadura direta, semeadura convencional e preparo reduzido em três sistemas de cultura: aveia/milho, aveia + ervilhaca/milho e caupi +

ervilhaca/milho e três doses de N: 0, 90 e 180 kg ha⁻¹, não verificaram diferenças estatísticas no rendimento de grãos entre semeadura direta e convencional, nas doses estudadas. Discorrendo sobre doses de N em milho no sistema plantio direto, Fernandes et al. (1998), trabalhando em três sistemas de preparo e quatro doses de N em cobertura (0, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹), em solo de cerrado, verificaram que os dados de produção de grãos e de palhada se ajustaram a funções quadráticas em relação às doses de N, sendo que a máxima produção de grãos foram obtidas nas doses de N variando de 147 a 168 kg ha⁻¹, dependendo do sistema (plantio direto, aiveca ou arado de disco), o que atingiria produtividades de 4640 a 6177 kg ha⁻¹ de grãos. Para a produção máxima de palhada (3832 a 5338 kg ha⁻¹) as doses de N variaram de 131 a 178,5 kg ha⁻¹, dependendo do sistema de plantio. Testando cinco doses de N (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) e duas rotações de culturas (milho-milho-milho e milho-soja-milho) na produção de grãos em um Latossolo Vermelho-Escuro, Araújo; Ferreira e Cruz (2003) verificaram que o sistema de rotação de culturas não teve efeito na produção de grãos, mas afetou o teor de N nos grãos, e independentemente da rotação de culturas houve resposta da adubação nitrogenada na produção de grãos. Resultados semelhantes foram obtidos por Ohland (2001) que observou que, independentemente da cultura antecessora ao milho a adição de 200 kg ha⁻¹ de N proporcionou maior incremento na produtividade e peso de mil grãos em relação à testemunha e Halvorson; Nielsen e Reule (2004) que estudando efeito de doses de N (0, 28, 56, 84 e 112 kg ha⁻¹) na rotação trigo-milho e trigo-sorgo, em solo de textura média, chegaram à conclusão que a resposta da biomassa do trigo e do rendimento de grãos à fertilização nitrogenada variou de ano para ano, mas não com a rotação de culturas, obtendo o máximo rendimento de grãos com 84 kg ha⁻¹ de N. Contradizendo esses autores, Souza et al. (2002) verificaram que houve diferença significativa para a produtividade de grãos, para a interação entre cultura antecessora e doses de N, sendo que a máxima eficiência obtida foi nas doses de 141,9, 138,3, 150,0 kg ha⁻¹ de N quando o milho foi semeado em sucessão ao trigo, ervilhaca peluda e nabo forrageiro, respectivamente; no entanto, para milho semeado em sucessão a aveia preta, esses autores não alcançaram produtividade máxima dentro das doses de N. Em Latossolo Vermelho distrófico, Silva et al. (2005) estudaram doses (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N) e 6

combinações de épocas de aplicação de N na cultura do milho sob sistema plantio direto recém instalado e concluíram que a aplicação de metade do N na semeadura e metade no estágio de 4 a 6 folhas, metade do N na semeadura e metade no estágio 8 a 10 folhas e todo o N no estágio de 4 a 6 folhas proporcionaram maior produtividade de grãos.

Portanto, embora existam inúmeros trabalhos de pesquisa referentes à resposta da cultura do milho às doses de nitrogênio, a interpretação desses resultados exige que sejam considerados alguns fatores como: responsividade do material genético, condições edafoclimáticas, sistema de cultivo (sistema plantio direto e sistema convencional), época de semeadura (milho safra e safrinha), rotação de culturas, aspectos econômicos, operacionalização, época de aplicação, modo de aplicação e fontes de nitrogênio empregadas. Isso tudo confirma a regra de que as recomendações de nitrogênio devem ser cada vez mais específicas e não generalizadas. (CRUZ; LARA CABEZAS, 2001).

2.1.3 Fatores que afetam a resposta do milho à adubação nitrogenada, em SPD.

Na região sul do Brasil, a recomendação de adubação nitrogenada na cultura do milho é baseada no teor de matéria orgânica no solo, na expectativa de rendimento de grãos e no histórico de utilização da área (CFS-SC/RS, 1995). No entanto, existem vários outros fatores que poderão interferir na resposta do milho à aplicação de N em SPD, que deveriam ser levados em consideração na recomendação de adubação deste nutriente. Dentre estes fatores destacam-se a disponibilidade inicial de N no solo, o tipo de seqüência de culturas em sucessão, o sistema de rotação de culturas e o tempo de adoção do sistema SPD (Sá, 1996). Nesse sentido, Amado; Mielniczuk e Aita (2002) recomendam a adubação nitrogenada baseada no teor de MO, expectativa do rendimento de grãos de milho (conforme CFS-RS/SC) e também propõem um terceiro parâmetro que é a contribuição em N das culturas de coberturas antecedentes.

A disponibilidade de N no solo e, portanto, a resposta à adubação nitrogenada pela cultura do milho, em sucessão à aveia preta, depende dos processos microbianos de imobilização e mineralização ocorrentes durante a decomposição dos

resíduos culturais. A diferença de intensidade entre estes dois processos simultâneos e opostos poderá resultar em aumento na disponibilidade de N no solo (mineralização líquida) ou na diminuição (imobilização líquida) (ARGENTA; SILVA, 1999). Quando moléculas orgânicas, ricas em N, estão presentes em abundância na resteva (resíduo de leguminosa, por exemplo), o N em excesso para a biossíntese microbiana, durante o processo de decomposição, será liberado como amônia, ou seja, resultando em sobras de N para o solo. Este processo é chamado de mineralização do N. Já o processo de imobilização é quando os microrganismos, para atender as suas necessidades metabólicas de biossíntese, assimilam N mineral do solo, isto porque resíduos de baixo teor de N são adicionados ao solo, como restevas de milho e aveia, por exemplo (BARTZ, 2005). De acordo com Moreira e Siqueira (2002), verifica-se que a mineralização do N é maior em solo com cultivo convencional do que em sistema plantio direto. Isto devido ao efeito estimulante do revolvimento do solo sobre os microrganismos e seus processos oxidativos, sendo as bactérias e predadores destas, as amebas, os principais responsáveis pela maior mineralização do N no solo cultivado.

O processo microbiano de mineralização/imobilização é influenciado pelo tipo (relação C/N) e manejo de resíduos (incorporado/superfície), temperatura do solo, regime de água/aeração (AULAKH; DORAN; WALTERS, 1991), sendo intenso em condições óxidas e muito pequena em condições de anoxia (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002), pH e teor de nutrientes no solo (AITA, 1997). A mineralização do N de resíduos culturais também é influenciada pelo regime nutricional de N, sendo tanto maior quanto maior for o teor de N nos tecidos e maior a quantidade de resíduos da cobertura de solo (TOLLENAAR; MIHAJLOVIC; VYN, 1993). Sá (1999) afirmou que no início do sistema plantio direto, ocorre, na verdade, aumento na imobilização do N devido a maior biomassa. Isto é bastante evidente quando se implanta o plantio direto em solos sob cultivo convencional. A alteração no fluxo de resíduos altera a dinâmica do N, ocorrendo inicialmente imobilização líquida do N, com posterior reversão desse processo para mineralização líquida após alguns anos de plantio direto. Essas alterações resultam da elevação no teor de C no solo e assim dependem do manejo do agrossistema, especialmente no que diz respeito à produção de palha e aplicação de N-mineral na cultura. Amado e Mielniczuk (2000), avaliando a mineralização do N total no sistema

convencional, preparo reduzido e SPD, observaram que a mineralização do N total do solo durante o ciclo do milho foi maior no sistema convencional e preparo reduzido que no SPD, sendo que a disponibilidade de N das culturas de cobertura foi influenciada pela quantidade total de N e da relação C/N da fitomassa. De acordo com Moreira e Siqueira (2002), a taxa de mineralização do N difere muito entre o solo sob cerrado natural e o solo adjacente cultivado com arroz. Isto determina o fluxo desse nutriente na biomassa microbiana, que é a metade no solo com 3 anos de arroz em relação aquele sob rotação com pastagem consorciada com leguminosa. Apesar de haver pequena diferença na biomassa, a mineralização do N e fluxo deste e do P são maiores no sistema arroz-pastagem-leguminosa, indicando a baixa sustentabilidade de arroz em solo sob cerrado. As evidências indicam que a resposta do milho ao manejo de N poderá ser altamente variável, uma vez que os processos envolvidos na dinâmica deste nutriente são fortemente influenciados pelo ambiente.

2.1.4 Respostas do milho cultivado após aveia preta

Por elevada produção de massa seca, facilidade de aquisição de sementes e de implantação, rusticidade, rapidez de formação de cobertura (DA ROS; AITA, 1996), eficiente reciclagem de N (REEVES, 1994) e ciclo adequado, a aveia preta (*Avena Strigosa* Scheid) é a espécie de cobertura de solo mais utilizada no sul do Brasil, no período de inverno, antecendo ao cultivo do milho, plantado em SPD, sendo também empregada no Estado de São Paulo como forrageira (GODOY; BATISTA, 1992). Dentre seus benefícios, relacionam-se a melhoria das características físicas e químicas do solo e a satisfatória proteção do solo proporcionada por seus resíduos. No entanto, no milho semeado em sucessão à aveia preta, geralmente ocorrem reduções na absorção de N (DA ROS; AITA, 1996; ARGENTA et al., 1999a) e no rendimento de grãos (SÁ, 1996; ARGENTA et al., 1999 b), devido à alta relação C/N de seus resíduos. Para evitar a redução no rendimento de grãos de milho, pela eficiência de N durante o início do crescimento do milho em sucessão à aveia preta, algumas alternativas vêm sendo estudadas. Dentre elas, destacam-se o atraso da época de semeadura do milho após a dessecação da aveia, a aplicação de N nos estádios iniciais de desenvolvimento da

aveia e após a dessecação da aveia, ou seja, em pré-semeadura do milho, e o aumento da dose de N a ser aplicada na semeadura do milho (ARGENTA; SILVA, 1999).

Um dos primeiros trabalhos objetivando diminuir o efeito negativo provocado pela alta razão C/N de restos culturais de gramíneas foi realizado por Sá (1989). Em um local do Paraná (Tibagi), os tratamentos com aplicação de N na semeadura somente foram vantajosos até a dose de 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura, sendo que na dose de 120 kg ha⁻¹ de N não houve diferenças no rendimento de grãos entre os tratamentos com N na semeadura e o sem N na semeadura (SÁ, 1989). Já em um outro local deste Estado (Carambeí), a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura proporcionou maior rendimento de grãos, independentemente da quantidade aplicada em cobertura. Estes resultados evidenciam que a resposta do milho à adubação nitrogenada na semeadura varia em função do ambiente, mesmo em solos da mesma unidade de mapeamento. Sá (1996) estudando os níveis de N na semeadura (0, 30 e 60 kg ha⁻¹) combinada à cobertura (0, 60 e 120 kg ha⁻¹) aplicada toda aos 35 dias após a semeadura (DAS) e 5% aos 35 DAS e o restante aos 55 DAS, observou que a resposta em produtividade na dose de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura foi superior à dose de 120 kg ha⁻¹ em cobertura. O autor citou também, que a dose de 30 kg ha⁻¹ de N elimina a carência inicial devida à imobilização de N, causada pela decomposição dos resíduos da aveia. Argenta et al. (1998) verificaram em Eldorado do Sul que o aumento da quantidade de N na semeadura de 30 para 60 kg ha⁻¹ de N não resultou em acréscimo no rendimento de grãos de milho, em dois ambientes. Na maioria das pesquisas sobre época de aplicação do N no milho cultivado em SPD, não tem havido muita concordância sobre qual a melhor época. Alguns resultados de pesquisa têm demonstrado vantagens na aplicação do N em pré-semeadura do milho (SÁ, 1996). Outros resultados demonstram a necessidade de aumento da dose de N no momento da semeadura para suprir a carência inicial em função da imobilização (ARGENTA; SILVA, 1999). Entretanto, existe uma série de variáveis que condicionam a dinâmica do N no SPD, principalmente o tipo de solo, a precipitação (BASSO; CERETTA, 2000), a cultura antecessora (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002), o esquema de rotação/sucessão de culturas e o tempo de adoção do SPD (LOPES et al., 2004). Segundo Wiethölter (2000), a possibilidade de aplicação antecipada do N no milho para

a cultura antecessora, depende essencialmente da ocorrência de chuvas na primavera. Se houver chuvas em excesso, poderá ocorrer lixiviação de N, promovendo deficiência de N. Neste caso, segundo o autor seria melhor a aplicação de parte do N na semeadura e a cobertura a partir de quatro a seis folhas. Basso e Ceretta (2000) observaram queda no rendimento de grãos de milho com a aplicação antecipada de N em ano com muita chuva no início da época do plantio, porém obtiveram resultados favoráveis com a aplicação do N logo após a dessecação da aveia preta em um ano que não houve excesso de chuva naquele período. Resultados semelhantes foram encontrados por Bortolini et al. (2001) que, trabalhando com diferentes sistemas de aplicação de N em milho: 0-30-150; 150-30-0; 75-30-75; 0-30-60; 60-30-0; 30-30-30 e 0-30-0 kg ha⁻¹ de N, aplicados em pré-semeadura, na semeadura e em cobertura, respectivamente, em semeadura direta após aveia preta, concluíram que a antecipação total de N de cobertura para pré-semeadura do milho é prejudicial ao rendimento de grãos dessa cultura, principalmente em situações com alta disponibilidade hídrica e com aplicação de elevada dose do fertilizante. No Estado de São Paulo, Cantarella et al. (2003) obtiveram maior rendimento de grãos na safra 99/00 quando aplicaram N nos períodos convencionais (semeadura e cobertura) e na safra 00/01 a época de aplicação de N (antecipada – 45 dias antes da semeadura e convencional) não influenciou significativamente o rendimento de grãos. Pöttker e Wiethölter (2004), no Estado do Rio Grande do Sul, estudaram por três anos, o rendimento de grãos de milho em função da época da aplicação de N e observaram em uma das safras (99/00) uma queda substancial da produção quando a maior parte do N foi aplicada em pré-semeadura, após a rolagem da aveia preta, ou no plantio do milho, em comparação com a obtida com a aplicação do N em cobertura. Já nos anos agrícolas 97/98 e 00/01, a aplicação de N na semeadura em cobertura proporcionou rendimento de milho estatisticamente semelhante às aplicações efetuadas em pré-semeadura e na semeadura.

Entretanto, Lera; Cantarella e Bolonhezi (2000), estudando épocas de aplicação do ¹⁵N-uréia em SPD, aplicando 45 dias antes da semeadura do milho e no estádio seis folhas, observaram que o N inorgânico aplicado antes da semeadura concentrava-se, principalmente na camada 0-0,1 m, na forma de nitrato. Verificaram que, no estádio seis folhas, a maior parte do N ainda permanecia na camada de 0-0,2

m. No entanto, no estágio de 12 folhas, a maior parte do N aplicado antecipadamente encontrava-se abaixo de 0,2 m e o aplicado em cobertura, acima. Apesar das diferenças nos teores do elemento no solo, não foi observada diferença na produtividade de matéria seca e nos teores de N na parte aérea, raízes e grãos. Com o objetivo de avaliar a influência de épocas de aplicação de N, correspondendo respectivamente ao N aplicado no perfilhamento da aveia preta, na pré-semeadura, na semeadura e na cobertura do milho (15-0-20-55, 30-0-20-40, 45-0-20-25, 0-35-20-35, 0-70-20-0, 0-0-20-70 e 0-0-0-0) sobre teores de N no solo e a produtividade de grãos de milho, na sucessão aveia preta –milho, Mai et al. (2003) observaram que, apesar da aplicação de N em pré-semeadura do milho ter proporcionado maior teor de N no solo no início do desenvolvimento dessa gramínea, a aplicação de N em cobertura propiciou a obtenção de maiores produtividades de grãos. Estes resultados demonstram que a recomendação da dose de N na semeadura do milho, implantado em SPD em sucessão à aveia preta, deve partir de uma avaliação caso a caso, não podendo ser utilizada receita única.

2.1.5 Processos de perdas do N

A dinâmica do N na natureza é complexa e de suma importância à vida das plantas porque envolve inúmeros fenômenos físicos, químicos e biológicos relacionados à disponibilidade do elemento aos vegetais. Ao contrário do que se observa com outros nutrientes como o P e o K, a quantidade de N disponível no solo pode sofrer flutuações às vezes severas em função de alterações dos processos de adição e perda (KIEHL, 1987). Essas perdas, volatilização, desnitrificação e lixiviação são as grandes responsáveis pela baixa eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados (IVANKO, 1972).

De acordo com Moreira e Siqueira (2002), as estimativas da quantidade de N mineralizado é elevada, sendo da ordem de 2,5 vezes maior que o total de N absorvido pelas culturas. Destes valores estima-se que as plantas absorvam apenas em torno de 40% do N–mineralizado, indicando constantes perdas de N para o sub-solo ou para a atmosfera. Verificou-se também que a desnitrificação e a lixiviação são os principais processos de perdas de N do solo, os quais, juntos contribuem com 72% da perda total.

➤ Volatilização da amônia

O nitrogênio no solo pode ser perdido pela volatilização da NH_3 . Os fatores que mais contribuem para este processo são as altas concentrações da própria amônia no solo, o pH elevado e as altas temperaturas do solo. A capacidade de troca de cátion (CTC) do solo também influi no processo, uma vez que a CTC interfere na distribuição do íon NH_4^+ entre a solução no solo e a fase sólida do solo (MELLO et al., 1983). Em um experimento de laboratório, Cantarella e Tabatabai (1985) avaliaram a extensão da volatilização de NH_3 em solos ácidos e alcalinos, de vários fertilizantes nitrogenados (uréia, sulfato de amônio, fosfato diamônio, formamida e oxamida), aplicados na superfície do solo descoberto, em sulco raso, misturado ao solo e sobre resíduo de material vegetal. Os resultados mostraram que as perdas de NH_3 proveniente da uréia, aplicada superficialmente em ambos os solos, foram elevadas, atingindo 39 a 54% do N adicionado. Para o sulfato de amônio aplicado superficialmente, as perdas nos solos ácidos foram desprezíveis, mas nos solos alcalinos foram altas, atingindo 53% do N aplicado. Concluíram que a aplicação em sulco (3 cm) de qualquer das fontes de N foi a maneira mais eficiente de prevenir as perdas por volatilização. Resultados semelhantes foram encontrados por Lara Cabezas; Korndörfer e Motta (1997) que observaram perdas significativas de NH_3 por volatilização no SPD, quando a uréia e o sulfato de amônio foram aplicados sobre a palhada de aveia preta, sendo que a incorporação de 2 a 3 cm em profundidade contribuiu para a redução dessas perdas. Os autores observaram também, que produtividade contribuiu para redução destas perdas. Mais recentemente, Lara Cabezas et al. (2000) verificaram que após 26 dias da adubação na cultura do milho, as perdas de NH_3 nos tratamentos em superfície foram de 54, 41, 17 e 14% do N aplicado, para uréia, uréia + KCl, uran e uran + KCl, respectivamente. Segundo Bartz (2005), as perdas de N pelo processo de volatilização ficam limitadas às condições de solo e do ambiente e tendem a serem menores no plantio direto do que no convencional, principalmente em função da menor variação de temperatura e umidade neste sistema. Em sistemas de plantio direto, na camada de 0-7 cm, observa-se uma predominância de nitrogênio na forma de nitrato e isto indica maior atividade dos microrganismos nitrificadores, pois nesta camada do perfil, a umidade, a temperatura, o teor de carbono

e o pH são favoráveis a nitrificação, o que poderia limitar possíveis perdas de N por volatilização. Por outro lado, a presença de resíduos vegetais sobre a superfície no SPD também reduz o contato da uréia com o solo (MENGEL, 1996), diminuindo a adsorção de NH_4^+ aos colóides orgânicos e inorgânicos, e com isso facilitando a volatilização de amônia. Sangoi et al. (2003), avaliando os efeitos do modo de aplicação da uréia (sem N, uréia aplicada na superfície e uréia incorporada ao solo) e três métodos de manejo dos resíduos de aveia (sem palha, palha aplicada na superfície e palha incorporada ao solo), em dois solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica, verificaram que a aplicação superficial da uréia proporcionou maior volatilização de N-NH_3 do que sua incorporação, nos dois solos. A manutenção da palha sobre a superfície do solo estimulou a perda de N-NH_3 no solo arenoso, independentemente da forma de aplicação da uréia ao solo.

➤ Desnitrificação

De acordo com Moreira e Siqueira (2002), de todos os processos redutivos, o mais conhecido é a desnitrificação, que consiste na redução bioquímica de formas oxidadas a formas gasosas (N_2 e N_2O), na seguinte seqüência: $2\text{NO}_3^- \rightarrow 2\text{NO}_2^- \rightarrow 2\text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$. O processo é realizado por várias bactérias anaeróbicas facultativas, como as do gênero *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, etc. Segundo os mesmos autores, a desnitrificação é um processo de grande importância geoquímica e ambiental, porém muito complexa. Nas bactérias desnitrificadoras, as formas oxidadas de N atuam como aceptores terminais de elétrons oriundos da oxidação de substratos, conforme Payne, 1985 apud Paul e Clark (1989). Os elétrons de substratos orgânicos e inorgânicos fluem numa cadeia, do NAD^+ ao citocromo-B e sistemas redutases para as formas de N com diferentes estágios de oxidação, causando a redução destes até o produto final N_2 .

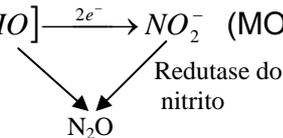
Ainda segundo Moreira e Siqueira (2002), a desnitrificação ocorre quando houver ausência de O_2 , presença de NO_3^- e compostos reduzidos (carbono orgânico para os organotróficos), ou S, HS^- ou o NH_4^+ para litotróficos e obrigatoriamente os microrganismos desnitrificadores têm que estar presentes. Perdas de nitrogênio por

desnitrificação têm sido tradicionalmente avaliadas em estudos com ^{15}N no sistema solo-planta, obtidas indiretamente como a quantidade do N-fertilizante não recuperado pela planta e no solo. Assim, em condições de campo, sob cultura do milho, em cultivo convencional, perdas da ordem de 13 a 23% têm sido atribuídas ao processo de desnitrificação durante períodos de deficiência de oxigênio quando a superfície do solo é umedecida pela chuva ou irrigação (OLSON, 1980; REDDY; REDDY, 1993). No entanto, Liang e Mackenzie (1997) avaliando a desnitrificação pela técnica direta de inibição de C_2H_2 , sob cultivo de milho, indicou que somente 4,7 a 7,4% do N aplicado foi perdido por desnitrificação. Já Hauck (1981) cita em sua revisão sobre trabalhos realizados com auxílio do isótopo ^{15}N , que existe um déficit no solo de N devido a desnitrificação da ordem de 25 a 30%. Entretanto, outros autores, como Ryden e Lund (1980), afirmam que em solos irrigados, esta perda de N atinge 95 a 233 kg ha^{-1} por ano.

Embora seja um processo freqüente em solos com baixo suprimento de O_2 , poderá ocorrer também em solos bem drenados, onde materiais orgânicos tenham sido adicionados. O suprimento de carbono promove o crescimento microbiano e o consumo de O_2 . Microsítios anaeróbicos são criados, onde um grupo de bactérias anaeróbicas facultativas utilizam os óxidos iônicos de N como receptores. Então, predominância de microrganismos anaeróbicos na superfície de solos sob plantio direto tem sido encontrada e tem sido associada a condições de maior umidade (BARTZ, 2005). Sainz Rozas; Echeverría e Picone (2001), com o objetivo de avaliar o efeito de doses de N (0, 70 e 210 kg ha^{-1}) e diferentes épocas de aplicação (plantio e no estágio de 6 folhas), sobre perdas por desnitrificação, em milho irrigado, em plantio direto, concluíram que a perda por desnitrificação quando se aplicou N no plantio foi de 7,6 e 9,8 kg ha^{-1} de N_2O (5,5 e 2,6% do N aplicado para 70 e 210 kg ha^{-1} , respectivamente). Quando, porém, o N foi aplicado na cultura no estágio de 6 folhas, as perdas por desnitrificação foram de 2,0 e 2,1 kg ha^{-1} de N_2O (1,0 e 0,4% do N aplicado para 70 e 210 kg ha^{-1} , respectivamente). Já Gollany et al. (2005) em estudos com fertilização de N (20 e 200 kg ha^{-1} de N) em milho e dois manejos (resíduo colhido e retorno residual) verificaram que as perdas por desnitrificação foram de 43, 51 e 56 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ para a baixa taxa de N aplicada e 44,

70 e 85 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para a alta taxa de N aplicada quando o resíduo foi retornado ao solo em 0, 66% e 100%, respectivamente.

Estudos recentes indicam que o NO e o N₂O podem também ser produzidos a partir da oxidação do NH₄⁺, indicando que nem toda oxidação do NH₄⁺ é nitrificação. O gás N₂O pode surgir pela dismutação química do nitroxil (NOH) e através da ação da nitrito redutase: NH₄⁺ $\xrightarrow[2e^-]{\text{Dismutase química}}$ NH₂O $\xrightarrow[2e^-]$ [NHO] $\xrightarrow[2e^-]$ NO₂⁻ (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).



➤ Lixiviação

Segundo Kiehl (1987), lixiviação é a translocação de sais solúveis que se dá através de fluxo descendente de água no perfil do solo. No caso do nitrogênio, a lixiviação é de suma importância porque pode diminuir sensivelmente a quantidade de amônio e nitrato na camada arável e, conseqüentemente, reduzir a disponibilidade do nutriente; quando excessiva, a lixiviação constitui um perigo potencial de contaminação de águas subterrâneas por nitrato (STARK; JARREL; LETEY, 1983). Durante as últimas décadas, a contaminação dos mananciais de água superficiais e profundos com nutrientes, particularmente N e P, tornou-se um assunto significativo para o público, incluso os produtores. As elevadas concentrações de nitrato na água para consumo humano são preocupantes, porque causam metahemoglobinemia, comumente conhecida como bebê azul. Este é um problema que ocorre somente em crianças com menos de seis meses e mulheres grávidas. Além disso, a contaminação da água por nitratos e P tem sido relacionada com uma outra anormalidade denominada hipoxia (baixo teor de oxigênio) nas águas do Golfo do México, a qual inibe a produção de camarões e de outras espécies aquáticas nesta zona (HOEFT, 2003). Para os EUA, a concentração máxima de nitrato e nitrito para uma água ser considerada potável e não causar danos à saúde humana é de 10 mg L⁻¹ e 1mg L⁻¹, respectivamente, sendo os mesmos valores adotados pela Legislação Brasileira, mas para a União Européia o valor de nitrato permitido chega a 50 mg L⁻¹ (TUNDISI, 2003).

A lixiviação do N ocorre em ordem decrescente para NO₃⁻ > NH₄⁺ > N-orgânico. A maior lixiviação na forma de nitrato ocorre por causa de sua carga negativa

ser repelida pelos colóides de solo onde predomina a mesma carga (GONÇALVES; CERETTA; BASSO, 2000)

A quantidade de N que se perde por lixiviação varia muito em função da dose de N do método de aplicação do fertilizante, da velocidade de mineralização e imobilização por plantas e microrganismos, da quantidade de chuva e das propriedades do solo que influenciam sua capacidade de reter água, quais sejam, a textura, a estrutura e a porosidade (KIEHL, 1987). Reichardt et al. (1979), estudando a dinâmica do nitrogênio (80 kg ha^{-1}) como sulfato de amônio marcado com ^{15}N aplicado a uma cultura de milho, encontraram que, durante um período de 97 dias, foram lixiviados aproximadamente $9,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, sendo $0,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de N do adubo, a uma profundidade limite de 120 cm. Reichardt; Libardi e Urquiaga (1982) revisaram trabalhos conduzidos no Brasil sobre o balanço de nitrogênio no sistema solo-planta, utilizando a técnica do isótopo (^{15}N) e discutiram os diferentes componentes do balanço, com ênfase para as perdas de N do solo e fertilizante por lixiviação. Os autores ressaltaram que, para doses de N em torno de 90 kg ha^{-1} de N, e sob condições tropicais, apenas $15,8 \text{ kg ha}^{-1}$ do elemento são perdidos durante o período de cultivo, e desse total, somente $3,4 \text{ kg ha}^{-1}$ são provenientes do fertilizante. Esses valores correspondem, respectivamente, a 20,9 e 4,5 g de N perdidos por ha/mm de chuva. Sexton et al. (1996) observaram que o NO_3^- lixiviado aumentou rapidamente quando as doses de N excederam a 100 kg ha^{-1} para crescimento de milho sob um solo arenoso e quando doses de N aumentaram acima de 250 kg ha^{-1} (correspondendo ao máximo rendimento), o NO_3^- lixiviado aumentou exponencialmente. Gava (2003) revisando trabalhos de perdas de N por lixiviação, entre os anos de 1978 a 1999, observaram que em 78% dos experimentos realizados em diferentes solos e cultivos, fertilizados em média com uma dose de 92 kg ha^{-1} de N, as perdas do N total por meio de lixiviação foram pequenas, em média de $1,26 \text{ kg ha}^{-1}$ de N. Verificou também, que em 67% dos experimentos, as perdas de N-fertilizante foram pequenas e inferiores a $0,30 \text{ kg ha}^{-1}$ de N. Entretanto, deve-se destacar que, nos trabalhos desenvolvidos por Silva (1982); Camargo (1989) as perdas de N-fertilizante por lixiviação foram altas, chegando a ser respectivamente de 11 (150 dias em milho) e 34% (102 dias em cana de açúcar). Esses autores relataram que as perdas de N por lixiviação foram elevadas devido às

precipitações intensas ocorridas logo após a aplicação de fertilizante e também pelo reduzido volume de solo explorado pelo sistema radicular das culturas. Sogbedji; Van Es e Yang (2000) verificaram que as perdas de nitrato por lixiviação foram similares, no 1º ano de cultivo de milho, para as doses de N aplicadas (22, 100 e 134 kg ha⁻¹ de N), nos dois tipos de solos testados (arenoso e argiloso) e para os outros dois cultivos de milho, a dose de 134 kg ha⁻¹ de N apresentou maior perda de nitrato por lixiviação.

As perdas de N por lixiviação podem ser controladas por meio da aplicação parcelada dos adubos nitrogenados, principalmente nos períodos de precipitação elevada. O nitrato pode ser adicionado diretamente em um agroecossistema por meio de fertilizantes ou produzido pelos processos de mineralização (conversão do N-orgânico a NH₄⁺) e de nitrificação (conversão de NH₄⁺ a NO₃⁻) de outros fertilizantes e de materiais orgânicos, como exemplos: resíduos de plantas e fertilizantes orgânicos (BELLINI et al., 1996). Entretanto, a manutenção do terreno com cobertura vegetal é importante porque as plantas constituem o único meio seguro de reciclagem do nitrato. A adição de restos culturais ou resíduos orgânicos crus com relação C/N acima de 30 estimula a imobilização do nitrogênio mineral do solo e reduz as perdas no período em que não ha cobertura vegetal (KIEHL, 1987). Halvorson; Wienhold e Black (2001) observaram que o sistema convencional apresentou mais nitrato abaixo de 150 cm da superfície do solo, do que o sistema plantio direto com trigo. Perdas de N por lixiviação foram medidas por Isse et al. 1999 na cultura do milho, com diferentes doses de N (0, 75 e 150 kg ha⁻¹), cultivado sem e com cobertura de culturas e encontraram valores de 17 a 76 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (solo sem cobertura) e 1 a 55 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N (solo com cobertura). Zhu; Fox e Toth (2003), estudando o efeito das doses de N (0, 100 e 200 kg ha⁻¹) na lixiviação de nitrato em um solo silto-argiloso sob cultivo convencional e plantio direto, concluíram que as concentrações e os fluxos de nitrato não foram significativamente diferentes para o cultivo convencional e plantio direto, mas aumentaram com o aumento da dose de N. As concentrações e os fluxos de nitrato foram de 3,5, 8,2 e 23,9 mg L⁻¹ e 17, 39 e 112 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Por outro lado, Al-Kaisi e Licht (2004) não encontraram diferenças significativas entre sistemas de cultivo e nem entre parcelamentos de N, para quantidade de nitrato encontrada abaixo de 1,2 m, durante dois anos de experimento. No entanto, Gollany et al. (2005) em

estudos com fertilização de N (20 e 200 kg ha⁻¹ de N) em milho e dois manejos (resíduo colhido e retorno residual) verificaram que, durante 30 anos de simulação, a perda de nitrato por lixiviação foi maior nas parcelas nas quais o resíduo foi retirado do solo quando comparado às parcelas que o resíduo foi retornado ao solo.

2.1.6 Balanço e eficiência de utilização do nitrogênio pela cultura do milho

Segundo Hoefft (2003), a dose, a época e o método de aplicação de fertilizantes nitrogenados têm efeito marcante tanto sobre a produtividade das culturas como sobre o potencial de contaminação dos mananciais de água pelos nutrientes. Quanto mais cedo o N for aplicado antes da época na qual a cultura precisa dele, e quanto maior for a dose de aplicação, maior será a quantidade de N perdida. Fernandes et al. (1998) citaram que menos da metade do fertilizante nitrogenado aplicado é utilizado pelas plantas e grande parte do nitrogênio residual é incorporada à matéria orgânica do solo.

Dois métodos são geralmente utilizados em pesquisas com balanço do N no sistema solo-planta (LEGG; MEISINGER, 1982) na quantificação da eficiência de utilização do N: o método da diferença e o método isotópico com traçador ¹⁵N. Estes dois métodos diferenciam-se por enfatizarem diferentes propriedades do sistema. O primeiro (método da diferença), envolve o balanço completo do nitrogênio e procura documentar convenientemente o total de ganhos e perdas, sem o uso do isótopo ¹⁵N. Esse método fornece uma medida de impacto da aplicação do fertilizante em relação ao total de N acumulado pela planta (N-solo + N-fertilizante) e assume que tanto a mineralização, imobilização e outras transformações do N bem como o tamanho da parte subterrânea das plantas, como o volume de solo explorado são os mesmos em áreas fertilizadas ou não, o que não ocorre (LARA CABEZAS et al., 2000). Por esse motivo, geralmente ocorre uma superestimativa da eficiência de utilização do N, quando esta metodologia é utilizada (LIANG; MACKENZIE, 1994). O segundo (método isotópico, com ¹⁵N) constitui-se no único método direto para determinar a eficiência de utilização do N nas plantas e também tem sido utilizado para distinguir o N da planta proveniente do fertilizante e o N da planta proveniente do solo (TIMMONS; CRUSE, 1990). Embora esse método seja considerado o que apresenta maior precisão nas

determinações da eficiência de utilização do N e do N proveniente do fertilizante, ele também apresenta suas limitações. Quando o N-fertilizante é aplicado no solo, podem ocorrer reações como “pool substitution” ou o “priming effect”, essas reações levaram Jenkinson; Fox e Rayner (1985) propor o conceito do “ANI” (interação no solo do nitrogênio mineral adicionado)

Broadbent e Carlton (1978) estudaram vários níveis de fertilização nitrogenada em milho irrigado e encontraram eficiência de 30 a 68%, durante um período de três anos, sendo máxima quando a dose aplicada foi de 200 kg ha⁻¹ de N. As doses maiores aumentaram a produção, mas diminuíram a eficiência do fertilizante. Reddy e Reddy (1993) obtiveram eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado na região de Piedmont na North Carolina (USA), variando de 43 a 57%. O N perdido (não explicado) foi aproximadamente três vezes maior quando a dose aplicada do fertilizante nitrogenado foi aumentada de 100 para 200 kg ha⁻¹ de N. Diversas pesquisas realizadas em diferentes regiões do Brasil mostraram que os aproveitamentos aparentes do N aplicado (%), calculados pelo método da diferença, foram influenciados negativamente pelas doses crescentes de adubo nitrogenado. Melgar et al. (1991), ao utilizarem a média de dois cultivos com milho, encontraram recuperação do N da uréia que variou de 48, 36 e 36% para as doses de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Para as doses de 60 e 240 kg ha⁻¹ de N, Coelho et al. (1992) obtiveram valores de aproveitamento iguais a 68, 55 e 34%. Fernandes et al. (1998) informaram que na dose de 60 kg ha⁻¹ de N, ocorreu maior eficiência de utilização do N pela cultura do milho, constatada pelo maior aproveitamento do N aplicado, 52%. Já Fernandes et al. (2005) estudando a eficiência de utilização do N (0, 30, 60 e 180 kg ha⁻¹) por seis cultivares de milho, na região dos cerrados, concluiu que a eficiência de utilização do nitrogênio de todos os híbridos diminuiu quando se aumentou a dose de N aplicada e, que para todas as doses de N aplicadas, o híbrido DKB 333B foi o que apresentou maior eficiência de uso e as variedades BR 106 e Sol da Manhã as que apresentaram menor eficiência. Para Halvorson; Nielsen e Reule (2004), a eficiência de utilização do fertilizante variou com a taxa de N e ano, as médias obtidas foram de 86, 69, 56 e 46% para doses de N de 28, 56, 84 e 112 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

Diversos estudos realizados com milho mostram grande variação na eficiência pelo método isotópico: de 40% (LATKOVICZ; MARTE; VARGA, 1978); de 30 a 68% (BROADBENT; CARLTON, 1978) e de 26,2% (CALVACHE; LIBARDI; REICHARDT, 1982). Villas Boas (1990) observou que o aproveitamento do N-uréia pelo milho, calculado pelo método isotópico, foi de 28,2, 40,7 e 32,7% aos 70, 105 e 135 DAE, respectivamente. Avaliando o balanço de nitrogênio na cultura do milho onde aplicaram 60 kg ha⁻¹ como uréia-¹⁵N, Coelho et al. (1991) obtiveram eficiência de utilização do fertilizante de 58 %. Na camada de solo de 0-90 cm de profundidade permaneceram 25% do N do fertilizante, sendo que 17% foram perdidos do sistema. Os autores observaram também que praticamente não houve variação isotópica do N nas diversas partes da planta, concluindo que não há necessidade de separar diversas partes da planta para análise, com economia no número de análise. Em experimento no qual estudaram a resposta do milho a diferentes doses de N em dois locais do Canadá, Liang e Mackenzie (1994) verificaram que a eficiência de utilização do nitrato de amônio – ¹⁵ N, na dose de 170 kg ha⁻¹ de N foi de 22 a 30% nos dois locais em estudo. Quando utilizaram a dose maior de 400 kg de kg ha⁻¹ de N, a eficiência de utilização variou entre 9 e 22% para os dois locais. Nos anos subseqüentes houve aumento na eficiência de utilização do fertilizante uma vez que os restos de cultura permaneceram no local do experimento. Os autores concluíram que a eficiência de utilização de nitrogênio avaliada pelo método do ¹⁵ N variou com o ano, com o local, com a dose aplicada e foi altamente dependente da produtividade da cultura. Com as doses de 75 e 150 kg ha⁻¹ de N aplicadas ao solo Mt Carrol e 100 e 200 kg ha⁻¹ de N aplicadas ao solo Webster, ambos situados ao norte do Cinturão de Milho nos USA, o aproveitamento de N derivado do fertilizante por toda a planta de milho variou de 31 a 60% para baixas doses de N e de 24-45% para altas doses (JOKELA; RANDALL, 1997). Gava et al. (2000) observaram que a quantidade do N-fertilizante na parte aérea do milho em três aplicações (plantio, primeira e segunda cobertura), foram respectivamente de 19,0, 23,7 e 22,7 kg ha⁻¹, que corresponderam a eficiência de utilização de fertilizante de cerca de 38, 47 e 45%, sendo que a utilização média da dose total do N-AS (150 kg ha⁻¹ de N) foi de 43%.

No sistema plantio direto, o conceito de eficiência da fertilização nitrogenada é mais abrangente que no sistema convencional, uma vez que as doses de N são definidas de acordo com o sistema e com as culturas. Sá (1998) enfatizou esta idéia, assinalando que, no sistema plantio direto, a produção de material vegetal (palhas e grãos), a exigência nutricional e os sistemas radiculares diferenciados objetivam uma rotação de culturas integrada e sustentável. Lara Cabezas et al. (2000), avaliando o balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho (aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N), em sistema plantio direto, verificaram que na colheita, o N da uréia absorvida pela planta (raízes+ colmos + folhas + grãos) foi de 19,9 kg ha⁻¹ (20,8% do N aplicado) quando aplicado em superfície. O N imobilizado na camada de 0-45 cm de profundidade foi, em média, de 9,9 kg ha⁻¹ (10% do N aplicado), o N-mineral no solo, no perfil de 0-1,50 m, foi de 2,4 g kg⁻¹ e 54% foi perdido por volatilização (N-NH₃) após 26 dias da adubação. Os autores concluíram que no balanço global de N, em média, 13,7% do N da uréia não foram recuperados no sistema solo-planta. No entanto, com o avanço do sistema plantio direto e a generalização da utilização de culturas de cobertura e rotação de culturas, surgiu a necessidade de adaptar essa recomendação ao novo cenário agrícola, que se caracteriza por incremento no estoque de N total no solo e presença de resíduos culturais com distintas características na superfície do solo, resultando em uma dinâmica do N diferenciada. Halvorson; Nielsen e Reule (2004), estudando efeito de doses de N (0, 28, 56, 84 e 112 kg ha⁻¹) na rotação trigo-milho e trigo-sorgo, em solo de textura média, observaram que a eficiência do fertilizante nitrogenado pela cultura variou com a taxa de N e ano, obtendo médias de 86, 69, 56 e 46% para as taxas de 28, 56, 84 e 112 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

Quanto ao parcelamento de N, Lange; Lara Cabezas e Trivelin (2002), trabalhando com diferentes parcelamentos de N (00-00-42-00-00, 70-00-42-00-00, 00-70-42-00-00, 00-00-42-70-00 e 00-00-42-35-35), correspondendo a semeadura da aveia, 8 dias antes da semeadura do milho, semeadura do milho, cobertura do milho (4-5 folhas) e cobertura do milho (7-8 folhas), concluíram que a eficiência de utilização do N para sulfato de amônio e nitrato de amônio, quando analisados conjuntamente, não apresentou diferenças significativas em relação à época de aplicação, tanto nos grãos como para a parte aérea total da planta. De modo geral, a média do N-amônio

recuperado da mistura NA + SA, pela parte aérea da planta foi 54% (23 kg ha^{-1}), sendo que deste total, aproximadamente $15,7 \text{ kg ha}^{-1}$ foram exportados nos grãos e $7,7 \text{ kg ha}^{-1}$ permaneceram na palha, que retornou ao sistema. Cantarella et al. (2003), em área de Latossolo Vermelho sob SPD, usando uréia marcada com ^{15}N , observaram na safra 99/00 que a recuperação do N pelo milho, quando a aplicação do adubo nitrogenado foi 45 dias antes da semeadura, foi inferior (48%) à verificada com o parcelamento tradicional (66%), entretanto, no 2º ano de cultivo esta recuperação foi de 59 e 63%, respectivamente, para a forma de aplicação antecipada e convencional. Sainz Rozas; Echeverria e Barbieri (2004), com o objetivo de avaliar o efeito das doses de uréia (0, 70 e 210 kg ha^{-1} de N) e diferentes épocas de aplicação (plantio e estágio de 6 folhas) na recuperação do N, na cultura do milho, em plantio direto, observaram que a recuperação de N fertilizante pela planta variou de 43 a 53% quando o fertilizante foi aplicado no plantio e de 62 e 74% quando o fertilizante foi aplicado no estágio V6 da cultura.

O uso do isótopo ^{15}N para as medidas de eficiência de fertilizações nitrogenadas e a realização de estudos de balanço de nitrogênio que forneçam antecedentes das entradas e que avaliem as perdas e os processos de transformação do N no sistema são essenciais (LEGG; MEISINGER, 1982). Assim será possível compreender melhor os fatores que afetam a dinâmica do N no sistema em estudo, favorecendo a maximização da eficiência de utilização do N e a consequente minimização do impacto ambiental associado às possíveis perdas.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido, em condições de campo, em área experimental da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são 22°42'30" de latitude sul, 47°38'00" de longitude oeste e, aproximadamente, 546m de altitude. Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima é do tipo Cwa, denominado "tropical de altitude". É um clima mesotérmico de inverno seco, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C. As médias anuais de temperatura, precipitação e umidade relativa são de 21,1° C, 1.257 mm e 74%, respectivamente. A estação seca ocorre entre os meses de abril e setembro, sendo julho o mês mais seco. O mês mais chuvoso oscila entre janeiro e fevereiro e o total das chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm (Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 1960). O solo do local é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 1999), distrófico (Typic Hapludox). A caracterização morfológica e a análise com ataque sulfúrico e algumas propriedades físicas dos horizontes do perfil do solo podem ser observados nos Anexos A, B e C, respectivamente.

Antes da implantação do experimento foram coletadas amostras de solo das camadas de 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m para determinação de características químicas e físicas do perfil, as quais estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2. A análise granulométrica foi realizada de acordo com a metodologia descrita em Gee e Bauder (1986), a densidade de solo pelo método do anel volumétrico e densidade das partículas pelo método do balão volumétrico descrito em Kiehl (1979).

O experimento envolveu de dois cultivos de milho, que foram conduzidos o primeiro na safra de 2003/04 e o segundo na safra 2004/05 e, na entressafra, foi cultivada a aveia preta.

Tabela 1 - Propriedades químicas do solo antes da instalação do experimento, nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m

Camadas (m)	S (mg L ⁻¹)	PH (CaCl ₂)	MO (g dm ⁻³)	P-resina (mg dm ⁻³)	K Ca Mg H+Al Al (mmolc dm ⁻³)				
					0-0,20	13,05	4,77	20	10,00
0,20-0,40	13,31	4,06	18	6,66	1,12	9	5	40	4,0
0,40-0,60	13,43	3,61	11	1,48	0,91	6	1	50	11,4
0,60-0,80	20,80	3,87	11	2,22	0,63	10	2	313	7,1

Tabela 2 – Densidade do solo, densidade de partículas, análise granulométrica e classe textural do solo, antes da instalação do experimento, nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 m

Camada (m)	Dp (kg m ⁻³)	Areia Silte Argila (%)			Classe Textural
		0-0,20	2754	84	
0,20-0,40	2760	80	2	18	Franco-arenosa
0,40-0,60	2738	76	4	20	Franco-argilo-arenosa
0,60-0,80	2693	76	4	20	Franco-argilo-arenosa

Camada (m)	Ds (kg m ⁻³)	Macro Micro (%)		Porosidade (%)
		0-0,20	1627	
0,20-0,40	1678	13,11	26,07	39,19
0,40-0,60	1675	12,71	26,10	38,81
0,60-0,80	1635	12,73	27,22	39,29

2.2.2 Preparo do solo

Antes da implantação do SPD, foi feito o preparo inicial do solo (uma subsolagem, uma aração e duas gradagens) aplicando-se, para uma melhor uniformização da área, 50% do calcário dolomítico antes da aração e 50% após a aração e antes da primeira gradagem; a segunda gradagem foi realizada pouco antes da semeadura (Figura 1). A calagem foi realizada na camada de 0-0,20 m, objetivando-se elevar a saturação por bases a 60%. Para uma maior segurança, houve necessidade

também de fazer uma cerca isolando toda a área experimental (38,8m x 51,0 m), devido a grande quantidade de capivaras (Figura 2).



