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

**Balanço de água no solo com milho sob sistema plantio direto e diferentes doses
de nitrogênio**

Monica Martins da Silva

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Física do Ambiente
Agrícola**

Piracicaba
2007

Monica Martins da Silva
Engenheiro Agrônomo

**Balanço de água no solo com milho sob sistema plantio direto e diferentes doses de
nitrogênio**

Orientador:
Prof. Dr. PAULO LEONEL LIBARDI

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Agronomia. Área de concentração: Física do
Ambiente Agrícola**

Piracicaba
2007

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

Silva, Monica Martins da

Balanço de água no solo com milho sob sistema plantio direto e diferentes doses de nitrogênio / Monica Martins da Silva. - - Piracicaba, 2007.
86 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Água do solo 2. Condutividade hidráulica do solo 3. Milho 4. Nitrogênio
5. Plantio direto I. Título

CDD 633.15

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

*“É o SENHOR quem dá sabedoria; a sabedoria e o entendimento vêm
d’Ele”. Provérbios 2:6*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar devo toda minha gratidão a Deus, Pai e Amigo de todas as horas. Pai que conhece o meu coração, e tem me abençoado com o melhor e com oportunidades com as quais jamais sonhei: “*Tudo que tenho é Teu, cada fôlego meu*”. A Ti meu Pai, toda Honra e toda Glória, pelos séculos do séculos, Amém.

À minha amada família, meu alicerce: minha irmã Nina, meu irmão Martinho e meus sobrinhos Gabriella e Tales, em especial meus pais José e Teresinha e minha avó Maria de Carvalho, pelo incentivo, cuidado, preocupações e orações. Amo muito todos vocês.

Ao professor Dr. e orientador Paulo Leonel Libardi pelos ensinamentos, disposição e amizade. A ele confesso toda minha admiração e respeito como profissional e pessoa, sendo um homem de um caráter admirável e exclusivamente raro no mundo em que vivemos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e especialmente ao Programa de “Física do Ambiente Agrícola” pela oportunidade concedida para realização do doutorado.

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado e ao CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa.

À querida amiga Flávia, pelo incentivo e pelas preciosas dicas na realização deste trabalho e, acima de tudo, pela amizade que, juntamente com seu marido Ricardo, filha Bruna e irmã Thaís, me doaram, em um período tão importante. A vocês, minha eterna gratidão e amizade.

À Maria José, Roberto, Ariana e Everton, família querida que me acolheu em Piracicaba.

Aos inesquecíveis amigos da Igreja Batista Nova Vida, Ariana, Eulália, Anna Júlia, Pedro, Francisco, Everton e Josina pela companhia, amizade e conselhos e, especialmente ao Pastor Marcílio e à Pastora Sônia, líderes de excelência, pelos preciosos ensinamentos, e a todos os irmãos desta amada igreja, a qual foi importante na consolidação de minha fé em Cristo. Deus abençoe vocês.

Aos professores do Departamento de Ciências Exatas, Sérgio Oliveira Moraes e Jarbas Honório Miranda pela amizade e por tornarem o ambiente de trabalho sempre agradável.

Aos colegas da pós-graduação Alex, Marcela, Dolorice, Laércio, Pablo, Jaedson e Márcio, aluno de iniciação científica, obrigada pelo apoio nos trabalhos de campo e acima de tudo pela amizade.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Exatas, Fernando, Francisco e Ângela e aos funcionários da biblioteca, meus sinceros agradecimentos.

A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho, meus mais sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 DESENVOLVIMENTO	17
2.1 Revisão bibliográfica	17
2.1.1 Balanço de água no solo	17
2.1.2 Comportamento físico-hídrico do solo sob sistema plantio direto	18
2.1.3 Adubação nitrogenada do milho em sistema plantio direto e seu reflexo no balanço de água no solo	21
2.1.4 Plantas de cobertura do solo no sistema plantio direto	22
2.1.5 Eficiência do uso da água	24
2.2 Materiais e métodos	25
2.2.1 Localização e caracterização da área experimental	25
2.2.2 Histórico da área experimental	26
2.2.3 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos	26
2.2.4 Semeadura e condução de aveia preta (<i>Avena strigosa</i>) e tremoço branco (<i>Lupinus albus</i>)	28
2.2.5 Semeadura e condução do milho (<i>Zea mays</i> L.)	28
2.2.6 Aplicação dos adubos	29
2.2.7 Avaliações no solo	29
2.2.7.1 Determinações físico-hídricas	29
2.2.7.2 Balanço de água no solo	31
2.2.7.3 Eficiência do uso da água (EUA)	36
2.2.8 Características agronômicas do milho	36
2.2.9 Matéria seca das plantas de cobertura de inverno	37
2.2.10 Análise estatística	37
2.3 Resultados e discussão	37
2.3.1 Características agronômicas do milho	37
2.3.2 Plantas de cobertura de inverno	43

2.3.3 Propriedades físicas do solo avaliadas após o cultivo de aveia preta, após a safra 2004/2005 de milho, após cultivo de tremoço branco e após safra 2005/2006 de milho.	44
2.3.4 Balanço de água no solo	50
2.3.4.1 Drenagem interna e precipitação	50
2.3.4.2 Variação de armazenagem de água no solo	54
2.3.4.3 Evapotranspiração.....	57
2.3.5 Eficiência do uso da água (EUA).....	60
3 CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	64
APÊNDICES	73

RESUMO

Balanço de água no solo com milho sob sistema plantio direto e diferentes doses de nitrogênio