Figura 1 – Preparo do solo



Figura 2 – Demarcação da área

2.2.3 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em um esquema fatorial incompleto, com 4 repetições. Os tratamentos constaram de doses de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio (60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N) e uma testemunha, além dos parcelamentos (30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e o restante em cobertura, no estágio de 6 a 8 folhas; 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura e o restante em cobertura, no estágio de 6 a 8 folhas), conforme especificado na Tabela 3. A parcela experimental consistiu de uma área de 36 m² (5,0 x 7,2 m), com 9 linhas de milho espaçadas em 0,80 m, sendo a distância entre parcelas de 2,0 m.

Para os tratamentos que receberam ¹⁵N, foi demarcada, a 1,5 m da extremidade da parcela, uma subparcela com as dimensões 2,0 x 2,4 m (4,8 m²), para aplicação do sulfato de amônio, enriquecido com 5,5 átomos % de ¹⁵N. No restante da área da parcela foi aplicado como fonte de N, sulfato de amônio não enriquecido com ¹⁵N. Nas Figuras 3 e 4 apresentam-se detalhes da parcela experimental e a disposição da subparcela para a aplicação sulfato de amônio - ¹⁵N.

Tabela 3 - Doses e parcelamentos de nitrogênio nos tratamentos utilizados

Tratamentos	Doses de N (kg ha^{-1})		Total de N aplicado (kg ha^{-1})
	Plantio	Cobertura	
01	-	-	-
02	30	30	60
03	60	00	60
04	30*	90*	120*
05	60*	60*	120*
06	30	150	180
07	60	120	180

* Tratamentos com subparcela com sulfato de amônio enriquecido com 5,5 átomos % de ^{15}N em excesso.

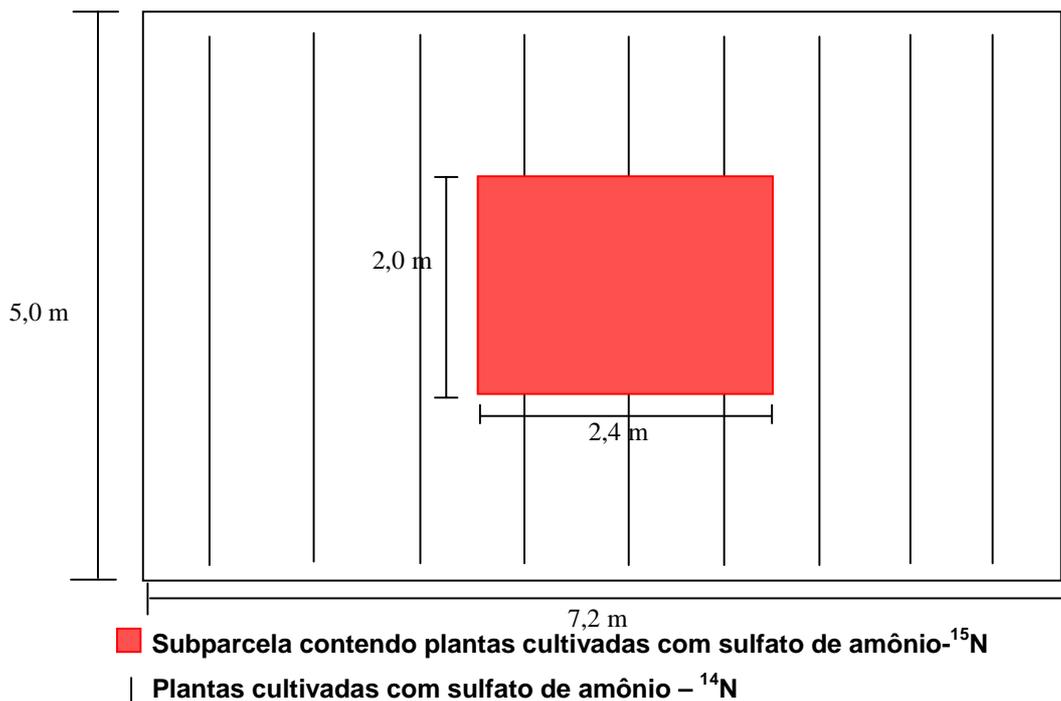


Figura 3 - Detalhes da parcela experimental e disposição da subparcela para a aplicação ^{15}N -sulfato de amônio, na dose de 120 kg ha^{-1} de N

No sulco de semeadura foi aplicado o Furadan (para controle de cupins e lagartas) na dose de 20 kg ha^{-1} . Durante o cultivo de milho houve também um controle

rigoroso de pragas, sendo pulverizado com lufenuron (Match 300 ml ha⁻¹) contra lagartas do cartucho (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) sempre que o dano chegava à nota 1 (raspadura nas folhas – 20%).

Para o controle de plantas daninhas foi utilizado, sempre que necessário, o herbicida pós-emergência (glifosato) na dose de 2.400 g ha⁻¹ do i.a. Para o controle de formigas foi pulverizado formicida (i.a. deltrametrina) na dose recomendada.

2.2.4 Características dos híbridos utilizados e semeadura do milho (*Zea mays* L.)

2.2.4.1 Safra 2003/2004

O cultivar utilizado foi o FORT: híbrido simples, ciclo precoce, plantio normal, utilizado para produção de grãos e altamente resistente ao acamamento. É muito resistente a ferrugens (*Puccinia sorghi*, *P. polyssora* e *P. Physopella*) *Phaeosphaeria maydis*, fusariose, enfezamento e doenças de grãos.

A semeadura do milho foi realizada manualmente em 11/12/2003. As sementes foram distribuídas com auxílio de uma régua, deixando-se a cada 0,20m, duas sementes, desbastando-se para uma planta, duas semanas após a emergência (18/12/2004), para obtenção de uma população final de aproximadamente 62.500 plantas por hectare, ou seja, 5 plantas por metro de sulco. Em 24/02/2004 as plantas de milho atingiram o florescimento pleno e em 14/04/2004 foi realizada a colheita de grãos. Após a colheita, realizou-se a trituração dos restos culturais, simulando um rolo faca (Figura 5).

2.2.4.2 Safra 2004/2005

O cultivar utilizado foi o DKB 350: híbrido simples, ciclo precoce, plantio pode ser cedo, normal ou tardio, utilizado para produção de grãos e altamente resistente ao acamamento. É muito tolerante a ferrugens (*Puccinia sorghi* e *P. Physopella*), *Phaeosphaeria maydis*, fusariose, enfezamento e doenças de grãos e altamente tolerante a *Puccinia polyssora*.

A semeadura do milho foi realizada manualmente em 01/12/2004. A distribuição das sementes e o desbaste de plantas, cuja emergência ocorreu em 08/12/2004, foram feitas exatamente como na safra 2003/2004, para obtenção de uma

população final de aproximadamente 62.500 plantas por hectare ou 5 plantas por metro de sulco. Em 12/02/2005 as plantas de milho atingiram o florescimento pleno e em 07/04/2005 foi realizada a colheita de grãos. À semelhança do primeiro cultivo, também neste os restos culturais foram triturados após colheita, simulando um rolo faca.

2.2.5 Semeadura e condução de aveia preta (*Avena Strigosa*)

A aveia preta foi semeada em linha, manualmente, em 29/07/2004, após a colheita do milho. Para semear a aveia, foi feita a retirada de toda a palhada do milho (Figura 6), fizeram-se as linhas espaçadas de 0,20 m (Figura 7), empregando-se uma densidade de plantas de 60 kg ha⁻¹ e posteriormente retornou-se a palhada novamente na parcela (Figura 8). Em 09/08/2004 as plantas de aveia emergiram e em 28/10/2004 atingiram o florescimento pleno (Figura 9). Foi também realizado o manejo mecânico com triturador de palhas, simulando um rolo faca.

2.2.6 Aplicação dos adubos

A adubação básica (fosfatada e potássica), no sulco de semeadura, foi realizada em ambos os cultivos de milho na dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, e aplicados a 5 cm ao lado e abaixo das sementes no momento da semeadura, para se evitar o contato direto com as sementes. Na aveia preta, a adubação básica foi de 30 kg ha⁻¹ de N, 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O (Raj et al., 1997), na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, feita a lanço após a semeadura. As adubações nitrogenadas tiveram como fonte o sulfato de amônio e foram realizadas manualmente, no sulco de semeadura (adubação plantio) e incorporadas em sulco superficial a 0,20 m da linha da cultura (adubação de cobertura), quando as plantas de milho se encontravam no estágio de 6-8 folhas totalmente desdobradas. A aplicação do sulfato de amônio, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, enriquecido com ¹⁵N foi feita, manualmente, apenas no primeiro cultivo do milho nas linhas de plantio das subparcelas (adubação de plantio) e quando da adubação de cobertura, o adubo foi incorporado em sulco a 0,20 m da linha de semeadura.

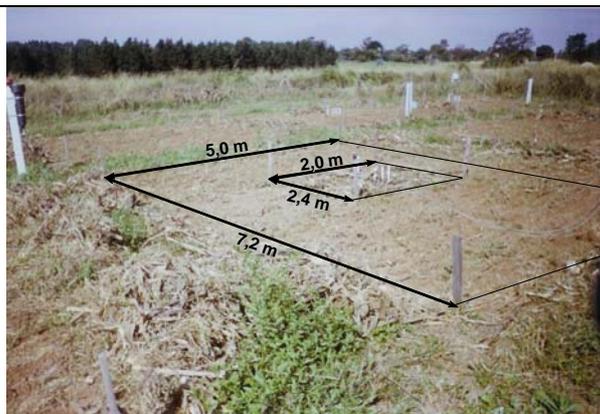


Figura 4 – Detalhe da parcela e subparcela experimental



Figura 5 - Experimento após a roçada de restos vegetais do milho



Figura 6 – Retirada da palhada de milho



Figura 7 – Retorno da palhada após a semeadura da aveia



Figura 8 – Semeadura da aveia preta



Figura 9 – Florescimento da aveia preta

2.2.7 Avaliações

2.2.7.1 Caracterização físico-hídrica do solo

a. Curvas de retenção

Foram coletadas amostras com estrutura indeformada ao longo do perfil, em uma trincheira adjacente localizada próximo à parcela experimental. Os anéis volumétricos de coleta apresentavam um volume, em média de $2,55 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (0,052 m de altura x 0,049 m de diâmetro). Foram retiradas 10 amostras de cada uma das seguintes profundidades: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 e 1,0 m, perfazendo um total de 100 amostras. O amostrador utilizado foi o do tipo Uhland. As amostras foram acondicionadas adequadamente, levadas para o laboratório, preparadas e colocadas para saturação. Posteriormente foram submetidas às tensões de 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kPa em funis de Haines e às tensões de 50 e 100 kPa em câmara de pressão de Richards, para a determinação das curvas de retenção, conforme procedimentos descritos por Libardi (2005).

b. Condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo

Para o método do perfil instantâneo no campo (LIBARDI, 2005) foi utilizada uma estrutura de chapa galvanizada de espessura 2 mm, 1 m de altura e 2,5 m de raio que foi introduzida no solo a fim de evitar o fluxo lateral de água quando da inundação e durante a redistribuição e, no centro da área de solo delimitada, foram instalados tensiômetros às profundidades de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 e 1,1 m (Figura 10) O perfil foi saturado colocando-se água por meio de uma mangueira proveniente de um caminhão pipa, até que se umedecesse o máximo possível a camada de 0-1,1 m do solo. Feito isso, a parcela foi coberta com uma capa plástica para se evitar qualquer fluxo de água através da superfície (Figura 11). O momento da colocação do plástico foi considerado como tempo zero ($t=0$) de redistribuição e, então, iniciaram-se as leituras dos tensiômetros, que procederam durante 14 dias, até que a drenagem praticamente cessasse, ou seja, até que as leituras dos tensiômetros permanecessem praticamente constantes.

A condutividade hidráulica K em função do potencial mátrico ϕ_m (eq. (1)) foi determinada pelos procedimentos de Hillel, Krentos e Stilianov (1972), a partir de dados obtidos no perfil instantâneo e das curvas de retenção determinadas às mesmas profundidades, por meio da equação

$$K(\Phi_m)|_Z = \frac{-\int_0^Z \frac{\partial \theta}{\partial t} dZ}{\frac{\partial \phi_t}{\partial Z}|_Z}, \quad (1)$$

em que t é o tempo de redistribuição; Z é a profundidade do solo; ϕ_t é o potencial total da água no solo e θ o conteúdo de água a base de volume.

De posse dos dados de K e de ϕ_m obtidos para a profundidade de interesse (0,8 m) pelo método do perfil instantâneo, a função $K(\phi_m)$ obtida, foi a que se segue (eq. 2).

$$K = e^{7,0145\Phi_m - 1,588} \quad (2)$$

em que K é expresso em mm dia^{-1} e ϕ_m em m de água.

2.2.7.2 Fluxo de água no solo

Na linha central das subparcelas com ^{15}N , foi instalado, dia 23/12/2003 (5º dia após a emergência), um tensiômetro com manômetro de mercúrio a cada uma das profundidades 0,70; 0,80 e 0,90m (Figura 12). As leituras dos tensiômetros foram realizadas diariamente ao longo do ciclo das culturas.

Com os tensiômetros às profundidades a 0,70 e 0,90 m, foram determinados os gradientes de potencial total ($\Delta\Phi_t/\Delta Z$) e com o tensiômetro a 0,80 m de profundidade, a condutividade hidráulica (K), em $Z = 0,80$ m. O produto dos valores diários de K e $\Delta\Phi_t/\Delta Z$ resultaram nos valores da densidade de fluxo de água (q) à profundidade $Z=0,80$ m, segundo a eq. (3), equação de Darcy-Buckingham (LIBARDI, 2005).

$$q = -K \frac{\Delta\Phi_t}{\Delta Z} \quad (3)$$

Sendo: q (mm dia^{-1}) = densidade de fluxo de água no solo na profundidade de 0,80 m, num dado instante; K (mm dia) = condutividade hidráulica; $\Delta\phi_t$ = diferença de potencial total entre as profundidades de 0,70 e 0,90 m e ΔZ = diferença entre as profundidade de 0,70 e 0,90 m.

O potencial total de cada profundidade foi calculado pela eq. (4),

$$\Phi_t = \Phi_m + \Phi_g, \quad (4)$$

em que ϕ_g é o potencial gravitacional em m de água, medido considerando-se a referência gravitacional localizada na superfície do solo.

O potencial mátrico ϕ_m em m de água, foi calculado de acordo com a eq. (5),

$$\Phi_m = -12H + h_c + Z, \quad (5)$$

sendo: H = leitura realizada no manômetro em m Hg; h_c = a altura da cuba de mercúrio em relação à superfície do solo, em m de água; Z = profundidade de instalação dos tensiômetros em m de água.

2.2.7.3 Lixiviação de Nitrato (N-NO_3^-) da solução no solo

Na linha central das subparcelas com ^{15}N , foi instalado, juntamente com os tensiômetros, um extrator da solução no solo na profundidade de 0,80 m (Figura 13). A solução era retirada fazendo-se vácuo por meio de uma bomba manual até que o manômetro (Figura 12) acusasse 430-480 kPa. Esse vácuo era mantido fechando-se o tubo de conexão entre o extrator e a bomba de vácuo e, depois de um tempo mínimo de quatro horas (em função do conteúdo de água no solo), a solução era retirada. Foram realizadas coletas de amostras de soluções no solo nos dias 03, 14, 27 e 29 de janeiro; 10, 15, 23, 24 e 27 de fevereiro; 05 de março; 21 de abril; 27 de maio; 04 de junho; 17 e 27 de outubro; 30 de novembro e 27 de dezembro de 2004; 09 e 30 de janeiro; 05 e 27

de fevereiro; 25 de março, 06 e 21 de abril/05. Depois de coletadas, as amostras eram congeladas e posteriormente analisadas no sistema FIA – Flow Injection analysis, segundo os procedimentos descritos em Gine et al. (1980). Assim, as concentrações de nitrato ($C_{NO_3^-}$) da solução no solo foram determinadas em $mg L^{-1}$.

O fluxo de NO_3^- (lixiviação) no solo à profundidade $Z= 0,80$ m foi determinado pelo produto da densidade de fluxo de água (q) e concentração de NO_3^- ($kg L^{-1}$ de solução) da solução extraída, de acordo com a eq. (6).

$$q_{NO_3^-} = q \times C_{NO_3^-}, \quad (6)$$

sendo: $q_{NO_3^-}$ ($kg ha^{-1} dia^{-1}$) = densidade de fluxo de nitrato no solo à profundidade de 0,80m num dado instante e $C_{NO_3^-}$ ($kg L^{-1}$) = concentração média de N- NO_3^- da solução no solo no mesmo instante e profundidade.

Para a determinação de N- NO_3^- da solução no solo proveniente do fertilizante (NSSPF), as amostras eram destiladas num sistema micro-Kjeldahl, baseificando-se a solução com MgO, sendo o destilado recolhido em solução de H_3BO_3 ($20 g L^{-1}$), posteriormente titulado com H_2SO_4 $0,05 mol L^{-1}$. As determinações de ^{15}N das amostras destiladas da solução no solo foram realizadas em espectrômetro de massa de setor magnético com ionização por impacto de elétrons IRMS - ATLAS MAT CH4 (Figura 14), de acordo com Trivelin, Salati e Matsui (1973). Com os resultados obtidos foram determinadas as concentrações de nitrato derivado do fertilizante (C_{nf}), de acordo com a eq. (7),

$$C_{nf} = \frac{\%NSSPF}{100} \times C_{NO_3^-}, \quad (7)$$

sendo que %NSSPF é a porcentagem de N da solução no solo proveniente do fertilizante.

Obs: Como o ATLAS MAT CH4 detecta ^{15}N somente de amostras que contenham no mínimo 0,5 mg de N_{total} , a porcentagem em átomos de ^{15}N foram detectadas apenas nas datas 09, 14 e 29 de janeiro; 27 de fevereiro, 21 de abril e 27 de outubro/04; 30 de janeiro e 21 de abril/05. As análises foram feitas no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP.

2.2.7.4 Determinações físicas do solo

Após os cultivos de milho (2004 e 2005) e aveia preta (2005) foram coletadas amostras nas profundidades 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m, com estrutura indeformada, utilizando um amostrador do tipo Uhland, para determinação de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, por meio de mesa de tensão (KIEHL, 1979). A densidade do solo foi determinada segundo metodologia descrita em Blake e Hartge (1986a, 1986b). As análises foram feitas no Laboratório de Física Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP.

2.2.7.5 Determinações químicas do solo

Após os cultivos de milho (2004 e 2005) e aveia preta (2005) foram coletadas amostras de solo na camada de 0–0,20 m de profundidade para análises química de pH, C, MO, P_2O_5 , Ca, Mg, K, H+Al, Al no Laboratório de Solos do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, segundo metodologia descrita em Raij et al. (2001). Os teores disponíveis de cálcio, magnésio, potássio, fósforo foram extraídos pelo método da resina trocadora de íons e a quantificação de P por fotocolorimetria, do K por fotometria de chama e do Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica; o pH foi medido pela atividade de hidrogênio (H^+) com eletrôdo, na suspensão de solo em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} ; a acidez potencial, pelo método SMP, no qual o solo em contato com a solução tampão provoca decréscimo do valor original do pH da solução (7,5); a extração do Al trocável foi feita utilizando-se uma solução de KCl 1N, sendo a quantificação do Al realizada pelo emprego de solução NaOH 0,025 mol L^{-1} , e a MO foi obtida de forma indireta, por meio da curva padrão, que relaciona as quantidades de MO e a absorbância do extrato preparado com dicromato de sódio, pelo método colorimétrico.

2.2.7.6 Para a cultura do milho (safras 2003/2004 e 2004/2005)

- a. Altura média de plantas: obtida pela medida da distância entre o colo das plantas até a inserção da última folha, em amostras, ao acaso, de 10 plantas de cada parcela;
- b. número médio de fileiras/espiga e número de grãos/fileira: obtidos pela contagem de fileiras de 10 espigas retiradas ao acaso, de cada parcela, separadas aleatoriamente antes da trilhagem dos grãos;
- c. Massa média de 100 grãos: foram obtidos pela contagem manual de duas amostras de 100 grãos, retirados ao acaso das parcelas e pesados.
- d. Massa da matéria seca das plantas: por ocasião do florescimento (19/02/2004 e 09/02/2005 para as safras 2003/2004 e 2004/2005, respectivamente) e no final do primeiro (14/04/2004) e segundo (06/04/2005) ciclos da cultura do milho, foram coletadas 4 plantas por parcela, lavadas, secas e pesadas;
- e. Estado nutricional das plantas de milho: na fase do florescimento foram coletadas as folhas da base da espiga, cortando-se o terço central, as quais foram lavadas, secas, moídas e analisadas quanto ao N, segundo metodologia descrita por Malavolta; Vitti e Oliveira (1997);
- f. Teor de N na matéria seca: Por ocasião do florescimento e no final do primeiro e segundo ciclos, foram coletadas 4 plantas por parcela, lavadas, secas, pesadas e moídas para análise por digestão-destilação Kjeldahal, segundo a metodologia descrita por Malavolta; Vitti e Oliveira (1997);

- g. Teor de N nos grãos: foi coletado, aleatoriamente, uma amostra de 100 grãos em cada parcela para a determinação do teor de N nos grãos;
- h. Abundância de ^{15}N : para a avaliação dos teores de ^{15}N na parte aérea (folhas+colmo, sabugo+palha e grãos) das plantas de milho, foram coletadas três plantas da linha central das microparcelsas, após o primeiro e o segundo ciclos do milho, sendo que as espigas foram debulhadas manualmente e palhas e sabugos fragmentados com facão. As amostras foram secas a 65°C por 72 horas, depois moídas em peneira de 10 mesh, pesadas e determinadas a abundância de ^{15}N (% em átomos) por espectrometria de massa, no ANCA (Automatic Nitrogen and Carbon analyser - Figura 15), segundo metodologia descrita por Barrie e Prosser (1996);
- i. N total acumulado (kg ha^{-1}): foi obtido pelo produto do teor de N (kg kg^{-1}) e a massa da matéria seca (kg ha^{-1}) das plantas;
- j. Rendimento de grãos: foram coletadas espigas de três linhas internas das parcelas dos cultivos de milho, debulhadas manualmente, pesadas e os dados transformados em kg ha^{-1} (13% base úmida);
- l. Índice de colheita: foi determinado pela relação da massa da matéria seca dos grãos e massa da matéria seca total da parte aérea das plantas.

2.2.7.7 Para a cultura da aveia preta

- a. Massa da matéria seca das plantas: as plantas foram coletadas na época do florescimento (28/10/2004), em uma área útil de $1,0\text{ m}^2$ por parcela, e determinada a fitomassa após secagem em estufa com circulação forçada de ar a $60\text{-}70^{\circ}\text{C}$, até a massa constante em balança de precisão.

- b. Teor de N na matéria seca: as plantas foram coletadas, na época do florescimento, secas e moídas para análise de N, por digestão-destilação Kjeldahal, segundo a metodologia descrita por Malavolta; Vitti e Oliveira (1997);
- c. N total acumulado (kg ha^{-1}): foi obtido pelo produto do teor de N (g kg^{-1}) e da massa da matéria seca (kg ha^{-1}) das plantas;
- d. Abundância de ^{15}N : na época do florescimento da aveia, foram coletadas amostras de plantas nas linhas centrais das subparcelas. As amostras foram secas a 65°C por 72 horas, depois de moídas, passadas em peneira de 10 mesh, pesadas e determinada a abundância de ^{15}N (% em átomos) por espectrometria de massa, no ANCA (Automatic Nitrogen and Carbon analyser), segundo metodologia descrita por Barrie e Prosser (1996);

2.2.7.8 Massa de sólidos do solo

Foi determinada pelo produto da densidade do solo d_s (kg m^{-3}) pelo volume total do solo V (m^3), de acordo com a eq. (8), cujos resultados estão no Anexo E.

$$M_s = d_s * V \quad (8)$$

2.2.7.9 Teor de N total no solo

Foram coletadas amostras de solo nas parcelas, a 0,20 m da linha, no final do 1º e 2º cultivos de milho e no final do cultivo de aveia, nas camadas 0-0,20, 0,20–0,40, 0,40–0,60m e 0,60-0,80 m para determinação de N total conforme metodologia descrita por Brenmer (1996). Nas subparcelas, após os cultivos de milho e aveia, foram coletadas amostras de solo nas mesmas profundidades, para análise das abundâncias isotópicas de ^{15}N , que foram determinadas segundo metodologia descrita por Barrie e Prosser (1996).

2.2.7.10 N acumulado no solo

Foi determinado pelo produto do teor de N (g kg^{-1}) no solo, nas profundidades estudadas e da massa de sólidos (kg ha^{-1}) do solo (Anexo E);

2.2.7.11 Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF), nitrogênio na planta proveniente do solo (NPPS), nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (NSPF) e recuperação de N-fertilizante (R%) pelas plantas e solos, pelo método isotópico

Com os resultados de abundância isotópica de N (% em átomos de ^{15}N), após o primeiro e segundo ciclos do milho e após o cultivo de aveia preta, foi determinado o nitrogênio na parte aérea (folhas+colmo, sabugo+palha e grãos) das plantas de milho e solo provenientes do fertilizante (% e kg ha^{-1}) (eq. 9 e 10), nitrogênio na planta proveniente do solo em kg ha^{-1} (eq.11) e o aproveitamento (R%) do N do fertilizante pelas partes das plantas e solo nas camadas 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, de acordo com a eq. (12) (TRIVELIN, 2005).

$$\text{NPPF}(\%) = \frac{a}{b} \times 100 \quad (9)$$

$$\text{NP(S)PF}(\text{kg ha}^{-1}) = \frac{\text{NP(S)PF}(\%)}{100} \times \text{NT} \quad (10)$$

$$\text{NPPS}(\text{kg ha}^{-1}) = \text{NT} - \text{NPPF} \quad (11)$$

$$\text{R}(\%) = \frac{\text{NP(S)PF}(\text{kg ha}^{-1})}{\text{NF}(\text{kg ha}^{-1})} \times 100 \quad (12)$$

sendo: NP(S)PF(%) = porcentagem de nitrogênio na planta (ou solo) proveniente do fertilizante; a e b = as abundâncias de ^{15}N (% em átomos em excesso) na planta (ou solo) e no fertilizante, respectivamente; NT é o nitrogênio total acumulado nas plantas (ou solo) em kg ha^{-1} ; NF é a dose de N-fertilizante (kg ha^{-1}) e R(%) é a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelas plantas (ou solo).

Obs: O cálculo de átomos em excesso (a e b) é determinado pela diferença da abundância isotópica (% átomos ^{15}N) encontrados nas amostras e a abundância natural de ^{15}N (0,366% de átomos)

Após o segundo cultivo do milho, foi determinado o balanço total dos primeiro e segundo cultivos de milho e aveia preta e o efeito residual do fertilizante aplicado no primeiro cultivo de milho

2.2.7.12 Recuperação do N fertilizante pelas culturas e pelo solo, pelo método da diferença.

Após o primeiro e segundo ciclos do milho e após a cultura de aveia preta foi determinado o aproveitamento (R%) do N do fertilizante pelas partes das plantas e pelo solo nas camadas 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, de acordo com Trivelin (2005), como está representado na eq. (13)

$$R(\%) = \frac{NF - NC}{TNA} \times 100, \quad (13)$$

sendo: NF = N absorvido por plantas ou solo de parcelas fertilizadas (kg ha^{-1}); NC = N absorvido por plantas ou solo de parcelas não fertilizadas (kg ha^{-1}) e TNA = quantidade de N aplicado como fertilizante.



Figura 10 - Perfil instantâneo



Figura 11 - Colocação do plástico

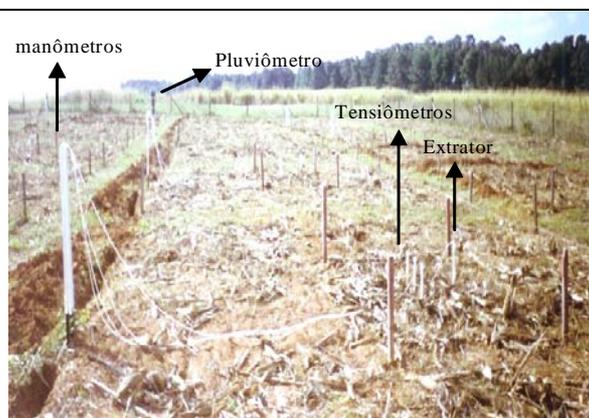


Figura 12 - Tensiômetros, manômetros, extrator e pluviômetro



Figura 13 - Extrator de solução do solo

Figura 14 - Atlas – CH₄

Figura 15 - ANCA

2.2.7.13 Pluviosidade e médias mensais de temperaturas máxima e mínima (Safras 2003/2004 e 2004/2005)

O experimento foi monitorado quanto a pluviosidade e temperaturas máxima e mínima diária (Figura 16). A precipitação era medida por meio de um pluviômetro instalado no dia 13/01/2004, no centro da área experimental, como mostrado na Figura 12.

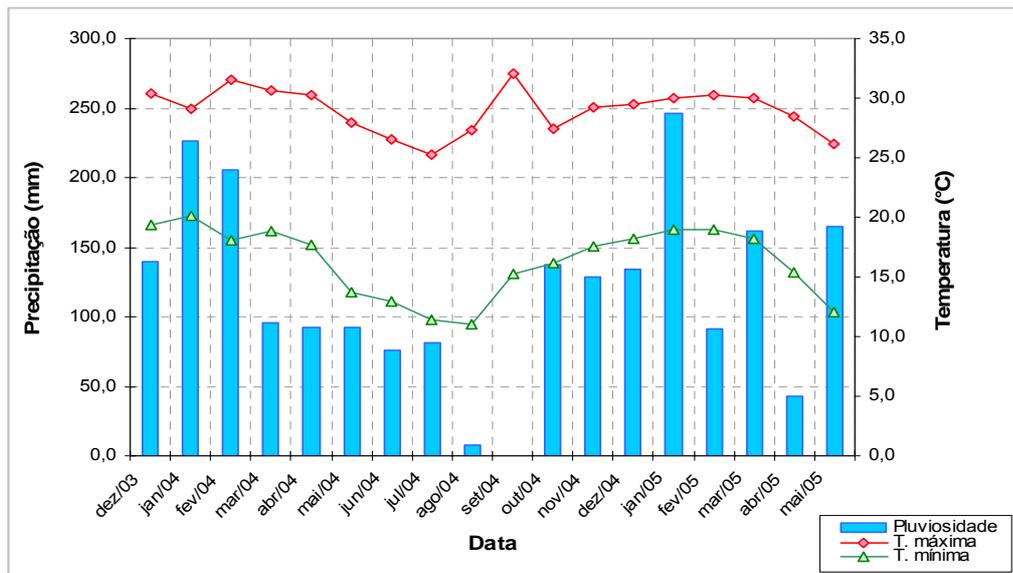


Figura 16 – Dados pluviométricos e de temperaturas máxima e mínima (média mensal) ocorridos durante a condução dos experimentos, anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005

2.2.7.14 Análise estatística dos resultados

Os dados foram submetidos à análise de variância, comparação de médias e análise de contrastes pelo teste de Tukey ($p=0,05$). Quando avaliados os efeitos de doses utilizou-se a regressão. O programa utilizado foi o SANEST.

2.2.7.15 Fenologia da cultura do milho, cultivada nos anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005

Durante o experimento foram identificados os estádios de desenvolvimento da cultura do milho (Figuras 17 e 18), conforme definição de Ritchie, Hanway e Benson (2003).

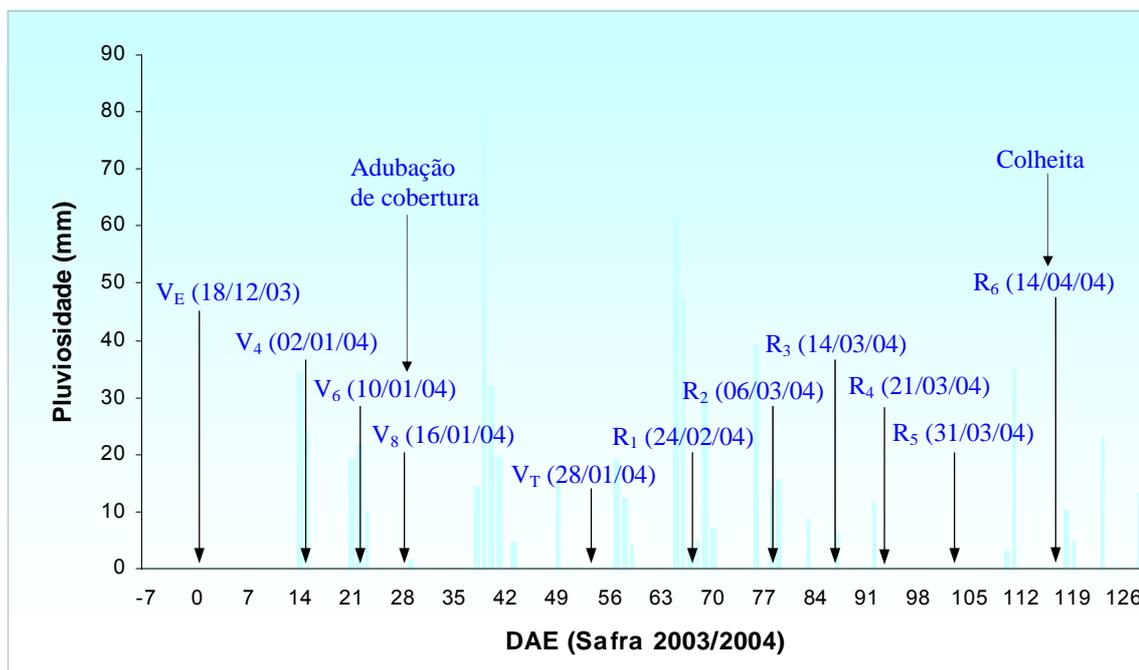


Figura 17 – Estádios de desenvolvimento da cultura do milho, safra 2003/2004

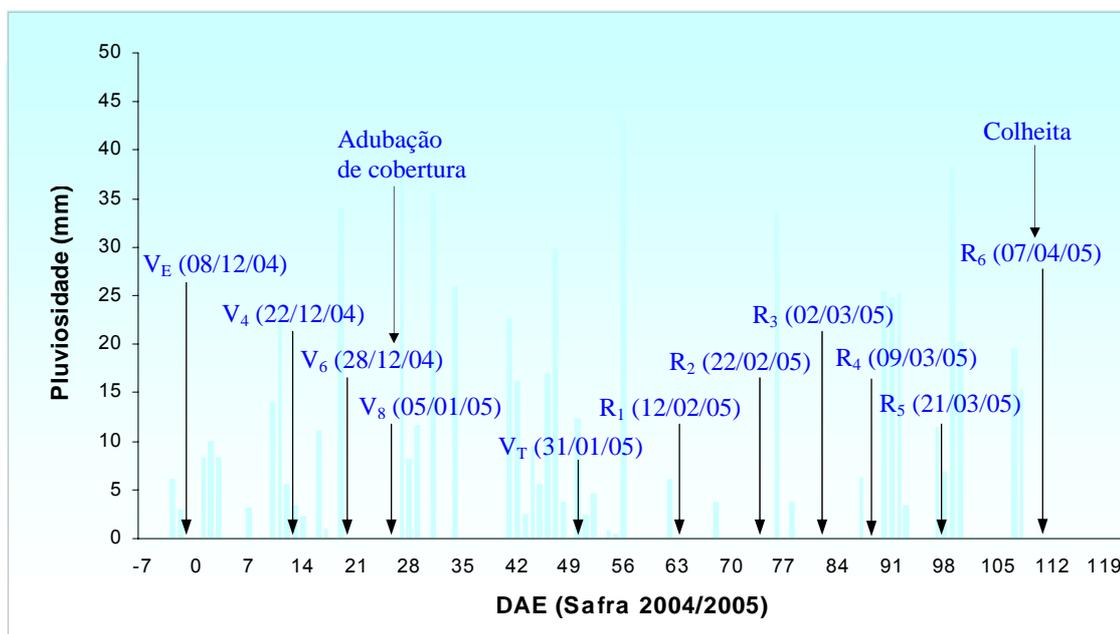


Figura 18 – Estádios de desenvolvimento da cultura do milho, safra 2004/2005

Obs: DAE=dias após emergência; VE=emergência; V₄, V₆, V₈=estádio 4, 6 e 8 folhas; V_T=Pendoamento; R₁=florescimento; R₂=grão leitoso; R₃=grão pastoso; R₄=grão farináceo; R₅=grão farináceo duro; R₆=maturidade fisiológica.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Características agronômicas

2.3.1.1 Milho

Na Tabela 4 encontram-se os quadrados médios e os coeficientes de variação referentes à altura de plantas, ao número de grãos por fileira, ao número de fileiras por espiga e ao comprimento de espigas de milho das safras 2003/2004 e 2004/2005. Verifica-se que houve efeito significativo da testemunha x demais e doses de N para todas as avaliações nos dois cultivos de milho. Para parcelamento de N houve efeito significativo somente no 2º cultivo (safra 2004/2005), para número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga e comprimento de espigas.

Tabela 4 - Quadrados médios e coeficientes de variação referentes à altura de plantas, número de grãos/fileira, número de fileiras/espiga e comprimento de espigas de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005

Causas de variação	Avaliações - safra 2003/2004			
	Altura de plantas (m)	Número de grãos/fileira	Número de fil./espiga	Comprimento de espigas (cm)
Test. vs demais	0,1423**	496,4610**	11,9467**	58,8117**
Doses N (D)	0,0754**	26,4817**	1,6217**	4,2754**
Parcelamento (P)	0,0018	0,8067	0,0067	0,32670
D x P	0,0022	0,1817	0,1317	0,0254
Blocos	0,0106	3,0229	0,1767	0,3727
Resíduo	0,0074	3,1029	0,1544	0,3452
C.V. (%)	4,88	5,27	2,58	3,48
Causas de variação	Avaliações - safra 2004/2005			
	Altura de plantas (m)	Número de grãos/fileira	Número de fil./espiga	Comprimento de espigas (cm)
Test. vs demais	1,7466**	674,4021**	22,5867**	88,4501**
Doses N (D)	0,1675**	133,6850**	1,8067**	35,6154**
Parcelamento (P)	0,0165	57,0417*	3,8400**	30,6004**
D x P	0,0132	12,0117	0,1400	5,4179
Blocos	0,0191	47,4338**	0,0971	0,5110
Resíduo	0,0130	7,0138	0,4083	1,8510
C.V. (%)	5,54	9,22	4,18	9,21

* e ** - Significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

As médias, teste de Tukey e regressões referentes à altura de plantas, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga e comprimento de espigas de milho das safras 2003/2004 e 2004/2005 estão apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 5 e 6. Para a altura de plantas, os tratamentos 30-150 e 60-120 foram os que apresentaram maiores resultados, diferindo significativamente do tratamento sem aplicação de N (safras 2003/2004 e 2004/2005) e do tratamento 60-00 (safra 2004/2005), pelo que essa variável independe do parcelamento, mas depende da dose de N. Esses dados concordam com os obtidos por Tozetti et al. (2004), que verificaram, em um experimento de avaliação de progênies de milho, na presença e ausência de adubo, que a adubação afeta diretamente as características altura de plantas e altura de espigas, contribuindo, no entanto, para atingir maiores alturas; concordam também com Silva e Silva (2002) que verificaram que a aplicação de, pelo menos, parte do N, por ocasião do plantio ou aos 25 dias após o plantio parece ser importante para o crescimento de plantas. Já Fornasieri Filho e Casagrande (2002), trabalhando com épocas de aplicação de uréia (todo na semeadura ou todo em cobertura) em milho de cultivo safrinha, não observaram efeitos significativos de épocas de aplicação do N e nem de doses de N nas características agrônômicas do milho. Para o número de grãos por fileira de milho, o tratamento sem N foi o que apresentou menor valor e diferiu significativamente de todos os outros tratamentos em ambas as safras. Já as espigas do tratamento 60-120 apresentaram maiores valores de número de grãos por fileira, diferindo significativamente apenas do tratamento sem N (1º cultivo) e dos tratamentos sem N e 30-30 (2º cultivo), inferindo em um maior rendimento de grãos nesse tratamento, uma vez que um maior número de grãos por espiga pode levar a um maior rendimento de grãos. Assim, Bortolini et al.(2000), avaliando diferentes doses e épocas de aplicação de N, e Silva (2002), avaliando diferentes cultivares de milho e doses de N, verificaram que o número de grãos por espiga foi um dos parâmetros que mais se correlacionou positivamente com o rendimento de grãos. Quanto ao parcelamento de N, o número de grãos por fileira das espigas do 2º cultivo (Tabela 6) dos tratamentos que receberam 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura, foi maior do que o dos tratamentos que receberam 30 kg ha⁻¹ na semeadura, indicando, provavelmente, um maior rendimento de grãos nos tratamentos que receberam 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura.

Tabela 5 – Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes à: altura de plantas, número de grãos/fileira, número de fileiras/espiga e comprimento de espigas de milho, safra 2003/2004

Tratamentos	1 ^a	2 ^a	Avaliações			
			Altura de plantas (m)	Número de grãos/fileira	Número de fil./espiga	Comprimento de espiga (cm)
1	-	-	1,60 b	23,10 b	13,65 c	13,33 b
2	30	30	1,73 ab	32,95 a	15,20 ab	16,63 a
3	60	00	1,71 ab	33,35 a	14,95 b	16,75 a
4	30	90	1,76 ab	35,50 a	15,45 ab	17,40 a
5	60	60	1,79 ab	33,55 a	15,55 ab	17,75 a
6	30	150	1,88 a	36,40 a	15,85 ab	18,03 a
7	60	120	1,93 a	37,05 a	16,10 a	18,25 a
Parcelamento (kg ha⁻¹)	30		1,79 a	34,90 a	15,50 a	17,35 a
	60		1,81 a	35,32 a	15,53 a	17,58 a
Doses de N (kg ha⁻¹)	60		1,72 ⁽¹⁾	33,15 ⁽²⁾	15,08 ⁽³⁾	16,69 ⁽⁴⁾
	120		1,77	35,53	15,50	17,58
	180		1,90	36,73	15,98	18,14

Obs. Os números 1^a e 2^a se referem à aplicação de N na semeadura e no estágio de 6-8 folhas, respectivamente. O parcelamento se refere a doses de N aplicadas na semeadura. Médias seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey.

Esses resultados, porém, discordam dos de Belasque Júnior (2000) que, avaliando doses e épocas de aplicação de N sobre dois híbridos de milho, observou que o número de grãos por fileira e número de fileiras por espiga apresentam diferenças significativas somente entre híbridos. Para o número de fileiras por espiga, o tratamento sem aplicação de N apresentou menor resultado, diferindo significativamente dos outros tratamentos (safra 2003/2004) e não diferindo do tratamento 30-30 (safra 2004/2005). Quanto ao parcelamento de N (Tabela 6), os tratamentos em que se aplicou 60 kg ha⁻¹ na semeadura apresentaram melhores resultados, concordando com os resultados obtidos por Fernandes; Buzetti e Silva (2004) que, avaliando doses, parcelamentos e épocas de aplicação de N na cultura do milho, demonstraram que o número de fileiras por espiga responde diferentemente ao parcelamento de N. Para o comprimento de

espigas do 1º cultivo (Tabela 5), o tratamento em que não se aplicou N foi o de menor resultado, diferindo de todos os outros que não diferiram entre si, o que é um grande indicativo da não influência do parcelamento de N nessas condições experimentais. Já para o 2º cultivo (Tabela 6) o comprimento de espigas do tratamento sem N também apresentou menor resultado, porém, diferiu significativamente dos tratamentos 30-90, 60-60, 30-150 e 60-120. Observa-se, também para o comprimento de espigas (Tabela 6), que nos tratamentos em que se aplicou mais N na semeadura, os resultados foram maiores.

Tabela 6 – Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes à altura de plantas, número de grãos/fileira, número de fileiras/espiga e comprimento de espigas de milho, safra 2004/2005

Tratamentos	1 ^a	2 ^a	Avaliações			
			Altura de plantas (m)	Número de grãos/fileira	Número de fil./espiga	Comprimento de espiga (cm)
1	-	-	1,45 c	16,70 d	13,10 b	10,43 d
2	30	30	2,09 ab	25,34 c	14,90 ab	12,45 cd
3	60	00	1,96 b	28,50 abc	15,50 a	13,13 bcd
4	30	90	2,18 ab	27,45 bc	15,10 a	14,90 abc
5	60	60	2,13 ab	32,95 abc	16,20 a	16,93 ab
6	30	150	2,30 a	34,75 ab	15,80 a	17,55 a
7	60	120	2,33 a	35,25 a	16,50 a	18,08 a
Parcelamento	30		2,19 a	29,18 b	15,27 b	14,38 b
(kg ha⁻¹)	60		2,14 a	32,27 a	16,07 a	16,63 a
Doses de N	60		2,03 ⁽¹⁾	26,93 ⁽²⁾	15,20 ⁽³⁾	13,68 ⁽⁴⁾
(kg ha⁻¹)	120		2,15	30,20	15,65	15,03
	180		2,31	35,05	16,15	17,81

Obs. Os números 1^a e 2^a se referem à aplicação de N na semeadura e no estágio de 6-8 folhas, respectivamente. O parcelamento se refere a doses de N aplicadas na semeadura. Médias seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey.

Quanto às doses de N, os dados se ajustaram linearmente (Figuras 19 e 20) para altura de plantas, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga e comprimento de espiga, para os dois cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005). Para a altura de plantas, há vários trabalhos em que os autores ajustaram os dados a doses de N, como o de Barbosa et al. (2000) que, avaliando o efeito de fontes e doses de N no crescimento do milho, conseguiram ajustar uma função linear para altura de plantas. Já Sousa et al. (2002), trabalhando com doses de N em milho em sucessão às culturas de nabo forrageiro, ervilhaca, aveia e trigo, encontraram um ajuste quadrático para altura de plantas. Para o número de fileiras por espiga e número de grãos por fileira, os autores Sangoi et al. (2001) encontraram ajustes lineares e quadráticos quando estudaram efeitos de doses de N em quatro híbridos cultivados em diferentes épocas. Entretanto Silva e Buzetti (2002) e Silva (2002) não ajustaram nenhuma equação, quando avaliaram o efeito de doses de N em cultivares de milho. A função linear ajustada para o comprimento de espigas, para os dois cultivos de milho, à doses de N não era esperada, pois esta característica é de alta herdabilidade genética e menos dependente do meio (SILVA, 2002), embora trabalhos realizados por Silva (2001), Silva e Buzetti (2002) mostraram ajustes à função quadrática desta variável frente à doses de N.

Na Tabela 7 são apresentados os quadrados médios e os coeficientes de variação referentes à massa da matéria seca de plantas na época do florescimento (1ª amostragem), massa da matéria seca de plantas no final do ciclo (2ª amostragem), massa de 100 grãos, rendimento de grãos e índice de colheita (I.C.) das safras de milho 2003/2004 e 2004/2005. Verifica-se que houve efeito significativo para testemunha x demais, para todas as avaliações, nos dois cultivos de milho, exceto para o índice de colheita. Para doses de N, na 1ª safra, o efeito significativo foi somente para massa da matéria seca de plantas do final do ciclo e rendimentos de grãos e, na 2ª safra, houve efeito significativo para todas as avaliações, exceto índice de colheita. Quanto ao parcelamento, houve efeito significativo para massa da matéria seca de plantas (2ª amostragem), rendimento de grãos da safra 2003/2004 e índice de colheita nas safras 2004/2005. Para doses x parcelamento, observa-se efeito somente para massa da matéria seca (2ª amostragem) e rendimento de grãos (safra 2003/2004) e 100 grãos e rendimento de grãos (safra 2004/2005).

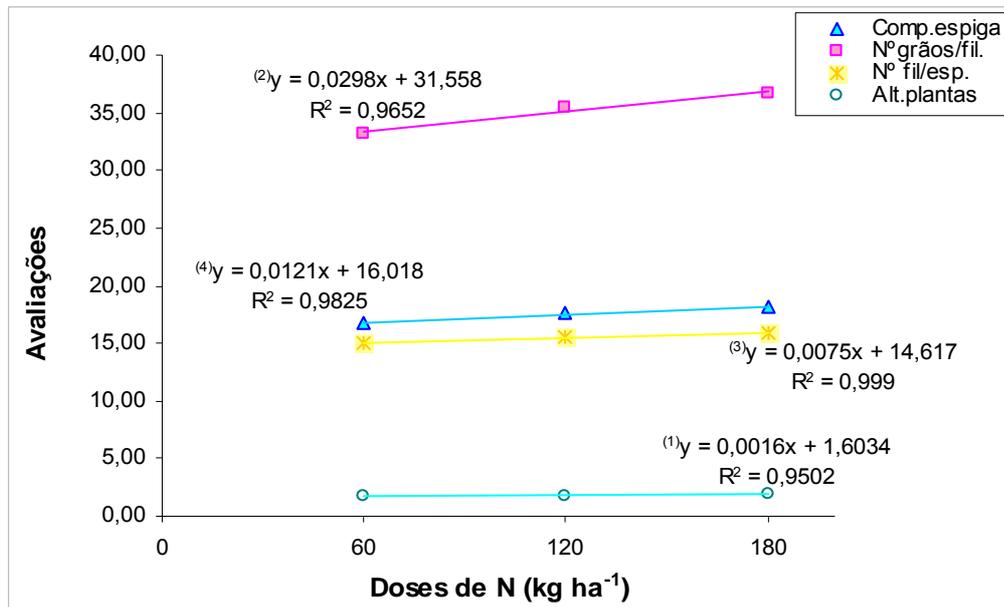


Figura 19 - Altura de plantas, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga e comprimento de espigas de milho, em função de doses de N, safra 2003/2004

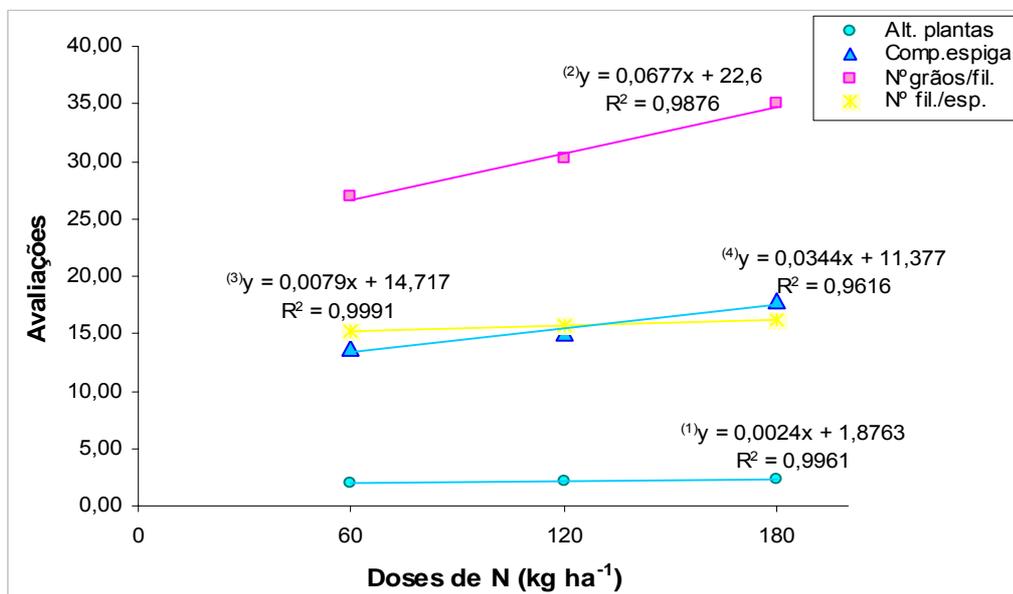


Figura 20 - Altura de plantas, número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga e comprimento de espigas de milho, em função de doses de N, safra 2004/2005

Tabela 7-Quadrados médios e coeficientes de variação, referentes à massa da matéria seca (MS) - época do florescimento – 1ª amostragem, massa da matéria seca - final do ciclo da cultura – 2ª amostragem, massa de 100 grãos, rendimento de grãos e índice de colheita (IC), safras 2003/2004 e 2004/2005

Causas de variação	Avaliações – safra 2003/2004				
	MS 1ª (t ha ⁻¹)	MS 2ª (t ha ⁻¹)	Massa 100 grãos (g)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	I.C. (%)
Test. vs demais	0,0012**	239,5260**	72,9961**	58888608**	0,2624
Doses N (D)	3,9193	62,9793**	15,8444	6573339**	46,7800
Parcelamento (P)	0,0002	127,0520**	1,1793	9562175**	317,4083
D x P	0,2746	60,6235**	8,0800	5320262**	119,4997
Blocos	1,6662	7,4212*	7,5895	239525	154,0883
Resíduo	1,2495	2,3157	6,0552	700142	63,0447
C.V. (%)	15,60	11,45	8,80	12,42	15,12
Causas de variação	Avaliações – safra 2004/2005				
	MS 1ª (t ha ⁻¹)	MS 2ª (t ha ⁻¹)	Massa 100 grãos (g)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	I.C. (%)
Test. vs demais	18,1306**	172,1048**	38,2000**	23340859**	116,2337
Doses N (D)	5,1098**	35,7135**	31,8471**	8576209**	63,2619
Parcelamento (P)	0,0054	0,3267	3,4580	5588315**	203,3508*
D x P	0,2217	4,6518	4,4339*	1820208*	19,2038
Blocos	0,1537	2,1432	0,9802	609562	57,9577
Resíduo	0,4085	2,4556	1,1689	373210	528,0516
C.V. (%)	8,90	10,98	4,48	14,41	18,41

*e** - Significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nas Tabelas 8 e 9 constam as médias, teste de Tukey e regressões referentes à massa da matéria seca de plantas na época do florescimento (1ª amostragem), massa da matéria seca de plantas no final do ciclo (2ª amostragem), massa de 100 grãos, rendimento de grãos e índice de colheita (I.C.) das safras de milho 2003/2004 e 2004/2005, respectivamente. Para massa da matéria seca de plantas na época do florescimento da safra 2003/2004 (Tabela 8), obteve-se a maior massa seca, no tratamento 60-120, a qual diferiu somente do tratamento sem aplicação de N; não observou também, diferença entre parcelamento e nem ajuste para doses de N, como os resultados obtidos por Silva et al. (1999), que não observaram efeito no teste de comparação de médias para as diferentes doses de N (100 e 200 kg ha⁻¹) aplicadas.

Tabela 8 – Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes à massa da matéria seca (MS) - época do florescimento – 1ª amostragem, massa da matéria seca - final do ciclo da cultura – 2ª amostragem, massa de 100 grãos, rendimento de grãos e índice de colheita (IC), safra 2003/2004

Tratamentos	1ª	2ª	Avaliações				
			MS 1ª (t ha ⁻¹)	MS 2ª (t ha ⁻¹)	Massa 100 grãos (g)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	I.C. (%)
1	-	-	5,11 b	6,12	24,00 b	3186	50,51 a
2	30	30	7,05 ab	11,81	27,85 ab	6459	50,24 a
3	60	00	6,38 ab	11,30	26,15 ab	6160	49,95 a
4	30	90	7,41 ab	12,81	29,10 ab	7074	50,92 a
5	60	60	7,77 ab	16,70	29,84 a	8204	49,05 a
6	30	150	8,10 ab	11,91	28,16 ab	6564	49,13 a
7	60	120	8,36 a	22,36	30,55 a	9520	43,86 a
Parcelamento	30		7,58 a	12,19	28,40 a	6699	50,09 a
(kg ha⁻¹)	60		7,58 a	16,79	28,85 a	7961	47,62 a
Doses de N	60		6,84	11,55	27,00	6310	50,09
(kg ha⁻¹)	120		7,68	14,76	29,47	7639	49,98
	180		8,23	17,14	29,41	8042	46,49

Obs. Os números 1ª e 2ª se referem à aplicação de N na sementeira e no estágio de 6-8 folhas, respectivamente. O parcelamento se refere a doses de N aplicadas na sementeira. *Médias seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey*

Para a massa de matéria seca das plantas (época do florescimento), safra 2004/2005 (Tabela 9), observa-se, também, que o maior resultado foi para o tratamento 60-120, diferindo significativamente dos tratamentos sem aplicação de N e 60-00. A média da massa da matéria seca (7,18 kg ha⁻¹) foi bem superior a obtida por Pavinato et al. (1994) que obtiveram um valor de 3,42 kg ha⁻¹ de massa seca de milho cultivado após aveia preta e relacionou tal fato a imobilização de N.

Tabela 9 – Teste de tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes à massa da matéria seca (MS) - época do florescimento – 1ª amostragem, massa da matéria seca - final do ciclo da cultura – 2ª amostragem, massa de 100 grãos, rendimento de grãos e índice de colheita (IC), safra 2004/2005

Tratamentos	1ª	2ª	Avaliações				
			MS 1ª (t ha ⁻¹)	MS 2ª (t ha ⁻¹)	Massa 100 grãos (g)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	I.C. (%)
1	-	-	5,21 c	8,20 b	21,26	2004	24,47 a
2	30	30	6,85 abc	13,67 ab	22,92	3558	26,10 a
3	60	00	6,66 bc	12,26 ab	21,97	3475	28,45 a
4	30	90	7,44 ab	15,01 ab	24,09	3858	26,28 a
5	60	60	7,42 ab	16,62 ab	25,85	5643	34,68 a
6	30	150	8,14 ab	16,84 a	25,65	4978	29,78 a
7	60	120	8,56 a	17,34 a	27,12	6169	36,22 a
Parcelamento (kg ha ⁻¹)	30		7,51 a	15,17 a	24,22	4131	27,29 b
	60		7,54 a	15,40 a	24,98	5096	33,11 a
Doses de N (kg ha ⁻¹)	60		6,75 ⁽¹⁾	12,96 ⁽²⁾	22,45	3516	27,26
	120		7,47	15,81	24,97	4751	30,48
	180		8,35	17,09	26,39	5574	32,87

Obs. Os números 1ª e 2ª se referem à aplicação de N na sementeira e no estágio de 6-8 folhas, respectivamente. O parcelamento se refere a doses de N aplicadas na sementeira. Médias seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey.

Quanto a doses de N, os dados ajustaram-se a uma função linear (Figura 21), o que indica que, quando se aumenta as doses de N, há um aumento crescente da massa de matéria seca das 1ª e 2ª amostragens do 2º cultivo. Campos (2004) também verificou uma função linear quando não se aplicou N na pré-semeadura de milho em sucessão à braquiária e 0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Já Silva et al. (2002), avaliando a influência de doses de calcário de N no milho, sobre palhada de milho, apresentaram uma resposta quadrática da produção de matéria seca da parte aérea às doses de N, com valor máximo na dose de 87 mg dm⁻³ (correspondente a 174 kg ha⁻¹ de N).

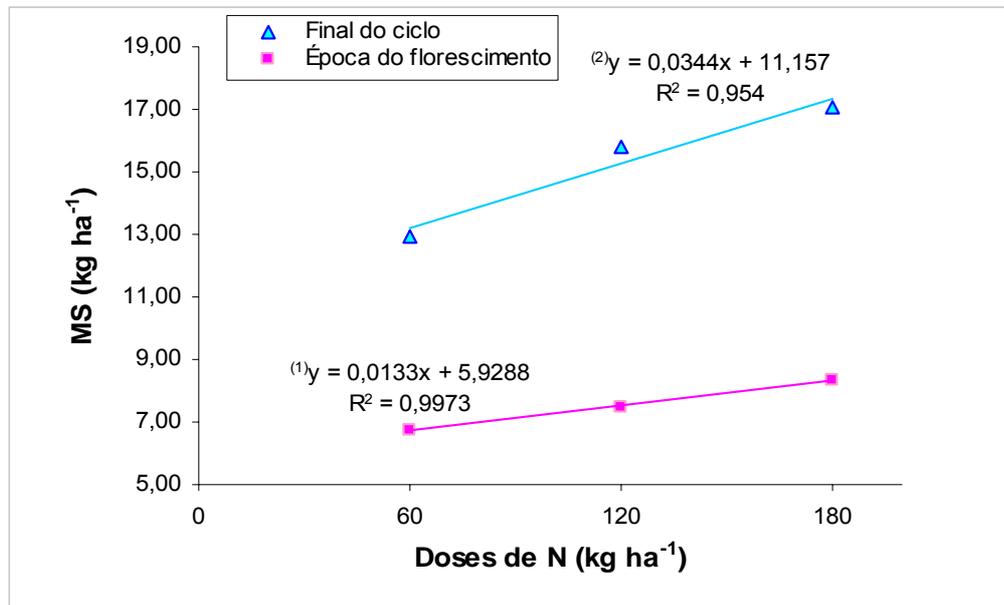


Figura 21 - Massa da matéria seca avaliadas na época do florescimento (1^a amostragem) e no final do ciclo (2^a amostragem) da cultura do milho, em função de doses de N, safra 2004/2005

Resultados de massa de 100 grãos do milho, da safra 2003/2004, estão apresentados na Tabela 8. Os tratamentos 60-60 e 60-120 (maiores rendimentos de grãos) mostram os maiores resultados e diferem significativamente apenas do tratamento sem N. Sangoi et al. (2001) obtiveram resultados semelhantes, testando diferentes níveis do nutriente, verificando que o maior rendimento de grãos dos híbridos modernos deveu-se ao maior número de grãos por espiga, assim como, à massa de 1000 grãos. Já Fernandes; Buzetti e Silva (2004), estudando a influência de diferentes níveis e épocas de aplicação de N na cultura do milho, não verificaram diferenças significativas de massa de 100 grãos entre os tratamentos, no entanto, foram verificadas diferenças significativas para rendimento de grãos. Os dados não se ajustaram a nenhuma função, ao contrário de Silva & Buzetti (2002) os quais, quando avaliaram níveis de N no rendimento de seis cultivares de milho ajustaram, para massa de 100 grãos, uma função linear. Para a massa de 100 grãos da safra 2004/2005 observa-se interação doses x parcelamento de N (Tabela 11). Com a aplicação de 60 kg ha⁻¹ na semeadura, as massas de 100 grãos foram maiores nas doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ de

N, porém, foi significativa somente na dose de 120 kg ha⁻¹ de N. A massa de 100 grãos variou no 1º cultivo de 24,0 a 30,6 (Tabela 8) sendo superior ao 2º cultivo, que variou de 21,3 a 27,1 (Tabela 9), o que se pode correlacionar com o rendimento de grãos de milho, a média do qual na safra 2003/2004, foi superior (aproximadamente 6700 kg ha⁻¹) a safra 2004/2005 (aproximadamente 4240 kg ha⁻¹), porque segundo Bortolini et al. (2001), o rendimento de grãos depende dos componentes número de espigas por planta, número de grãos por espiga e massa de 100 grãos. Tal comportamento foi encontrado também por Prior et al. (2005) que comprovaram que a massa de 100 grãos apresentou o mesmo comportamento da produtividade, sendo os maiores valores observados nos tratamentos quando o N foi aplicado em faixa, na superfície do solo (35,7 g) e na superfície da palha (34,3 g), para as sucessões aveia-preta-milho e aveia preta-soja.

Para o Índice de Colheita (Tabela 8) não se observaram diferenças significativas entre tratamentos e nem entre parcelamentos de N, na cultura do milho (safra 2003/2004), embora o rendimento de grãos não tenha apresentado esse comportamento: apesar de a massa de grãos ter aumentado com as doses e parcelamentos de N, a massa seca, avaliada no final do ciclo da cultura, também aumentou exageradamente nos tratamentos 60-60 e 60-120, fazendo com que a média de parcelamento do índice de colheita, quando foram aplicados 60 kg ha⁻¹ na semeadura, fosse menor do que a média dos tratamentos em que se utilizaram 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura. Mesmo assim, os dados obtidos (44 a 51%) são considerados satisfatórios para a obtenção de alta produtividade, pois de acordo com Lima (1995) e Gadioli (1999), o índice de colheita para milho varia de 0,3 a 0,5, sendo o valor de 0,4 considerado satisfatório para a obtenção de uma alta produtividade. Lara Cabezas et al. (2000), estudando adubação nitrogenada sólida e fluida em milho, encontraram resultados de índice de colheita de aproximadamente 0,54. Já para o índice de colheita de milho da safra 2004/2005 (Tabela 9), os resultados tiveram comportamento semelhante ao rendimento de grãos quanto ao parcelamento de N. Os tratamentos em que foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura apresentaram maiores índices de colheita do que os tratamentos que receberam 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura. Quanto a doses de N, para índice de colheita, não foi ajustada nenhuma função. Belasque Júnior

(2000), avaliando diferentes cultivares de milho safrinha, doses e parcelamento de N obteve resultados contrastantes para os cultivares estudados.

Na Tabela 10, encontram-se as médias e teste de Tukey do desdobramento parcelamento dentro de doses de N, referentes à massa da matéria seca (2ª amostragem) e rendimento de grãos do milho, safra 2003/2004. Verifica-se que houve um destaque de quando foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura em todas as doses, exceto na dose de 60 kg ha⁻¹ de N, pois nessa o fertilizante é aplicado todo na semeadura, sem aplicação de cobertura, o que pode ter influenciado negativamente no crescimento vegetativo das plantas. Esses resultados são contrários aos de Lessa et al. (2005) que observaram efeito não significativo para doses de N e interação entre métodos de aplicação de N e doses, e efeito significativo, para métodos de aplicação de N. Os resultados indicaram que a maior fitomassa foi obtida nos tratamento em que o N foi aplicado de uma só vez na semeadura. Para massa seca de plantas (2ª amostragem), safra 2004/2005 (Tabela 9), os tratamentos 30-150 e 60-120 apresentaram melhores resultados e diferiram somente do tratamento sem aplicação de N, o que pode indicar que com o aumento das doses de N, independentemente do parcelamento, pode ter ocorrido um maior acúmulo de matéria orgânica nesses tratamentos. As médias das massas da matéria seca (1ª amostragem) do 1º cultivo (7,17 t ha⁻¹) e 2º cultivo (13,29 t ha⁻¹) foram semelhantes as do 2º cultivo (7,18 kg ha⁻¹ e 14,28 kg ha⁻¹), o que demonstra que resíduos de aveia preta (alta relação C/N) não apresentaram um efeito negativo sobre a cultura do milho em sucessão, pois de acordo com Victoria; Picolo e Vargas (1992), a adição de quantidade elevada de resíduos culturais com alta relação C/N faz com que os organismos quimiorganotróficos que atuam na decomposição da matéria orgânica do solo se multipliquem gradativamente, assimilando carbono e produzindo CO₂ em grandes quantidades, diminuindo drasticamente as quantidades de nitrato e de amônio presentes no solo (imobilização), pois os microrganismos também necessitam assimilar N.

Tabela 10 – Teste de Tukey do desdobramento parcelamento dentro de doses de N referentes à massa da matéria seca (final do ciclo da cultura – 2ª amostragem) e rendimento de grãos, safra 2003/2004

		Parcelamento N na semeadura (kg ha ⁻¹)	Avaliações	
			Massa Seca 2ª (t ha ⁻¹)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)
Doses de N (kg ha ⁻¹)	60	30	11,81 a	6459 a
		60	11,30 a	6160 a
	120	30	12,81 b	7074 b
		60	16,71 a	8204 a
	180	30	11,93 b	6564 b
		60	22,36 a	9520 a

Obs: Médias na mesma linha, seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Tabela 11– Teste de Tukey do desdobramento parcelamento dentro de doses de N referentes à massa de 100 grãos e rendimento de grãos, safra 2004/2005

		Parcelamento N na semeadura (kg ha ⁻¹)	Avaliações	
			Massa 100 grãos (g)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)
Doses de N (kg ha ⁻¹)	60	30	22,92 a	3557 a
		60	21,97 a	3476 a
	120	30	24,09 b	3857 b
		60	25,85 a	5643 a
	180	30	25,65 a	4978 b
		60	27,12 a	6169 a

Obs: Médias na mesma linha, seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Para o rendimento de grãos dos 1º e 2º cultivos (safras 2003/2004 e 2004/2005) houve efeito significativo da interação doses x parcelamento de N. Na Tabela 10 constam as médias do teste de Tukey do desdobramento parcelamento dentro de doses de N, referentes ao rendimento de grãos, safra 2003/2004. Na dose de 60 kg ha⁻¹, os parcelamentos de N não apresentaram diferenças significativas. Quando a aplicação foi de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura, a dose que se destacou foi a de 120 kg ha⁻¹ de N, com um rendimento de grãos de 7074 kg ha⁻¹, o qual foi maior do que quando foram aplicados 30 kg ha⁻¹ na semeadura, na dose de 180 kg ha⁻¹ de N (6564 kg ha⁻¹).

Isto pode ter sido possível em consequência de perdas de N fertilizante por lixiviação após a adubação nitrogenada de cobertura, devido à ocorrência de chuvas nesse período, pois a dose aplicada nessa época, nos tratamentos que receberam 180 kg ha^{-1} de N, foi alta (150 kg ha^{-1}). Já na aplicação de 60 kg ha^{-1} de N na semeadura, o maior rendimento (9520 kg ha^{-1}) foi obtido na dose de 180 kg ha^{-1} de N. Portanto, os maiores rendimentos obtidos no 1º cultivo de milho foi quando foram aplicados 60 kg ha^{-1} de N na semeadura, nas doses de 120 e 180 kg ha^{-1} de N. Isto demonstra que o maior fornecimento de N no estágio inicial de crescimento da cultura favoreceu o rendimento de grãos, pois apesar de serem pequenas as exigências nutricionais nos estádios iniciais, altas concentrações de N, na zona radicular, são benéficas na promoção de um maior desenvolvimento da planta (VARVEL; SCHPERS; FRANCIS, 1997). Silva et al. (2005), estudando doses e épocas de aplicação de N em SPD, observaram maiores produtividades de grãos quando se aplicou metade do N na semeadura e metade no estágio de 4-6 folhas, metade do N na semeadura e metade no estágio de 8-10 folhas e todo o N no estágio de 4-6 folhas. Resultados semelhantes foram obtidos para o rendimento de grãos de milho em sucessão a aveia preta (safra 2004/2005), como consta na Tabela 11. Também não se observou diferença significativa entre os parcelamentos dentro da dose de 60 kg ha^{-1} de N. Nas doses de 120 e 180 kg ha^{-1} , os tratamentos em que se aplicaram 60 kg ha^{-1} de N na semeadura apresentaram os maiores rendimentos (5643 e 6169 kg ha^{-1}), respectivamente. Um menor rendimento de grãos de milho obtido no tratamento em que se aplicou a menor dose de N na semeadura (30 kg ha^{-1}), não deve ser atribuído a imobilização do N pela aveia preta, como citado por Sá (1999), pois a resposta do cultivo de milho em sucessão a aveia à parcelamentos de N foi semelhante da 1ª safra de milho. Além disso, a média de massa da matéria seca dos tratamentos avaliados na época do florescimento do 1º cultivo (safra 2003/2004) foi igual a do 2º cultivo (safra 2004/2005), o que confirma tal resultado, pois, segundo Argenta et al. (2001), os menores acúmulos de N e produção de massa seca por planta de milho em sucessão a aveia preta, pode ser atribuída ao fato de que a adição dos resíduos culturais da cobertura de inverno favoreceu a imobilização de N pelos microrganismos. No segundo cultivo, entretanto, quando a aplicação foi de 30 kg ha^{-1} de N na semeadura, o rendimento de grãos foi maior na dose

de 180 kg ha⁻¹ (4978 kg ha⁻¹) do que na dose de 120 kg ha⁻¹ (3857 kg ha⁻¹). No 2º cultivo de milho (sucessão à aveia preta), os maiores rendimentos de grãos foram obtidos nas doses de 180 kg ha⁻¹ de N, tanto na aplicação de 30 (4978 kg ha⁻¹) como na de 60 kg ha⁻¹ (6169 kg ha⁻¹) de N na semeadura, quando comparados aos mesmos parcelamentos nas demais doses. A dose de 180 kg ha⁻¹ de N é próxima da nova recomendação (160 kg ha⁻¹) de adubação de N para o milho sob plantio direto no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, adaptada da CFS-RS/SC de 1995, por Amado; Mielniczuk e Aita, (2002). A nova recomendação baseia-se na expectativa de produtividade de grãos (6-9 t ha⁻¹), no teor de matéria orgânica (<2,5%) e na cultura de cobertura antecedente (aveia preta). Para os dois cultivos de milho verificou-se que, quando se aumentam as doses de N para 60 a 180 kg ha⁻¹, as médias de rendimento de grãos também são elevadas. Souza et al. (2002) e Bortolini et al. (2001) observaram também um aumento linear no rendimento de grãos de milho cultivado em sucessão a aveia preta, a partir do que não se pode obter a máxima eficiência técnica da cultura com as doses estudadas. Já alguns autores (CARDOSO; MELO, 1998; SILVA; BUZETTI, 2002; SCHARF; FERNANDES et al., 2005; KITCHEN; SUDDUTH, 2005) ajustaram os dados de rendimento x doses de N a funções quadráticas. O maior rendimento de grãos, nos dois cultivos de milho, quando se aplicam 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura, tanto na dose de 120 ou 180 kg ha⁻¹ de N, comparada à aplicação de 30 kg ha⁻¹, se deveu, provavelmente, a maior eficiência de absorção de N pelas plantas, e conseqüentemente, menores perdas do nutriente, principalmente por lixiviação, o que parte é demonstrado pela avaliação da recuperação de ¹⁵N realizada nos tratamentos 4 e 5. As médias dos rendimentos de grãos nos 1º (6738 kg ha⁻¹) e 2º (4341 kg ha⁻¹) cultivos de milho foram superiores às médias de 2003/2004 e 2004/2005 de 4,25 t ha⁻¹ e 3,28 t ha⁻¹ de São Paulo e do Brasil, respectivamente (FNP, 2005). Entretanto, em todos os tratamentos, até quando não se aplicou N, o rendimento de milho do 1º ano foi superior ao do 2º ano. Apesar da quantidade de chuva medida, nos 1º e 2º ciclos de milho, ter sido de aproximadamente 614 e 656 mm, respectivamente, no 2º ciclo a distribuição de chuva foi irregular, ocasionando um baixo rendimento de grãos, embora a exigência da cultura seja de um mínimo de 400-500 mm para que produza sem a necessidade de irrigação (FANCELLI; DOURADO NETO, 2005). O baixo rendimento do

2º cultivo pode ser atribuído ao déficit de água na época do florescimento da cultura. De acordo com Magalhães; Durães e Paiva (1995), nessa fase de desenvolvimento da cultura, o déficit hídrico afeta a iniciação floral, induzindo à desidratação dos grãos de pólen e do estilo estigma, impedindo assim a fertilização e, finalmente, o enchimento de grãos, com menores produção e translocação de carboidratos.

2.3.1.2 Aveia preta

Os quadrados médios e coeficientes de variação referentes ao N na planta, massa da matéria verde, massa da matéria seca e N acumulado na planta de aveia preta constam na Tabela 12. Os resultados foram significativos para testemunha x demais, somente para N na planta e N acumulado. Quanto a doses de N, os resultados para todos as avaliações, exceto massa da matéria verde.

Na Tabela 13 estão apresentadas as médias, testes de Tukey e regressões referentes a N na planta, massa de matéria verde, massa de matéria seca e N acumulado na planta de aveia preta. Para o N na planta, o tratamento em que foram aplicados 30 kg ha⁻¹ na semeadura e 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura apresentou o maior resultado e não diferiu significativamente dos outros tratamentos, exceto no tratamento em que não se aplicou N e este não diferiu dos tratamentos 30-30, 60-00, 60-60, 30-150 e 60-120, o que implica em uma alta absorção de N pela aveia preta. Segundo Amado; Mielniczuk e Aita (2002), a elevada capacidade de absorção de N nas gramíneas é uma importante estratégia para reduzir os riscos de contaminação do lençol freático com nitrato e aumenta a ciclagem de N durante a entre safra da cultura. Para a massa de matéria verde e a massa de matéria seca, os tratamentos não diferiram entre si. A média da massa da matéria seca (2960 kg ha⁻¹) encontrada para aveia preta foi baixa quando comparada com resultados obtidos por outros autores, em experimentos no sul do Brasil (ARGENTA, 1998, BORTOLINI et al., 2001, MAI et al., 2003). As baixas produções de matéria verde e matéria seca alcançadas, no presente trabalho, podem ser atribuídas ao plantio tardio da aveia preta (29/07/2004). Quanto ao N acumulado, a aveia preta acumulou até 68,54 kg ha⁻¹ de N, no tratamento 30-90, o qual diferiu significativamente apenas dos tratamentos 60-00 e sem aplicação de N. Os valores apresentados para N acumulado em todos os tratamentos podem ser considerados baixos, pois a extração e

acumulação de N pela aveia preta pode chegar em torno de 150 kg ha⁻¹ de N (SÁ, 1996, MAI, 2003). Quanto às doses de N, as avaliações de N na planta e N acumulado (Figura 22) e massa de matéria seca da aveia preta (Figura 23) ajustaram-se a funções quadráticas, discordando dos resultados obtidos por Mai et al. (2003) que obtiveram uma função linear.

Tabela 12 - Quadrados médios e coeficientes de variação referente ao teor de N na planta, massa da matéria verde (MV), massa da matéria seca (MS) e N acumulado na aveia preta, safra 2004

Causas de variação	Avaliações			
	N na planta (g kg ⁻¹)	MV (kg ha ⁻¹)	MS (kg ha ⁻¹)	N acumulado (kg ha ⁻¹)
Test. vs demais	51,4600**	31408152,38	42529,34	377,1005**
Doses N (D)	28,9070**	1543266,67	214258,63*	185,5205**
Parcelamento (P)	2,3688	3526666,67	76050,04	0,1507
D x P	0,2244	74866,67	8912,04	0,5356
Blocos	13,5347*	861485,71	215511,14*	14,8216
Resíduo	2,8737	1876819,05	88529,03	9,1250
C.V. (%)	7,72	9,43	10,05	4,86

*e** - Significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de Tukey.

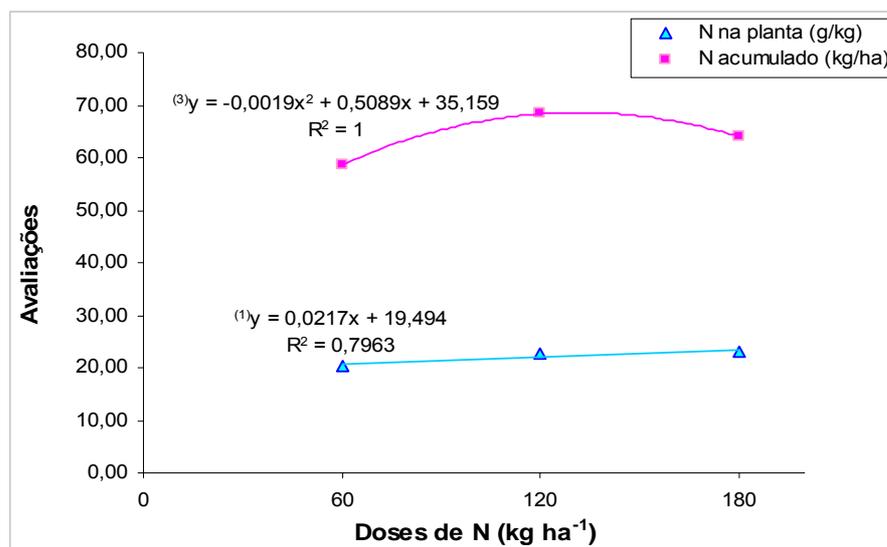


Figura 22 - N na planta e N acumulado da aveia preta, em função de doses de N, safra 2004

Tabela 13 – Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes ao teor de N na planta, massa da matéria verde e massa da matéria seca da aveia preta, safra 2004

Tratamentos	1 ^a	2 ^a	Avaliações			
			N na planta (g kg ⁻¹)	MV (kg ha ⁻¹)	MS (kg ha ⁻¹)	N acumulado (kg ha ⁻¹)
1	-	-	18,64 b	12940 a	2865 a	53,20 c
2	30	30	20,87 ab	15550 a	3133 a	60,61 abc
3	60	00	19,96 ab	14560 a	2967 a	56,83 bc
4	30	90	24,48 a	15680 a	3158 a	68,54 a
5	60	60	23,75 ab	15030 a	3024 a	68,13 a
6	30	150	23,14 ab	14820 a	2808 a	64,74 ab
7	60	120	22,89 ab	14160 a	2770 a	63,32 ab
Parcelamento (kg ha ⁻¹)	30		22,83 a	15350 a	3033 a	64,62 a
	60		22,20 a	14583 a	2920 a	63,76 a
Doses de N (kg ha ⁻¹)	60		20,41 ⁽¹⁾	15055	3050 ⁽²⁾	58,72 ⁽³⁾
	120		24,12	15355	3091	68,33
	180		23,01	14490	2789	64,01

Obs. Os números 1^a e 2^a se referem à aplicação de N na sementeira e no estágio de 6-8 folhas, respectivamente. O parcelamento se refere a doses de N aplicadas na sementeira. Médias seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey.

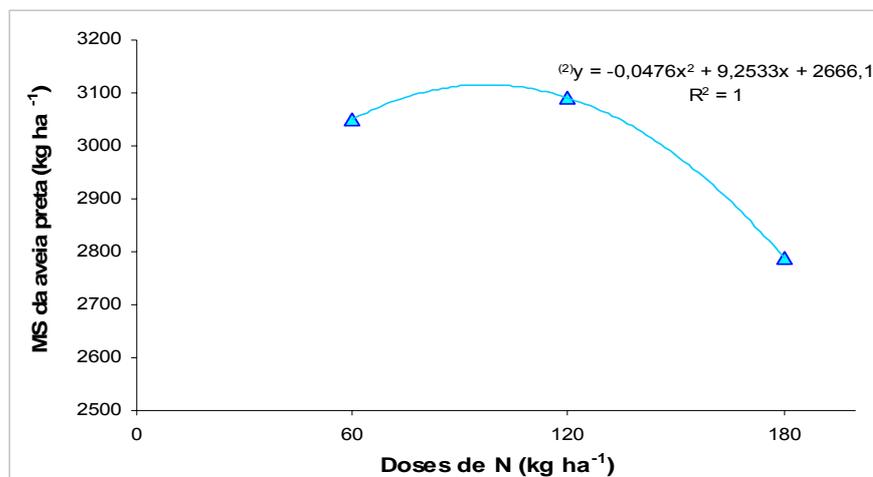


Figura 23 - Massa da matéria seca da aveia preta, em função de doses de N, safra 2004

2.3.2 Características nutricionais do milho

Na Tabela 14, estão apresentados os quadrados médios e coeficientes de variação referentes ao teor de N foliar, teor de N na planta das 1ª e 2ª amostragens e teor de N nos grãos de milho das safras 2003/2004 e 2004/2005. Verifica-se que houve efeito significativo da testemunha x demais e doses de N para todas as avaliações nos dois cultivos de milho. Para parcelamento de N, na 1ª safra, foi significativo somente para N nos grãos e na 2ª safra para N na planta (1ª amostragem). Para doses x parcelamento de N, na safra 2003/2004, observa-se efeito significativo para todas as avaliações, exceto para N nos grãos.

Tabela 14-Quadrados médios e coeficientes de variação referentes ao teor de N foliar, ao teor de N na planta (época do florescimento – 1ª amostragem), teor de N na planta (final do ciclo da cultura – 2ª amostragem) e teor de N nos grãos, safras 2003/2004 e 2004/2005

Causas de variação	Avaliações – safra 2003/2004			
	N foliar (g kg ⁻¹)	N na planta (1ª) (g kg ⁻¹)	N na planta (2ª) (g kg ⁻¹)	N nos grãos (g kg ⁻¹)
Test. vs demais	135,6304**	95,2214**	43,1680**	44,7124**
Doses N (D)	43,3654**	1,9500**	32,3135**	13,2748**
Parcelamento (P)	8,8938	0,0504	0,0004	5,2173*
D x P	18,1470**	0,7515*	2,6398**	1,0452
Blocos	4,3341	0,6457	2,0241**	1,1845
Resíduo	3,2434	0,1424	0,1275	0,9424
C.V. (%)	8,34	1,70	3,22	6,08
Causas de variação	Avaliações – safra 2004/2005			
	N foliar (g kg ⁻¹)	N na planta (1ª) (g kg ⁻¹)	N na planta (2ª) (g kg ⁻¹)	N nos grãos (g kg ⁻¹)
Test. vs demais	161,3864**	41,3426**	38,3241**	41,5811**
Doses N (D)	245,2378**	23,1746**	28,4310**	26,0960**
Parcelamento (P)	0,3800	12,3123**	0,0080	7,3926
D x P	2,5001	0,1815	2,2158	10,4369
Blocos	11,3767**	0,3483	2,3291*	1,9413
Resíduo	1,7965	0,8547	0,5786	2,7489
C.V. (%)	7,90	4,44	7,28	9,38

*e** - Significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nas Tabelas 15 e 17 constam as médias, teste de Tukey e regressões referentes ao teor de N foliar, teor de N na planta das 1ª e 2ª amostragens e teor de N nos grãos de milho da safra 2003/2004 e 2004/2005, respectivamente. Em relação ao teor de N nos grãos (Tabela 15), o tratamento 60-120 resultou em uma maior exportação do elemento ($18,62 \text{ kg t}^{-1}$ de grãos) e esse foi diferente significativamente dos tratamentos 30-30, 60-00 e sem aplicação de N, os quais estão abaixo do valor citado por Raij et al. (1997), que propõem valores médios de 17 kg ha^{-1} de N t^{-1} de grãos de milho; porém, os tratamentos 30-150 e 60-120 resultaram em valores superiores ao citado pelos autores. Entretanto, Heckman et al. (2003), avaliando a remoção de nutrientes por grãos de milho, durante 23 anos em várias regiões de USA, observaram que o mínimo, o máximo e a média para teor de N nos grãos encontrados foram de 10,2, 15,0 e $12,9 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. Quanto ao parcelamento de N, os tratamentos com 60 kg ha^{-1} de N na semeadura tiveram maiores teores de N do que os tratamentos com aplicação de 30 kg ha^{-1} , ou seja, com o aumento de N na semeadura, houve uma maior translocação do nutriente das partes vegetativas para os grãos e conseqüentemente uma maior exportação de grãos. Silva et al. (2005) não comprovaram a influência de épocas de aplicação de N no teor de N nos grãos. Na Tabela 15, verifica-se que o teor de N nos grãos aumentou com o acréscimo da dose de N, ajustando-se a uma função linear crescente (Figura 24), como era o esperado, pois segundo Barber e Olson (1968), o N disponível nas plantas de milho é utilizado para processos de crescimento e produção. Sendo assim, geralmente, as maiores doses aumentam o conteúdo de N do grão. Araújo; Sampaio e Medeiros (1999) e Silva (2002) observaram, também em seus experimentos com milho que o teor de N nos grãos variou linearmente com a adubação nitrogenada.

O teste de Tukey do desdobramento parcelamento dentro de doses de N, referentes ao teor de N foliar, teor de N na planta 1ª e 2ª amostragens, safra 2003/2004, está na Tabela 16. Observa-se, para teores de N foliar, em todos os tratamentos, resultados inferiores ao descrito como adequado ($27,0$ a $35,0 \text{ g kg}^{-1}$) por Raij et al. (1997). Isto pode ser atribuído ao híbrido utilizado, pois mesmo em produtividades altas, o teor de N nas folhas não atingiu o adequado.

Tabela 15 – Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes ao teor de N foliar, ao teor de N na planta (época do florescimento – 1ª amostragem), teor de N na planta (final do ciclo da cultura – 2ª amostragem) e teor de N nos grãos, safra 2003/2004

Tratamentos	1ª	2ª	Avaliações			
			N foliar (g kg ⁻¹)	N na planta (1ª) (g kg ⁻¹)	N na planta (2ª) (g kg ⁻¹)	N nos grãos (g kg ⁻¹)
1	-	-	16,21	17,69	8,03	12,89 c
2	30	30	20,83	22,44	10,21	15,15 bc
3	60	00	18,82	22,37	9,06	15,32 bc
4	30	90	21,61	23,56	11,47	15,95 ab
5	60	60	25,56	23,14	11,44	16,95 ab
6	30	150	23,22	22,75	13,08	17,00 ab
7	60	120	24,94	23,52	14,22	18,62 a
Parcelamento	30		21,89	22,91	11,58	16,03 b
(kg ha⁻¹)	60		23,10	23,01	11,57	16,96 a
Doses de N	60		19,82	22,40	9,63	15,24 ⁽¹⁾
(kg ha⁻¹)	120		23,59	23,35	11,45	16,45
	180		24,08	23,13	13,65	17,81

Obs. Os números 1ª e 2ª se referem à aplicação de N na semente e no estágio de 6-8 folhas, respectivamente. O parcelamento se refere a doses de N aplicadas na semente. Médias seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey.

Entretanto, foram observadas diferenças entre parcelamentos (Tabela 16). A aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N na semente se destacou quando se utilizou a dose de 120 kg ha⁻¹ de N. Nas outras doses o parcelamento de 30 kg ha⁻¹ de N na semente não diferiu significativamente do parcelamento de 60 kg ha⁻¹ de N, fato interessante de se frisar, já que era de se esperar que a planta também absorvesse mais N no tratamento 60-120, assim como nos resultados de rendimento de grãos, já que o N foliar é um diagnóstico deste parâmetro. Fontoura e Moraes (2002) observaram diferenças significativas entre doses e fontes de N para rendimento e N foliar, cujos dados correlacionaram-se positivamente entre si.

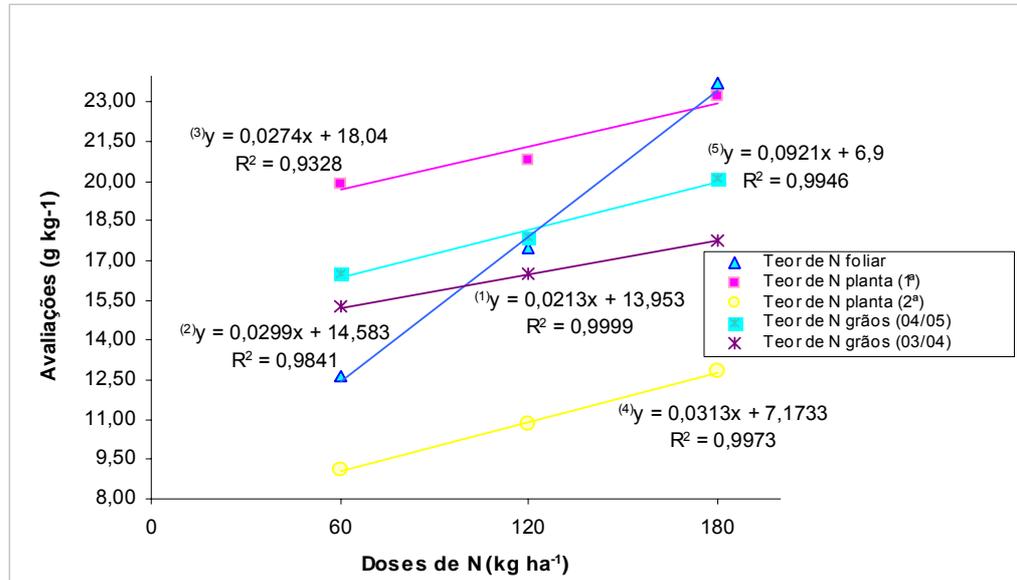


Figura 24– Teor de N nos grãos, safra 2003/2004, teor de N foliar, teor de N nas plantas na época do florescimento (1ª amostragem) e no final do ciclo (2ª amostragem) e teor de N nos grãos de milho, em função de doses de N, safra 2004/2005

Tabela 16 –Teste de Tukey do desdobramento parcelamento dentro de doses de N referentes ao teor de N na foliar, teor de N na planta (época do florescimento – 1ª amostragem), teor de N na planta (final do ciclo da cultura – 2ª amostragem), safra 2003/2004

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Parcelamento N na semeadura (kg ha ⁻¹)	Avaliações			
		N foliar (g kg ⁻¹)	N na planta 1ª (g kg ⁻¹)	N na planta 2ª (g kg ⁻¹)	
60	30	20,83 a	22,44 a	10,21 a	
	60	18,82 a	22,38 a	9,06 b	
	120	30	21,61 b	23,56 a	11,47 a
		60	25,56 a	23,14 a	11,44 a
	180	30	23,22 a	22,75 b	13,07 b
		60	24,94 a	23,52 a	14,22 a

Obs: Médias na mesma linha, seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

No entanto, Fernandes; Buzetti e Silva. (2004) também não encontraram diferenças significativas para N foliar, entre doses e parcelamentos de N. Entretanto, para N na planta da 1ª amostragem (safra 2003/2004), a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura, na dose de 180 kg ha⁻¹, proporcionou maior teor de N, diferindo significativamente do tratamento 30-150. Já o teor de N na planta (2ª amostragem), na dose de 60 kg ha⁻¹, a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura apresentou melhor resultado, diferindo significativamente do tratamento 60-00. Isto indica claramente a importância da adubação de N em cobertura para plantas de milho. Avaliando a fertilização de sulfato de amônio na cultura do milho sobre braquiária, Campos (2004) concluiu que a concentração de N na parte aérea do milho aumentou linearmente com as doses de N em cobertura. Observa-se, porém, no caso presente, que na dose de 180 kg ha⁻¹ de N, a aplicação de 60 kg ha⁻¹ na semeadura, foi a que apresentou maior resultado quando comparada com a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N na mesma dose.

Para o N foliar das plantas do 2º cultivo (Tabela 17), os tratamentos 30-150 e 60-120 (maiores rendimentos de grãos) foram os que apresentaram maiores resultados, diferindo significativamente dos outros tratamentos; o tratamento sem aplicação de N apresentou o menor resultado. Ferraz; Lima e Peixoto (2005) também observaram, em milho, que somente no tratamento sem adubação e em sucessão à aveia preta, obtiveram resultados inferiores e, conseqüentemente, a produtividade de milho apresentou o mesmo contraste. Para as doses de N testadas, ajustou-se uma função linear (Figura 24), concordando com os resultados obtidos por Sangoi et al. (2001) e Silva e Buzetti (2002). Entretanto, Souza et al. (2002) observaram uma função quadrática, com a eficiência máxima em teor foliar de N na dose de 168,2 kg ha⁻¹ de N. Para o teor de N na planta, os maiores valores foram obtidos no tratamento 60-120, que diferiu significativamente dos tratamentos 60-60, 30-150 e 30-150, respectivamente, para as 1ª e 2ª amostragens de plantas. No entanto, os piores valores foram encontrados no tratamento em que não se aplicou N, mas este não diferiu significativamente dos tratamentos 30-30 (1ª amostragem) e 30-30 e 60-00 (2ª amostragem).

Tabela 17 – Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes ao teor de N foliar, ao teor de N na planta (época do florescimento – 1ª amostragem), teor de N na planta (final do ciclo da cultura – 2ª amostragem) e teor de N nos grãos, safra 2004/2005

Tratamentos	1ª	2ª	Avaliações			
			N foliar (g kg ⁻¹)	N na planta (1ª) (g kg ⁻¹)	N na planta (2ª) (g kg ⁻¹)	N nos grãos (g kg ⁻¹)
1	-	-	11,09 c	17,86 d	7,59 d	14,69 c
2	30	30	13,42 c	19,08 cd	9,65 cd	18,20 abc
3	60	00	11,91 c	20,81 bc	8,57 d	14,83 bc
4	30	90	17,42 b	20,08 bc	10,84 bc	18,50 abc
5	60	60	17,55 b	21,54 abc	10,79 bc	17,33 abc
6	30	150	23,39 a	22,67 ab	12,36 ab	19,50 ab
7	60	120	24,02 a	23,80 a	13,38 a	20,70 a
Parcelamento (kg ha ⁻¹)	30		18,08 a	20,62 b	10,95 a	18,73 a
	60		17,83 a	22,04 a	10,91 a	17,62 a
Doses de N (kg ha ⁻¹)	60		12,66 ⁽²⁾	19,94 ⁽³⁾	9,11 ⁽⁴⁾	16,51 ⁽⁵⁾
	120		17,48	20,82	10,82	17,91
	180		23,71	23,23	12,87	20,10

Obs. Os números 1ª e 2ª se referem à aplicação de N na sementeira e no estágio de 6-8 folhas, respectivamente. O parcelamento se refere a doses de N aplicadas na sementeira. *Médias seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey.*

Mesmo assim, tanto na 1ª como na 2ª amostragem, os valores obtidos foram, na maioria, superiores aos considerados adequados para a produção máxima de milho que está em torno de 10 g kg⁻¹ (GROVE; RITCHEY; NADERMAN, 1980; COELHO et al., 1992), o que condiz com um maior acúmulo de massa seca nesses tratamentos. Observam-se também, teores maiores de N na 1ª do que 2ª amostragem de plantas, concordando com Bull (1993) que afirmam que o conteúdo de N nos tecidos de plantas jovens de milho é maior que nas outras fases do ciclo de crescimento, embora seja baixa a necessidade do nutriente, em razão do pequeno porte das plantas. Entretanto, segundo Karlen; Flannery e Sadler (1988), a redução da quantidade de nitrogênio acumulada nos estádios finais da cultura, pode ter como causa perdas do nutriente por

volatilização. Quanto a doses de N, para as 1ª e 2ª amostragens, as funções foram ajustadas linearmente (Figura 24), indicando que, com o aumento das doses de N, aumentam-se os teores de N nas plantas. Duete (2000) obteve resultados iguais, ajustando a doses testadas (0, 55, 95, 135 e 175 kg ha⁻¹ de N) a um modelo linear.

Os resultados de N nos grãos (Tabela 17), obtidos no 2º cultivo foram semelhantes ao 1º cultivo. O maior valor também foi obtido no tratamento 60-120, porém, é interessante notar que mesmo a produtividade obtida no tratamento 30-30 ter sido uma das piores (3557 kg ha), o seu teor de N nos grãos (18,20 g kg⁻¹) não diferiu significativamente do maior teor obtido (20,70 g kg⁻¹). Quanto ao parcelamento de N, as concentrações de N quando se aplicou 30 ou 60 kg ha⁻¹ na semeadura, resultaram em exportação, pelos grãos colhidos, na mesma magnitude, embora a maior aplicação de N na semeadura (60 kg ha⁻¹) tenha apresentado um maior rendimento de grãos (Tabela 09) Para doses de N, ajustou-se uma função linear (Figura 24) para teor de N nos grãos, no cultivo de milho em sucessão à aveia preta, concordando com dados obtidos por Pöttker e Roman (1994) que, estudando doses de N no rendimento de grãos de milho em sucessão a diferentes culturas de cobertura, verificaram o aumento no teor de N nos grãos com o aumento das doses de N.

2.3.3 Solo

2.3.3.1 Propriedades físicas do solo após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004)

Nas Tabelas 18, 19 e 20 estão apresentados os quadrados médios e coeficientes de variação referentes a macro, micro, porosidade total e densidade do solo, nas profundidades 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m, após os 1º e 2º cultivos de milho (safras 2003/2004) e o de aveia preta (safra 2004). Os resultados dos atributos físicos do solo foram significativos em algumas profundidades estudadas, embora avaliados na implantação do SPD (primeiros anos).

Tabela 18 - Quadrados médios e coeficientes de variação referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m, após o 1º cultivo de milho, safra 2003/2004

Causas de variação	Profundidades (m)			
	0,05	0,15	0,25	0,35
Macroporosidade				
Test. vs demais	2,3869	1,7286	12,3050**	0,9557
Doses N (D)	8,9167*	1,3390	0,2334	1,6997
Parcelamento (P)	0,0385	0,0990	0,3781	0,1200
D x P	0,7570	1,3950	0,0840	9,1836*
Blocos	0,4323	0,0001	0,0864	0,6258
Resíduo	0,6001	1,0200	0,1813	0,6915
C.V. (%)	10,05	11,43	15,11	19,31
Microporosidade				
Test. vs demais	0,0550	1,7229	4,0391	0,1204
Doses N (D)	3,0897	2,6069	0,7374	1,7726
Parcelamento (P)	1,9764	0,4219	31,2987	0,6721
D x P	16,3217	1,2020	7,4568	12,2955
Blocos	0,5169	0,6258	7,2576	4,6633
Resíduo	8,1239	5,0657	7,0706	3,2951
C.V. (%)	17,55	17,42	28,93	15,85
Porosidade Total				
Test. vs demais	3,1669	6,9029	2,2442	1,7545
Doses N (D)	4,0683	3,6858	0,2016	5,8075
Parcelamento (P)	2,5669	0,9296	24,7968	0,2241
D x P	10,0489	0,9025	7,4732	0,7296
Blocos	1,8945	0,6343	8,9280	1,8724
Resíduo	6,3570	5,2559	8,1904	6,4403
C.V. (%)	15,55	15,85	27,52	6,35
Densidade do Solo				
Test. vs demais	2720,0476	471,4405	22213,7679*	0,1905
Doses N (D)	3740,5833	1710,5833	576,3333	2404,3333
Parcelamento (P)	3008,3333	1344,0833	10325,3333	363,0000
D x P	5399,0833	51,5833	6908,3333	2901,0000
Blocos	157,7857	3616,0714	3,5000	232,0714
Resíduo	1099,6190	1836,7380	2313,8333	578,4048
C.V. (%)	22,21	12,59	32,89	21,45

* e ** - Significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 19 - Quadrados médios e coeficientes de variação referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m, após o cultivo de aveia preta, safra 2004

Causas de variação	Profundidades (m)			
	0,05	0,15	0,25	0,35
Macroporosidade				
Test. vs demais	90,4562**	2,8748**	2,9232	2,6076
Doses N (D)	1,5370	5,8424**	2,7041	4,7800
Parcelamento (P)	2,7937	0,0705	0,0200	0,5547
D x P	1,4551	0,7499	0,1067	0,5757
Blocos	0,5092	0,6216	0,0605	0,9309
Resíduo	0,7774	0,1986	0,6101	1,8577
C.V. (%)	16,04	15,75	11,33	20,52
Microporosidade				
Test. vs demais	93,4308	27,4400	15,9297	1,8040
Doses N (D)	4,9044	4,6255	6,6676	3,7714
Parcelamento (P)	2,6414	29,9884	4,2483	7,0380
D x P	42,2256	13,3037	38,1728	5,2351
Blocos	16,2002	25,8129	1,3829	0,1134
Resíduo	18,2461	8,3515	11,1948	2,6780
C.V. (%)	26,89	14,58	18,60	15,98
Porosidade Total				
Test. vs demais	49,6497	2,1600	3,8400	8,7494
Doses N (D)	11,8792	24,3403	0,7334	7,8117
Parcelamento (P)	20,9088	0,0752	2,6696	3,6410
D x P	0,9211	2,6674	29,8232	2,5656
Blocos	2,8081	8,5488	0,4393	1,6941
Resíduo	11,9314	4,9601	8,8006	0,7798
C.V. (%)	28,73	26,12	28,81	22,60
Densidade do Solo				
Test. vs demais	304,7619	128,7619	6274,7143	180,1071
Doses N (D)	2532,5833	364,5833	25,7500	1429,0000
Parcelamento (P)	8,3333	9075,0000*	5,3333	468,7500
D x P	1150,0833	3189,2500	1531,0833	1503,0000
Blocos	700,0714	208,2857	25,7857	3271,1429
Resíduo	3617,7381	935,6190	1785,9523	1432,1429
C.V. (%)	33,90	21,82	22,45	22,15

* e ** - Significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 20 - Quadrados médios e coeficientes de variação referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m, após o 2º cultivo de milho, safra 2004/2005

Causas de variação	Profundidades (m)			
	0,05	0,15	0,25	0,35
Macroporosidade				
Test. vs demais	0,7003	5,3253*	0,6309	0,3357
Doses N (D)	0,0020	0,7944	1,0333	0,8223
Parcelamento (P)	1,7710	0,0007	0,0056	0,0784
D x P	1,9800	1,4977	0,2026	0,7203
Blocos	0,1738	0,0350	0,1502	0,1523
Resíduo	0,7843	0,4722	0,9519	0,0756
C.V. (%)	13,45	10,53	20,74	16,10
Microporosidade				
Test. vs demais	0,0152	10,3671	0,7003	1,5094
Doses N (D)	4,1016	5,1650	11,8759	11,2014
Parcelamento (P)	4,8260	0,2494	5,9361	0,0208
D x P	5,3439	4,4930	1,0374	1,1680
Blocos	21,9751*	2,5373	2,9257	25,6231
Resíduo	1,8141	1,3943	9,0700	7,6561
C.V. (%)	14,57	13,96	10,73	10,68
Porosidade Total				
Test. vs demais	19,8755*	2,8050	0,2530	0,0619
Doses N (D)	5,5689	6,0352*	17,8256**	10,3269
Parcelamento (P)	0,0867	3,1930	0,0080	0,6912
D x P	4,5654	2,8126	1,0375	0,3728
Blocos	10,4061	0,9621	0,5802	2,4949
Resíduo	1,9086	0,6649	3,2965	1,7392
C.V. (%)	13,85	12,27	15,48	24,30
Densidade do Solo				
Test. vs demais	2050,2976*	867,8571	1312,1904	360,4286
Doses N (D)	529,3333	977,5833	7808,0833*	3182,2500
Parcelamento (P)	1140,7500	1026,7500	1452,0000	3960,3333
D x P	1407,0000	967,7500	147,2500	706,5833
Blocos	617,7857	1968,2857	994,5714	757,7857
Resíduo	323,2857	380,4524	645,2381	1941,4524
C.V. (%)	21,15	22,25	11,53	32,55

* e ** - Significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de Tukey.

O aumento do tempo de adoção do sistema plantio direto é um dos principais fatores que assume um papel importante na melhoria dos atributos físicos do solo (STONE; SILVEIRA, 2001; LANGE, 2002; ASSIS; LANÇAS, 2005). Silva (2003) não encontraram resultados significativos nos atributos físicos do solo, nas profundidades 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, após cinco anos de cultivo em SPD, para nenhum dos sistemas de manejo estudados.

Após o 1º cultivo de milho, safra 2003/2004 (Tabela 18), a macroporosidade do solo apresentou resultados significativos para doses de N (prof. 0,05 m), testemunha vs demais (prof. 0,25 m) e interação doses x parcelamento (prof. 0,35 m). Após aveia preta, safra 2004 (Tabela 19), os resultados de macroporosidade foram significativos para testemunha vs demais (prof. 0,05 e 0,15 m) e doses de N (prof. 0,15 m). Após o 2º cultivo de milho, safra 2004/2005 (Tabela 20), os resultados apresentaram significância para testemunha vs demais (prof. 0,15 m). Já os resultados de microporosidade do solo não se apresentaram significativos após os cultivos. Para a porosidade total, os resultados foram significativos, na profundidade 0,05 m, em testemunha vs demais e doses de N, nas profundidades 0,15 e 0,25 m, após o 2º cultivo de milho (Tabela 20). Os resultados de densidade do solo apresentaram significativos, nas profundidades de 0,05 e 0,25 m, para testemunha vs demais, após o 2º e 1º cultivo de milho, respectivamente, na profundidade de 0,15 m, para parcelamentos de N (após a aveia preta) e na profundidade de 0,25 m, para doses de N, após o 2º cultivo de milho. Pode-se observar, também, que pouco dos resultados obtidos foram significativos para doses de N, indicando, nesta primeira análise, que o aumento da massa de matéria seca das plantas (provavelmente um maior desenvolvimento radicular), obtida na maior dose de N (180 kg ha^{-1}) (Tabelas 8 e 9), não influenciou os atributos físicos do solo, nos primeiros anos de cultivo, pois, segundo Campos et al. (1995), à medida que se adiciona matéria orgânica ao solo, a atividade microbiana é estimulada, resultando em produtos que atuam na formação e estabilização dos agregados e, como consequência, uma melhoria na estrutura do solo.

Nas Tabelas 21, 22, 23 e 24 estão as médias e teste de Tukey de tratamentos referentes a macro, micro, porosidade total e densidade do solo, após 1º e 2º cultivos de milho e de aveia preta, nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m, respectivamente. Após a aveia preta, a macroporosidade, na profundidade 0,05 m, foi

menor para o tratamento em não se aplicou N, diferindo significativamente dos outros tratamentos, sendo que este comportamento se repetiu para porosidade total (tabela 4). Em consequência desse fato, observou-se uma maior densidade de solo no tratamento em que não foi aplicado N. Os maiores valores de macroporosidade e porosidade total, encontradas nos tratamentos em que foram aplicados N, independente do parcelamento (30 ou 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura), foi devido, provavelmente, ao maior crescimento de raízes das plantas de aveia preta e milho nesses tratamentos. Quanto a épocas, somente a macroporosidade (Tabela 21) apresentou resultados significativos. Os valores, para todos os tratamentos, foram maiores após a aveia preta e diferiram significativamente dos outros dois cultivos, exceto o tratamento que não foi aplicado N. Observou-se, também, que os valores de macroporosidade, após os 1º e 2º cultivos de milho, estão abaixo de 10%, considerado impeditivo para o crescimento de raízes (GRABLE; SIEMER, 1968), o que poderia acarretar problemas de aeração ao sistema radicular das plantas. Entretanto, os valores são maiores após a aveia preta, o que se faz confirmar a influência positiva desta gramínea, nas propriedades físicas do solo. Segundo Paula (1998) as gramíneas possuem um sistema radicular mais denso provocando, normalmente, uma melhoria nas propriedades físicas do solo, como aumento da agregação e estabilidade dos agregados, da retenção de água e da macroporosidade do solo. Segundo Stone e Silveira (2001), a rotação de culturas, pela inclusão de espécies com sistema radicular agressivo e pelo aporte diferenciado de matéria seca, também pode alterar as propriedades físicas do solo.

Mesmo não ocorrendo diferenças significativas entre épocas de cultivo, a porosidade total decresceu e a densidade do solo aumentou com o decorrer dos anos (tabela 21). Efeitos sobre alguns atributos do solo já são reportados na literatura, tais como: a densidade do solo, que mostra tendência de aumento nos primeiros anos de cultivo e, com o passar dos anos, apresenta tendência de diminuição, o aumento da porosidade total e o aumento no tamanho de agregados (DA ROS et al., 1997).

Tabela 21 - Médias e teste de tukey de tratamentos referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo na profundidade de 0,05 m

Tratamentos 1 ^a 2 ^a		Macroporosidade (%)			Microporosidade (%)		
		Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho	Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho
-	-	6,70 aAB	8,36 bA	6,04 aB	37,59 aA	31,62 aA	29,40 aA
30	30	7,21 aB	15,09 aA	6,73 aB	36,34 aA	25,29 aA	29,44 aA
60	00	6,46 aB	14,76 aA	6,60 aB	41,18 aA	23,88 aA	30,84 aA
30	90	6,72 aB	15,28 aA	6,64 aB	39,07 aA	28,71 aA	29,66 aA
60	60	7,71 aB	16,43 aA	6,69 aB	35,83 aA	21,53 aA	26,99 aA
30	150	9,54 aB	15,07 aA	5,51 aC	36,68 aA	20,10 aA	31,28 aA
60	120	9,64 aB	17,13 aA	7,90 aB	37,50 aA	25,89 aA	28,74 aA
Parc. 30		7,82 a	15,14 a	6,29 a	37,36 a	24,70 a	30,12 a
Parc. 60		7,94 a	16,11 a	7,06 a	38,17 a	23,76 a	28,86 a
Épocas		7,71 B	14,59 A	6,59 C	37,03 A	25,29 A	29,48 A

Tratamentos 1 ^a 2 ^a		Porosidade total (%)			Densidade do solo (kg m ⁻³)		
		Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho	Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho
-	-	44,29 aA	34,98 aA	32,93 bA	1538 aA	1555 aA	1601 aA
30	30	43,55 aA	40,38 aA	36,17 aA	1558 aA	1560 aA	1585 bA
60	00	47,65 aA	38,64 aA	37,43 aA	1445 aA	1526 aA	1549 bA
30	90	45,79 aA	40,49 aA	36,30 aA	1497 aA	1549 aA	1566 bA
60	60	43,55 aA	37,96 aA	33,68 aA	1555 aA	1583 aA	1590 bA
30	150	46,22 aA	44,17 aA	36,78 aA	1485 aA	1518 aA	1578 bA
60	120	47,15 aA	40,51 aA	37,63 aA	1446 aA	1513 aA	1532 bA
Parc. 30		45,19 a	41,68 a	36,42 a	1514 a	1542 a	1576 a
Parc. 60		46,11 a	39,04 a	36,25 a	1482 a	1540 a	1557 a
Épocas		45,46 A	39,59 A	35,84 A	1503 A	1543 A	1571 A

Obs: Médias na mesma coluna e linha, seguidas por letras comuns minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Parc.30 e parc. .60 indicam quando se aplicou 30 e 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura.

O aumento da densidade do solo ocorre nos primeiros 4 a 6 anos após a adoção do SPD. Nesta época, ainda tem-se pouco acúmulo de palhada sobre o solo e menores teores de carbono (Figura 32) em subsuperfície, provenientes do sistema radicular das culturas, que no solo permanecem. Com o decorrer do tempo de adoção do SPD, o problema tende a diminuir. Os valores de densidade do solo variaram entre 1536 a 1722 kg m⁻³, os quais podem ser considerados comprometedores. Segundo Derpsch et al. (1991), valores de $D_s < 1,2 \text{ mg m}^{-3}$ não causam problemas de desenvolvimento radicular. Somente com valores $D_s > 1,2 \text{ mg m}^{-3}$ é possível que existam dificuldades para o crescimento de raízes. Contudo, mesmo em tais casos, a magnitude do problema dependerá também da umidade do solo.

As diferenças entre tratamentos, na profundidade de 0,15 m, foram observadas para macroporosidade após aveia preta e 2º cultivo de milho e para porosidade total, após o 2º cultivo de milho (tabela 22). Os maiores valores de macroporosidade foram obtidos no tratamento 60-120 diferindo significativamente dos tratamentos 60-00 e sem aplicação de N (após aveia preta) e, sem aplicação de N (após 2º cultivo de milho). A porosidade total apresentou maior e menor resultado no tratamento 30-90 e 60-00, respectivamente, os quais não diferiram significativamente dos outros tratamentos. Quanto a épocas de cultivo, a densidade do solo foi o único atributo que apresentou diferenças significativas, na profundidade de 0,15 m, para todos os tratamentos. Os maiores valores foram obtidos após o 1º cultivo (safra 2003/2004) e diferiu significativamente do 2º cultivo de milho, que apresentou os menores resultados (safra 2004/2005). Esses resultados discordam dos obtidos por Assis e Lanças (2005) que, estudando os sistemas de manejo (mata nativa, preparo convencional, plantio direto com um ano, plantio direto com quatro anos, plantio direto com cinco anos e plantio direto com 12 anos) verificaram que o tempo de adoção do sistema plantio direto proporcionou diminuição na densidade do solo na profundidade de 0–0,05 m e não causou alterações na densidade do solo na profundidade de 0,10–0,15 m.

Tabela 22 - Médias e teste de tukey de tratamentos referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo na profundidade de 0,15 m

Tratamentos 1 ^a 2 ^a		Macroporosidade (%)			Microporosidade (%)		
		Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho	Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho
-	-	8,98 aA	6,64 bA	5,02 bA	29,48 aA	30,74 aA	31,97 aA
30	30	8,47 aA	7,29 abA	7,07 aA	30,71 aA	24,97 aA	27,55 aA
60	00	8,16 aA	6,56 bA	5,83 aA	30,50 aA	26,03 aA	29,61 aA
30	90	8,94 aA	7,10 abA	6,00 aA	30,43 aA	29,92 aA	28,99 aA
60	60	10,01 aA	8,10 abA	7,20 aA	30,30 aA	24,66 aA	29,79 aA
30	150	8,59 aA	9,17 abA	7,25 aA	31,37 aA	30,07 aA	28,93 aA
60	120	10,12 aA	9,37 aA	7,33 aA	31,07 aA	24,79 aA	29,30 aA
Parc. 30		8,89 a	7,85 a	6,77 a	30,29 a	28,32 a	29,45 a
Parc. 60		9,07 a	8,01 a	6,79 a	30,67 a	25,16 a	29,73 a
Épocas		8,84 A	7,75 A	6,53 A	30,33 A	27,31 A	29,86 A

Tratamentos 1 ^a 2 ^a		Porosidade total (%)			Densidade do solo (kg m ⁻³)		
		Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho	Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho
-	-	37,45 aA	37,38 aA	36,98 aA	1671 aA	1672 aA	1583 aB
30	30	39,18 aA	34,26 aA	34,63 aA	1665 aA	1722 aA	1582 aB
60	00	38,65 aA	33,94 aA	32,58 aA	1652 aA	1619 aA	1545 aB
30	90	38,37 aA	37,02 aA	34,99 aA	1686 aA	1686 aA	1592 aB
60	60	40,30 aA	37,76 aA	36,99 aA	1660 aA	1683 aA	1560 aB
30	150	39,95 aA	37,24 aA	36,18 aA	1644 aA	1717 aA	1536 aB
60	120	41,18 aA	38,66 aA	36,63 aA	1620 aA	1649 aA	1553 aB
Parc.30		39,18 a	36,17 a	36,22 a	1665 a	1708 a	1570 a
Parc. 60		39,74 a	36,79 a	35,19 a	1643 a	1654 b	1551 a
Épocas		39,17 A	36,41 A	35,50 A	1657 A	1679 A	1564 B

Obs: Médias na mesma coluna e linha, seguidas por letras comuns minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Parc.30 e parc. 60 indicam quando se aplicou 30 e 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura.

Observou-se, também, que mesmo não significativos, os valores de macroporosidade e porosidade total decresceram com o decorrer dos anos, concordando com Stone e Silveira (2001), que observaram, após três ou quatro anos de plantio direto, maiores valores de densidade do solo e microporosidade, e menores valores de macroporosidade e porosidade total.

Nas tabelas 23 e 24 estão apresentadas as médias e teste de Tukey de tratamentos referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo nas profundidades de 0,25 e 0,35 m, respectivamente. As diferenças significativas entre tratamentos foram observadas, somente, para macroporosidade na profundidade de 0,25 m, após o 1º cultivo de milho e densidade do solo após os 1º e 2º cultivos de milho (tabela 23). Os menores valores de macroporosidade e densidade do solo foram obtidos no tratamento 00-00, o que pode implicar em menor desenvolvimento de raízes quando não se aplica N. Isto é comprovado com os maiores valores obtidos nos tratamentos em que foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura, mesmo que estes não tenham sido diferenciados significativamente dos outros tratamentos em que foram aplicados N. Quanto a épocas de cultivos, na profundidade de 0,25 m, todos os atributos, exceto a microporosidade, diferiram significativamente entre si. Para macroporosidade e porosidade total, os valores obtidos após o 1º cultivo foram maiores, diferindo significativamente do 2º cultivo (macro) e da aveia preta e 2º cultivo de milho (porosidade total), ou seja, tais atributos do solo diminuíram após dois anos de plantio direto. No entanto, para a densidade do solo, os valores aumentaram após a aveia preta e voltaram a diminuir após o 2º cultivo de milho, fato interessante de se frisar, já que a macroporosidade também diminuiu após este cultivo. Resultados contrários aos de Carvalho (2000) que, trabalhando com várias sucessões de culturas em plantio direto, concluíram que a densidade do solo aumentou significativamente na camada de 0,20-0,40 m, com o passar dos anos.

Na profundidade de 0,35 m, a porosidade total diminuiu significativamente quando se compararam os dados do 1º cultivo com os de aveia preta e este não apresentou diferenças significativas quando comparado aos do 2º cultivo de milho.

Tabela 23 - Médias e teste de tukey de tratamentos referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo na profundidade de 0,25 m

Tratamentos 1 ^a 2 ^a		Macroporosidade (%)			Microporosidade (%)		
		Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho	Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho
-	-	6,04 bA	5,76 aA	4,19 aA	31,08 aA	29,16 aA	28,61 aA
30	30	8,63 aA	6,46 aAB	4,38 aB	26,89 aA	23,26 aA	26,92 aA
60	00	8,35 abA	6,11 aAB	4,04 aB	33,16 aA	31,24 aA	26,17 aA
30	90	9,02 aA	7,12 aAB	5,17 aB	28,20 aA	28,43 aA	30,33 aA
60	60	8,35 abA	6,95 aAB	4,90 aB	30,63 aA	24,34 aA	29,44 aA
30	150	9,03 aA	7,79 aAB	4,90 aB	28,71 aA	24,87 aA	28,76 aA
60	120	8,92 aA	8,07 aA	5,37 aB	29,69 aA	24,55 aA	26,18 aA
Parc. 30		8,90 a	7,12 a	4,81 a	27,93 a	25,52 a	28,67 a
Parc. 60		8,54 a	7,04 a	4,77 a	31,16 a	26,71 a	27,26 a
Épocas		8,33 A	6,89 AB	4,71 B	29,76 A	26,55 A	28,06 A

Tratamentos 1 ^a 2 ^a		Porosidade total (%)			Densidade do solo (kg m ⁻³)		
		Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho	Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho
-	-	37,12 aA	34,94 aB	32,79 aB	1569 bB	1671 aA	1608 bA
30	30	35,52 aA	29,72 aB	31,29 aB	1687 aB	1714 aA	1692 abA
60	00	41,51 aA	36,34 aB	30,21 aB	1600 aB	1709 aA	1637 abA
30	90	37,22 aA	35,55 aB	34,00 aB	1701 aAB	1734 aA	1684 abB
60	60	38,98 aA	31,29 aB	34,34 aB	1654 aB	1729 aA	1637 abB
30	150	37,73 aA	33,66 aB	34,16 aB	1747 aA	1748 aA	1721 aA
60	120	38,61 aA	34,12 aB	35,06 aB	1705 aAB	1753 aA	1645 abB
Parc. 30		36,82 a	32,97 a	33,15 a	1712 a	1732 a	1640 a
Parc. 60		39,70 a	33,92 a	33,20 a	1653 a	1730 a	1667 a
Épocas		38,10 A	33,66 B	33,12 B	1666 B	1722 A	1660 B

Obs: Médias na mesma coluna e linha, seguidas por letras comuns minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Parc. 30 e parc. 60 indicam quando se aplicou 30 e 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura.

Tabela 24 - Médias e teste de tukey de tratamentos referentes a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo na profundidade de 0,35 m

Tratamentos 1 ^a 2 ^a		Macroporosidade (%)			Microporosidade (%)		
		Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho	Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho
-	-	8,29 aA	5,59 aB	4,13 aB	30,78 aA	26,50 aA	26,71 aA
30	30	9,94 aA	6,48 aAB	4,58 aB	28,22 aA	24,84 aA	24,16 aA
60	00	6,68 aA	5,19 aAB	3,84 aB	32,57 aA	28,97 aA	25,03 aA
30	90	7,83 aA	6,71 aAB	4,28 aB	32,96 aA	28,72 aA	27,62 aA
60	60	10,63 aA	6,56 aB	4,56 aB	30,50 aA	28,56 aA	27,77 aA
30	150	9,64 aA	7,92 aAB	4,61 aB	31,25 aA	26,71 aA	25,68 aA
60	120	9,50 aA	8,07 aA	5,55 aB	30,78 aA	27,33 aA	24,38 aA
Parc. 30		9,14 a	7,03 a	4,49 a	30,81 a	36,75 a	25,82 a
Parc. 60		8,94 a	6,60 a	4,65 a	31,28 a	28,29 a	25,74 a
Épocas		8,93 A	6,64 AB	4,50 B	31,01 A	27,37 A	25,91 A

Tratamentos 1 ^a 2 ^a		Porosidade total (%)			Densidade do solo (kg m ⁻³)		
		Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho	Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho
-	-	39,07 aA	32,08 aB	30,84 aB	1661 aB	1752 aA	1744 aA
30	30	38,16 aA	31,31 aB	28,74 aB	1713 aB	1839 aA	1735 aA
60	00	39,25 aA	34,16 aB	28,87 aB	1683 aB	1713 aA	1766 aA
30	90	40,79 aA	35,43 aB	31,69 aB	1641 aB	1711 aA	1665 aA
60	60	41,13 aA	35,12 aB	31,82 aB	1632 aB	1770 aA	1730 aA
30	150	40,89 aA	34,63 aB	30,79 aB	1611 aB	1717 aA	1734 aA
60	120	40,28 aA	35,40 aB	31,97 aB	1683 aB	1822 aA	1746 aA
Parc. 30		39,95 a	33,79 a	30,41 a	1655 a	1756 a	1711 a
Parc. 60		40,22 a	34,89 a	30,89 a	1666 a	1768 a	1747 a
Épocas		39,94 A	34,02 B	30,67 B	1660 B	1760 A	1731 A

Obs: Médias na mesma coluna e linha, seguidas por letras comuns minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Parc. 30 e parc. 60 indicam quando se aplicou 30 e 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura.

A densidade do solo aumentou significativamente do 1º cultivo de milho (safra 2003/2004) para o cultivo de aveia preta (safra 2004), mas de aveia preta para o 2º cultivo de milho (safra 2004/2005) não se observou diferenças significativas. Este comportamento pode ser explicado pela diminuição da macroporosidade com o decorrer dos anos, já que estes atributos estão intimamente ligados.

Quanto a doses de N (Figura 25), a macroporosidade, na profundidade de 0,05 m, após o 1º cultivo de milho e de aveia preta (prof. 0,15 m) e a porosidade total, após o 2º cultivo de milho, nas profundidades de 0,15 e 0,25 m, os dados ajustaram-se a funções lineares crescentes, ou seja, à medida que aumentam-se as doses de N, a macroporidade e a porosidade total do solo, nas profundidades estudadas, também aumentam, discordando de Lange (2002) que concluiu que as propriedades físicas do solo não foram influenciadas pelas doses de palhadas e N aplicadas em cobertura. O aumento linear da macroporosidade e da porosidade total quanto a doses de N, nas profundidades de 0,15 e 0,25 m, pode ter ocorrido em consequência do ajuste linear a doses de N, obtido para massa de matéria seca das 1ª e 2ª amostragens do 2º cultivo de milho.

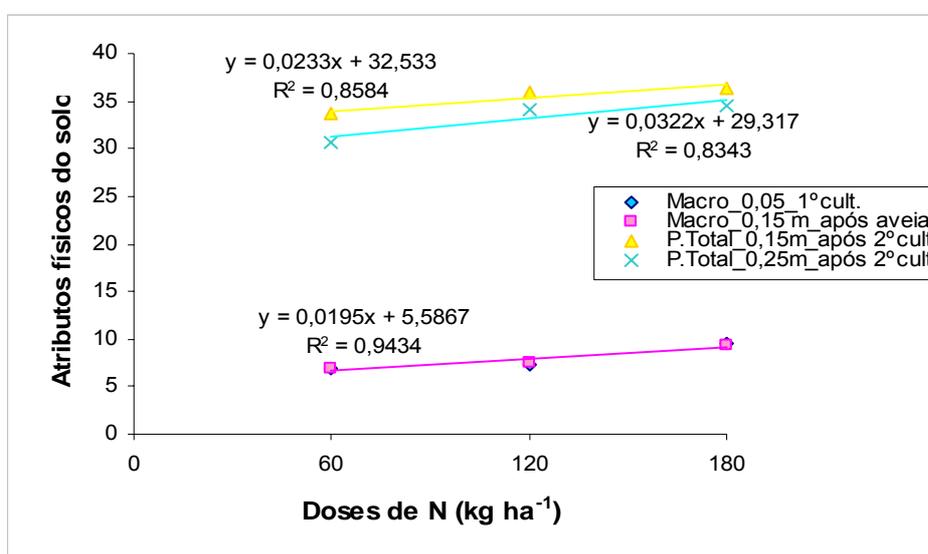


Figura 25 – Macroporosidade, nas profundidades de 0,05 e 0,15 m, após o 1º cultivo de milho e de aveia preta, respectivamente e porosidade total, nas profundidades de 0,15 e 0,25 m, após o 2º cultivo de milho, em função de doses de N

2.3.3.2 N-total no solo após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e após aveia preta (safra 2004)

Nas Tabelas 25 e 26, constam os quadrados médios e coeficientes de variação referentes ao teor de N-total no solo, nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, após os cultivos de milho das safras 2003/2004 e 2004/2005 e aveia preta (safra 2004), respectivamente. Houve efeito significativo para testemunha versus demais para o N-total em todas as camadas e em todos os cultivos, exceto após a aveia preta, na camada de 0,60-0,80 m (Tabela 26).

Tabela 25- Quadrados médios e coeficientes de variação referentes ao teor de N-total no solo, nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 m, após os cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005

Causas de variação	Avaliações após milho – safra 2003/2004			
	N-total 0-0,20m (g kg ⁻¹)	N-total 0,20-0,40 m (g kg ⁻¹)	N-total 0,40-0,60 m (g kg ⁻¹)	N-total 0,60-0,80 m (g kg ⁻¹)
Test. vs demais	0,0077*	0,0091*	0,0111**	0,0138**
Doses N (D)	0,0216**	0,0140**	0,0018	0,0002
Parcelamento (P)	0,0041	0,0001	0,0007	0,0003
D x P	0,0074	0,0035	0,0022	0,0004
Blocos	0,0063*	0,0019	0,0003	0,0016**
Resíduo	0,0014	0,0014	0,0010	0,0010
C.V. (%)	7,62	9,41	10,03	11,96
Causas de variação	Avaliações após milho – safra 2004/2005			
	N-total 0-0,20m (g kg ⁻¹)	N-total 0,20-0,40 m (g kg ⁻¹)	N-total 0,40-0,60 m (g kg ⁻¹)	N-total 0,60-0,80 m (g kg ⁻¹)
Test. vs demais	0,0971**	0,01916**	0,0322**	0,0290**
Doses N (D)	0,0281**	0,0032*	0,0085**	0,0012
Parcelamento (P)	0,0005	0,0001	0,00126	0,0001
D x P	0,0064**	0,0007	0,0016	0,0008
Blocos	0,0015*	0,0010	0,0002	0,0010
Resíduo	0,0005	0,0008	0,0005	0,0010
C.V. (%)	4,98	9,54	8,38	15,42

*e** - Significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 26- Quadrados médios e coeficientes de variação referentes ao teor de N-total no solo, nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-0,80 m, após o cultivo de aveia preta, safra 2004

Causas de variação	Avaliações após aveia preta – safra 2004			
	N-total 0-0,20m (g kg ⁻¹)	N-total 0,20-0,40 m (g kg ⁻¹)	N-total 0,40-0,60 m (g kg ⁻¹)	N-total 0,60-0,80 m (g kg ⁻¹)
Test. vs demais	0,0328*	0,0138**	0,0073*	0,0050
Doses N (D)	0,0050	0,0014	0,0015	0,0003
Parcelamento (P)	0,0077	0,0007	0,0004	0,0000
D x P	0,0067	0,0048	0,0007	0,0000
Blocos	0,0250*	0,0026	0,0004	0,0001
Resíduo	0,0028	0,0009	0,0005	0,0002
C.V. (%)	12,35	8,68	8,05	5,53

*e** - Significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de Tukey.

Quanto a doses de N, o efeito foi significativo para o N-total nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m após o 1º cultivo (safra 2003/2004) e nas camadas 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m para o 2º cultivo de milho (safra 2004/2005). Na interação doses x parcelamento de N, observa-se efeito significativo para o N-total somente na camada de 0-0,20 m no 2º cultivo de milho.

Após o 1º cultivo de milho, o teor de N-total na camada de 0-0,20 m (Figura 26), apresentou maior valor no tratamento 60-120 que diferiu significativamente dos tratamentos 30-30, 60-00 e sem aplicação de N. Tais resultados discordam de Silva et al. (1999) que não verificaram efeitos significativos entre doses e entre parcelamentos de N no teor de N total do solo. Após o cultivo de aveia preta, o tratamento 60-120 também se destacou, porém foi diferente significativamente apenas do tratamento sem aplicação de N. O tratamento que recebeu 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 120 kg ha⁻¹ em cobertura foi o que apresentou maior massa de matéria seca de plantas de milho, então o maior teor de N nesse tratamento pode ser consequência dessa avaliação, pois espera-se que solos sob SPD apresentem acúmulo de MO nas camadas mais superficiais, acumulando também o N, já que 95% ou mais do total no N do solo se encontra sob formas orgânicas (CAMARGO et al. 1999). O teor de N total, na camada de 0-0,20 m foi significativo para tratamentos x épocas (Figura 26). Os maiores teores, para todos os tratamentos, foram observados após o 1º cultivo de milho e depois foi

decrecendo após o cultivo de aveia preta e o 2º cultivo de milho. No entanto, apenas o tratamento em que não se aplicou nitrogênio no milho, diferiu significativamente entre as épocas, demonstrando que sem aplicação de N, o estoque do elemento no solo diminui no decorrer dos anos, com conseqüente redução de produtividade das culturas. Fato interessante, pois com o SPD, o acúmulo de N total no solo ocorre ao longo dos anos (SÁ et al., 2001; CALEGARI, 2004), nas camadas mais superficiais. Teixeira; Testa e Mielniczuck (1994) observaram efeito significativo no N total do solo após três anos de adoção do sistema, apenas na camada de 0-0,025m e após cinco anos, até 0,175m. Guimarães (2000), comparando resultados de análises químicas na implantação e no final dos cultivos, observou um discreto aumento nos teores de matéria orgânica, na camada de 0-0,10 m, em todas as sucessões de culturas estudadas.

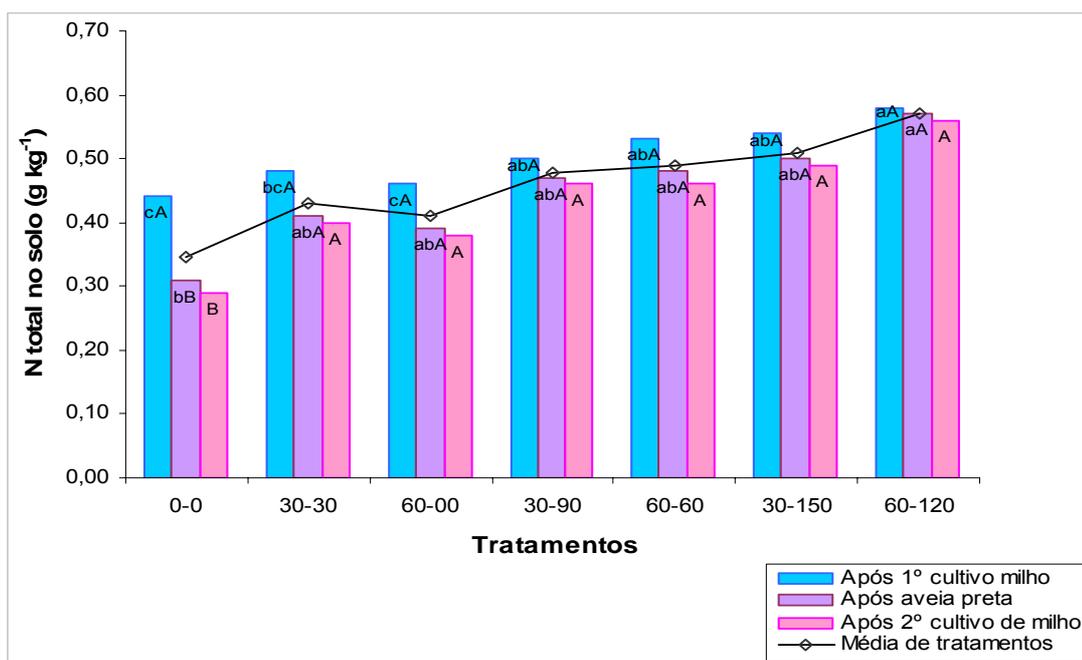


Figura 26- Médias de N-total no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

Desta forma, o fato de não ter havido diferença significativa entre as épocas de cultivo no presente estudo, provavelmente, foi em razão de pouco tempo de implantação do sistema ou então pela época de amostragem do solo, pois nesse período, o nitrogênio imobilizado no solo pode ter sido remineralizado, já que o processo microbiano de mineralização/imobilização é influenciado pelo tipo (relação C/N) e manejo de resíduos (incorporado/superfície), temperatura do solo, regime de água/aeração (AULAKH; DORAN; WALTERS, 1991), sendo intenso em condições óxidas e muito pequena em condições de anoxia (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002), pH e teor de nutrientes no solo (AITA, 1997). Nesse sentido, o N disponível (N mineral) pode ter sido lixiviado ou absorvido pelas plantas, levando a uma diminuição do N total do solo no decorrer dos cultivos. Quanto à absorção pelas plantas, é claramente comprovado quando se observa o alto teor de N acumulado nas plantas, no final do 2º do ciclo do milho, corroborando com Vargas; Selbach e Sá (2005) que, avaliando a imobilização de N no milho em sucessão a aveia preta, observaram que a menor quantidade de nitrogênio acumulado na parte aérea das plantas descarta a possibilidade de que uma maior absorção de nitrogênio pela cultura do milho tenha levado à diminuição dos teores de nitrogênio mineral no sistema plantio direto aos 88 e 112 dias após a semeadura. Os teores variaram após o 1º cultivo de milho, aveia preta e 2º cultivo de milho de 0,044-0,058, 0,031-0,057 e 0,029-0,056 % de N, respectivamente, os quais estão abaixo do mínimo encontrado por Cantarella; Abreu e Berton (1992), para Latossolo Vermelho Amarelo (0,05-0,10 % de N), textura média, do Estado de São Paulo.

A Tabela 27 fornece o desdobramento do parcelamento dentro de doses de N referente ao teor de N-total no solo, na camada de 0-0,20 m, após o 2º cultivo de milho. Quando se aplicou a dose de 180 kg ha⁻¹ de N, o tratamento com a adubação de 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura proporcionou maior teor de N no solo, porém, na dose de 60 kg ha⁻¹ de N, a aplicação de 30 kg ha⁻¹ na semeadura foi a que resultou em maior teor de N-total. No entanto, o aumento da dose de 30 para 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura, nessa dose, não implica, necessariamente, em maior disponibilidade de N para as culturas. Tais resultados discordam de Silva et al. (1999); Costa (2000); Silva et

al. (2005) que demonstraram o efeito não significativo entre os tratamentos de épocas de aplicação (semeadura e cobertura) e doses de N no florescimento e na colheita.

Tabela 27 – Teste de Tukey do desdobramento do parcelamento dentro de doses de N referente ao N total no solo, na camada de 0-0,20 m de profundidade, após o 2º cultivo do milho, safra 2004/2005

		Parcelamento N na semeadura (kg ha⁻¹)	N-total 0-0,20m (g kg⁻¹)
Doses de N (kg ha⁻¹)	60	30	0,42 a
		60	0,38 b
	120	30	0,46 a
		60	0,46 a
	180	30	0,49 b
		60	0,56 a

Obs: Médias na mesma linha, seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Na Figura 27 constam as médias e teste de Tukey entre tratamentos e épocas de cultivos, referentes ao teor de N total, na camada de 0,20-0,40 m. A aplicação de 60 kg ha⁻¹ na semeadura, na dose de 180 kg ha⁻¹ de N foi a que proporcionou maior teor de N-total no solo após o 1º cultivo de milho e após aveia preta, diferindo significativamente do tratamento sem aplicação de N, 60-00 e 30-90 para o 1º cultivo de milho e sem aplicação de N para a aveia preta. Já após o 2ª safra de milho, o teor de N-total no solo apresentou-se maior para os tratamentos em que se aplicou a dose de 180 kg ha⁻¹ de N, independentemente da quantidade de N aplicada na semeadura e cobertura, diferindo significativamente somente do tratamento sem aplicação de N. Entretanto, Campos (2004) observou, em seu experimento, que o aumento da dose de N em cobertura ocasionou uma redução linear no teor de N total, devido, provavelmente, à mineralização e extração do nutriente pelas plantas. O teor de N-total, na camada de 0,20-0,40 m, não apresentou diferenças significativas entre épocas de cultivo.

O teor de N total no solo, em função de doses de N, aumentou linearmente (Figura 28) nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m após a 1ª safra de milho e nas camadas 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m após a 2ª safra de milho (Figura 29), entretanto,

observa-se que os teores de N-total diminuíram com a profundidade, observando-se o mesmo comportamento para o carbono orgânico; fato esperado, pois o teor de carbono orgânico também é diminuído com a profundidade, principalmente no solo sob SPD, pois, como já dito, a implantação do sistema principalmente nas suas condições ambientais, devido ao não revolvimento do solo, produz acúmulo orgânico na superfície, e conseqüentemente, aumento na atividade biológica. Assim, inicialmente, o teor de N-total dessas camadas é aumentado, pois o N é um dos constituintes de compostos orgânicos. No entanto, com o decorrer dos anos, este é acrescentado em profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (2002) que ajustou o teor de N-total a doses de N, das profundidades estudadas, em funções lineares crescentes e também verificou a diminuição do nutriente com o aumento da profundidade.

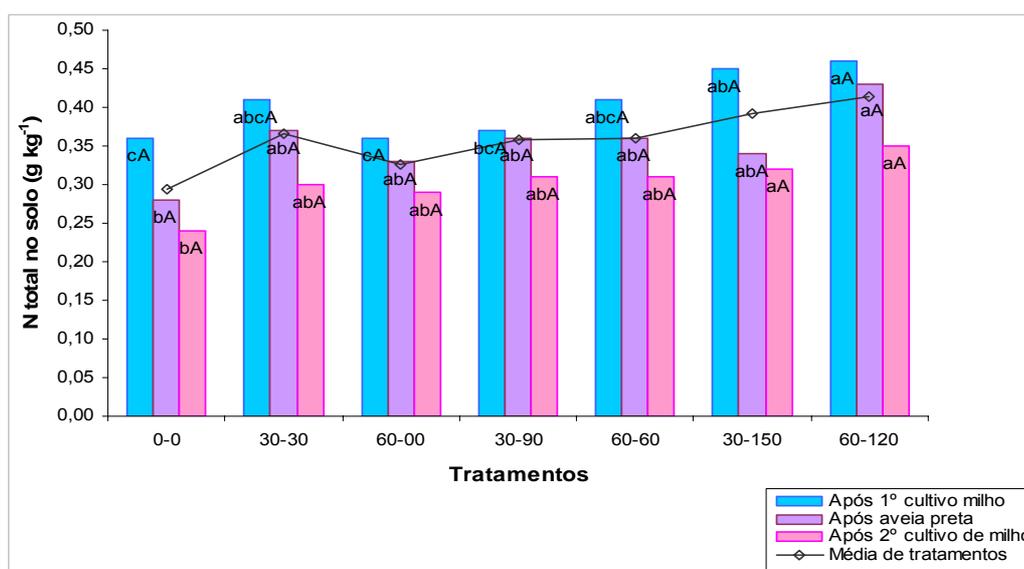


Figura 27 - Médias de N-total no solo, na camada de 0,20-0,40 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

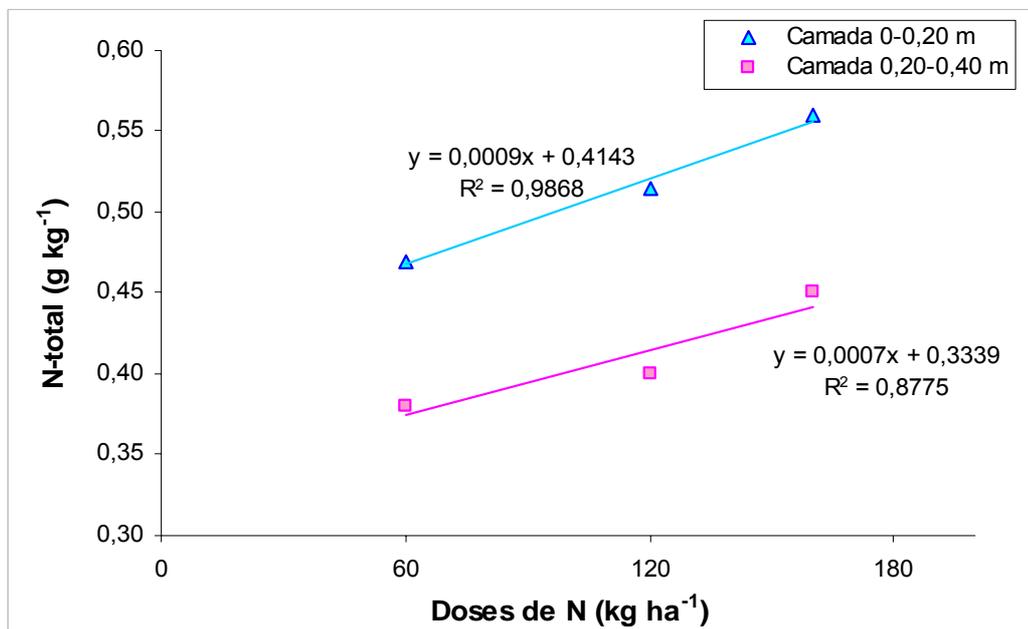


Figura 28 – N-total no solo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, após o cultivo de milho, em função de doses de N, safra 2003/2004

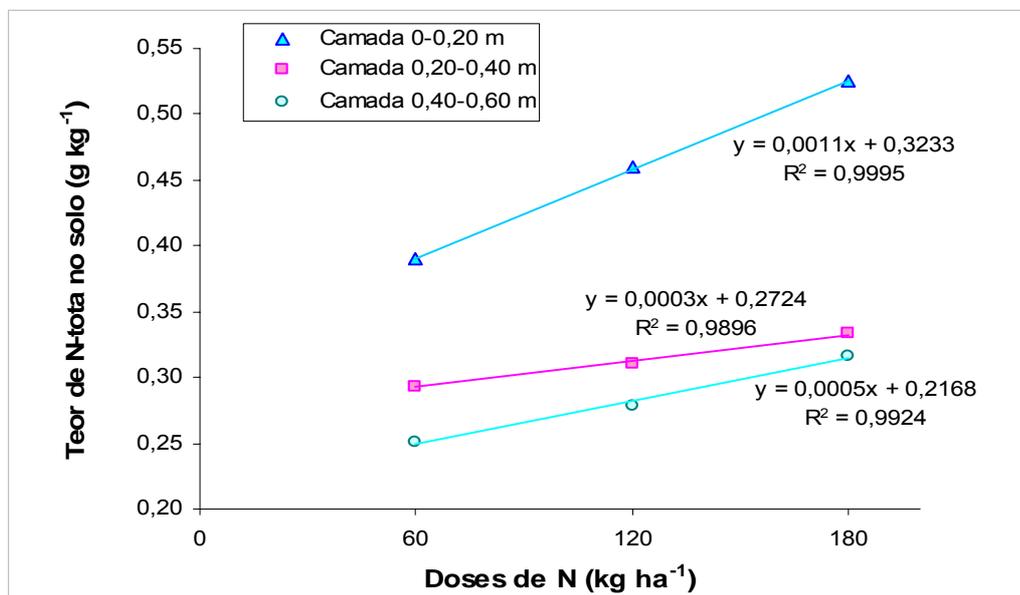


Figura 29 – N-total no solo nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, após o cultivo de milho, em função de doses de N, safra 2004/2005

Após o 1º cultivo de milho, os teores de N-total no solo (Figuras 30 e 31), foram maiores nos tratamentos 60-60 e 60-120, para as camadas 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, respectivamente, e estes diferiram significativamente apenas do tratamento sem aplicação de N. Após o cultivo de aveia preta, o teor de N na camada de 0,40-0,60 m (Figura 30), foi maior, também, no tratamento que recebeu 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Já para a camada de 0,60-0,80 m (Figura 31), não se observou diferença significativa entre os tratamentos, o que indica que mesmo com altas doses aplicadas na cultura do milho e uma alta intensidade de chuva durante o ciclo da aveia, o N não conseguiu atingir essa camada, o que pode ser comprovado observando o decréscimo do elemento quando se comparam os teores de N obtidos na camada, após o 1º cultivo de milho e após a aveia preta. Na camada 0,40-0,60 m (Figura 30), após o 2º cultivo de milho, o tratamento 60-120 proporcionou o maior valor de N-total e diferiu significativamente dos tratamentos 30-30, 60-00, 30-90 e do tratamento que não se aplicou N. Para a camada 0,60-0,80 m (Figura 31), os tratamentos que foram aplicados N, apresentaram maiores valores de N total, diferindo apenas do tratamento sem aplicação de N.

Entretanto, quando se comparam os dados de N-total da camada de 0,60-0,80 m, após o 2º cultivo de milho, com os de aveia preta, percebe-se que houve um aumento do nutriente na camada mais profunda devido, provavelmente, a aplicação de fertilizante nitrogenado na cultura de milho. Entre os cultivos, na camada 0,40-0,60 m (Figura 30), observa-se, para todos os tratamentos, o mesmo comportamento, exceto para os tratamentos 60-60 e 60-120, sendo que nesses, os cultivos não diferiram entre si. Nos tratamentos 30-30, 60-00, 30-90, 60-60 e 30-150 os teores de N foram maiores após o 1º cultivo, diferindo significativamente apenas dos teores encontrados após o 2º cultivo. Para a camada de 0,60-0,80 m (Figura 31), não houve diferença significativa entre os cultivos. Mesmo assim, ainda nessa camada, observou-se um decréscimo do N após cada cultivo.

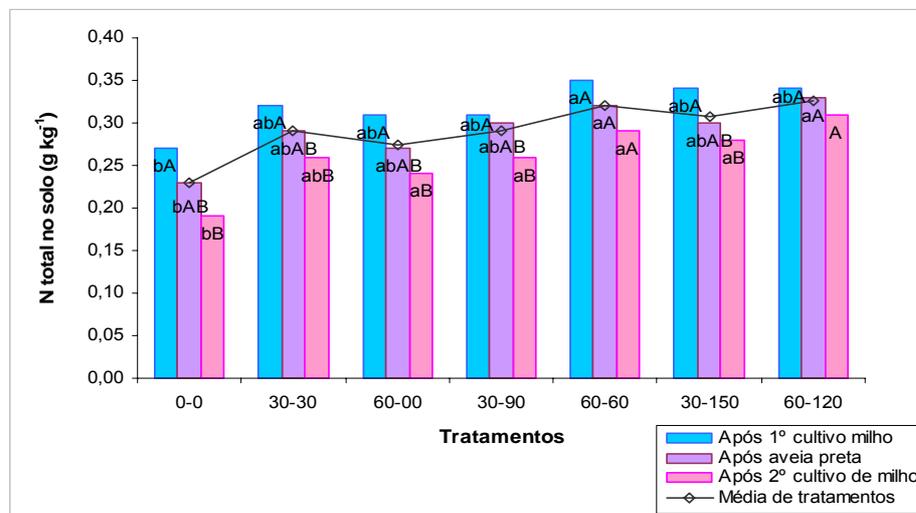


Figura 30- Médias de N-total no solo, na camada de 0,40-0,60 m, após os cultivos de milho (safra 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

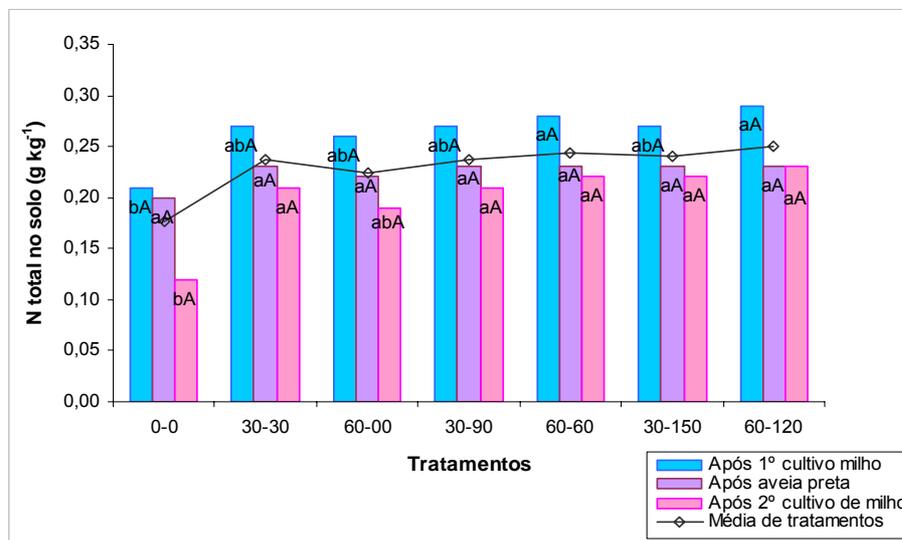


Figura 31- Médias de N-total no solo, na profundidade de 0,60-0,80 m, após os cultivos de milho (safra 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

2.3.3.3 Propriedades químicas do solo após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004)

Nas Tabelas 28, 29 e 30 estão os quadrados médios e os coeficientes de variação para Carbono (C) matéria orgânica (MO), fósforo (P), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) na camada de 0-0,20 m, após o 1º cultivo de milho, de aveia preta e do 2º cultivo de milho, respectivamente. Após o 1º cultivo de milho (safra 2003/2004), os resultados (Tabela 28) foram significativos para testemunha versus demais e doses de N para o teor de K, SB, CTC e V(%). Na Tabela 29, os resultados de teores de MO, após o cultivo de aveia preta, foram significativos para testemunha versus demais e doses de N, o C, para doses de N e o K para doses de N e parcelamento. Os teores de MO, P, K, Ca, pH, SB CTC e V(%) (Tabela 30), após o 2º cultivo de milho (safra 2004/2005) apresentaram resultados significativos para testemunha versus demais. Para doses de N, os resultados de K, Ca, Mg, pH, SB, CTC e V(%) forneceram valores significativos, mas dentre esses, somente pH, SB, CTC e V(%) foram significativos para parcelamentos. No entanto, o único elemento em que se observou significância para doses x parcelamentos foi o pH avaliado após o 2º cultivo de milho.

Já para efeito de médias de tratamentos entre épocas, todas as propriedades químicas apresentaram resultados significativos, exceto a acidez potencial, mesmo somente com o início do sistema de semeadura direta.

Para o carbono (C) no solo (Figura 32), as diferenças não foram significativas nem para tratamentos e nem entre cultivos. Observa-se, porém, um aumento no teor de C quando se aumentam as doses de N, em todos os cultivos, mas este teor decresce no decorrer dos anos. Lange (2002) também observaram que as diferentes doses de N aplicadas em cobertura durante dez anos de SPD não influenciaram os teores de C ao final deste período, para as diferentes profundidades estudadas.

Tabela 28- Quadrados médios e coeficientes de variação referentes a carbono (C) matéria orgânica (MO), fósforo (P), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) na camada de 0-0,20 m após o 1º cultivo de milho, safra 2003/2004

Causas de variação	C (%)	MO (g dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg
				(mmolc dm ⁻³)		
Test. vs demais	1,20	0,63	2,11	0,05*	11,44	56,68
Doses N (D)	2,88	3,10	15,08	0,08**	27,58	55,75
Parcelamento (P)	1,04	0,07	0,05	0,01	44,08*	18,75
D x P	0,80	6,56	0,75	0,01	5,58	9,25
Blocos	1,15	11,89	61,74	0,02	7,14	200,64*
Resíduo	1,04	1,90	23,87	0,07	5,64	9,81
C.V. (%)	13,13	10,58	32,29	26,51	10,20	17,33
Causas de variação	pH em CaCl ₂	Al	H+Al	SB	CTC	V (%)
		(mmolc dm ⁻³)				
Test. vs demais	0,58	0,41	12,19	114,22*	51,77*	93,35*
Doses N (D)	0,32	0,85	8,08	150,10**	127,77**	63,48**
Parcelamento (P)	0,04	0,01	0,33	121,88**	109,47*	41,21*
D x P	0,01	0,02	0,58	11,53	11,91	0,73
Blocos	4,57	22,89**	132,07**	287,71**	29,92	595,15**
Resíduo	0,26	1,19	2,07	8,27	6,97	11,20
C.V. (%)	9,54	30,28	11,26	6,91	4,85	4,41

*e** - Significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de Tukey.

Comportamento semelhante foi observado para matéria orgânica (MO), já que o C é constituinte da matéria orgânica (MO) (Figura 33), pois fica evidente que existem diversos fatores como tipo de solo e condições climáticas, responsáveis por controlar o estoque de C no solo e que a interação entre esses fatores condicionarão em uma maior ou menor capacidade do solo em reter essa fração (BAYER; BERTOL, 1999). Estas condições refletirão diretamente numa maior ou menor atividade biológica do solo, contribuindo assim para a mineralização e decomposição da MO, resultando em diferentes teores de C no solo. Ressalta-se ainda que o tempo de adoção do SPD para cada localidade pode também influenciar este atributo, já que a estabilização do sistema ocorre após cinco a seis anos da implantação.

No entanto, para a MO após a aveia preta (Figura 33), os tratamentos diferiram significativamente entre si. O tratamento em que foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de

N na semeadura e 120 kg ha⁻¹ em cobertura, proporcionou o maior valor de MO, após o cultivo de aveia preta, diferenciando apenas do tratamento sem aplicação de N. Provavelmente, este fato pode ser atribuído ao maior acúmulo de resíduos vegetais obtidos nesse tratamento, advindo da massa seca de plantas de milho do 1º cultivo e principalmente dos resíduos de aveia preta. Aidar et al. (2000), quando estudaram cinco diferentes fontes de resíduos para cobertura morta, em Latossolo vermelho de alta fertilidade, na região do Brasil central, verificaram que, dentre as principais culturas anuais, apenas os restos culturais do milho apresentaram um quantitativo suficiente, no que se refere à cobertura morta para a proteção adequada da superfície do solo.

Tabela 29- Quadrados médios e coeficientes de variação referentes a carbono (C) matéria orgânica (MO), fósforo (P), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) na camada de 0-0,20 m após o cultivo de aveia preta, safra 2004

Causas de variação	C (%)	MO (g dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg
				(mmolc dm ⁻³)		
Test. vs demais	1,61	6,09*	2,57	0,00	15,43	42,86
Doses N (N)	3,13*	5,81*	1,32	0,81**	27,08	37,00
Parcelamento (P)	2,65	4,26	4,94	0,05*	60,75	21,33
D x P	0,02	0,56	6,56	0,01	5,25	9,33
Blocos	0,12	0,01	2,84	0,00	3,50	37,79
Resíduo	0,52	0,88	2,96	0,01	8,50	46,29
C.V. (%)	9,89	7,35	17,23	10,43	11,24	30,41
Causas de variação	pH em CaCl ₂	Al	H+Al	SB	CTC	V (%)
		(mmolc dm ⁻³)				
Test. vs demais	0,33	0,01	0,20	110,99	101,98	13,75
Doses N (D)	0,14	0,12	1,58	97,57	75,27	31,37
Parcelamento (P)	0,04	0,01	0,00	159,43	159,43	17,02
D x P	0,05	0,02	1,75	17,14	14,21	8,92
Blocos	0,60	0,60	64,29	68,31	0,06	197,91*
Resíduo	0,62	0,02	2,62	66,58	63,66	14,38
C.V. (%)	6,22	9,08	13,17	17,81	13,74	7,84

*e** - Significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 30 - Quadrados médios e coeficientes de variação referentes a carbono (C) matéria orgânica (MO), fósforo (P), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) na camada de 0-0,20 m após o 2º cultivo de milho, safra 2004/2005

Causas de variação	C	MO	P	K	Ca	Mg
	(%)	(g dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(mmolc dm ⁻³)		
Test. vs demais	1,00	3,37*	7,99*	0,06**	102,96*	19,05
Doses N (D)	0,32	0,87	0,50	0,26**	50,25*	20,08*
Parcelamento (P)	0,02	0,00	4,08	0,00	200,08**	16,33
D x P	0,02	0,00	1,73	0,00	40,58	1,58
Blocos	0,19	1,02	0,88	0,01	3,50	5,79
Resíduo	0,28	0,54	1,32	0,00	8,83	3,79
C.V. (%)	8,80	7,01	26,89	18,78	17,12	22,51
Causas de variação	pH em CaCl ₂	Al	H+Al	SB	CTC	V
		(mmolc dm ⁻³)				(%)
Test. vs demais	1,89**	0,84	12,96	217,77*	124,47*	310,29*
Doses N (D)	0,93**	1,17	3,25	136,17*	106,10*	126,15*
Parcelamento (P)	0,96*	2,80	10,08	332,77*	227,00**	393,09**
D x P	0,44*	0,40	9,08	54,79	22,65	77,19
Blocos	0,15	1,58	37,79	17,45	106,59*	100,83
Resíduo	0,06	1,65	6,61	22,76	13,35	58,21
C.V. (%)	4,95	28,50	20,82	18,12	9,45	11,44

*e** - Significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de tukey.

Contudo, observa-se, também, que os teores de MO do solo ficaram, praticamente, na faixa de 11,0 a 15,0 g dm⁻³, considerada abaixo da faixa média observada por Lopes (1984), que, em estudos de solo sob cerrados, verificou que a maioria das amostras apresentou valores entre 15 a 30 g dm⁻³ e considerou esses níveis como médios.

Os teores de fósforo (P) (Figura 34) não foram significativos entre os tratamentos em todos os cultivos. Matowo et al. (1999) também não observaram redução nos teores de P no solo em função da aplicação de fertilizantes nitrogenados em SPD. Os teores obtidos variaram de 12,78 a 16,81 mg dm⁻³ após o 1º cultivo de milho, de 7,71 a 11,73 mg dm⁻³ após o cultivo de aveia preta e de 2,63 a 5,26 mg dm⁻³ após o 2º cultivo de milho.

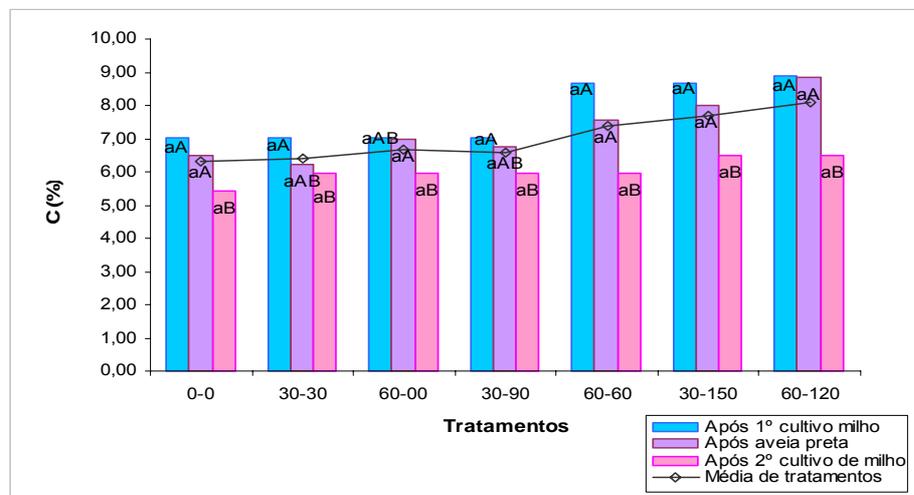


Figura 32 - Médias de teor de carbono no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

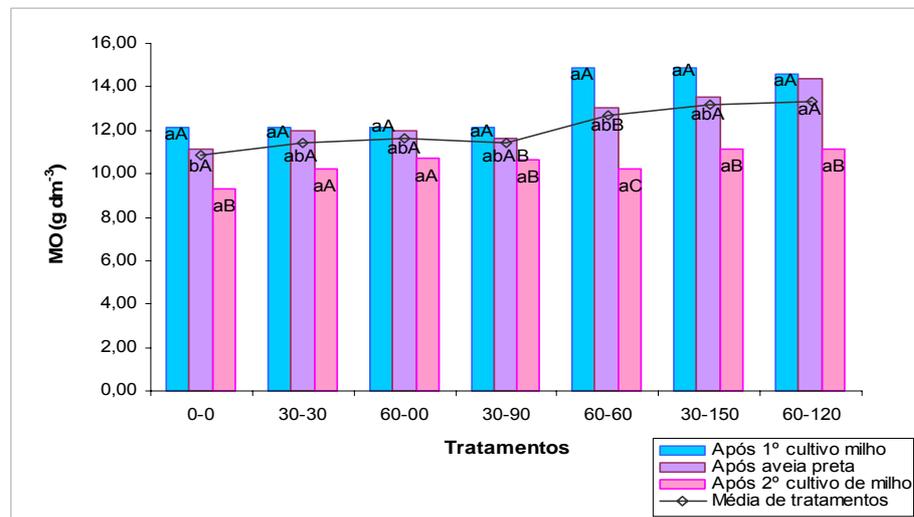


Figura 33 - Médias de teor matéria orgânica no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

As faixas variaram de baixo a muito baixo, segundo Raij et al. (1997), embora a adubação fosfatada tenha sido feita na adubação de base, na implantação de cada cultivo, de acordo com as recomendações de adubação para o Estado de São Paulo (RAIJ et al. 1997). Observa-se, entretanto, que, em todos os tratamentos, o teor de P decresce após cada cultivo, discordando de Falleiro et al. (2003) que, estudando diferentes sistemas de preparo, concluíram que o tratamento sob PD apresentou teores de P disponível superiores aos demais tratamentos, na média das três profundidades estudadas (0-5, 5-10 e 10-20 cm). A redução drástica do teor de P observada entre os cultivos, pode estar ligada a menor ciclagem do nutriente pelo sistema milho-aveia-milho estudado no presente experimento, devido, provavelmente, à diminuição da matéria orgânica do 1º até o 2º cultivo de milho, o que pode ter favorecido o processo de fixação de P e também responsável por uma baixa liberação de formas orgânicas do P, pois segundo Cantarella; Abreu e Berton (1992), 2/3 a 1/2 do P total no horizonte superficial do solo encontra-se na forma orgânica. Para Ball-Coelho et al. (1993), fatores como presença de raízes e maiores teores de MO nas camadas mais superficiais induzem aumento da atividade microbiana e da enzima fosfatase, aumentando a ciclagem do nutriente.

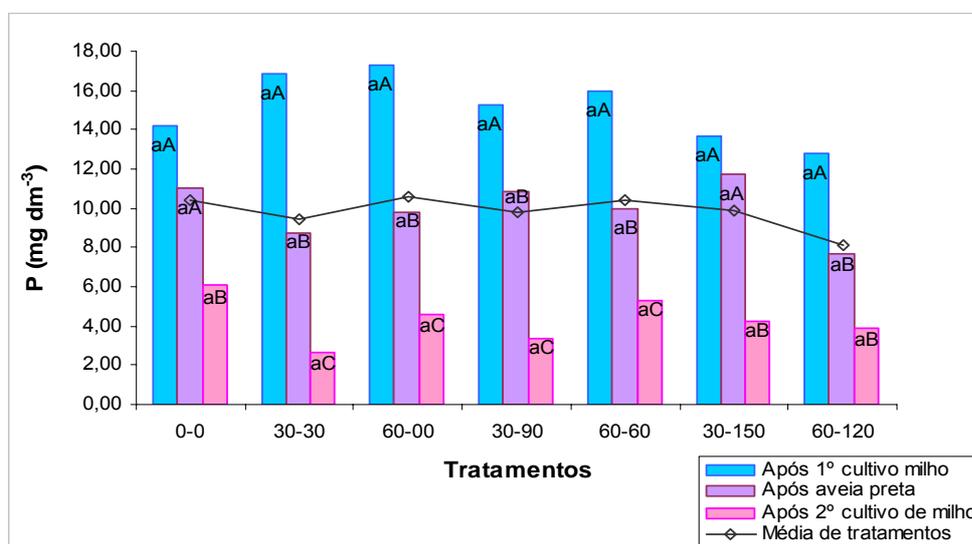


Figura 34 - Médias de teor de fósforo no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004).

Na Figura 35, observa-se que, no 1º cultivo de milho, o teor de potássio (K) no solo foi maior nos tratamentos 30-150 e 60-120 que diferiram significativamente dos tratamentos 30-30, 60-00 e sem aplicação de N, discordando de Silva e Buzetti (1999) e Lange (2002), pois os dados de K obtidos em seus experimentos não foram influenciados pelas doses de N aplicadas. Estes teores também aumentaram do 1º cultivo para o cultivo de aveia preta. O acréscimo de teor de K no solo, deveu-se, provavelmente, a uma maior absorção do elemento pela cultura do milho, nesse tratamento, juntamente com N, já que N e K são os dois nutrientes mais absorvidos pela cultura do milho (YAMADA, 1997). A maior parte do K presente no tecido das plantas se encontra na forma iônica, sem participar na formação de compostos orgânicos estáveis (BARTZ, 2005), por isso este nutriente pode ser extraído (lavado) facilmente dos tecidos, tanto pela água das chuvas como pela própria umidade do solo, sem a necessidade de mineralização dos resíduos, o que pode ter gerado, no 1º cultivo o acúmulo de K na camada de 0-0,20 m. Por outro lado, o abaixamento do teor de K entre os cultivos de aveia preta e 2º cultivo de milho, em todos os tratamentos, e ao teor próximo de 0, nos tratamentos 30-150 e 60-120, após o 2º cultivo, pode ter sido em consequência da redução de pH, causado pela aplicação de N e também pelo processo de lixiviação do nutriente. Esses resultados evidenciam a rapidez do esgotamento desse nutriente em função da baixa capacidade de retenção de água em solo de textura arenosa. Entretanto, todos os tratamentos apresentaram resultados considerados muito baixos para os solos do Estado de São Paulo (RAIJ et al., 1997), exceto os teores de K dos tratamentos 30-90 e 60-60, obtidos após a aveia preta. Para Falleiro et al. (2003), a diminuição do K disponível na camada superficial do solo em SPD está relacionada com sua permanência na palhada, visto que, na semeadura direta não há revolvimento do solo e, quando da amostragem, não é amostrada a palhada. Quanto a doses de N, os teores de K ajustaram-se para o 1º cultivo a uma função linear crescente, para a aveia preta, uma função quadrática e para o 2º cultivo de milho, a uma função linear decrescente (Figura 36).

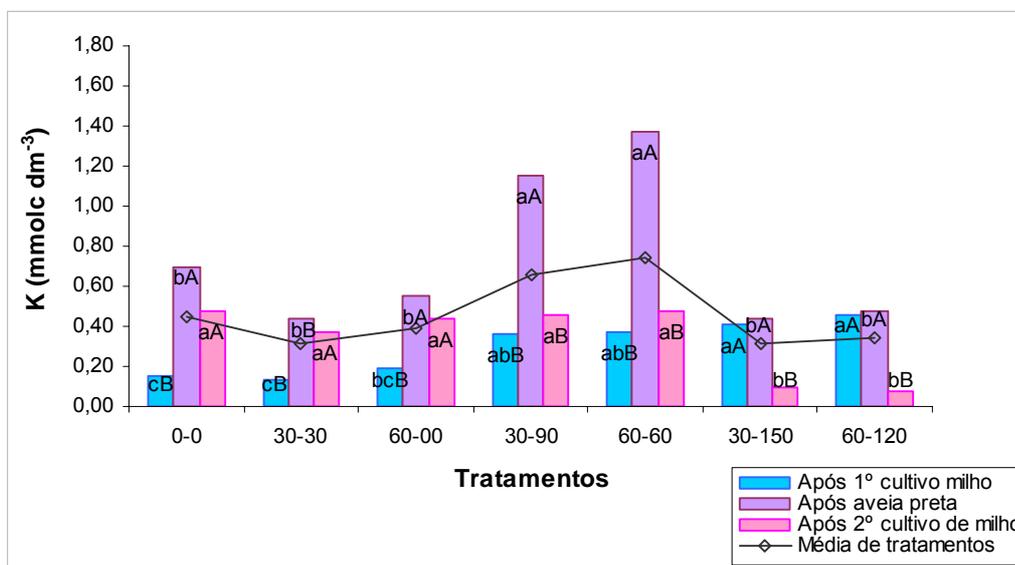


Figura 35 - Médias de teor de potássio no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

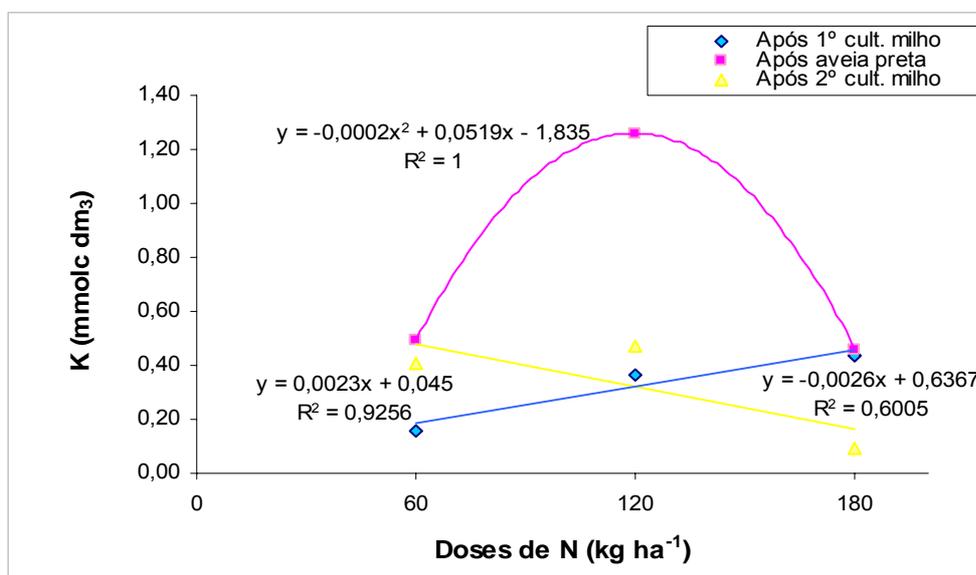


Figura 36 – Teor de potássio em função de doses de N, após a 1ª safra (2003/2004) e 2ª safra (2004/2005) de milho e após a de aveia preta

Os teores de alumínio trocável (Al) (Figura 37) e acidez potencial (Figura 38) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos e nem entre os cultivos. Variaram de 11,0 a 18,0 mmolc dm⁻³ (H+Al) e de 1,30 a 3,55 (Al), valores considerados baixos para condições de cerrado (LOPES, 1984), discordando de resultados obtidos por Campos (2004) que observou que aplicação crescente de doses de N em cobertura, aumentou linearmente o teor de Al. Devido aos valores baixos de Al, pode-se, provavelmente descartar qualquer toxidez por Al pelas plantas. Entretanto, percebe-se uma diminuição do teor de Al e H+Al do 1º cultivo de milho para o cultivo de aveia preta. Posteriormente (após o 2º cultivo de milho), os teores do elemento tornaram a aumentar, pois o milho foi novamente fertilizado com sulfato de amônio e, de acordo com Anghinoni e Salet (1996), a reação dos adubos nitrogenados na superfície do solo formam uma “frente de acidificação” que aumenta com a profundidade e, paralelamente, ocorre um aumento do teor de Al trocável.

A diminuição do Al e do H+Al, após o cultivo de aveia preta, pode ter ocorrido devido à capacidade de neutralização desses elementos pelos resíduos do adubo verde, pois estudos realizados por Cassiolato et al. (1999) e Miyazawa et al. (1999), concluíram que a intensidade da neutralização da acidez potencial e Al trocável de solo ácido por extratos vegetais foi maior quando se utilizaram os resíduos de nabo forrageiro, tremoço azul e aveia preta. Além disso, sistemas de manejo que aumentam a matéria orgânica do solo reduzem a atividade do Al na solução pela formação de complexos estáveis (MIELNICZUK, 2004). Franchini et al. (1999), afirmaram que a redução da toxidez de Al após a aplicação de resíduos vegetais ocorre por dois processos químicos: hidrólise devido ao aumento de pH e complexação por ácidos orgânicos.

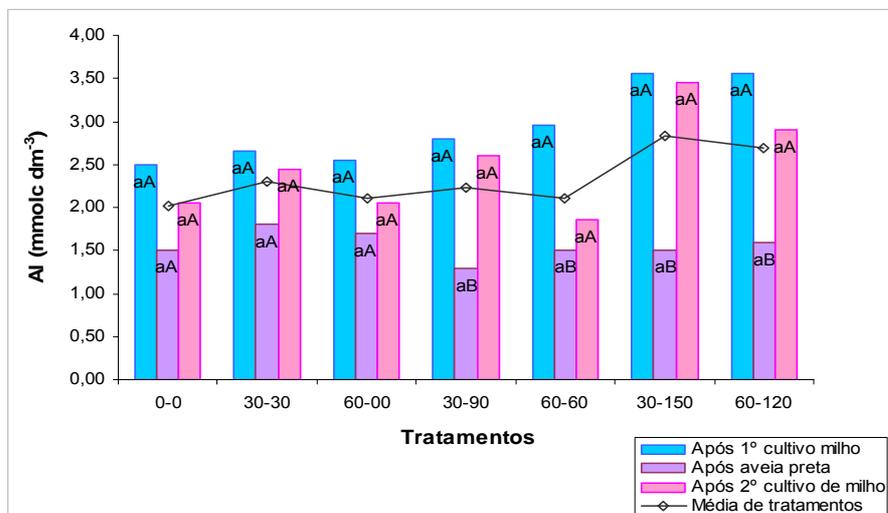


Figura 37 - Médias de teor de alumínio trocável no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

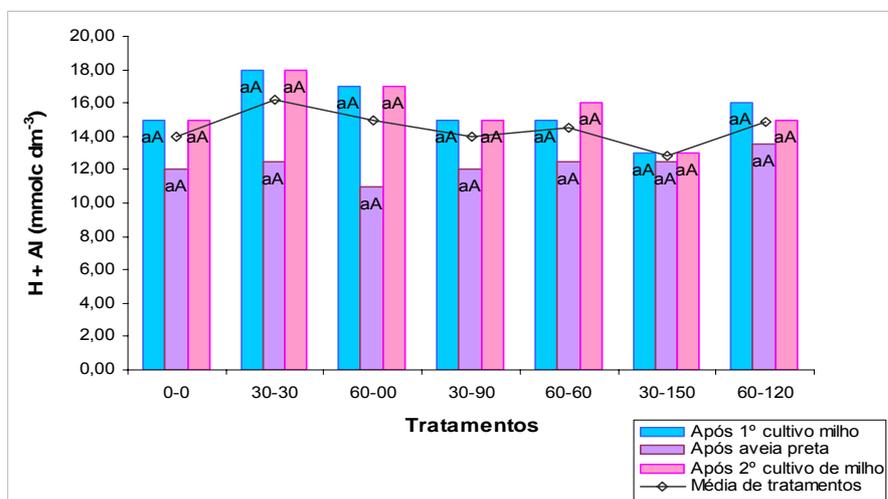


Figura 38- Médias de acidez potencial no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

De modo geral, os valores de pH (Figura 39) encontrados nos tratamentos em que foram aplicados N, ficaram abaixo de 5,6, o que sugere, segundo Caires; Banzatto e Fonseca (2000), a necessidade de calagem superficial. Entretanto, segundo os critérios de Rajj et al., (1997), a acidez encontrada nos tratamentos variou, para o 1º cultivo de milho, de alta a baixa (4,92 a 5,80), após o cultivo de aveia preta, de alta a média (4,89 a 5,54), e para o 2º cultivo de milho, de muita alta a baixa (4,16 a 5,64). Verificou-se que os valores mais baixos de pH, após todos os cultivos foram obtidos nos tratamentos em que foram aplicadas as doses de N de 180 kg ha⁻¹. Entretanto, após o 1º cultivo de milho (safra 2003/2004) e aveia preta (safra 2004), não se observaram diferenças significativas entre os tratamentos. Contudo, após o 2º cultivo de milho, os tratamentos 30-150 e 60-120 resultaram em menores valores de pH, conseqüentemente maior acidez do solo, diferindo significativamente dos outros tratamentos. A ação acidificante de fertilizantes nitrogenados foi assinalada por vários autores, especialmente em que áreas que se cultiva o milho, associado a altas doses de N (MUZZILI, 1983; STALEY; BOYER, 1997; MATOWO et al., 1999; FRANCHINI et al., 2000; CAMPOS, 2004). Entre os cultivos, os tratamentos 60-00 e sem aplicação de N proporcionaram uma redução de pH após aveia preta, e, posteriormente (após o 2º cultivo de milho), houve, novamente, um pequeno acréscimo. Entretanto, nos tratamentos restantes (30-90, 60-60, 30-150 e 60-120) ocorreu um decréscimo de pH após cada cultivo, o que implica que a acidificação do solo é acentuada quando se aplicam fertilizantes nitrogenados em cobertura, na cultura do milho.

Os teores de cálcio (Ca) para os diferentes tratamentos estão apresentados na Figura 40 e de magnésio na Figura 41. O tratamento 30-150 diferiu significativamente somente dos tratamentos 00-00 e 60-00, após todos os três cultivos, exceto para o Mg, após o cultivo de aveia preta. Lange (2002), também observou que diferentes doses de N aplicadas em superfície, influenciaram significativamente os teores de Ca até 0,10 m e os de Mg até 0,2 m de profundidade. Os maiores valores de Ca e Mg disponíveis foram observados nos tratamentos que não se aplicou o fertilizante nitrogenado em cobertura. Campos (2004) verificou uma redução linear de teores de Ca e Mg, 30 dias após a cobertura nitrogenada do milho a medida que aumentaram as doses de N em cobertura.

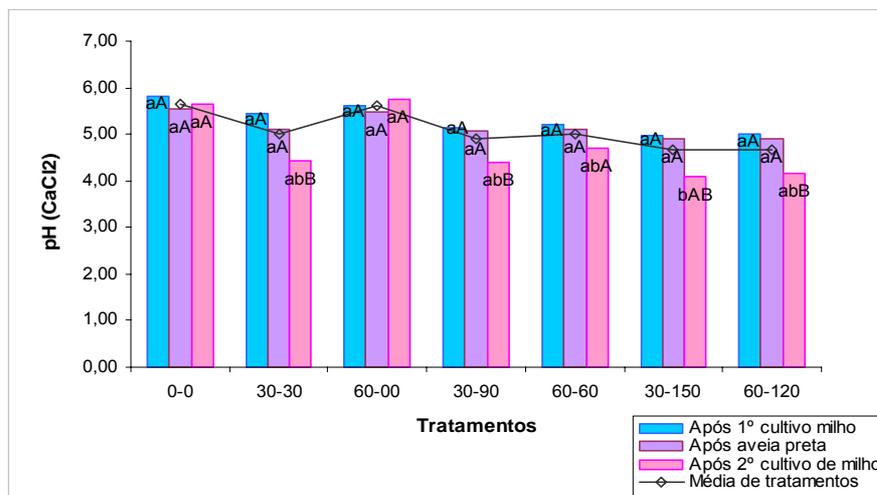


Figura 39 - Médias de pH do solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

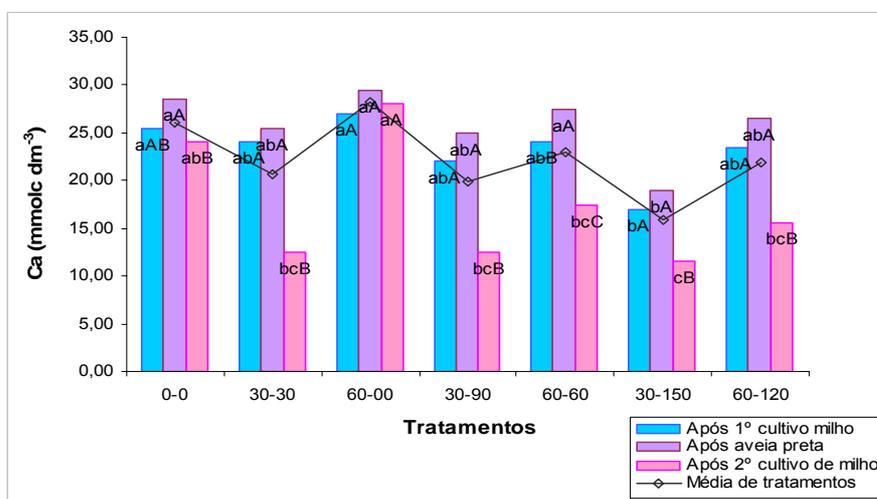


Figura 40 - Médias de teor de cálcio no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

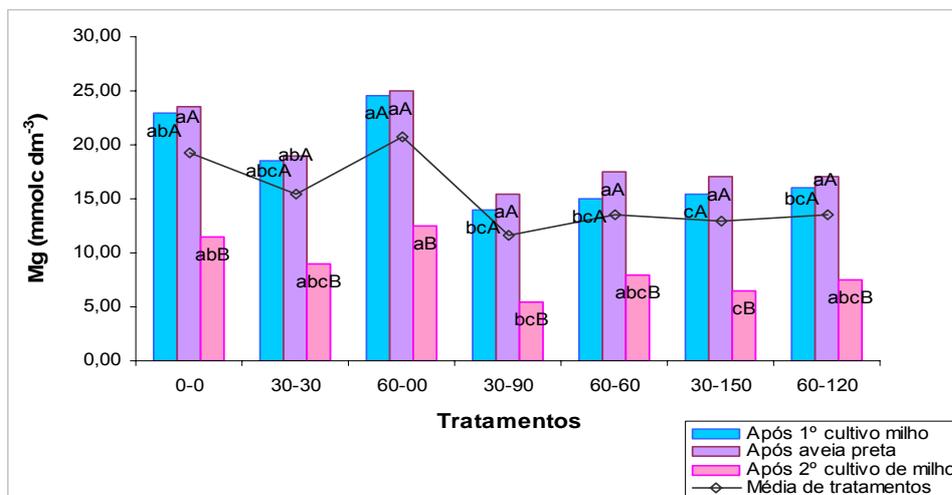


Figura 41- Médias de teor de magnésio no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

E os menores valores de Ca e Mg obtidos, para todos os cultivos, foram nos tratamentos que se aplicou 30 kg ha^{-1} de N na semeadura e 150 kg ha^{-1} de N em cobertura e 60 kg ha^{-1} de N na semeadura e 120 kg ha^{-1} de N em cobertura (maiores doses de N). Isto é um reflexo de acidificação do solo provocado pela adubação nitrogenada.

Segundo Muzilli (1983), Vale et al. (1997) e Franchini et al. (2000), a aplicação de fertilizantes amoniacais causa acidificação do solo e faz com que cargas negativas do solo sejam bloqueadas pelo Al, impedindo a adsorção de cátions básicos, tais com Ca e Mg. Assim esses cátions serão mais facilmente perdidos por lixiviação, o que resulta em menos teores de Ca e Mg nas maiores doses de N aplicadas. O comportamento do Ca e Mg entre os cultivos foi semelhante ao do Al e H+Al, ou seja, os teores dos nutrientes apresentaram-se menores após o 1º cultivo de milho, posterior a cultura de aveia preta houve um acréscimo e após o 2º cultivo de milho novamente ocorreu um decréscimo dos teores de Ca e Mg. O aumento dos teores após os cultivos de aveia foi, provavelmente, devido à redução do teor de Al e H+Al nesse período, pois como já discutido, a aveia preta possui uma alta capacidade de neutralização de acidez

do solo. Contudo, os teores médios de Ca presentes no solo (Figura 40) estiveram em concentrações entre 11,50-28,50 mmolc dm⁻³ e os teores médios de Mg (Figura 41) observados variaram de 5,50 e 25,0 mmolc dm⁻³, teores muito altos comparados aos citados por Raji et al. (1997).

Quanto a doses de N, após o 2º cultivo do milho, o Ca e Mg responderam linearmente (Figura 42), demonstrando que, com o aumento da dose de N, os teores de Ca e Mg diminuíram, por outro lado, os resultados de Matowo et al. (1999), não condizem com os observados, pois esses autores não encontraram redução nos teores de Ca em função do aumento da aplicação de N. Entretanto Paiva (1990), também observou redução significativa nos teores de Mg, na profundidade de 0 a 0,02 m, em função da aplicação de fertilizantes nitrogenados, após 7 anos de cultivo.

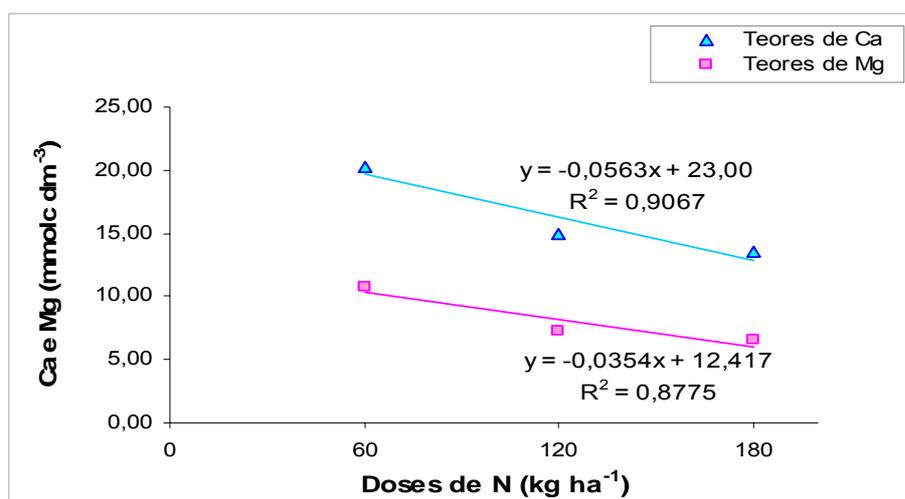


Figura 42 – Teor de cálcio e magnésio em função de doses de N, após o 2º cultivo de milho, safra 2004/2005

Os teores médios de soma de bases (SB) (Figura 43) variaram de 17,4 a 55,06 mmolc dm⁻³ (0-0,20 m) para os diferentes tratamentos. Os dados relativos aos teores de capacidade de troca catiônica (CTC) constam na Figura 44, variando de 31,0 a 66,06 mmolc dm⁻³, para os quais são verificadas similaridades de comportamento aos teores de Ca, Mg e SB, já que essas propriedades estão intimamente ligadas. Os resultados em cada tratamento diferiram significativamente, para valores obtidos após o 1º e 2º cultivos de milho. De acordo com Lange (2002) as diferentes doses de N

aplicadas em superfície influenciaram significativamente a SB e CTC no solo até 0,20 m. A variação de valores obtidos em SB ocorreu, devido, principalmente, aos teores de Ca e Mg e também H+Al para CTC, proporcionando similaridade de comportamento entre essas propriedades, uma vez que os teores de K no solo, no 1º cultivo de milho e após aveia preta, não foi diminuído com o aumento das doses de N. Paiva (1990) também observou que a aplicação anual de 90 kg ha⁻¹ de N, como sulfato de amônio, na cultura do milho em SPD, provocou redução significativa nos valores de SB até 0,20 m de profundidade, após sete anos de cultivo. Os menores valores de SB e CTC, após o 1º e 2º cultivos de milho foram sempre observados na maior dose de N, reflexo da acidificação provocada pela adubação nitrogenada e conseqüente perda de Ca para o 1º cultivo e Mg para o 2º cultivo de milho, por remoção pelas culturas ou por lixiviação.

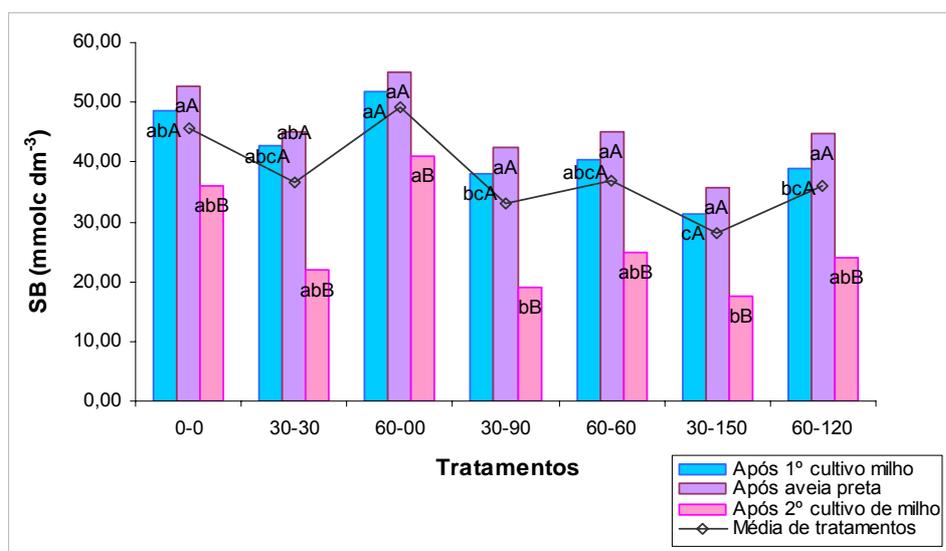


Figura 43 - Médias de soma de bases no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

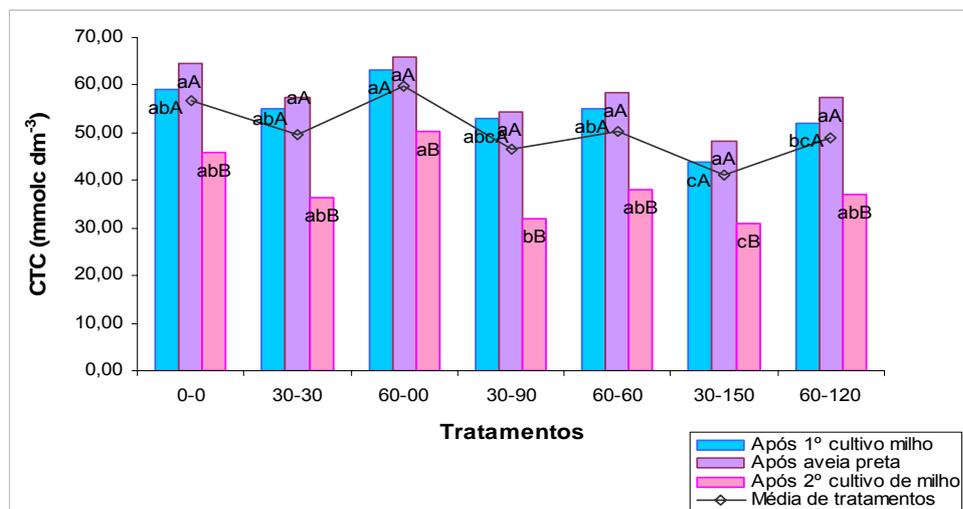


Figura 44- Médias de capacidade de troca catiônica no solo, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

Resultados semelhantes são documentados por Juo; Dabiri e Franzluebbers (1995), que observaram redução de CTC pela aplicação de adubos nitrogenados em solos cultivados sob plantio direto. Os teores médios de saturação por bases (V%) estão na Figura 45. Os valores encontrados variaram de 74 a 82% (após o 1º cultivo de milho), 74 a 83% (após a aveia preta) e 55 a 81 (após o 2º cultivo de milho), revelando resultados maiores de V%, em todos os cultivos, nos tratamentos que não receberam N em cobertura (0-0 e 60-00). Já os menores teores foram observados nas maiores doses de N. Essa tendência foi observada para Ca, Mg, K, SB e CTC, os quais são responsáveis pela maior ou menor saturação por bases nos solos, além da matéria orgânica. Porém, como já observado, a matéria decresceu após cada cultivo, em todos os tratamentos estudados. Quanto a doses de N (Figuras 46 e 47), a SB, CTC e V% ajustaram os dados a funções lineares decrescentes para o 1º e 2º cultivo de milho, respectivamente.

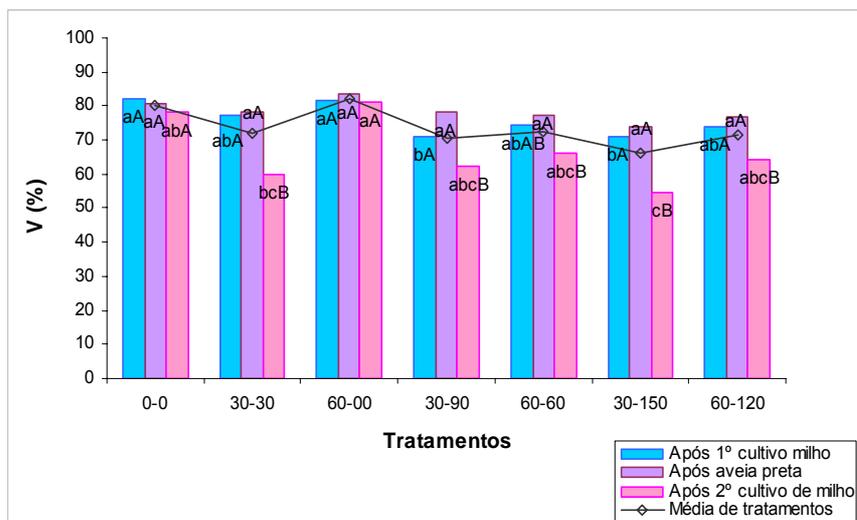


Figura 45- Médias de saturação por bases, na camada de 0-0,20 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004). Obs. Médias seguidas por letras comuns minúsculas e maiúsculas dentro e entre cultivos respectivamente, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey

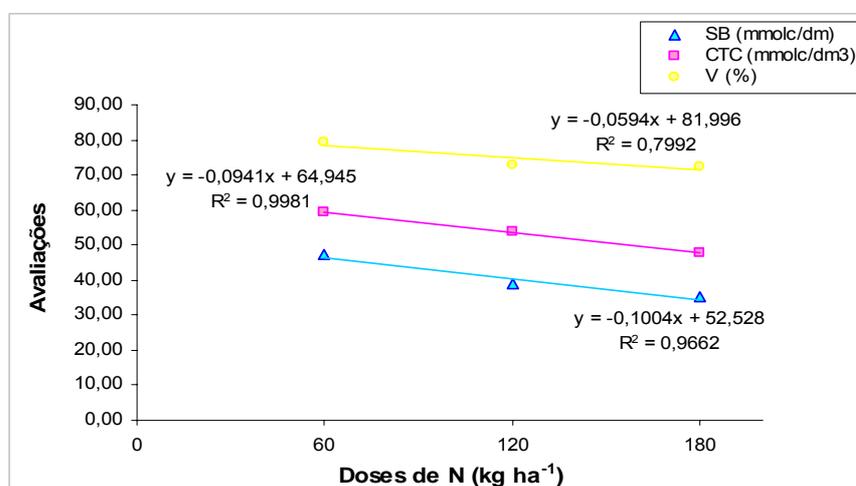


Figura 46 – Soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases em função de doses de N, após o 1º cultivo de milho, safra 2003/2004

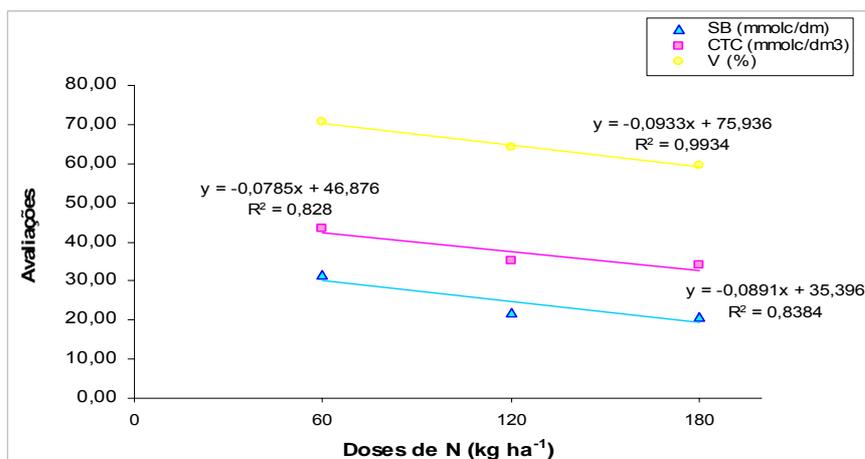


Figura 47 – Soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases em função de doses de N, após o 1º cultivo de milho, safra 2004/2005

Na Tabela 31, observa-se que o pH no solo, na dose de 60 kg ha⁻¹ de N, foi maior quando se todo o N na semeadura, o que implica que houve acidificação do solo, após o cultivo, quando se aplicou o sulfato de amônio em cobertura. Isto é comprovado com os resultados obtidos nos tratamentos em que se aplicaram doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, os quais são semelhantes ao tratamento 30-30.

Tabela 31 – Teste de Tukey do desdobramento do parcelamento dentro de doses de N referente ao pH do solo, na camada 0-0,20 m de profundidade, após o 2º cultivo de milho, safra 2004/2005

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Parcelamento		pH em CaCl ₂
	N na semeadura (kg ha ⁻¹)		
60	30		4,43 a
	60		5,75 b
120	30		4,40 a
	60		4,71 a
180	30		4,10 a
	60		4,16 a

Obs: Médias na mesma linha, seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

2.3.4 Densidade de fluxo de água no solo, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, nas culturas de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e de aveia preta (safra 2004)

As densidades de fluxo de água (Figuras 48, 49 e 50), na profundidade de 0,80 m, foram monitorados diariamente durante os 1º (safra 2003/2004) e 2º (safra 2004/2005) ciclos de milho e de aveia preta (safra 2004). Nos 1º e 2º cultivos de milho, as precipitações totalizaram em 615 e 656 mm, respectivamente, os quais foram superiores ao mínimo indicado para que a cultura produza a contento, sem a necessidade da utilização da prática de irrigação (FANCELLI; DOURADO NETO, 2005).

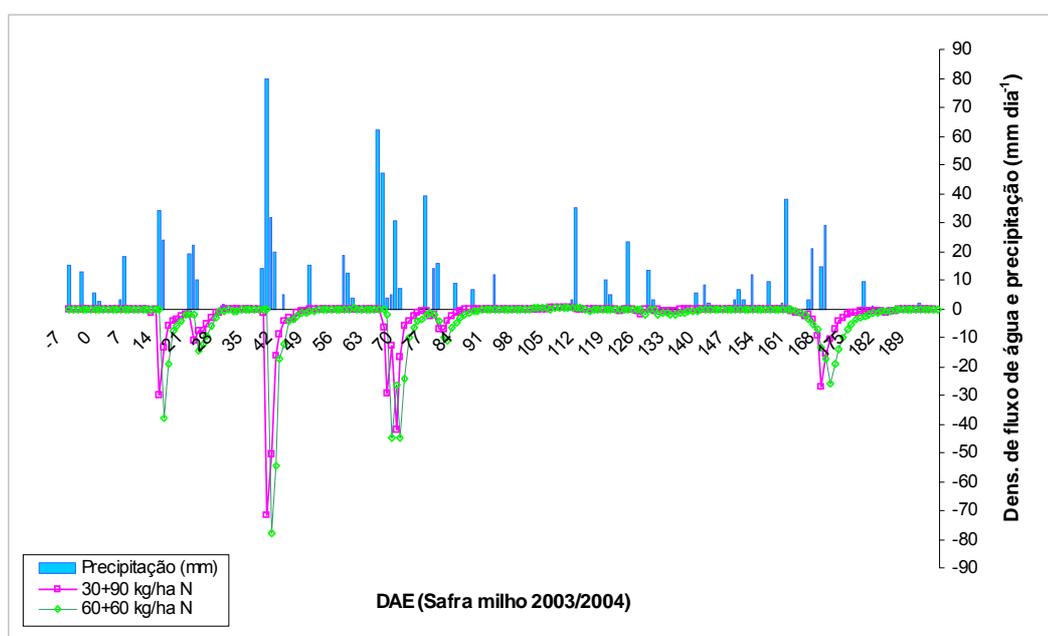


Figura 48 - Densidade de fluxo de água e precipitação pluvial em função do tempo (DAE), na cultura de milho, safra 2003/2004, nos tratamentos T₄ e T₅

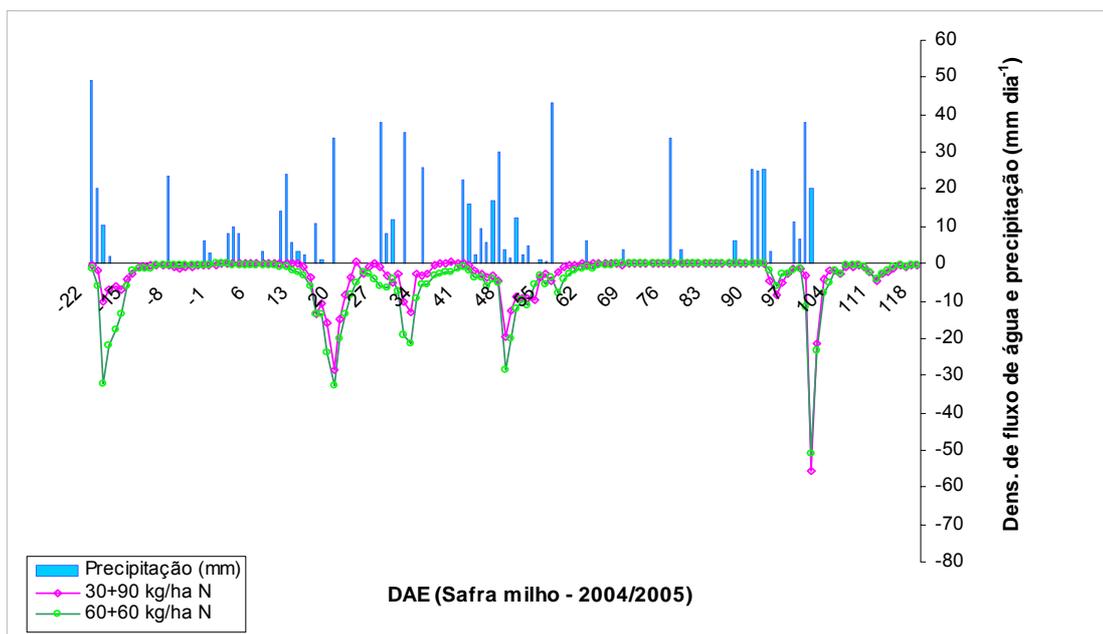


Figura 49 - Densidade de fluxo de água e precipitação pluvial em função do tempo (DAE), na cultura de milho, safra 2004/05, nos tratamentos T₄ e T₅

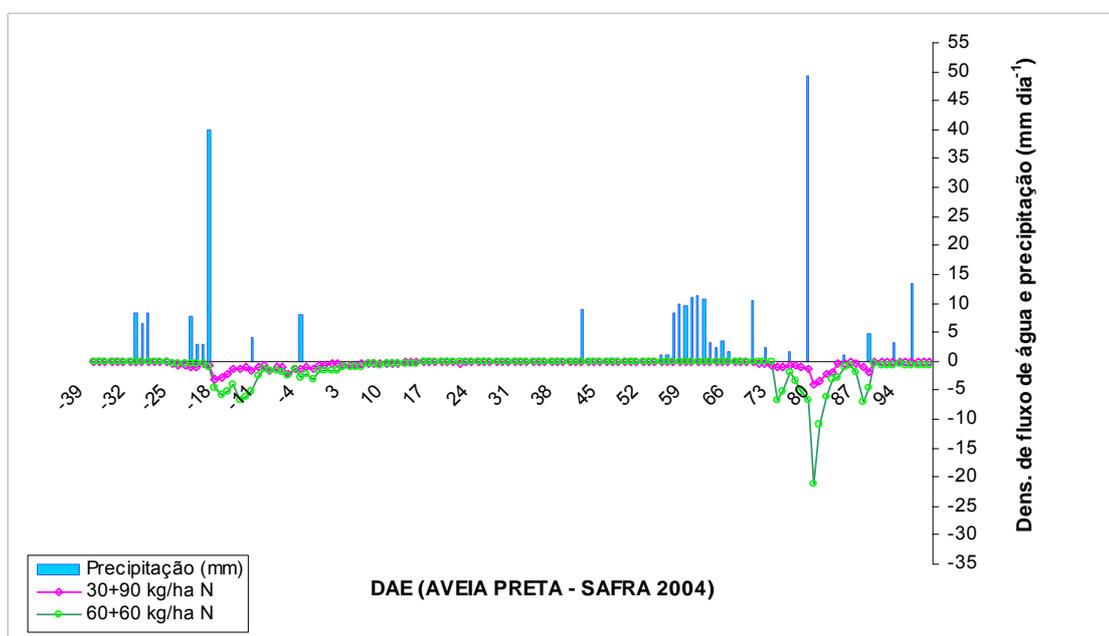


Figura 50 - Densidade de fluxo de água e precipitação pluvial em função do tempo (DAE), na cultura de aveia preta, safra 2004, nos tratamentos T₄ e T₅

Embora no 2º cultivo do milho (Figura 49) ter ocorrido um aumento de precipitação de 41 mm, isso não implicou em um maior desenvolvimento da cultura do milho nesse cultivo. No 1º cultivo de milho (Figura 48) (safra 2003/2004), a emergência, adubação de cobertura e florescimento ocorreram em melhores condições de umidade do solo, resultantes das freqüências de precipitações no período. Por outro lado, no ano seguinte, no cultivo de milho (safra 2004/2005), o florescimento masculino deu-se em condições amplamente desfavoráveis. Para a cultura, o florescimento é o período considerado crítico para a produtividade de grãos, sendo fortemente afetado por condições de seca (MAGALHÃES; DURÃES; PAIVA, 1995; CARAMORI; WREGGE; GONÇALVES, 1999).

Segundo Fancelli e Dourado Neto (2005), períodos de deficiência hídrica de uma semana por ocasião do florescimento pode promover, queda de produção ao redor de 50%. Em consequência das precipitações, altas densidades de fluxos de água foram obtidas nos dois cultivos de milho, com médias alcançados (tratamentos estudados) de 4,10 e 3,68 mm dia⁻¹, máximo de 74,5 e 53,3 mm dia⁻¹ e um total de 479 e 455 mm para o 1º e 2º ciclos, respectivamente. Tal fato pode ter favorecido, então, altas taxas de lixiviação de nitrato. Gava (2003) observou valores de densidade de fluxo de 188 mm, para cultivo de milho sob plantio direto e 38 mm sob plantio convencional os quais foram bem abaixo dos dados aqui encontrados. Porém, Shipitalo e Edwards (1993), observaram maiores densidades de fluxos de água, quando trabalharam com lisímetros na cultura milho sob plantio direto e convencional, num período de 2 anos consecutivos. Esses autores encontraram valores médios de 645 a 464 mm (safra 87/88) e 799 a 596 mm (88/89) para os sistemas plantio direto e convencional, respectivamente. Já Castro; Libardi e Quirijn (2002), trabalhando em um solo argilo arenoso, sob diferentes condições de manejo, encontraram resultados próximos ao desse experimento. Segundo os autores, as maiores densidades de fluxos encontradas foram de 40 mm dia⁻¹ em solo sob pastagem e cultivo convencional, 25 mm dia⁻¹ sob plantio direto e 180 mm dia⁻¹ sob solo nu.

A explicação para a obtenção de altas densidades de fluxos obtidas pode ser devido a textura do solo em estudo, o qual foi classificado como arenoso, pois de uma maneira

geral, esses solos tem menor capacidade de retenção de água e nutrientes e alta suscetibilidade à erosão que os solos argilosos (LIMA; LIMA, 2000).

Já para o ciclo da aveia preta, safra 2004 (Figura 50), observa-se um total de 146,5 mm de precipitação, distribuída irregularmente, sendo que 68% do total ficaram entre os 54 e 66 DAE e o 32% restante ocorreu próximo a época do florescimento (80 DAE). Sendo assim, as densidades de fluxos de água foram maiores nesse período, alcançando valores máximos de 4 e 21 mm dia⁻¹ e um total no ciclo da cultura de 21,7 e 73,6, respectivamente, para os tratamentos 30-90 e 60-60. A distribuição irregular de chuva durante o ciclo da aveia preta pode ter sido a responsável pela pequena quantidade de massa da matéria seca da aveia preta obtida, que variou de 2865 a 3158 kg ha⁻¹ de N.

Quanto à diferença entre tratamentos, ocorreu uma pequena variação de densidade de fluxo entre os tratamentos 30-90 e 60-00 nos dois cultivos de milho e no cultivo de aveia preta. Entretanto, tiveram o mesmo comportamento, ou seja, a maiores densidades de fluxos foram observadas logo após à chuvas intensas. Para os 1º e 2º cultivos de milho e cultivo de aveia preta, o tratamento no qual se aplicou 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura apresentou maiores densidades de fluxos de água durante todos os ciclos. Isto pode ter ocorrido devido, provavelmente, ao maior desenvolvimento de raízes, nesse tratamento, as quais influenciaram na quantidade de macroporos, o que possibilita a exploração de um maior volume de solo, pois, segundo Martins et al. (2002) as raízes aumentam o grau de estruturação do solo porque liberam exudatos e elevam os teores de MO por meio da ciclagem bioquímica (formação, morte e decomposição de raízes finas) contribuindo para a estabilização dos agregados, aumentando a macroporosidade do solo. Assim, Rasse e Smucker (1999) comprovou que o aumento da quantidade de macroporos resultou em um maior fluxo de drenagem. Verifica-se também, que as densidades de fluxos de água para os tratamento 30-90 e 60-60, ocorridas no 2º cultivo (Figura 49) foram menores que as do 1º ciclo (Figura 46), apesar da precipitação, nesse período, ter sido maior. Este fato pode ser explicado, provavelmente, pela formação de palhada após o 2º ano de cultivo, que por sua vez influenciou na retenção da água na superfície, concordando com os

dados obtidos por Carvalho et al. (1999); Castro; Libardi e Quirijn (2002) e discordando de Gava (2003).

2.3.5 Lixiviação de nitrato total e de nitrato proveniente do sulfato de amônio (^{15}N)

Para o 1º ciclo do milho (safra 2003/2004), verifica-se na Tabela 32 que os maiores fluxos de nitrato, para os dois tratamentos, foram entre 30-60 e 60-90 dias após a emergência (DAE) das plantas, período no qual, também se observa maiores drenagens de água a 0,80 m. No período entre 30-60 DAE, o tratamento em que se aplicou 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura apresentou maior lixiviação de nitrato (33,14 kg ha⁻¹), diferindo significativamente do tratamento no qual se aplicou 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura, mesmo que a drenagem tenha se apresentado menor nesse tratamento. Esse resultado pode ser explicado pela maior quantidade de N aplicado na adubação de cobertura, no tratamento 30-90, a qual foi feita aos 22 DAE, porém altas precipitações (150,2 mm) foram registradas no período subsequente (37 a 42 DAE), o que proporcionou maior drenagem de água nesse período.

Tabela 32 – Drenagem de água e lixiviação de nitrato total e proveniente do fertilizante (PF) a 0,80 m de profundidade, na cultura do milho, safra 2003/2004

Tratamentos	DAE	Cultivo do milho – safra 2003/2004				
		Precipitação (mm)	Drenagem de água a 0,80 m (mm)	Lixiviação-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹)		
				Total	PF	
30 90	0-30	110,1	103,62 a	10,27 a	0,20 a	
60 60			129,91 a	13,97 a	0,18 a	
30 90	30-60	200,6	165,67 a	33,14 a	1,79 a	
60 60			180,11 a	20,00 b	0,28 b	
30 90	60-90	239,4	155,71 b	24,93 b	0,94 a	
60 60			218,63 a	61,64 a	0,86 a	
30 90	90-120	64,9	1,54 b	0,01 a	0,07 a	
60 60			3,65 a	0,01 a	0,07 a	
30 90	Total	615,0	426,54 b	68,35 b	3,00 a	
60 60			532,29 a	95,61 a	1,39 b	

Obs. Os tratamentos 30-90 e/ou 60-60 se referem à aplicação de N na semeadura e no estágio de 6-8 folhas. DAE significa dias após emergência. Médias seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey.

Este fato pode ser comprovado pela maior quantidade de N da solução no solo proveniente do fertilizante ($1,79 \text{ kg ha}^{-1}$ de N), no tratamento 30-90, quando comparado ao tratamento 60-60 ($0,28 \text{ kg ha}^{-1}$ de N). Já entre 60-90 DAE, a densidade de fluxo de nitrato no tratamento 60-60 ($6,64 \text{ kg ha}^{-1}$ de N) foi maior, diferindo significativamente do tratamento 30-90. Uma maior drenagem também foi verificada no tratamento em que se aplicou 60 kg ha^{-1} de N na semeadura, provavelmente pelo maior desenvolvimento de raízes de plantas as quais podem ter aumentado a quantidade de macroporos, possibilitando, assim um aumento da drenagem.

Observa-se, que até 60 DAE, os tratamentos não diferiram entre si para drenagem de água a 0,80 m e que para a lixiviação de nitrato, não ocorreu diferença entre tratamentos até 30DAE e no período de 90-120 DAE. Porém, nesse último período a quantidade de nitrato lixiviado foi aproximadamente 0, pois a drenagem foi praticamente desprezível em consequência da baixa precipitação. Portanto, durante o 1º ciclo de milho, 68,35 e 95,61 kg ha^{-1} de nitrato ou 14,43 e 21,59 kg ha^{-1} de N, para os tratamentos 30-90 e 60-60, respectivamente, foram lixiviados a 0,80 m, dos quais 3,0 e 1,30 kg ha^{-1} de N foi proveniente do fertilizante aplicado (120 kg ha^{-1} de N). Esses valores podem ser considerados altos quando comparados aos resultados observados na literatura. Provavelmente, esse solo, antes da implantação do experimento, já possuía grande quantidade de N nativo, proveniente de plantações anteriores. Libardi e Reichardt (1978) foram um dos pioneiros no assunto e verificaram perdas de $6,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, durante o período de um ano na profundidade de 1,2 m, quando se aplicou dose de 120 kg ha^{-1} de N na cultura do feijão. Meirelles; Libardi e Reichardt (1980), também na cultura do feijão, encontraram a 120 m de profundidade, uma lixiviação de 15 kg ha^{-1} de N, em um ano de experimento, sendo que apenas $1,34 \text{ kg ha}^{-1}$ de N vieram do fertilizante aplicado (100 kg ha^{-1} de N). Gava (2003) obteve, em seu experimento com milho em plantio direto, valores muito baixos de N lixiviado em um solo de textura argilosa. Esse autor encontrou um máximo de densidade de fluxo de N de 1500 g ha^{-1} , a 0,50 m, no período de 20 a 128 DAE, quando aplicou 25 kg ha^{-1} de N em semeadura e 50 kg ha^{-1} de N em cobertura. Já Gollany et al. (2005), estudando doses de N em solos argilosos, encontraram valores médios de nitrato lixiviado de 32 e 78 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, quando se aplicaram doses de 20 e 200 kg ha^{-1} de N em milho.

Além de altas precipitações durante o ciclo da cultura (615,0 mm), um outro fator que pode ter influenciado em relativamente altas densidades de fluxo de nitrato a 0,80 m, foi o tipo de solo (arenoso), concordando com Sogbedji; Van Es e Yang (2000) que afirmou que perdas por lixiviação de nitrato foram maiores em solos arenosos do que em solos argilosos. Entretanto, os autores Silva (1982) e Camargo et al. (1999) consideraram que as altas taxas de lixiviação obtidas em seus estudos foram devidas as precipitações intensas e também pelo reduzido volume de solo explorado pelas raízes.

Todavia, é notório que apesar da maior lixiviação de nitrato (Tabela 32), durante o 1º ciclo de milho, ter sido detectada no tratamento 60-60, o tratamento 30-90 apresentou maior valor de N proveniente do fertilizante, o que indica que no tratamento 60-60, a maior parte de nitrato lixiviado é proveniente do solo. Pode-se supor, então que as plantas do tratamento em que se aplicou 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 60 kg ha⁻¹ em cobertura absorveram mais N proveniente do fertilizante. Resultados indicam que o aumento de dose de N em cobertura proporciona maiores perdas de N provenientes do fertilizante, concordando com Sainz Rozas; Echeverría e Barbieri. (2004) que obtiveram aumento na lixiviação de nitrato quando se aumentou a dose de N na aplicação no estágio V₆ da cultura do milho. Costa et al. (2003) reportaram perdas de N por lixiviação de 66,5 kg ha⁻¹ quando se aplicou 200 kg ha⁻¹ de N no plantio de milho.

Na Tabela 33 estão as densidades de fluxos de água, lixiviação de nitrato e N lixiviado proveniente do fertilizante referente ao período de pousio entre o 1º cultivo de milho e a aveia preta e entre aveia preta e o 2º cultivo de milho e durante o cultivo de aveia preta. Nos dois períodos de pousio, a drenagem de água foi superior no tratamento 60-60, diferindo significativamente do tratamento 30-90.

Todavia, a lixiviação de nitrato apresentou diferenças significativas, entre tratamentos, somente no período entre o 1º cultivo e a aveia preta. No período entre a aveia preta e o 2º cultivo de milho, a lixiviação de nitrato foi de aproximadamente 0,07 e 0,03 kg ha⁻¹ nos tratamentos 30-90 e 60-60, respectivamente. No ciclo da aveia preta, safra 2004 (Tabela 33), não ocorreu precipitação no período de 0-40 DAE, o que ocasionou baixos valores de drenagem de água a 0,80m de profundidade e nenhuma perda de N, por lixiviação, nesse período.

Tabela 33– Drenagem de água e lixiviação de nitrato total e proveniente do fertilizante (PF) a 0,80 m de profundidade, nas entressafras e na cultura de aveia preta (safra 2004)

Tratamentos			Entre o 1º cultivo de milho e aveia preta			
			Precipitação (mm)	Drenagem de água a 0,80 m (mm)	Lixiviação-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹)	
				total	PF	
30	90	Total	296,0	151,18 b	2,81 b	-
60	60			243,24 a	4,77 a	-
Tratamentos		DAE	Aveia preta – safra 2004			
			Precipitação (mm)	Drenagem de água a 0,80 m (mm)	Lixiviação-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹)	
				total	PF	
30	90	0-40	0,0	6,68 b	0,00 a	-
60	60			11,88 a	0,00a	-
30	90	40-80	146,5	15,02 b	0,62 b	0,01 a
60	60			61,69 a	2,64 a	0,02 a
30	90	Total	146,5	21,70 b	0,62 b	0,01 a
60	60			73,57 a	2,64 a	0,02 a
Tratamentos			Entre a aveia preta e o 2º cultivo de milho			
			Precipitação (mm)	Drenagem de água a 0,80 m (mm)	Lixiviação-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹)	
				total	PF	
30	90	Total	136,3	56,78 b	0,07 a	-
60	60			142,14 a	0,03 a	-

Obs. Os tratamentos 30-90 e/ou 60-60 se referem à aplicação de N na semeadura e no estágio de 6-8 folhas. DAE significa dias após emergência. Médias seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey.

Durante o período de cultivo de aveia preta (0-80 DAE), a drenagem total de água foi de 21,7 e 73,57 mm e a solução do solo retirada forneceu resultados de nitrato lixiviado de 0,62 e 2,64 kg ha⁻¹ para os tratamentos 30-90 e 60-60, respectivamente. Desses, 0,01 e 0,02 kg ha⁻¹ de N, foram provenientes do fertilizante. Lembrando que a maior parte desses valores foram obtidos no período de 40-80 DAE, o que indica em precipitação somente no final do ciclo da aveia preta.

Para o 2º cultivo de milho, safra 2004/2005 (Tabela 34), as drenagens de água a 0,80 de profundidade apresentaram o mesmo comportamento, quando comparados aos do 1º ciclo do milho (Tabela 32), para todos os períodos estudados, ou seja, o tratamento 60-60 resultou em valores maiores de drenagem.

Os menores valores de drenagem foram obtidos no período 60-90 DAE (época do florescimento), devido a menor precipitação, enquanto que para o 1º cultivo de milho, o período de escassez de chuva foi entre 90-120 DAE (final do ciclo da cultura). Na contabilização final do ciclo da cultura (safra 2004/2005), observa-se que as drenagens de água a 0,80 m (379,64 e 530,90 mm), para os tratamentos 30-90 e 60-60, respectivamente, não foram maiores que as do 1º cultivo de milho, apesar de ter ocorrido uma maior precipitação. Quanto à lixiviação de nitrato, em todos os períodos da cultura, exceto aos 60-90 DAE, os resultados apresentaram-se maiores no tratamento 60-60, diferindo significativamente do tratamento 30-90, apenas no período 90-120 DAE. O total de nitrato lixiviado (23,02 e 28,37 kg ha⁻¹) não diferiram entre os tratamentos, entretanto, os resultados foram menores quando comparados ao 1º cultivo. Isto pode ter ocorrido devido ao acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo já no 2º ano de implantação do sistema plantio direto. Halvorson; Wienhold e Black (2001) utilizando trigo e Sainju e Singh (2001) concluíram que abaixo de 150 cm de profundidade, o sistema convencional acumulou mais nitrato do que o sistema plantio direto. Weed e Kanwar (1996) reportaram que a perda de nitrato em sistema de plantio direto foi 74 kg ha⁻¹ menor do que em plantio convencional, discordando de Gava (2003) que encontraram maiores perdas de nitrato por lixiviação, em plantio direto com milho (média de aproximadamente 1177 g ha⁻¹ de N) quando esse sistema foi comparado com plantio convencional (226 g ha⁻¹ de N).

Para o efeito residual do fertilizante (Tabela 34), a 0,80 m de profundidade, os resultados de nitrato proveniente do fertilizante, apresentaram-se iguais para os tratamentos 30-90 e 60-60 (0,13 kg ha⁻¹). Observa-se também, que essa quantidade de nitrato lixiviado proveniente do fertilizante (efeito residual de 120 kg ha⁻¹ de N), aplicado no 1º cultivo de milho, apresentou-se muito baixo após a sucessão de culturas estudada (milho-aveia preta-milho).

Tabela 34 – Drenagem de água e lixiviação de nitrato total e proveniente do fertilizante (PF) a 0,80 m de profundidade, na cultura do milho, safra 2004/2005

Tratamentos	DAE	Cultivo do milho - safra 2004/2005			
		Precipitação (mm)	Drenagem de água a 0,80 m (mm)	Lixiviação-NO ₃ (kg ha ⁻¹)	
				total	PF
30 90	0-30	181,9	113,16 b	4,80 a	-
60 60			180,17 a	6,45 a	-
30 90	30-60	231,7	132,50 b	11,79 a	-
60 60			211,40 a	9,80 a	-
30 90	60-90	78,4	0,61 b	0,00 a	-
60 60			4,74 a	0,00 a	-
30 90	90-120	164,4	133,37 a	6,43 b	0,13 a
60 60			134,59 a	12,12 a	0,13 a
30 90	Total	656,4	379,64 b	23,02 a	0,13 a
60 60			530,90 a	28,37 a	0,13 a

Obs. Os tratamentos 30-90 e/ou 60-60 se referem à aplicação de N na semeadura e no estágio de 6-8 folhas. DAE significa dias após emergência. Médias seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey.

2.3.6 Acúmulo de nitrogênio na parte aérea e recuperação de N pelo milho submetido a diferentes parcelamentos de N-sulfato de amônio, na dose de 120 kg ha⁻¹, no final dos 1º e 2º cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005

Os resultados de concentração de N acumulado, quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante e do solo na colheita final do milho, safras 2003/2004 e 2004/2005 encontram-se na Tabela 35. O N acumulado nas partes de planta do cultivo de milho da safra 2003/2004, diferiram significativamente entre os tratamentos no colmo+folhas+pendão e parte aérea e, para o 2º cultivo de milho, esta avaliação foi diferente somente para grãos. Para os dois cultivos de milho o maior acúmulo de N foi no tratamento que se aplicou 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 60 kg ha⁻¹ em cobertura, ou seja, quando se aumenta a dose de N na semeadura, aumenta-se o N acumulado nos grãos e parte aérea de milho. A massa da matéria seca de plantas (16,71 t ha⁻¹) e grãos (8204 kg ha⁻¹) obtidos no tratamento 60-60 foi a responsável pela maior concentração de N na parte aérea (safra 2003/2004) e nos grãos (safra

2004/2005) de milho. Esses resultados são discordantes dos de Sainz Rozas; Echeverría e Barbieri (2004) que verificaram, em três experimentos, aumento de N acumulado nos grãos, quando se aumentou a aplicação de N no estágio V₆ das plantas de milho. Entretanto, na safra 2003/2004, a distribuição de N nas diferentes partes da planta foi semelhante nos dois tratamentos. Em média, 16 e 20% do N acumulado alocou-se no colmo+folhas+pendão, 7 e 7% na palha+sabugo e 77 e 73%, nos grãos, respectivamente, para os tratamentos 30-90 e 60-60 kg ha⁻¹ de N, evidenciando que a maior quantidade de N na planta localiza-se nos grãos, e que grande quantidade de N das partes vegetativas foi para eles translocado, passando a fazer parte de aminoácidos e proteínas (TA; WEILAND, 1992). Valores semelhantes foram encontrados por vários autores (TIMMONS; BAKER, 1992; LARA CABEZAS et al., 2000; GAVA et al., 2000; GAVA, 2003). Esses dados também demonstram que grande parte do N fertilizante (23%) absorvido pela planta retorna ao solo como resíduos culturais, parte dela podendo remineralizar e o restante interagindo com a matéria orgânica do solo.

Os resultados de distribuição de N acumulado observado nas diferentes partes da planta de milho da safra 2004/2005 contrariaram os resultados da safra anterior. Em média, 37% do N acumulado alocou-se no colmo+folhas+pendão, 14% na palha+sabugo e 49% nos grãos, o que implica na baixa translocação do N das partes vegetativas para os grãos. Por outro lado, a porção de N acumulado alocado na parte aérea (exceto grãos) pelas plantas foi bem maior (51%) e provavelmente retornou ao solo pelos resíduos culturais e será aproveitado pelas culturas subseqüentes, mesmo que sua mineralização seja lenta, devido a alta relação C/N da cultura do milho.

A baixa translocação de N das partes vegetativas para as partes reprodutivas, pode ter ocorrido devido à falta de chuva (57 a 75 DAE) entre o estágio R1 (florescimento) e R2 (grãos leitosos), pois de acordo com Ritchie; Hanway e Benson (2003), nessa fase o N e o P total da planta estão se acumulando rapidamente e a realocação desses nutrientes das partes vegetativas para suas partes reprodutivas já começaram a acontecer, assim o amido começa a se acumular no endosperma aquoso e os grãos começam um período de rápido e constante acúmulo de matéria seca ou de enchimento de grãos.

Tabela 35- Nitrogênio acumulado, nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) e nitrogênio na planta proveniente do solo (NPPS) no final dos cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005

Tratamentos	Partes da planta	Safra 2003/2004		
		N acumulado	NPPF	NPPS
		(kg ha ⁻¹)		
30 90	C+F+P	24,06 b	8,66 b	15,40 a
	P+S	10,39 a	4,01 b	6,38 a
	G	112,58 a	41,11 b	71,49 a
	PA	147,02 b	53,78 b	93,24 a
60 60	C+F+P	38,06 a	16,33 a	21,73 a
	P+S	12,82 a	5,41 a	7,41 a
	G	140,52 a	56,02 a	84,50 a
	PA	191,39 a	77,76 a	111,76 a
Tratamentos	Partes da planta	Safra 2004/2005		
		N acumulado	NPPF	NPPS
		(kg ha ⁻¹)		
30 90	C+F+P	66,37 a	0,94 a	65,43 a
	P+S	25,89 a	0,41 a	25,48 a
	G	70,60 b	1,12 a	69,48 b
	PA	162,86 a	2,47 a	160,39 a
60 60	C+F+P	58,21 a	1,20 a	57,01 a
	P+S	22,91 a	0,42 a	22,49 a
	G	96,81 a	1,78 a	95,03 a
	PA	177,93 a	3,40 a	174,53 a

Obs. Médias entre tratamentos de uma mesma parte da planta seguidas de letras comuns, na coluna, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. C+F+P: significa colmo+folha+pendão, P+S: palha+sabugo, G: grãos, PA: parte aérea da planta de milho

Desse modo, o requerimento de suprimento hídrico satisfatório aliado a temperaturas adequadas tornam esse período extremamente crítico (FANCELLI; DOURADO NETO, 2005). Entretanto, as altas quantidades de matéria seca (15,01 e 16,62 t ha⁻¹) e N acumulado (aproximadamente 163 e 178 kg ha⁻¹) encontrado na parte aérea da planta de milho da safra 2004/2005, evidenciaram a não imobilização do N no solo. Um dos motivos pode ser porque a dose de 120 kg ha⁻¹ de N aplicada satisfaz as necessidades de N no sistema solo-planta. Segundo Kitur et al. (1984), a tendência de menor rendimento de grãos, acúmulo de N, NPPF e EUFN em SPD, somente ocorre quando se aplicam pequenas doses de N-fertilizante no solo. Nesse caso, o possível

aumento de imobilização do N pode ser considerado como principal dreno no sistema solo-planta.

O nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF), nas diferentes partes da planta (Tabela 35) apresentou diferença significativa entre os tratamentos somente para o 1º cultivo de milho (safra 2003/2004), embora os resultados de NPPF no 2º cultivo tenham seguido o mesmo comportamento. O tratamento que se aplicou 60 kg ha⁻¹ de N sementeira e 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura proporcionou maiores resultados para colmo+folha+pendão, palha+sabugo, grãos e conseqüentemente parte aérea. A quantidade de N-sulfato de amônio na parte aérea do milho foi de 53,78 e 77,76 kg ha⁻¹ de N respectivamente para os tratamentos 30-90 e 60-60, representando cerca de 37 e 41% do N total acumulado na parte aérea, o que indica que as plantas sob o tratamento em que se aplicou 60 kg ha⁻¹ de N na sementeira, absorveram mais N do fertilizante do que as plantas em que se aplicou 30 kg ha⁻¹ de N na sementeira. Estes valores, entretanto, mostraram-se superiores aos encontrados por Coelho et al. (1991), Duete (2000); Cruz e Lara Cabezas (2001). Portanto, pode-se concluir que a porcentagem de N na parte aérea da planta proveniente do solo (cerca de 63%), foi maior no tratamento 30-90, e menor no tratamento 60-60 (58%). Observa-se, entretanto, que independente da dose aplicada na sementeira, a maior porcentagem de N na planta é proveniente do solo, que na maioria das vezes, caracteriza-se como a principal fonte de N para a cultura do milho, pois em qualquer sistema de manejo ocorre interação do N aplicado com o N orgânico do solo (HART et al., 1994)

Para o cultivo de milho em sucessão a aveia preta (safra 2004/2005), o efeito residual do fertilizante (¹⁵N) aplicado no 1º cultivo na parte aérea foi de 2,47 e 3,40 kg ha⁻¹ de N para os tratamentos 30-90 e 60-60 (Tabela 35), respectivamente, o que representa 1,5 e 2% do N total acumulado na planta. Observa-se, porém, que mesmo não sendo significativo, o N na planta proveniente do fertilizante foi maior para o tratamento 60-60, o que pode ser ainda em virtude do maior N acumulado no milho do ano agrícola 2003/2004, nesse tratamento (Tabela 35). O N na parte aérea proveniente do solo (¹⁴N) representa 98,5 % para o tratamento 30-90 e 98% para o 60-60, não indicando diferenças significativas entre esses tratamentos. Entretanto, foi verificada diferença entre os tratamentos, quando se avaliou N nos grãos provenientes do solo. O

maior valor ($95,03 \text{ kg ha}^{-1}$) foi obtido no tratamento que se recebeu 60 kg ha^{-1} de N na semeadura, o que pode implicar que nesse tratamento, as plantas absorveram mais N do fertilizante aplicado no 2º cultivo, o qual foi translocado para os grãos; é importante lembrar que para o 1º cultivo, no N proveniente do solo estão incluídas outras fontes como resíduos de culturas anteriores, plantas daninhas, fixação biológica do N, precipitação pluviométrica, etc., enquanto que para o 2º cultivo, além desses fatores, inclui-se também o fertilizante (^{14}N) aplicado na semeadura e cobertura do milho. As médias dos tratamentos para N da parte aérea do milho proveniente do solo, nos 1º e 2º cultivos de milho, foram de aproximadamente 103 e 170 kg ha^{-1} de N, respectivamente, ou seja, no 2º cultivo de milho foram acrescidos 67 kg ha^{-1} de N na planta proveniente do solo, o que, provavelmente, pode ter tido como fonte o sulfato de amônio (^{14}N) aplicado no 2º cultivo de milho e também a mineralização dos resíduos de milho e aveia preta cultivados anteriormente.

Verifica-se que houve diferença significativa para eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado para o 1º cultivo de milho (Figura 51) para as diferentes partes da planta. A recuperação foi de 47 e 34% para grãos, 14 e 7% para colmo+folhas+pendão e, 5 e 3% para palha+sabugo, respectivamente, para os tratamentos 60-60 e 30-90. Lange; Lara Cabezas e Trivelin (2002) somente encontraram diferenças significativas para grãos. Os resultados médios obtidos de eficiência de utilização pela parte aérea das plantas de milho foram de 45 e 65% quando se aplicou, respectivamente, 30 e 60 kg ha^{-1} de N na semeadura, para o qual foi observado o maior rendimento de grãos (8204 kg ha^{-1}). Timmons e Baker (1992) encontraram resultados variando de 57 à 36% nas doses de 125 e 200 kg ha^{-1} de N, Liang e Mackenzie (1994) de 40 a 26% nas doses de 170 a 400 kg ha^{-1} de N. Gava (2003) obteve resultados de 40, 43, 34 e 19 para as doses de 75 , 125 , 175 e 225 kg ha^{-1} de N e Silva (2005) alcançou uma média de aproveitamento de 49% para as doses de 80 , 130 e 180 kg ha^{-1} de N. Observa-se, então que a maioria dos estudos demonstra que existe uma grande variação no aproveitamento do N de fertilizantes inorgânicos pelo milho, raramente ultrapassando 50% (SCIVITTARO et al., 2000). Quando se estuda a eficiência do N para parcelamentos, os resultados também se demonstram variados. Para Sainz Rozas, Echeverría e Barbieri (2004), a recuperação do milho foi maior quando o N foi aplicado

todo na semeadura quando comparado com a aplicação no estágio V₆. Cantarella et al. (2003) encontraram 48% para o N aplicado em pré-semeadura e 66% para o N aplicado em cobertura e Campos (2004) obteve 40% em pré-semeadura e 79% em cobertura. Essas diferenças são em virtude de diversos fatores, principalmente condições edafoclimáticas, o tipo de fertilizante e, principalmente, o sistema de cultivo (TOBERT et al., 1992; LARA CABEZAS et al., 2000). Nesse sentido, a dose de N de 60 kg ha⁻¹ aplicada na semeadura, proporcionou maior recuperação de N e conseqüentemente maior rendimento de grãos, provavelmente, devido a não ocorrência de chuvas logo após a semeadura, o que pode ter proporcionado uma maior absorção inicial de N pelas plantas.

O aproveitamento do N do fertilizante (aplicado no 1º cultivo de milho) pelas diferentes partes de plantas do milho em sucessão a aveia preta foi inferior a 2 % (Figura 52), para os dois tratamentos, não apresentando diferenças significativas entre esses. Apesar de não significativo, o tratamento 60-60 apresentou maior recuperação (2,84%) do fertilizante residual, na parte aérea do milho, do que o tratamento 30-90 (2,06%), em virtude, provavelmente, da maior quantidade de N na planta proveniente do fertilizante, que era de 3,40 kg ha⁻¹ (Tabela 35).

Geralmente o N remanescente dos adubos verdes e fertilizantes inorgânicos é encontrado, predominantemente, sob a forma de compostos orgânicos. Por essa razão, o aproveitamento por cultivos subseqüentes é, em geral, bastante pequeno, da ordem de 1 a 6% do montante aplicado (HARRIS; HESTERMAN, 1990; REKHI; BAIWA, 1993). Além disso, o milho cultivado no primeiro ano (safra 2003/2004), aproveitou 11 e 18% (parte aérea, exceto grãos) e 34 e 47% (grãos) para os tratamentos 30-90 e 60-60, respectivamente (Figura 51), o que implica que grande parte do N foi exportado pelos grãos e o restante do aplicado ficou no sistema solo ou foi perdido por lixiviação, volatilização, denitrificação ou erosão.

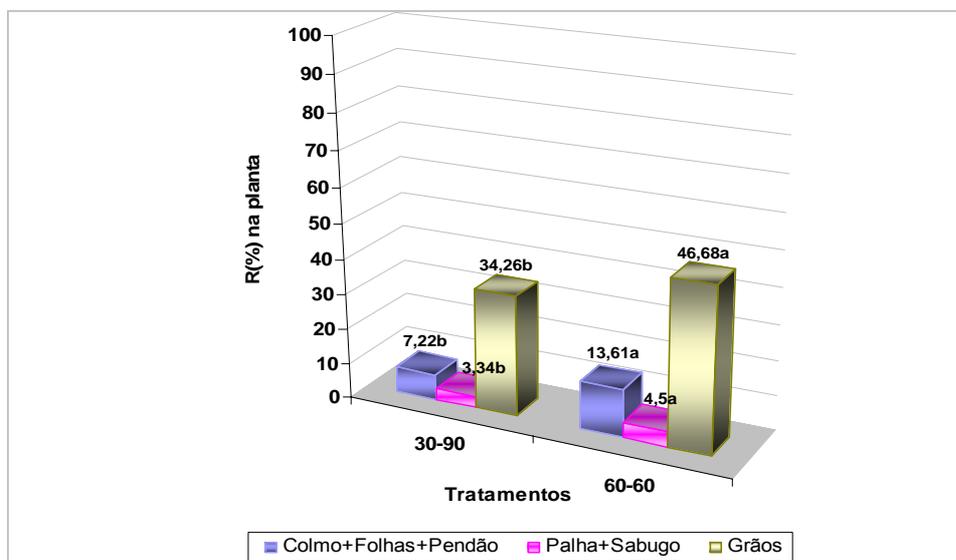


Figura 51 - Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (120 kg ha^{-1}), na parte aérea de plantas de milho, safra 2003/2004. **Obs.** Médias entre tratamentos de uma mesma parte da planta seguidas de letras comuns, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey

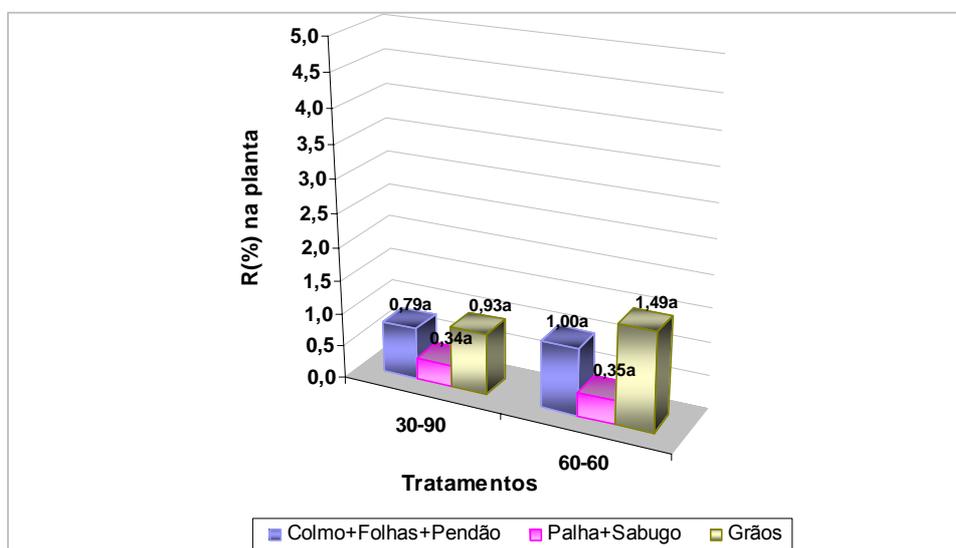


Figura 52 - Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (120 kg ha^{-1}), na parte aérea de plantas de milho em sucessão a aveia preta, safra 2004/2005. **Obs.** Médias entre tratamentos de uma mesma parte da planta seguidas de letras comuns, na coluna, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey

2.3.7 Nitrogênio (^{15}N) residual na parte aérea da aveia preta (safra 2004), em sucessão ao milho (safra 2003/2004), submetido a diferentes parcelamentos de N-sulfato de amônio, na dose de 120 kg ha^{-1}

Não foram observadas diferenças significativas para N acumulado e N na planta de aveia preta proveniente do solo (Tabela 36). Quanto ao N acumulado, não houve diferenças entre os tratamentos devidos, provavelmente, a não significância desses tratamentos para teor de N ($24,48$ e $23,75 \text{ g kg}^{-1}$) e massa seca de planta (3158 e 3024 kg ha^{-1}). Já para o N na planta proveniente do fertilizante, os resultados foram significativos. O tratamento em que foi aplicado 60 kg ha^{-1} de N na semeadura do milho apresentou maior resultado, em virtude da maior quantidade de N acumulada na parte aérea do milho no ano agrícola 2003/2004, que foi de $191,29 \text{ kg ha}^{-1}$ de N (Tabela 35) para esse tratamento e de $147,02$ para o tratamento 30-90. Os valores foram de $2,36$ e $4,46 \text{ kg ha}^{-1}$ de N para os tratamentos 30-90 e 60-60, respectivamente, representando 3 e 6% do N total acumulado na planta, ou seja, as plantas de aveia preta, sob o tratamento 60-60 apresentaram o dobro de N proveniente do fertilizante, quando estas foram comparadas com as do tratamento 30-90, o que indica que o parcelamento do fertilizante no milho influenciou na absorção de N remanescente do fertilizante pela aveia preta. Mesmo assim, observou-se, para os dois tratamentos, que a maior parte de N acumulado na parte aérea da aveia, provém do solo (aproximadamente 95%). Em consequência disso, a eficiência de utilização de N pela parte aérea da planta de aveia preta (Figura 53) também foi maior para o tratamento 60-60, ou seja, a planta recuperou 3,72% do N-fertilizante aplicado no 1º cultivo de milho, nesse tratamento e 1,97% no tratamento 30-90 (Figura 53).

Tabela 36- Nitrogênio acumulado, nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) e nitrogênio na planta proveniente do solo (NPPS) no final do cultivo de aveia preta, safra 2004

Tratamentos	Parte da planta	N acumulado	NPPF	NPPS
		(kg ha ⁻¹)		
30 90	PA	70,54 a	2,36 b	68,18 a
60 60		70,63 a	4,46 a	66,18 a

Obs. Médias entre tratamentos de uma mesma parte da planta seguidas de letras comuns, na coluna, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. PA significa parte aérea da planta de aveia preta.

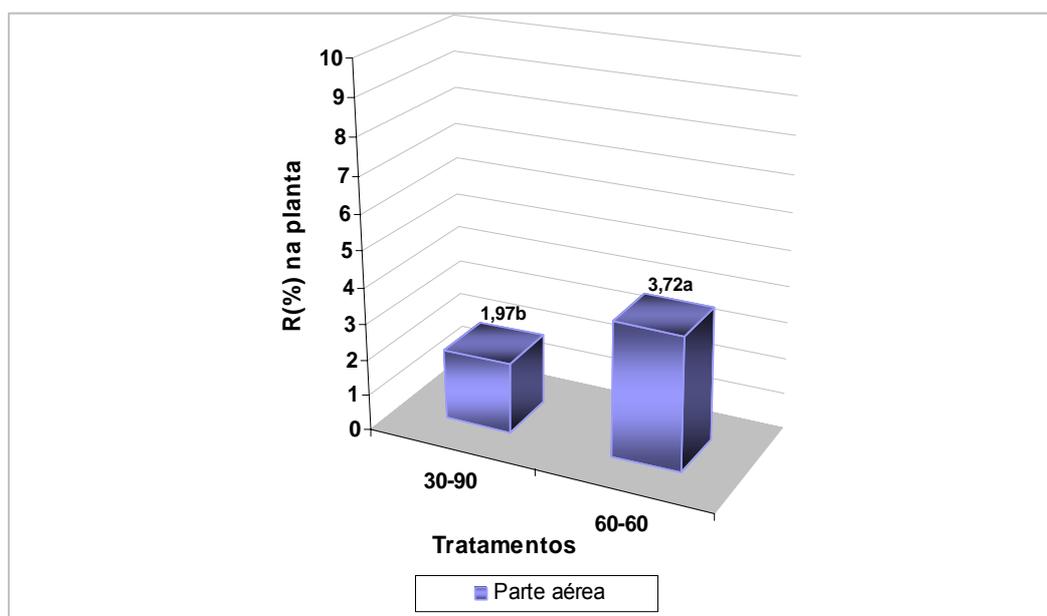


Figura 53 - Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (120 kg ha⁻¹), na parte aérea de plantas de aveia preta, safra 2004. **Obs.** Médias entre tratamentos de uma mesma parte da planta seguidas de letras comuns, na coluna, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey

2.3.8 Nitrogênio (^{15}N) residual no solo, nas camadas 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m após o 1º cultivo de milho (safra 2003/2004), após aveia preta e após o 2º cultivo de milho (safra 2004/2005), submetidos a diferentes parcelamentos de N-sulfato, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N.

Na Figura 54 estão apresentados os resultados do N no solo proveniente do fertilizante até a profundidade de 0,80 m, nos tratamentos 30-90 e 60-60, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safra 2004). Não se observaram diferenças significativas entre os tratamentos em nenhum cultivo, porém, o tratamento no qual se aplicou 30 kg ha⁻¹ na semeadura proporcionou maiores valores médios em todas as camadas, em virtude, provavelmente, do menor valor de N na planta proveniente do fertilizante obtido nesse tratamento. Os valores foram diminuindo com a profundidade e com o decorrer dos cultivos: na camada de 0-0,80 m, os resultados foram de 58,32 e 48,10 kg ha⁻¹ (1º cultivo de milho), 40,43 e 36,21 kg ha⁻¹ (aveia preta) e 21,76 e 19,84 kg ha⁻¹ (2º cultivo de milho), respectivamente para os tratamentos 30-90 e 60-60, o que representa cerca de 1,36 e 0,99% (1º cultivo de milho), 0,91 e 0,80% (aveia preta) e 0,55 e 0,49% (2º cultivo de milho) do N total acumulado no solo: 4286,07 e 4853,78; 3928,17 e 4028,13; 4460,88 e 4537,20 kg ha⁻¹ para os 1º e 2º cultivos de milho e aveia-preta, respectivamente. Estes valores mostraram-se próximos aos encontrados por Walters; Malzer (1990) que foram de 33 e 63 kg ha⁻¹ de N para as doses de 90 e 180 kg ha⁻¹ de N, aos de Jokella & Randall (1997), também nessa camada, que foram de 37 e 51 kg ha⁻¹ de N para as doses de 100 e 150 kg ha⁻¹ de N e aos de Gava (2003), na camada de 0-0,40 m que foram de 18 e 35 kg ha⁻¹ de N para as doses de 75 e 125 kg ha⁻¹ de N e acima do valor obtido por Coelho et al. (1991), na camada de 0-0,40 m, que foi de 14 kg ha⁻¹ de N na dose de 60 kg ha⁻¹ de N. A diminuição dos teores de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante, no decorrer dos anos e profundidade, nos dois tratamentos (Figura 54) , demonstram que, em um solo arenoso, uma grande porção de N-fertilizante se movimenta no perfil, não ficando retido como acontece em solo argiloso, possivelmente devido à imobilização microbiológica (TIMMONS; CRUSE, 1990).

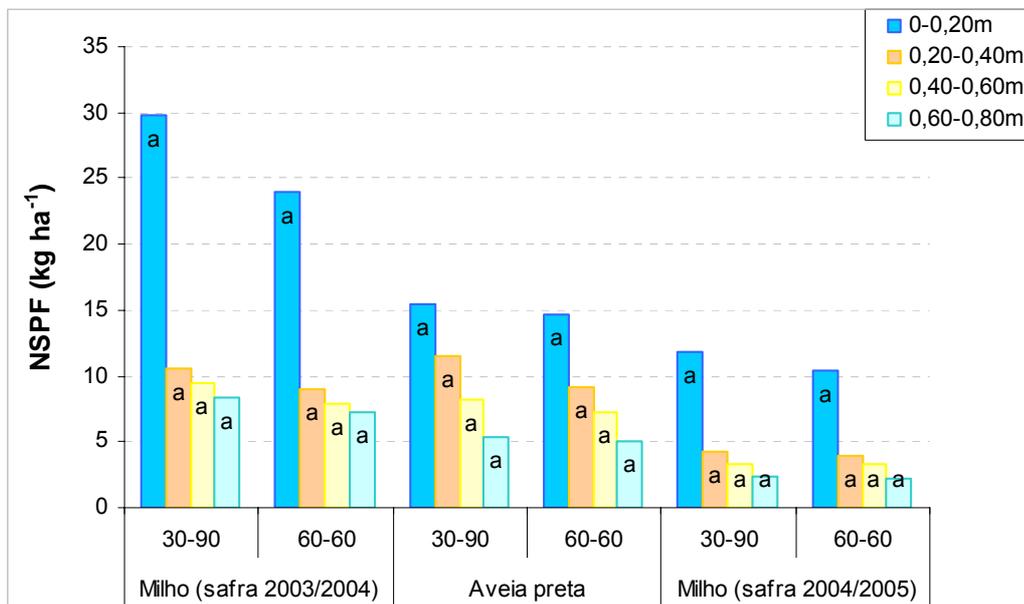


Figura 54 – Nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (120 kg ha^{-1}), nas camadas 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safr 2004). **Obs.** Médias entre tratamentos de uma mesma profundidade de solo seguidas de letras comuns, na coluna, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey

Deve-se mencionar também que a maior quantidade de precipitação nas safras, provavelmente, promoveu uma maior movimentação do N-fertilizante no perfil do solo, diminuindo assim, a capacidade de retenção de N no solo.

A recuperação de nitrogênio fertilizante no solo (R%) não diferiu entre os tratamentos em nenhuma camada e em nenhum cultivo (Figura 55). Entretanto, em todos os cultivos, as maiores recuperações foram encontradas na camada de 0-0,20 m. Resultados semelhantes também foram obtidos por Kitur et al. (1984); Jokella e Randall (1997). A quantidade recuperada de nitrogênio nessa camada tem sido atribuída, principalmente, à imobilização microbiológica de N (TIMMONS; CRUSE, 1990). Os valores diminuem após cada cultivo, para os dois tratamentos. As médias de recuperação de N obtidas na camada de 0-0,20 m, foram de 22,4%, 12,5% e 9,2%, respectivamente após o 1º cultivo de milho (safr 2003/2004), aveia preta (safr 2004) e 2º cultivo de milho (safr 2004/2005), o que demonstra que parte do N imobilizado foi mineralizado nesse período e absorvido pela plantas e/ou perdido para o sistema como

por exemplo desnitrificação, escoamento superficial, lixiviação. Já a recuperação do N no solo nas camadas de 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m não diferiu muito entre o 1º cultivo e a aveia preta, no entanto, observou-se pequeno aumento na média dos tratamentos, na camada de 0,20-0,40 m entre esses cultivos, o que implica que parte do N recuperado, na camada 0-0,20 m movimentou-se para a camada 0,20-0,40 m. As recuperações de N fertilizante foram, em média 8,2, 7,2 e 6,6% (após 1º cultivo de milho) e 8,7, 6,4 e 4,4% (após aveia preta) respectivamente, nas camadas 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80. Após o 2º cultivo, observam-se médias de tratamentos bem menores para tais camadas (3,4, 2,8 e 2,0%), perdas essas que podem ter ocorridas por desnitrificação e/ou lixiviação.

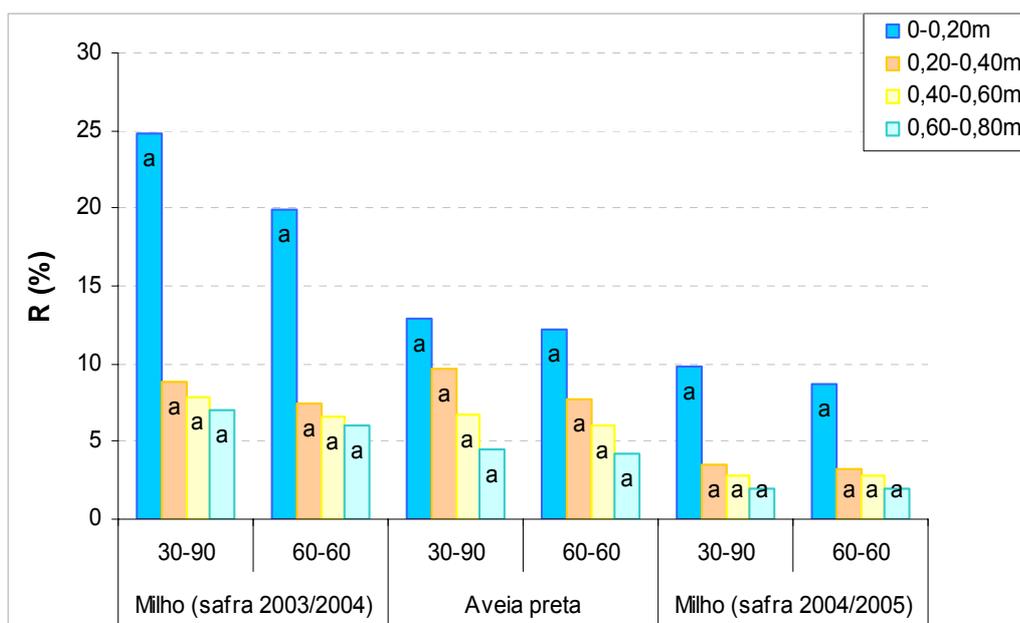


Figura 55 – Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado no solo (120 kg ha^{-1}), nas camadas 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m, após os cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005) e aveia preta (safrá 2004). **Obs.** Médias entre tratamentos de uma mesma profundidade de solo seguidas de letras comuns, na coluna, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey

2.3.9 Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelo milho submetido a diferentes doses de N-sulfato de amônio, no final dos 1º e 2º cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005 e aveia preta (safra 2004) – Método da diferença.

Os quadrados médios e coeficientes de variação, referentes à eficiência de utilização do N-fertilizante na parte de plantas de milho (R%) no final dos 1º e 2º cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005 e na época do florescimento da aveia-preta obtidos pelo método da diferença são apresentados na Tabela 37. Os resultados para eficiência de utilização de N, após o 1º cultivo de milho, foram significativos entre tratamentos, parcelamentos e interação doses/parcelamento. Após a aveia preta, os resultados foram significativos para as causas de variação: tratamentos, doses e parcelamento de N. Já os resultados de eficiência de utilização de N, após o 2º cultivo de milho, foram significativos entre tratamentos e interação doses/parcelamento.

Tabela 37– Quadrados médios e coeficientes de variação, referentes à eficiência de utilização do N-fertilizante na parte de plantas de milho (R%) no final dos 1º e 2º cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005 e na época do florescimento da aveia-preta – método da diferença

Causas de variação	R (%)		
	Após 1º cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2º cultivo de milho
Tratamentos	2857,5254**	111,1708**	998,6955**
Doses N (D)	492,8372	229,2676**	22,5478
Parcelamento (P)	5179,9885**	50,6341*	21,9268
D x P	4060,9819**	23,3422	2463,2275**
Blocos	166,6647	20,1612	275,5253
Resíduo	195,4932	10,0822	152,2226
C.V. (%)	13,12	22,11	13,92

*e** - Significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de Tukey.

A eficiência de utilização de N pela aveia preta (efeito residual) foi maior (22%) no tratamento 30-30 (Tabela 38) e diferiu significativamente dos tratamentos com a maior dose de N aplicada (30-150 e 60-120), os quais apresentaram os menores valores. Isto deve ter ocorrido, provavelmente, pela maior recuperação de N, nessa dose, pelas plantas de milho do 1º cultivo (safra 2003/2004). Ao contrário do 1º cultivo de milho, a recuperação de N pelas plantas de aveia preta, é maior nos tratamentos que se aplicaram 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura, enquanto que a recuperação do milho é maior nos tratamentos que se aplicaram 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura. No entanto, quanto a doses de N, os dados de recuperação de N pela aveia, ajustaram-se a uma equação linear decrescente (Figura 56). Observa-se, entretanto, que grande parte da recuperação de N obtida pela cultura do milho, nos dois cultivos, atinge valores altos, alguns deles ultrapassando a 100%. Neptune (1977) afirmou que o método da diferença dá, freqüentemente, uma eficiência maior do N aplicado em relação ao método isotópico, não sendo raro encontrar valores de recuperação acima de 100%. Outra observação feita nos resultados dos dois cultivos de milho é que a eficiência de utilização de N não decresce com o aumento das doses, como comprovado por diversos autores. Coelho et al. (1992) apresentaram resultados de eficiência de 68,5 e 34% para as doses de 60 e 240 kg ha⁻¹ de N; Reddy e Reddy (1993) obtiveram resultados de recuperação de N de 57 e 43% com as doses de 100 a 200 kg ha⁻¹ de N; Silva e Buzetti (2002) apresentaram média de resultados de eficiência de vários híbridos 186, 65 e 31% para as doses de 30, 90 e 180 kg ha⁻¹ de N e Halvorson, Nielson e Reule (2004) encontraram valores médios de recuperação de milho em rotação com trigo e sorgo de 86, 69, 56 e 46% de recuperação para as doses de 28, 56, 84 e 112 kg ha⁻¹ de N. O aumento da eficiência de N pela cultura do milho, com o aumento das doses de N, obtidas nesse experimento, pode ser devido a diminuição de perdas de N no sistema, como lixiviação, desnitrificação, volatilização ou pela alta eficiência de absorção dos próprios híbridos utilizados.

Tabela 38 – Teste de Tukey para tratamentos, parcelamento e regressões para doses de N referentes à eficiência de utilização do N-fertilizante na parte de plantas de milho (R%) no final dos 1º e 2º cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005 e na época do florescimento da aveia-preta – método da diferença

Tratamentos	1 ^a	2 ^a	R(%)		
			Após 1º cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2º cultivo de milho
1	-	-	-	-	-
2	30	30	118,02	21,93 a	108,11
3	60	00	103,55	15,11 ab	65,68
4	30	90	83,96	16,95 ab	79,95
5	60	60	111,02	15,53 ab	97,51
6	30	150	73,58	8,56 b	80,68
7	60	120	149,14	8,08 b	99,81
Parcelamento	30		91,85	15,81 a	89,58
(kg ha⁻¹)	60		121,24	12,91 b	87,68
Doses de N	60		110,79	18,52 ⁽¹⁾	86,89
(kg ha⁻¹)	120		97,49	16,24	88,73
	180		111,36	8,32	90,25

Obs. Os números 1^a e 2^a se referem à aplicação de N na sementeira e no estágio de 6-8 folhas, respectivamente. O parcelamento se refere a doses de N aplicadas na sementeira. Médias seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância 5% pelo teste de Tukey.

Na Tabela 39 estão apresentados os valores de desdobramento de parcelamento dentro de doses de N. Para o 1º cultivo de milho (safra 2003/2004), quando se utilizou 60 kg ha⁻¹ de N na sementeira, a recuperação de N pelas plantas apresentou-se maior nas doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, nas quais se obteve também, o maior rendimento de grãos (8204 e 9520 kg ha⁻¹, respectivamente). Porém, quando se compara a recuperação de N pelas plantas, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, os resultados obtidos pelo método isotópico foram bem menores que os obtidos pelo método da diferença. Enquanto o método isotópico apresentou eficiência de utilização de N na parte aérea de 45 e 65%, pelo método da diferença, essa eficiência foi de 84 e 111%,

respectivamente para os tratamentos 30-90 e 60-60. O método da diferença, fornece uma medida do impacto da aplicação do fertilizante ao total de N acumulado pela planta (N-solo + N-fertilizante), e assume que tanto a mineralização, imobilização e outras transformações do N bem como o tamanho da parte subterrânea das plantas, como o volume de solo explorado são os mesmos em áreas fertilizadas ou não, o que não ocorre (Lara Cabezas et al., 2000). Por esse motivo, geralmente ocorre uma superestimativa da eficiência de utilização de N, quando esta metodologia é usada (LIANG; MACKENZIE, 1994). O menor valor de recuperação de N observado no 1º cultivo de milho foi no tratamento 30-150 (74%), no qual pode ter ocorrido grandes perdas de N, principalmente por lixiviação, pois foram registradas precipitações após a aplicação de cobertura (150 kg ha⁻¹ de N) que com certeza influenciou nas perdas do N. Para o 2º cultivo de milho, o parcelamento de N na dose de 120 kg ha⁻¹ não apresentaram diferenças significativas, todavia na dose de 60 kg ha⁻¹ de N, as plantas recuperaram mais N na aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura, o que pode ter ocorrido devido a não aplicação de cobertura no tratamento 60-00, concordando com os dados obtidos por Sainz Rozas et al. (1997b) que encontraram eficiência de 71 e 58% para fertilizante (70 kg ha⁻¹ de N) aplicado, respectivamente, todo em cobertura e todo na semeadura do milho. Já na dose de 180 kg ha⁻¹ de N, a eficiência de utilização de N pelas plantas foi maior quando se aplicou 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura.

Tabela 39 – Teste de Tukey do desdobramento de parcelamento dentro de doses de N referentes à eficiência de utilização de nitrogênio (R%) pela cultura do milho, safras 2003/2004 e 2004/2005

	Parcelamento N na semeadura (kg ha ⁻¹)	R(%)		
		Após 1º cultivo de milho (safra 2003/2004)	Após 2º cultivo de milho (safra 2004/2005)	
Doses de N (kg ha ⁻¹)	60	30	118,02 a	108,11 a
		60	103,55 a	65,68 b
	120	30	83,96 b	79,95 a
		60	111,02 a	97,51 a
	180	30	73,58 b	80,68 b
		60	149,14 a	99,81 a

Obs: Médias na mesma linha, seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

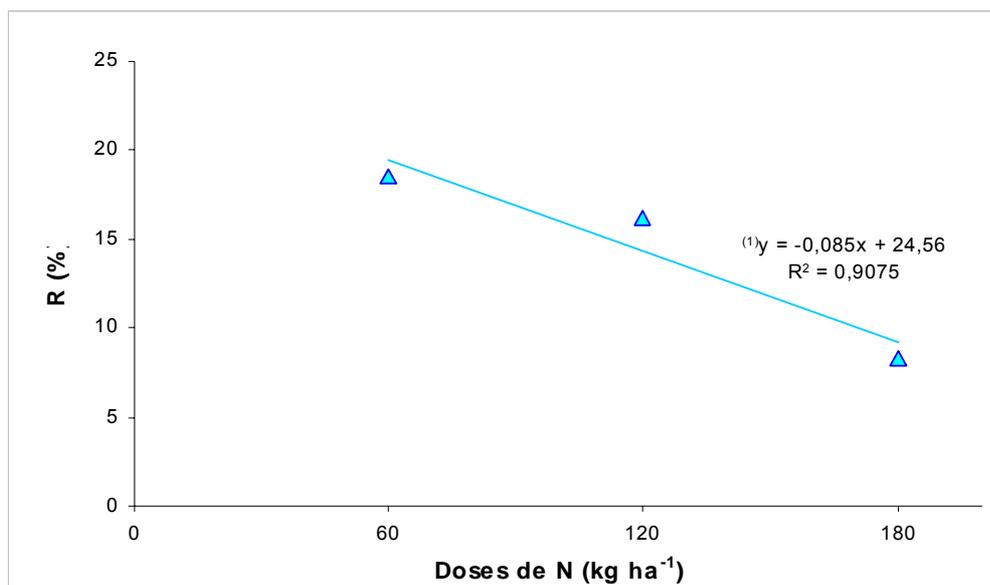


Figura 56 – Eficiência de utilização de nitrogênio pela aveia preta, em função de doses de N, safra 2004

2.3.10 Balanço do nitrogênio do fertilizante, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, no sistema solo-planta, na sucessão milho-aveia preta-milho

O balanço do N do fertilizante no sistema solo-planta (Figura 57), mostra que no 1º cultivo (safra 2003/2004), 54 (45%) e 78 (65%) kg ha⁻¹ de N-fertilizante permaneceu no compartimento parte aérea da planta e 58,8 (49%) e 49,2 (41%) kg ha⁻¹ de N-fertilizante ficou retido no compartimento solo na camada de 0-0,80 m nos respectivos tratamentos 30-90 e 60-60, sendo a maior parte (30 e 24 kg ha⁻¹ de N) retido na camada 0-0,20 m. A maioria dos trabalhos, entretanto, demonstra que existe uma grande variação no aproveitamento de N do fertilizante pelo milho, raramente ultrapassando 50% do aplicado como fertilizante inorgânico (SCIVITTARO et al., 2000). A alta recuperação do sulfato de amônio pela parte aérea da planta (65%), na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, quando se aplica 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura foi favorecida pela forma de manejo do N, híbrido utilizado e às condições edafoclimáticas da região no período experimental. Os valores de N-fertilizante recuperados no solo foram superiores aos encontrados por KITUR et al. (1984), na dose de 168 kg ha⁻¹ de N (37%) e Coelho et al. (1991), na dose de 60 kg ha⁻¹ de N (23%), na camada de 0-0,90 m, mas

semelhante ao valor encontrado por Jokela e Randall (1997), na dose de 200 kg ha^{-1} , os quais conseguiram uma recuperação do N-fertilizante pelo solo de 44%. Portanto, no sistema solo-planta foi recuperado 94% do N-fertilizante no tratamento que se aplicou 30 kg ha^{-1} de N na semeadura e 90 kg ha^{-1} de N em cobertura e 106% do N-fertilizante no tratamento que se aplicou 60 kg ha^{-1} de N na semeadura e 60 kg ha^{-1} de N em cobertura. Esses resultados de recuperação de N pelo sistema solo-planta foram superiores aos obtidos por Sanchez e Blackmer (1988); Coelho et al. (1991); Timmons e Baker (1992); Sainz Rozas et al. (1997b) e Gava (2003). No tratamento 30-90, o N não recuperado no sistema solo-planta, foi de 6%, sendo que 5% (6 kg ha^{-1} de N) foram perdidos por lixiviação. Já no tratamento 60-60, as perdas de N por lixiviação foram de apenas 2% ($2,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de N). A recuperação do N no sistema solo-planta mais as perdas por lixiviação somaram 99 e 108% do N-fertilizante para os tratamentos 30-90 e 60-60. Por se tratar de um experimento em campo, devem ser incluídos possíveis erros experimentais não controlados, entretanto, pela proximidade de recuperação de N dos 100% do fertilizante aplicado, pode-se considerar desprezíveis perdas de N por volatilização, denitrificação ou pela parte aérea das plantas, na forma de NH_3 , junto a corrente transpiratória, na senescência foliar (HARPER; SHARPER, 1995). Deve-se, observar também, que após a colheita dos grãos, parte do N aplicado (presente na parte aérea), 11 e 18% para os tratamentos 30-90 e 60-60 respectivamente, foi reciclado ou permaneceu no solo, imobilizado pelos microrganismos ou mesmo retido no complexo coloidal do solo e posteriormente aproveitado pelas culturas subsequentes.

Após o cultivo de aveia preta (safra 2004), observa-se um efeito residual de $2,4$ (2%) e $4,8$ (4%) kg ha^{-1} de N na parte aérea da cultura e $40,8$ (34%) e $36,0$ (30%) kg ha^{-1} de N-fertilizante no solo na camada de 0-0,80 m para os tratamentos 30-90 e 60-60, respectivamente. Já após o 2º cultivo de milho (safra 2004/2005) estes valores de efeitos residuais de N-fertilizante diminuíram para $2,4$ (2%) e $3,6$ (3%) kg ha^{-1} de N para parte aérea do milho e $22,8$ (19%) e $20,4$ (17%) kg ha^{-1} de N no solo, na camada de 0-0,80 m.

Finalmente, após os cultivos de milho (safra 2003/2004), aveia preta (safra 2004) e 2º cultivo de milho (safra 2004/2005), a recuperação do N-sulfato de amônio (aplicado no 1º cultivo de milho), pelas plantas totalizou em 49 e 72%, para os

tratamentos 30-90 e 60-60, respectivamente, o que se conclui que após a sucessão milho - aveia preta - milho, 51 e 28% permaneceram no solo ou foram perdidos por denitrificação ou na forma de amônia pelas plantas, já que as lixiviações medidas após o cultivo de aveia preta (0,02 e 0,03%) e após 2º cultivo de milho (0,25% e 0,20%) foram baixas. Quanto à volatilização, também pode ser considerada desprezível, pois o adubo, quando na aplicação, foi incorporado.

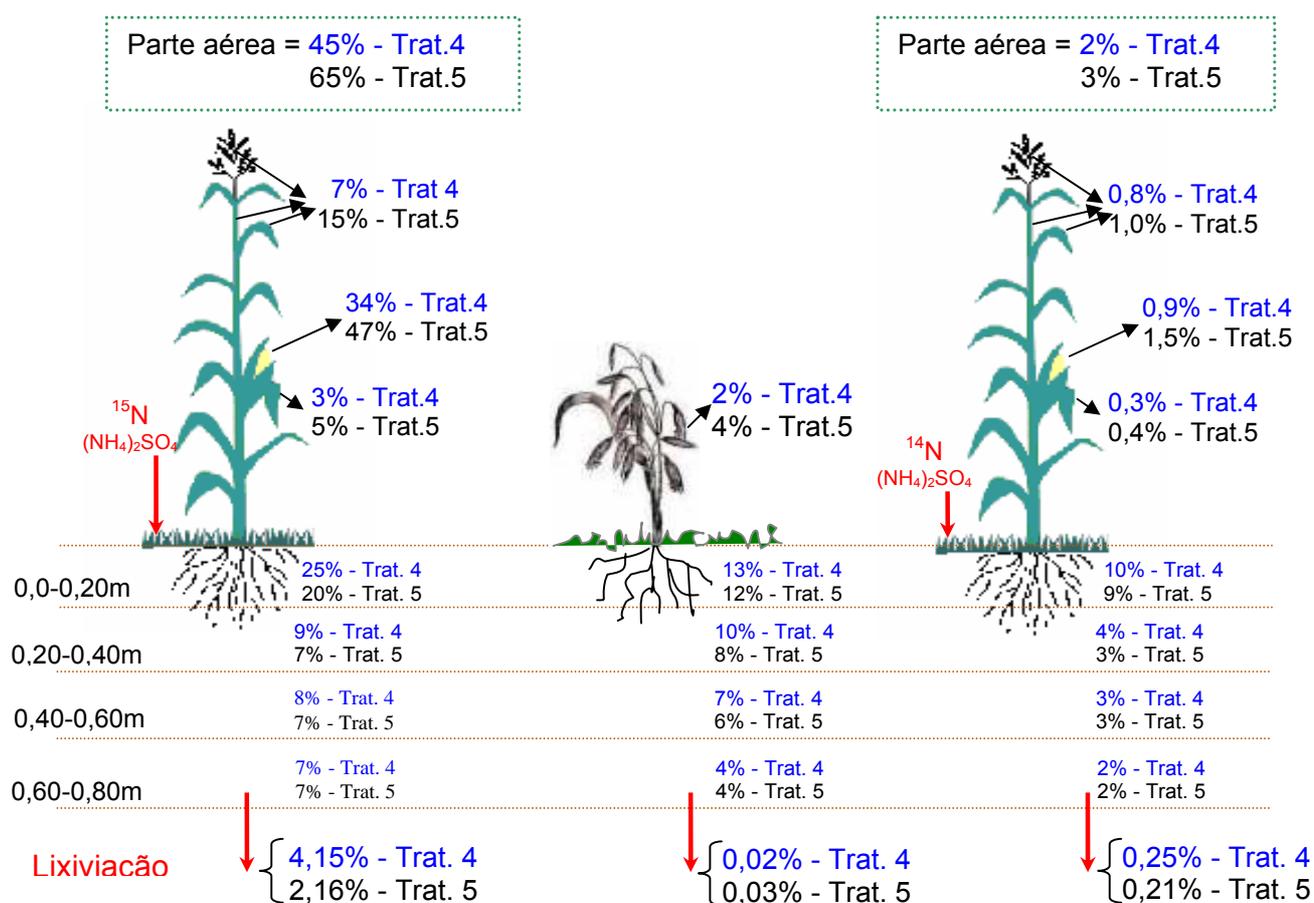


Figura 57 – Balanço de N, aplicado na forma de sulfato de amônio, na sucessão milho-aveia preta-milho. Obs. Trat. 4 e 5 significa aplicação de 30 e 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura, respectivamente, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N

3 CONCLUSÃO

- Houve diferenças significativas entre os tratamentos e também resposta linear a doses de nitrogênio para todas as variáveis nos dois cultivos de milho, exceto para doses de nitrogênio em massa de 100 grãos e massa de matéria seca no florescimento; Houve interação de doses e parcelamento de N para massa da matéria seca e rendimento de grãos no primeiro ano agrícola e para massa de 100 grãos e rendimento de grãos no segundo ano agrícola;

- Os maiores rendimentos de grãos, para os dois cultivos de milho (safras 2003/2004 e 2004/2005), foram obtidos nos tratamentos em que se aplicou 180 kg ha^{-1} de N, sendo que a aplicação de 60 kg ha^{-1} de N na semeadura proporcionou maior rendimento em todas as doses (120 e 180 kg ha^{-1} de N), exceto na dose de 60 kg ha^{-1} de N;

- Mesmo o rendimento de grãos ter sido menor no 2º cultivo de milho (safra 2004/2005), o déficit hídrico não exerceu forte efeito sobre as características agronômicas, pois a chuva foi escassa somente na fase do florescimento da cultura, então, o rendimento de grãos, nesse ano agrícola, não pôde ser correlacionado positivamente com as características vegetativas estudadas;

- A perda de nitrato total por lixiviação, a $0,80 \text{ m}$ de profundidade, no 1º cultivo de milho, na dose de 120 kg ha^{-1} de N, foi de aproximadamente 96 e 68 kg ha^{-1} , para os parcelamentos com 60 kg ha^{-1} e 30 kg ha^{-1} de N na semeadura, respectivamente, dos quais apenas 3 e 1 kg ha^{-1} de N foram provenientes do fertilizante nitrogenado; No segundo ano de cultivo a lixiviação de nitrato foi bem menor quando comparada ao primeiro ano e o N lixiviado proveniente do fertilizante, foi praticamente desprezível (média de $0,23\%$);

- Na dose 120 kg ha^{-1} de N, o tratamento com maior quantidade de N aplicado na semeadura (60 kg ha^{-1}), no cultivo de milho do ano agrícola 2003/2004,

proporcionou um maior aproveitamento do N do fertilizante (65%), em relação ao tratamento com a dose de 30 kg ha⁻¹ na semeadura (45%) e que, para esse ano, a recuperação do N fertilizante pelo solo, na camada 0-0,80 m, para ambos os tratamentos 60-60 e 30-90 kg ha⁻¹, foi de 40 e 49%, respectivamente.

- Ainda referindo-se aos tratamentos 60-60 e 30-90 kg ha⁻¹, o N remanescente do sulfato de amônio (120 kg ha⁻¹), aplicado no primeiro ano agrícola (efeito residual), 3,72 e 1,79% foram utilizados pela aveia preta e 2,84 e 2,06% pelo milho cultivado no ano subsequente (2004/2005), permanecendo no solo (camada 0-0,80 m), 30,19 e 33,47% após o cultivo de aveia preta e 16,79 e 17,91% após o segundo cultivo de milho, respectivamente, para os referidos tratamentos (60-60 e 30-90 kg ha⁻¹ de N).

REFERÊNCIAS

AIDAR, H.; THUNG, M.; OLIVEIRA, I.P. de; KLUTHCOUSKI, J.; CARNEIRO, G.E.S.; SILVA, J.G.da DEL PELOSO, M.J. Bean production and White mould incidence under no till system. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, East Lansing, v.43, p.150-151, 2000.

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M.R., DALMOLIN, R.S.D. (Coord.). **Atualização em recomendação de adubação e calagem**: ênfase em plantio direto. Santa Maria: Pallotti, 1997. p.76-111.

AL-KAISI, M.; LICHT, M.A. Effect of strip on corn nitrogen uptake and residual soil nitrate accumulation compared with no-tillage and chisel plow. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, p.1164-1171, 2004.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.553-560, 2000.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho sob plantio direto no Rio Grande do Sul e Santa Catarina adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.241-248, 2002 a.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fonte de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.179-189, 2002 b.

ANGHINONI, I.; SALET R. Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo no sistema plantio direto. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO. 1996, Castro. **Anais**. Castro: Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, 1996. p.279-290.

ARAÚJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Adubação Nitrogenada para milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto, SP. **Resumos expandidos...** Ribeirão Preto:UNESP, 2003. 1CD-ROM.

ARGENTA, G. **Manejo do nitrogênio em milho implantado em semeadura direta, em dois ambientes**. 1998. 108p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, 1998.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; RIZZARDI, M.A.; BARUFI, M.A.; LOPES, M.C.B. Manejo do nitrogênio em milho em semeadura direta, em dois ambientes. I. Efeito sobre o rendimento de grãos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22, Recife, 1998. **Anais...**Recife: ABMS, 1998. 1 CD-Rom.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, p.745-754, 1999.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; RIZZARDI, M.A.; BARUFI, M.A.; LOPES, M.C.B. Manejo do nitrogênio em milho em semeadura direta, em dois ambientes. I. Efeito sobre a absorção de N. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, p.577-586, 1999 a.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; RIZZARDI, M.A.; BARUFI, M.A.; LOPES, M.C.B. Manejo do nitrogênio em milho em semeadura direta, em dois ambientes. II. Efeito sobre o rendimento de grãos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, p.587-593, 1999 b.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.da; FLECK, N.G.; BORTOLINI, C.G.; NEVES, R.; AGOSTINETO, D. Efeitos do manejo mecânico e químico da aveia-preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.851-860, 2001.

ASSIS, R.L. de; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa: Revista **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.515-522, 2005.

AULAKH, M.S.; DORAN, J.W.; WALTERS, D.T. et al. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, v.55, p.1020-1025, 1991.

BALL-COELHO, B.; SALCEDO, I.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Short and long-term phosphorus dynamics in a fertilized Ultissol cultivated with sugarcane. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.57, p.1027-1034, 1993.

BARBER, D.A.; OLSON, R.A. Fertilizer use on corn. In: NELSON, L.B., et. al. **Changing patterns in fertilizer**. Madison, Wis.: Soil Science society of America, 1968, p.168-170.

BARBOSA, S.C.S.; LIMA, C.K.S.; ROCHA, D.L.; LESSA, K.A.S.; COSTA, J.P.V.; BASTOS, A.L.; MARTINS, A.G.; COSTA, J.R.M. Crescimento do milho (*Zea mays* L.), influenciado por fontes e doses de nitrogênio, em casa de vegetação. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000. Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia: ABMS, 2000. p.250.

BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass Spectrometry of soil**, New York: Marcel Dekker, 1996. 146p.

BARTZ, H., R. **Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob plantio direto**. Disponível em: <http://www.rau.edu.uy/agro/uepp/siembra6.htm>>. Acesso em: 12 jan. 2005.

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

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.687-694, 1999.

BELASQUE JÚNIOR, J. **Doses e épocas de aplicação de nitrogênio sobre dois híbridos de milho cultivados na “safrinha”**. 2000. 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2000.

BELLINI, G.; SUMMER, M.E.; RACLIFFE, D.E.; QAFOKU, N.P. Anion transport through columns of highly weathered acid soil: Adsorption and retardation. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.60, p.132-137, 1996.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H.; Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of agronomy: 1986a. cap.13. p.363-375: Physical and mineralogical methods.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A (Ed.). **Methods of Soil Analysis**. Madison: American Society of agronomy: 1986b. cap.14. p.377-382: Physical and Mineralogical Methods.

BORTOLINI, C.G.; ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.da, ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E. L.; MANJABOSCO, E.A. Adubação nitrogenada em pré-semeadura e seus efeitos sobre o rendimento do milho em sucessão à aveia preta. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000. Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia: ABMS, 2000., p.250.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E.L. Rendimento de grãos de milho cultivado após aveia preta em resposta à adubação nitrogenada e regime hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.9, p.1101-1106, 2001.

BRENMER, J.M. Nitrogen-Total. **Methods of soil analysis**. Madison: Wisconsin, 1996, chap. 3, p.1085-1121. (SSSA Books Series, 5)

BROADBENT, F.E.; CARLTON, A.B. Field trials with isotopically labeled nitrogen fertilizer. In: NIELSEN, D.R., MAC DONALD, J.G., (Ed.). **Nitrogen in the environment**. New York: Academic Express, 1978. p.1-41.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1993. 166p.

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.161-169, 2000.

CALEGARI, A. Alternativa de rotação de culturas para plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n.80, p.62-70, 2004.

CALVACHE, M.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. Utilização de nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho. Campinas, Fundação Cargill, 1982. 66p.

CAMARGO, P.B. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes: uréia (^{15}N) e aquamônia (^{15}N) incorporados ao solo na cultura cana-de-açúcar.** 1989. 104p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1989.

CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 1999. cap.7, p.117-133.

CAMPOS, A.X. de. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens*.** 2004. 119 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLONI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade de um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 121-126, 1995.

CANTARELLA, H.; TABATABAI, M.A. Volatilização de amônia de alguns fertilizantes nitrogenados aplicados a solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA SOLO, 20.,1985. Belém. **Resumos...**Belém: SBCS. 1985. p. 90.

CANTARELLA, H.; ABREU, C.A.; BERTON, R.S. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo. In: GUERRINI, I.A.; BÜLL, L.T. (Ed.). **Encontro sobre a matéria orgânica do solo: problemas e soluções.** Botucatu: Faculdade de Ciências agrônômicas, 1992. p.63-122.

CANTARELLA, H.; LERA, F.L.; BOLONHEZI, D.; LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Antecipação de N em milho em sistema de plantio direto usando ¹⁵N-uréia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto: **Resumos...** Ribeirão Preto, SBCS, 2003. 1 CD-ROM.

CARAMORI, P.H.; WREGGE, M.S.; GONÇALVES, S.L. Zoneamento da cultura do milho “safrinha” e épocas de semeadura no Estado do Paraná. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO “SAFRINHA”, 5., 1999, Barretos. **Anais...**Barretos: CATI/IAC/IEA, 1999. p.15-19.

CARDOSO, M.J., MELO, F.B. Influência de níveis de nitrogênio na produtividade de grãos de milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., 1998. Caxambu. **Fertibio 1998:** trabalhos...Lavras: UFLA/SBCS/SBM, 1998. 1 CD-ROM.

CARVALHO, M.A.C.; LAZARINI, E.; ARF, O.; SÁ, M.E. Efeito da rotação de culturas e adubação verde sobre o rendimento do feijoeiro “de inverno” (*Phaseolus vulgaris* L.). In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador. **Anais...**Goiânia: EMBRAPA/EBDA, , 1999. p.649-651.

CARVALHO, A. C. C. **Adubação verde e sucessão de culturas em semeadura direta e convencional em Selvíria-MS.** 2000. 189p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2000.

CASSIOLATO, M.E.; MEDA, A.R.; PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M. A laboratory method to estimate the efficiency of plant extract to neutralize soil acidity. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DELA CIENCIA DEL SUELO, 14., 1999, Pucó-Temuco. **Congresso:** Temuco: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 1999. 1 CD ROM.

CASTRO, L. G.; LIBARDI, P. L.; JONG VAN LIER, Q. de . **Soil water dynamics in a Brazilian infiltration terrace under different management practices**. In: M.Pagliai; R.Jones. (Org.). *Advances in GeoEcology 35:Sustainable Land Management - Environmental Protection: A Soil Physical Approach*. 1 ed. Reiskirchen, Alemanha, 2002, v. 35, p. 191-198.

CERETTA, C.A; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: SBCS, 1998. p.111-120.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.C.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A. Balanço de nitrogênio¹⁵ N em Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.95, n.2, p.187-193, 1991.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.C.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, n.1, p.61-67, 1992.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Passo Fundo: SBCS- Núcleo Regional Sul, 1995. 224p.

COSTA, A.M. **Adubação nitrogenada na cultura do milho (*Zea mays* L.) em sistema de plantio direto**. 2000. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciência Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2000.

COSTA, J.L.; BEDMAR, F.; DANIEL, P.E.; APARÍCIO, V.C. Nitrate and atrazine leaching from corn in the Argentinean Humid Pampas. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON GROUNDWATER RISK ASSESSMENT AT CONTAMINATED SITES AND INTEGRATED SOIL AND WATER PROTECTION, 2, 2003, Tübingen, Germany. **Workshop...**Tübingen: Eberhard Karls Universität Tübingen, 2003. p.241-245.

COUTINHO, E.L.M.; JÚNIOR, A.F.; SOUZA, E.C.A.; CARNIER, P.E. Aplicação de uréia na cultura do milho: efeitos de doses, modos de aplicação e parcelamento. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.62, n.3, p.239-246, 1987.

CRUZ, A.P.; LARA CABEZAS, W.A.R. **Adubação nitrogenada na cultura do milho**. In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., 2001, Piracicaba. Palestra...Piracicaba:ESALQ/USP, 2001. Palestra.

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

DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A. & PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: Efeito sobre a forma de estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosas, v.21, p. 241-247, 1997.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle de erosão no Paraná, Brasil**. Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ, 1991. 272 p.

DUETE, R.R.C. **Estudo de doses, parcelamento e formas de nitrogênio na adubação de milho usando ¹⁵N**. 2000. 152p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade São Paulo, Piracicaba, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

ESCOSTEGUY, P.A.V., RIZZARDI, M.A., ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de N em cobertura na cultura do milho em 2 épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.71-77, 1997.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p. 1097-1104, nov./dez. 2003.

FANCELLI A.L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho em terras baixas. In: FANCELLI A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.). **Milho: Tecnologia e Produção**. Piracicaba: ESALQ/USP/LVP, 2005, cap. 3, p.21-33.

FERNANDES, F.C.S.; BUZETTI, S.; SILVA, M.M. Influência de diferentes níveis e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho, na região de Ilha Solteira/SP. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, n.6, p.1-5, 2004.

FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E.; VASCONCELOS, C.A.; GUEDES, G.A.A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em latossolo sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v.22, p.247-254, 1998.

FERNANDES, F.C.S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J.A.C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.4, p. 195-204, 2005.

FERRAZ, R.D.P.; LIMA E.;R. PEIXOTO, T. DOS G. Variabilidade temporal e disponibilidade de nitrogênio mineral para milho, após tremoço e aveia preta, em plantio direto e convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Trabalhos...Viçosa.**: SBCS; 2005. 1 CD-ROM.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agrianual 2005**. Anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2005. p.436.

FONTOURA, S.M.V.; MORAES, R.P. Rendimento de milho sob diferentes fontes e doses de nitrogênio em cobertura em solo sob plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28, 2001, Londrina. **Resumos...** Londrina: EMBRAPA/IAPAR/UEL/UEM, 2001, p.202.

FORNASIERI FILHO, D.; CASAGRANDE, J.R.R. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.1-10, 2002.

FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELLOS, C.A.; SANTOS, H.L.A. **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: CEPLAC, SBCS, p.107-124, 1985.

FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.12, p.2267-2276, 1999.

FRANCHINI, J.C.; MEDA, A.R.; CASSIOLATO, M.E.; GAUDÊNCIO, C.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p.459-467, 2000.

GADIOLI, J.L. **Estimativa de rendimento de grãos e caracterização fitotécnica da cultura de milho (*Zea mays* L.)**. 1999. 86p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

GAVA, G.J.C. **Compartimentalização do nitrogênio no sistema solo-planta na implantação na implantação do semeadura direta no ciclo da cultura do milho**. 2003. 125p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; NICOLELLA, A.C. Acumulação e distribuição do sulfato da amônio (^{15}N) na cultura do milho, aplicado no solo em diferentes épocas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2000, Uberlândia. **Congresso: trabalhos...** Uberlândia:ABMS, 2000. 1 CD-Rom.

GEE, S.W.; BAUDER, J.C. Particle size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of Soil Analysis**. Physical and mineralogical methods, 1986. p.383-412.

GINÉ, M.F.; BERGAMIN FILHO, H.; ZAGATO, E.A.G.; REIS, B.F. Simultaneous determination of nitrate and nitrite by flow injection analysis. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v.114, p.191-197, 1980.

GODOY, R.; BATISTA, L.A.R. Avaliação do potencial de produção de grãos de germoplasma de aveia forrageira na região de São Carlos, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, p.1253-1257, 1992.

GOEDERT, W.J. **Uso e manejo dos recursos naturais do cerrado: solo e clima**. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 5., 1980, Brasília. Cerrado: uso e manejo. Brasília: Editerra, 1980. p.475-498.

GOLLANY, H.; MOLINA, J.A.; CLAPP, C.; ALLMARAS, R.; LAYESE, M.; BAKER, J.; CHENG, H. **Nitrogen Leaching and denitrification in continuous corn as related to residue management and nitrogen fertilization.** Disponível em: <<http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm>>. Acesso em 15 jan.2005.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.153-159, 2000.

GRABLE, A. R.; SIEMER, E.F. Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science of American Journal**, Madison, v.32, n.1, p.180-186, 1968.

GROVE, L.T.; RITCHEY, K.D.; NADERMAN JÚNIOR, G.C. Nitrogen fertility of maize on oxisol of the cerrado of Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v.27, p.261-265, 1980.

GUIMARÃES, G.L. **Efeitos de culturas de inverno e do pousio na rotação de culturas de soja e do milho em sistema plantio direto.** 2000. 104p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2000.

HALVORSON, A.D.; NIELSEN, D.C.; REULE, C.A. Nitrogen fertilization and rotation effects on no-till dryland wheat production. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, p.1196-1201, 2004.

HALVORSON, A.D.; WIENHOLD, B.T.; BLACK, A.L. Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in a annual cropping system. **Agronomy Journal**, Madison, v.93. p.836-841, 2001.

HARPER, L.H.; SHARPER, R.R. Nitrogen dynamics in irrigated corn: soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, p.669-675, 1995.

HART, S.C.; STARK, J.M.; DAVIDSON, E.A.; FIRESTONE, M.K. Nitrogen mineralization immobilization and nitrification. In: BIGHAM, J.M. (Ed). **Methods of analysis: Microbiological and biochemical properties**. Madison: SSSA, 1994. pt.2. p.985-1017.

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

HAUCK, R.D. Nitrogen tracers in nitrogen cycle studies past use and future needs. **Journal of Environmental Quality**, Vienna, v.2, n.3, p.317-327, 1981

HECKMAN, J.R.; SIMS, J.T.; BEEGLE, D.B.; COALE, F.J.; HERBERT, S.J.; BRUULSEMA, T.W.; BAMKA, W.J. **Agronomy Journal**, Madison, v.95, n.3, p.587-591, 2003.

HILLEL, D.A.; KRENTOS, V.K.; STILIANOV, Y. Procedure an test an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. **Soil Science**, Baltimore, v.114, p.395-400, 1972.

HOEFT, R.G. **Desafios para a obtenção de altas produtividades de milho e de soja nos EUA**. Piracicaba: Potafos, p.1-4, 2003 (Informações Agronômicas, 104).

ISSE, A.A.; MACKENZIE, A.F.; STEWART, K.; CLOUTIER, D.C.; SMITH, D.L. Cover crops and nutrient retention for subsequent sweet corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, p.934-939, 1999.

IVANKO, S. Recent progress in the use of ^{15}N in research on nitrogen balance studies in soil-plant relationship. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Isotope and radiation in soil-plant relationships including forestry**: Vienna: IAEA, 1972, p.483-497.

JANKINSON, D.S.; FOX, R.A.; RAYNER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen the so called "priming effect". **Journal of Soil Science**, Oxford, v.36, p.425-444, 1985.

JOKELA, W.E.; RANDALL, G.W. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on corn. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.61, p.1695-1703, 1997.

JUO, A.S.R.; DABIRI, A.; FRANZLUEBBERS, K. Acidification of a kaolinitic alfisol under continuous cropping with nitrogen-fertilization in west-Africa. **Plant and Soil**: Dordrecht v.171, n.2, p.245-253, 1995.

KANNO, T.; MACEDO, M.C.; EUCLIDES, V.P.B.; BONO, J.A.; SANTOS JÚNIOR, J.D.G.; ROCHA, M.C.; BERETTA, L.G.R. Root biomass of five tropical grass pastures under continuous grazing in Brazilian savannas. **Grassland Science**, Tochigi, v.45, p.9-14, 1999.

KARLEN, J.R.; FLANNERY, R.L.; SADLER, E.J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.232-242, 1988.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KIEHL, J.C. Nitrogênio: Dinâmica e disponibilidade no solo. In: _____. **Curso de atualização em fertilidade do solo**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.139-157.

KITUR, B.K.; SMITH, M.S.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Fate of ^{15}N -depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, p.240-243, 1984.

KURAMOTO, C.M., FERNANDES, F.M. Resposta da cultura do milho (*Zea mays L.*) à adubação nitrogenada, sob semeadura direta. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 10., 1998, Araraquara. **Resumos...** Araraquara: UNESP, 1998. p. 330.

LANGE, A. **Palhada e nitrogênio afetando propriedades do solo e rendimento de milho em sistema plantio direto no cerrado**. 2002. 148 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

LANGE, A.; LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Recuperação de ^{15}N -amônio do sulfato de amônio e do nitrato de amônio e produtividade do milho em sistema semeadura direta no cerrado. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., Florianópolis, 2002. **Trabalhos...**, Sete Lagoas: ABMS/EMBRAPA Milho e Sorgo/Epagri, 2002. 1CD Rom.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH_3 na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.489-496, 1997.

LARA CABEZAS; W.A. R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDORFER, G.H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.363-376, 2000.

LATKOVICZ, I.; MATE, F.; VARGA, D. Rol of nitrogen in mineral fertilizer in maize studied with the aid of labelled ^{15}N . In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Vienna: **Isotopes studies on the nitrogen chain**. Vienna: IAEA, 1968. p.109.

LEGG, J.O.; MEISINGER, J.J. Soil nitrogen budget. In: STEVENSON, F.J.,ed. Nitrogen in agricultural soil. Madison: American Society of Agronomy: 1982. p.503-557.

LERA, F.L.; CANTARELLA, H.; BOLONHEZI, D. Absorção pelo milho do nitrogênio aplicado antecipado ou em cobertura em sistema plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS,24., 2000. Santa Maria. **Fertibio 2000**: trabalhos... Santa Maria:SBCS, 2000. 1 CD-ROM.

LESSA, K.A.S.; COSTA, J.P.V.; MARTINS, A.G.; SANTOS, J.R.; ALBUQUERQUE, A.W.; BASTOS, A.L.; SANTOS, H.C.; BARBOSA, S.C. Métodos de aplicação e doses de nitrogênio na cultura do milho (*Zea mayz* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30.,Recife. **Trabalhos...** Viçosa: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

LIANG, B. C.; MACKENZIE, A. F. Corn yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.74, n.2, p.235-240, 1994.

LIANG, B.C; MACKENZIE, A.F.Seazonal denitrification rates under corn (*Zea Mays* L.) in two Quebec soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.77, p.21-25, 1997.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 329p.

LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. Destino da uréia aplicada a um solo tropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.2, p.40-44, 1978.

LIMA, M.G. **Calibração e validação do modelo Ceres-maize em condições tropicais do Brasil**. 1995. 199p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

LIMA, V.E.; LIMA, J.M.J.C. **Fundamentos da pedologia**. Curitiba: UFPR, 2000. 56p.

LOPES, A.S. **Características, propriedades e manejo**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162p.

LOPES, A.S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004. 110p.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Sete lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1995. 27p. (Circular Técnica, 20).

MAI, M.E.M.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; SILVEIRA, M.J.; PAVINATO, A.; PAVINATO, P.S. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-preta/milho no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.125-131, 2003.

MALAVOLTA, E.; NEPTUNE, A.M.L. Características e eficiência dos adubos nitrogenados. In: CAMARGO, O.A. de (Ed.). **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas: SBCS, 1983. p.4-14.

MALAVOLTA E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 319p.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes povoamentos florestais, **Cerne Coral**, v.8, n.1, p.32-41, 2002.

MATOWO, P.R.; PIERZYNSKI, G.M.; WHITNEY, D.; LAMOND R.E. Soil chemical properties as influenced by tillage and nitrogen source, placement, and rates after 10 years of continuous sorghum. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.50, p.11-19, 1999.

MEIRELLES, N.M.F.; LIBARDI, P.L. REICHARDT, K. Absorção e lixiviação de nitrogênio em cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.4, p. 83-88, 1980.

MELGAR, R.J.; SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S.; SÁNCHEZ, P.A. Doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado para milho em Latossolo da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, p.289-296, 1991.

MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRANETTO, A.; KIEHL, J.C. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983. 400p.

MENGEL, D. **Manejo de nutrientes na cultura do milho de alta produtividade**. Piracicaba : Potafós, 1996. 16p. (Informações Agronômicas, 73).

MIELNICZUK, J. Interações manejo do solo-química. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2000, Santa Maria. **Reunião: trabalhos...**Viçosa: SBCS, 2004. 1 CD-ROM.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C.; BLOCH, M.F.M. Efeito residual dos compostos orgânicos hidrossolúveis liberados na decomposição da aveia na química de superfície em solo ácido. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3., Santa Maria, 1999. **Resumos...**Santa Maria:UFSM, 1999. p.303-395.

MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 625p. Cap. 7: Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no Solo.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, p.95-102, 1983.

NEPTUNE, A.M.L. Efeito de diferentes épocas e modos de aplicação do N na produção de milho, na quantidade de proteína, na eficiência do fertilizante e na diagnose foliar, utilizando o sulfato de amônio ^{15}N . **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 34, p.515-539, 1977.

OHLAND, R.A.A. **Adubos verdes e nitrogênio em cobertura na cultura do milho (Zea mays L.) em plantio direto**. Dourados, UFMS, 2001. 41p.

OLSON, R.A. Fate of tagged nitrogen fertilizer applied to irrigated corn. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.514-517, 1980.

PAIVA, P.J.R. **Parâmetros de fertilidade de um solo do Paraná sob diferentes sistemas de manejo**. 1990. 55p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic Press, 1989. 273p.

PAULA, M.B. Efeito do manejo dos resíduos culturais, adubos verdes, rotação de culturas e aplicação de corretivos nas propriedades físicas e recuperação dos solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.19, n.191, p.66-70, 1998.

PAVINATO, A.; AITA, C.; CERETTA, C.A.; PEROPOLLI BEVILÁQUA, G. Resíduos culturais de espécies de inverno e o rendimento de grãos de milho no sistema de cultivo mínimo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, p. 1427-1432, 1994.

PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.4, p. 1015-1020, 2004

PÖTTKER, D.; ROMAN, E. Efeito de resíduos de cultura e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.5, p.763-770, 1994.

PRIOR, M.; LACERDA, N.B. de; SILVA, R.C.da; SOUTO, L.S.; FERNANDES, D.M.; VILLAS BOAS, R.L. Resposta da variedade de milho a modos de aplicação de nitrogênio em sucessão às culturas da soja e do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., Recife, 2005, **Trabalhos...**Viçosa: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação de fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RASSE, D.P.; SMUCKER, A.J.M. Tillage effects on soil nitrogen and plant biomass in a corn-alfafa rotation. **Journal of Environmental Quality**, Vienna, v.28, p.873-880, 1999.

REDDY, G.B.; REDDY, K.R. Fate of nitrogen-15 enriched ammonium nitrate applied to corn. **Soil Science Society of the America journal**, Madison, v.57, p.111-115, 1993.

REEVES, D.W. Cover crops and rotations. In: HATFIELD, J.L., STEWART, B.A. (eds.). **Crop residues management**. Boston: J.Wiley, 1994. p.125-172.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; URQUIAGA, S.C. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Agrochemicals: fate in food and the environment**. Viena: IEAE, 1982. p.277-290.

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

REKHI, R.S.; BAJWA, M.S. Effect of green manure on the yield, N uptake and floodwater properties of a flooded rice, wheat rotation receiving ^{15}N urea on a highly permeable soil. **Fertilizer Research**, The Hague, v.34, p.15-22, 1993.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Piracicaba: Potafos, 2003. p.1-20 (Informações Agronômicas, 103).

RIZZARDI, M.A. Manejo do nitrogênio no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 1995, Passo Fundo, RS. **Resumos...**Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1995. p.95-99.

RYDEN, J.C.; LUND, L.D. Nature and extent of directly measured denitification losses from some irrigated vegetable crop production units. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.44, p.505-511, 1980.

SÁ, J.C. Efeito de doses de épocas de aplicação de nitrogênio na produção de milho, após resteva de aveia preta (*Avena strigosa*), sob plantio direto. In: FUNDAÇÃO ABC. **Resultados de Pesquisa 88/89**. Castro: FUNDAÇÃO ABC, 1989. p. 61. (Boletim técnico 4).

SÁ, J.C. **Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 24p.

SÁ, J.C.M. Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização para produção de grãos no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO SOBRE O SISTEMA PLANTIO DIRETO NA UFV, 1., Viçosa, 1998. **Resumos de palestras...**Viçosa:SBCS, 1998. p.19-61.

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SSIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIM, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras:SBCS/UFLA/CDS, 1999. p.267-319.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, A.W.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Soil organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage chrosnosquence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of América Journal**, Madison, v.65, p.1476-1499, 2001.

SAINJU, U.M.; SINGHI, B.P. Tillage, cover crop and kill-planting date effects on corn yield and soil nitrogen. **Agronomy Journal**, v.93, p.878-886, 2001.

SAINZ ROZAS, H.R.; ECHEVERRIA, H.E.; PICONE, L.I. Denitrification in maize under No-tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, p.1314-1323, 2001.

SAINZ ROZAS, H.R.; ECHEVERRIA, H.E.; BARBIERI, P.A. Nitrogen Balance as Affected by Application Time and Nitrogen Fertilizer Rate in Irrigated No-Tillage Maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.96, p.1622-1631, 2004.

SAINZ ROZAS, H.R.; ECHEVERRÍA, H.E.; STUDDERT, G.A.; ANDRADE, F.H. Ammonia volatilization from urea applied to no tillage maize. **Ciencia del Suelo**, Buenos Aires, v.15, p.12-16, 1997b.

SANCHEZ, C..A.; BLACKMER, A.M. Recovery of anhydrous ammonia-derived nitrogen-15 during three years of corn production in Iowa. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.102-108, 1988.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; ALMEIDA, M.L.; KONFLANZ, V.A. Nitrogen fertilization impact on agronomic traits of maize hybrids released at different decades. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p. 757-764, 2001.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p.687-692, 2003.

SCHARF, P.C.; KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K.A. Field scale variability in optimal nitrogen fertilizer rate for corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, p.452-461, 2005.

SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v.24, p. 917-926, 2000.

SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; MATSUBARA, M. **Gestão dos solos e das culturas nas fronteiras agrícolas dos cerrados úmidos do Centro-oeste**. Lucas do Rio Verde: CIRAD, 1992. 117p.

SEXTON, B.T.; MONCRIEF, J.F.; ROSEN, C.J.; GUPTA, S.C.; CHENG, H.H. Optimizing nitrogen and irrigation inputs for corn based on nitrate leaching and yield on a coarse-textured soil. **Journal Environment Quality**, Vienna, v.25, p.983-992, 1996.

SHIPITALO, M.J.; EDWARDS, W.M. Seasonal patterns of water and chemical movement in tilled and no-till column lysimeters. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.57, p.18-223, 1993.

SILVA, E.C. **Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto na região do cerrado. Ilha Solteira**: 83p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2001.

SILVA, E.C. **Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (^{15}N) da uréia, do milho e da crotalária pelo milho sob semeadura direta em solo de cerrado**. 111p. 2005. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, E.C.da; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L.; LAZARINI, E.; SÁ, M.E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.353-362, 2005.

SILVA, F.C. **Eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho**. 2002. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2002.

SILVA, F.C.; BUZETTI, S. Efeito de níveis de nitrogênio na produtividade de seis cultivares de milho (*Zea mays* L.) In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis, **Trabalhos...Sete Lagoas**: ABMS/EMBRAPA Milho e sorgo/EPAGRI, 2002. 1 CD-Rom.

SILVA, F.C.; BUZETTI, S.; ANDRADE, J.A.C.; ARF, O.; SÁ, M.E.; FURLANI JÚNIOR, E.; MURAOKA, T. Adubação nitrogenada e potássica na cultura do milho. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DELA CIENCIA DEL SUELO, 14., Pucon-Temuco, 1999, **Anais...Temucco**: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 1999. 1 CD Rom.

SILVA, J.C.A. **Movimento e perdas por lixiviação de nitrogênio $\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2$ – em um Alfisol cultivado com milho (*Zea mays*,L.)**. 1982. 68 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

SILVA, M.M da. **Manejo de um latossolo vermelho de cerrado e o efeito nas propriedades físicas-hídricas do solo e na produtividade do milho, irrigado por aspersão**. 2003. 88p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2003.

SILVA, P.S.L.; SILVA, P.I.B. Efeitos de épocas de aplicação de nitrogênio no rendimento de grãos do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1057-1064, 2002.

SILVA, R.H.; ROSOLEM, C.A.; BÍSCARO, T.; MATEUS, G.P. Desenvolvimento inicial do milho cultivado em palha de milheto em função da aplicação de calcário e nitrogênio na superfície. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., Florianópolis, 2002. **Anais...** Sete Lagoas, ABMS/EMBRAPA Milho e Sorgo/Epagri, 2002. 1 CD Rom.

SILVEIRA, J.E. da; STONE, L.F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.387-394, 2001.

SOGBEDJI, J.M.; Van es, H.M.; YANG, C.L. Nitrate leaching and nitrogen budget as affected by maize nitrogen rate and soil type. **Journal of Environmental Quality**, Vienna, v.29, n.6, p.1813-1820, 2000.

SOUZA, L.C.F.; ORTONCELLI, R.; GONÇALVES, M.C.; MORENO, G.; LOURENTE, E.R.P.; PIPPUS JUNIOR, A. Efeito da sucessão de culturas e doses de nitrogênio nos componentes de produção do milho em plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., Florianópolis, 2002. **Congresso: trabalho...** Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Epagri, 2002. 1 CD-ROM.

STALEY, T.E.; BOYER, D.G. Short-term carbon, nitrogen and pH alterations in a hill-land Ultisol under maize silage relative to tillage method. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.42, .1/2, p.115-126, 1997.

STARK, J.C.; JARREL, W.M.; LETEY, J. Evaluation of irrigation-nitrogen management practices for celery using continuous-variable irrigation. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 47, p.95-98, 1983.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. DA. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.395-401, 2001.

TA, C.T.; WEILAND, R.T. Nitrogen partitioning in maize during ear development. **Crop Science**, Madison, v.32, p.443-451, 1992.

TEIXEIRA, L.A.J.; TESTA, V.M.; MIELNICZUCK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento do milho afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, p.207-214, 1994.

TIMMONS, D.R.; CRUSE, R.M. Effect of fertilization method and tillage on nitrogen-15 recovery by timing, rate and tillage. **Agronomy Journal**, Madson, v. 82, p.777-784, 1990.

TIMMONS, D.R.; BAKER, J.K. Fertilizer management effect on recovery of labeled nitrogen continuous no till. **Agronomy Journal**, Madson, v. 84, p.490-496, 1992.

TOBERT, H.A.; MULVANEY, R.M.; HEUVEL, V.; HOEFT, R.G. Soil type and moisture regime effects on fertilizer efficiency calculation methods in a nitrogen-15 tracer study. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p.66-70, 1992.

TOLLENAAR, M.; MIHAJLOVIC, M.; VYN, T.J. Corn growth following cover crops: influence of cereal cultivar, cereal removal, and nitrogen rate. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.251-255, 1993.

TOZETTI, A.D.; BILLIA, R.C.; SILVA, C.; CERVIGNI, G.; GOMES, O.M.T. Avaliação de progênies de milho na presença e ausência de adubo. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, n.5, p.6-10, 2004.

TUNDISI, J.G. **Água no Século XXI: Enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa IIE, 2003. 248p.

TRIVELIN, P.C.O. **O método do traçador isotópico para nitrogênio**. Disponível em: <http://web.cena.usp.br/apostilas/Trivelin/CEN5747/Apostilas/06MetTra%C3%A7adorN.doc>. Acesso em 16 mar. 2005.

TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E.; MATSUI, E. **Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massas**. Piracicaba: CENA/USP, 1973. 41 p. (Boletim técnico, 2).

VALE, F.R.; GUEDES, G.A.; GUILHERME, L.R.G.; FURTINU, A.E. Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes de plantas. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 171p.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S.de. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p.76-83, jan./fev. 2005.

VARVEL, G.E.; SCHPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Science American Journal**, v.61, p.1233-1239, 1997.

VICTORIA, R.L.; PICCOLO, M.C.; VARGAS, A.A.T.; O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Coord.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 105-120.

VILLAS BOAS, R.L. **Alternativas para aumento da recuperação do nitrogênio da uréia pelo milho (*Zea mays* L.)**. 1990. 78p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

WALTERS, D.T.; MALZER, G.L. Nitrogen management and nitrification inhibitor effects on nitrogen-15 urea: I yield and fertilizer use efficiency. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, p.115-122, 1990.

WEED, D.A.J.; KANWAR, R.S. Nitrate and Water present and flowing from root-zone soil. **Journal Environmental Quality**, v. 25. p.709-719, 1996.

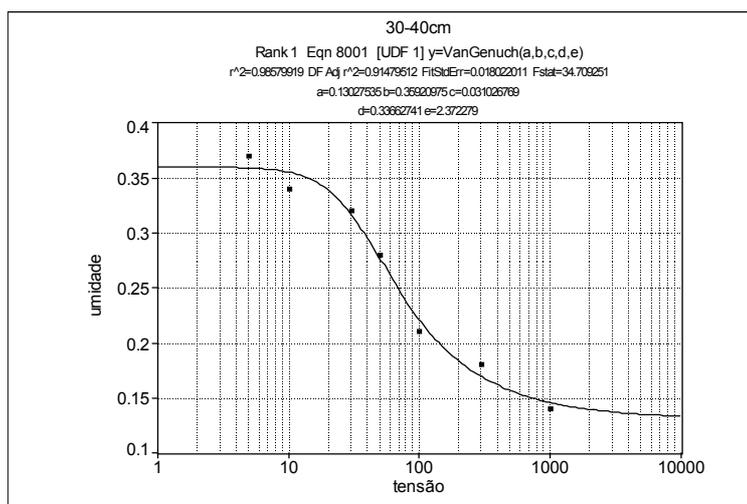
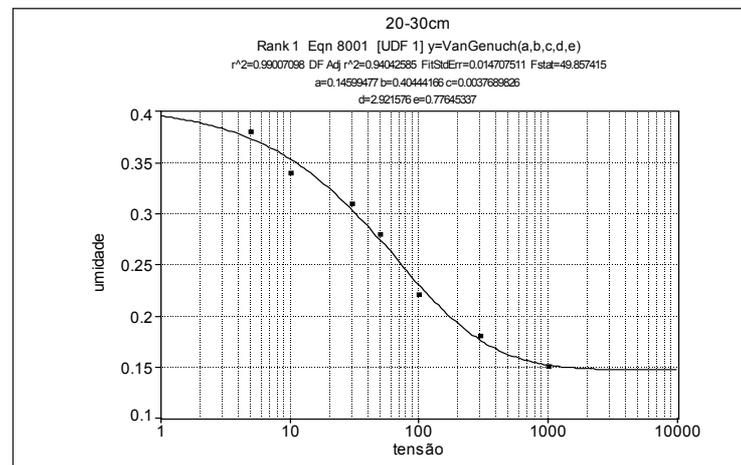
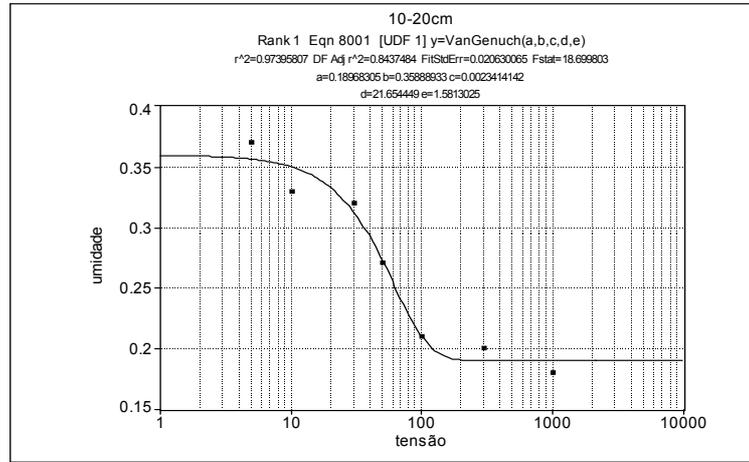
WIETHÖLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: Experiência nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., 2000, Santa Maria. **Fertibio 2000**: trabalhos... Santa Maria: SBCS, 2000. CD-ROM.

YAMADA, T. **O nitrogênio e o potássio na adubação da cultura do milho**. Piracicaba: Potafos, p.1-4, 1997 (Informações Agronômicas, 78).

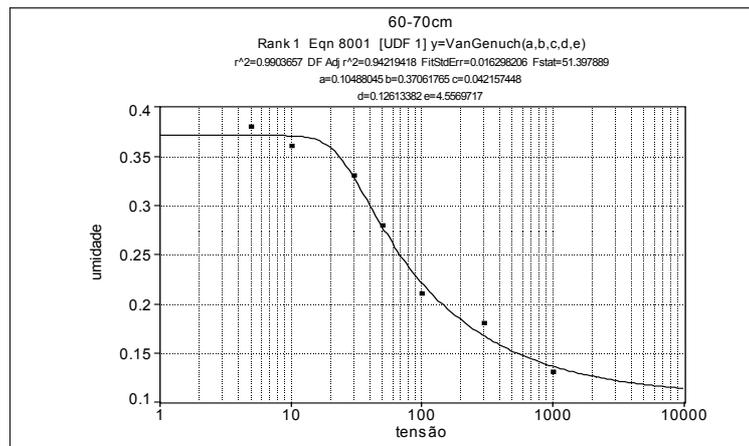
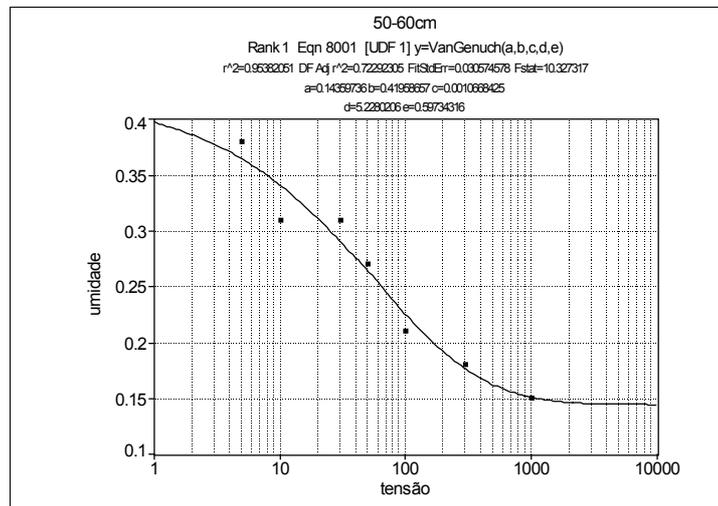
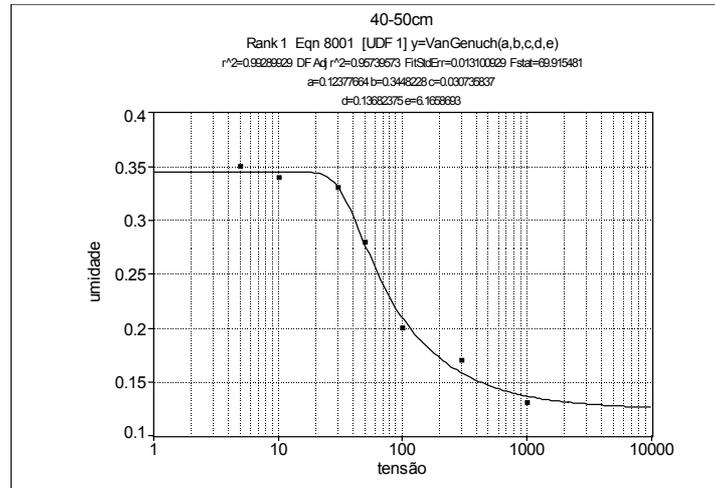
YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. **Simpósio discute sistema agrícola sustentável com colheita econômica máxima**: Integração Lavoura-pecuária e o manejo de plantas daninhas. Piracicaba: Potafos, p.1-20, 2004 (Informações Agronômicas, 106).

ZHU, Y.; FOX, R.H.; TOTH, J.D. Tillage effects on nitrate leaching measured by pan and wick lysimeters. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.67, p.1517-1523, 2003.

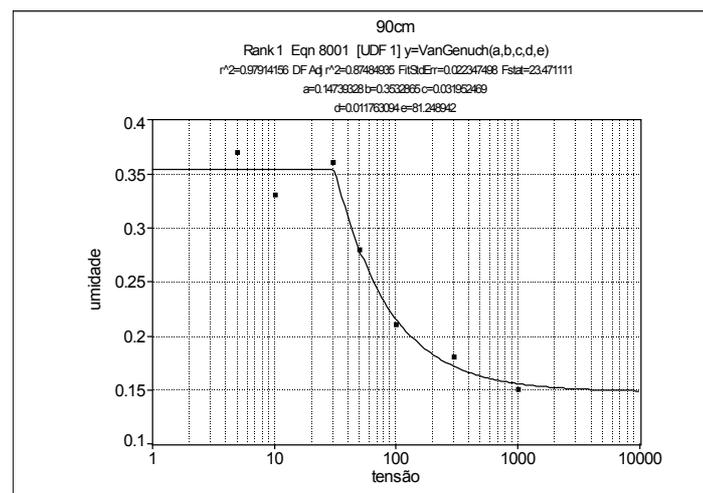
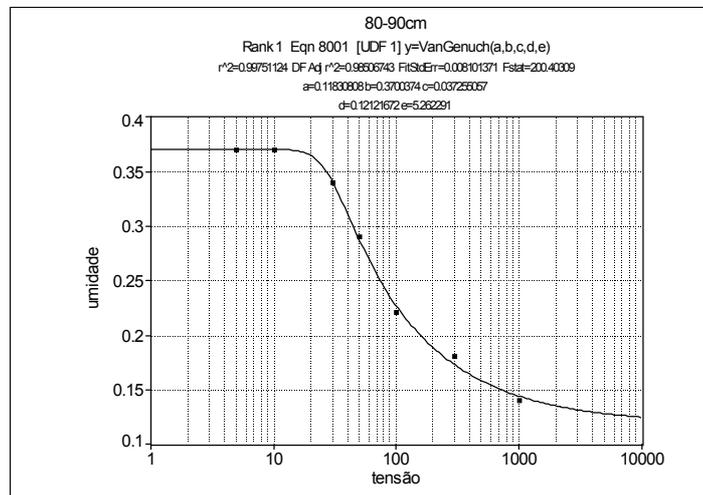
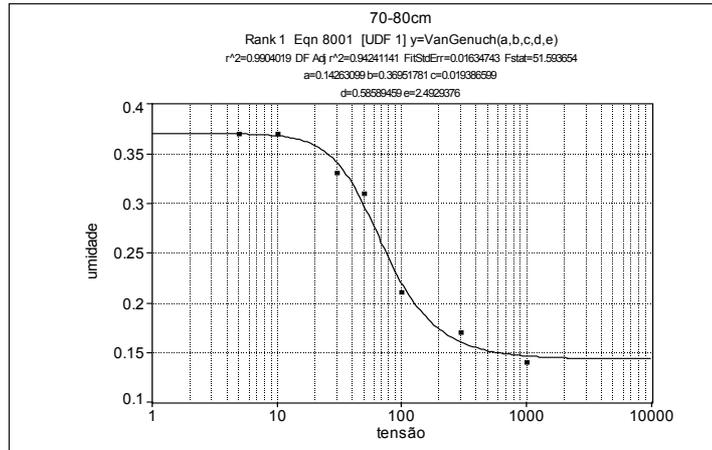
APÊNDICES



APÊNDICE A – Curvas de retenção do solo, nas profundidades 0,10, 0,20 e 0,30 m



APÊNDICE B – Curvas de retenção do solo, nas profundidades 0,40, 0,50 e 0,60 m



APÊNDICE C – Curvas de retenção do solo, nas profundidades de 0,70, 0,80 e 0,90 m

ANEXOS

Hor.	Prof. (m)	Estrutura			Consistência				Transição		Cerosidade	
		Tipo	Classe	Grau	Seca	Úmida	Molhada	Nitidez	Topo.	Grau	Quant.	
Ap	0 – 0,20	Granular.	Média	Fraca	Dura	Friável	Não plástico	Lig. Pegajosa	Clara	Plana	Ausente	----
A ₂	0,20-0,52	Bloco Subangular	Pequena	Fraca	Lig.dura	Muito friável	Não plástico	Lig. pegajosa	Gradual	Plana	Ausente	----
AB	0,52-0,96	Bloco Subangular	Média	Moderada	Lig. dura	Muito friável	Não plástico	Pegajosa	Gradual	Plana	Ausente	----
BA	0,96-1,42	Bloco Subangular	Média	Moderada	Lig. dura	Muito friável	Lig. plástico	Lig. pegajosa	Clara	Plana	Ausente
Bw ₁	1,42-1,69	Granular	Pequena	Maciça	Lig. dura	Muito friável	Lig. plástico	Não pegajosa	Clara	Plana	Ausente
Bw ₂	1,69-2,26+	Granular.	Pequena	Maciça	Lig. dura	Muito friável	Lig. plástico	Não pegajosa	Clara	Plana	Ausente

ANEXO A - Características morfológicas do perfil de Latossolo Vermelho Amarelo

Hor.	Prof. m	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂	MnO	Ki	Kr
Ap	0 – 0,20	5,80	4,28	2,85	0,77	0,03	2,40	1,70
A ₂	0,20-0,52	7,80	6,88	3,70	0,88	0,02	1,93	1,43
AB	0,52-0,96	7,80	6,87	3,69	0,87	0,02	1,94	1,45
BA	0,96-1,42	7,70	6,80	3,58	0,82	0,01	1,93	1,44
Bw ₁	1,42-1,69	8,90	6,84	3,72	0,80	0,01	2,21	1,64
Bw ₂	1,69-2,26+	8,90	6,83	3,70	0,79	0,01	2,20	1,65

ANEXO B – Teores de óxidos de silício, alumínio, ferro, titânio e manganês dos horizontes pedológicos

Horizontes Pedológicos (m)	Ds kg m ⁻³	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Classe Textural
Ap (0 – 0,20)	1400	840	20	140	Areia Franca
A ₂ (0,20 – 0,52)	1591	800	20	180	Franco – arenosa
AB (0,52 – 0,96)	1600	760	40	200	Franco – argilo – arenosa
BA (0,96 – 1,42)	1652	760	40	200	Franco – argilo – arenosa
Bw ₁ (1,42 – 1,69)	1586	760	20	240	Franco – argilo – arenosa
Bw ₂ (1,62 – 2,26+)	1545	760	20	240	Franco – argilo – arenosa

ANEXO C - Granulometria (areia, silte e argila), densidade do solo e classe textural dos horizontes pedológicos

Causas de variação	C (%)	MO (g dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg
				(mmolc dm ⁻³)		
Tratamentos (T)	2,8223**	4,8637*	4,36	0,1948**	99,44**	70,08*
Épocas (E)	10,6849**	26,1818**	412,38**	0,8546**	266,02**	471,24**
T x E	0,4118	1,6773	3,95	0,1103**	12,63	1,71
Blocos	1,1534	5,7869*	9,15	0,0138	2,88	106,88*
Resíduo	0,5689	1,3342	11,26	0,0053	7,53	24,83
C.V. (%)	10,71	9,57	34,25	16,17	12,38	32,55

Causas de variação	pH em CaCl ₂	Al	H+Al	SB	CTC	V (%)
		(mmolc dm ⁻³)				
Tratamentos (T)	1,0159**	0,6810	8,413	315,35**	231,84***	186,68**
Épocas (E)	1,1746*	7,3017*	1,024	1474,68**	1490,17**	537,12**
T x E	0,1263	0,4314	2,830	8,30	8,23	30,36
Blocos	3,6433**	15,3609	219,429*	147,70	7,08	783,91**
Resíduo	0,2082	1,3405	4,129	40,57	31,67	30,62
C.V. (%)	9,01	38,73	16,29	16,79	11,17	7,51

*e** - Significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de tukey.

ANEXO D- Quadrados médios e coeficientes de variação referentes a Carbono (C) matéria orgânica (MO), fósforo (P), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) na camada de 0-0,20 m, entre épocas de milho (safra milho - 2003/2004, aveia - 2004 e safra milho - 2004/2005)

Tratamentos		Camada 0-0,20 m					
		Massa de sólidos (t ha ⁻¹)			N acumulado (kg ha ⁻¹)		
		1 ^a	2 ^a	Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho	Após 1 ^o Cultivo de milho
30	90	2994	3098	3132	1257,48	1413,93	1424,59
60	60	3110	3166	3180	1500,58	1505,04	1457,87
Tratamentos		Camada 0,20-0,40 m					
		Massa de sólidos (t ha ⁻¹)			N acumulado (kg ha ⁻¹)		
		1 ^a	2 ^a	Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho	Após 1 ^o Cultivo de milho
30	90	3372	3372	3184	1128,05	1221,09	984,65
60	60	3320	3386	3120	1328,00	1207,87	967,59
Tratamentos		Camada 0,40-0,60 m					
		Massa de sólidos (t ha ⁻¹)			N acumulado (kg ha ⁻¹)		
		1 ^a	2 ^a	Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho	Após 1 ^o Cultivo de milho
30	90	3372	3372	3184	1003,17	1058,98	836,36
60	60	3372	3372	3120	1120,50	1046,95	918,53
Tratamentos		Camada 0,60-0,80 m					
		Massa de sólidos (t ha ⁻¹)			N acumulado (kg ha ⁻¹)		
		1 ^a	2 ^a	Após 1 ^o Cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2 ^o cultivo de milho	Após 1 ^o Cultivo de milho
30	90	3372	3372	3184	897,37	766,88	682,57
60	60	3372	3386	3120	904,70	777,34	684,14

ANEXO E - Médias de tratamentos referentes a massa de sólidos e N acumulado no solo, nas camadas de 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)