O presente trabalho teve por objetivo: a) avaliar os processos do balanço de água no solo com culturas de milho sob sistema plantio direto e, adubada com diferentes doses de nitrogênio, em sucessão a plantas de cobertura do solo, e b) verificar possíveis alterações de algumas propriedades físico-hídricas do solo neste tipo de prática de manejo. O experimento foi conduzido em uma área experimental da ESALQ-USP, município de Piracicaba-SP. Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, denominado “tropical de altitude”. O solo do local é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 4 repetições. Os tratamentos constaram de uma testemunha e de três doses de nitrogênio (60, 120 e 180 kg ha⁻¹) na forma de sulfato de amônio, sendo que 30 kg ha⁻¹ de N foram aplicados na semeadura e o restante em cobertura. A área da parcela experimental foi de 36 m² (5,0 x 7,2 m), observando-se a declividade do terreno. A aveia preta foi semeada manualmente em julho de 2004 e o tremoço branco em junho de 2005, o milho em dezembro de 2004 e novembro de 2005, após manejo das plantas de cobertura do solo. No que diz respeito ao balanço de água o solo foram medidos a precipitação pluvial (P), o deflúvio superficial (R), a drenagem interna (D) (ou ascensão capilar) na profundidade de 0,8 m e a variação da armazenagem (Δh) na camada de solo de 0,0-0,80 m; a evapotranspiração real (ET) foi estimada como a incógnita na equação do balanço. Ainda foi avaliada a eficiência do uso da água (EUA) pela cultura do milho, bem como suas características agronômicas e produção de matéria seca (MS) das plantas de cobertura do solo. As propriedades físico-hídricas do solo avaliadas para atender o segundo objetivo do trabalho foram: porosidade total, macro e microporosidade do solo e densidade do solo. Os resultados obtidos mostraram que: quanto aos parâmetros do balanço de água, de forma geral, verificou-se que as doses de N os alteraram, uma vez que nos tratamentos com aplicação de N, o solo se encontrou com uma Δh relativamente menor que o tratamento sem N, refletindo em menor valor de D nesses tratamentos, sendo traduzido em maior absorção de água pelas plantas, bem como maior EUA e maior rendimento de grãos. Quanto às propriedades físico-hídricas do solo, percebeu-se tendências de mudança, principalmente no que se refere à macro e microporosidade do solo, condicionadas pela alteração estrutural do solo. Entretanto,

estas mudanças ocorrem paulatinamente, com o tempo e com a aplicação de N, sendo interessante um estudo em longo prazo no SPD, para se obter resultados mais significativos e conclusivos quanto a essa prática de manejo na região.

Palavras-chave: Tensiômetro; Eficiência do uso da água; Condutividade hidráulica; Perfil instantâneo

ABSTRACT

Water balance in the soil with maize under no tillage system and different nitrogen levels

The objective of this work was: a) to evaluate the processes of the water balance in the soil with maize plants, under no tillage system (NTS) and different nitrogen levels, in succession to cover crops; b) to verify possible alterations of some soil physico-hydric properties due to the no tillage system practice. The experiment was carried out in Piracicaba, SP, Brazil on a Typic Hapludox, locally called Yellow Red Latosol. According to Köppen's classification, the region climate is of Cwa type, tropical highland. The experimental design was of randomized blocks with four replicates. The treatments consisted of one control and three nitrogen levels (60, 120 and 180 kg ha⁻¹ of N) as ammonium sulphate, 30 kg ha⁻¹ of N being applied in the sowing and the remain in covering. The area of experimental plot was 36 m² (5.0 x 7.2 m), observing the land slope. *Avena strigosa* was sown manually in July 2004 and *Lupinus albus* in June 2005, the maize in November 2004 and 2005, after handling of the cover crops. In relation to the soil water balance, it was evaluated the precipitation (P), the runoff (R), the internal drainage (D) (or capillary rise) at the 0.80 m of depth, soil water storage variation (Δh) at the 0.0-0.80 m layer and the evapotranspiration (ET). The latter, was considered as unknown in the water balance equation. The maize WUE was also calculated, as well as yield components and dry matter cover crops. The soil physico-hydric properties evaluated were: total porosity, macroporosity, microporosity and dry bulk density. The results showed that: for the soil water balance, generally, the N levels changed the equation parameters. As a result, the treatments with N application had lower Δh than the treatment without N, implying in a lower D in these treatments and leading to a higher water absorption by plants, as well as WUE and yield grain. The soil physico-hydric properties have showed trends of changing, mainly for macro and microporosity, due to the soil structural change. However, these alterations, occur slowly, with the time and the N application. Therefore, it is necessary to study the long-term NTS to have significant and conclusive results for this soil management in this region.

Key word: Tensiometer; Water use efficiency; Hydraulic conductivity; Instantaneous profile

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui da área experimental.....	27
Figura 2 - Método do perfil instantâneo: A) detalhe da chapa galvanizada e dos tensiômetros; B) inundação do perfil; C) cobertura do perfil com plástico e palha.	31
Figura 3 - Pluviômetro instalado no centro da área experimental.....	32
Figura 4 - Calhas para contenção de água do deflúvio superficial. A) instalação das calhas; B) vista geral das calhas no experimento; C) detalhe das calhas; D) detalhe do recipiente coletor de água (volume do recipiente maior = 100 l).....	34
Figura 5 - Tensiômetros. a) no centro da parcela experimental; b) manômetro de mercúrio.	36
Figura 6 - Regressões para características agrônômicas do milho nas safras 2004/2005 e 2005/2006 em função das doses de N. A) altura de plantas; B) número de grãos/fileira; C) comprimento de espiga; D) MS; E) massa de 100 grãos; f) rendimento de grãos	41
Figura 7 - Regressões para matéria seca das plantas de cobertura de inverno em função das doses de N.....	44
Figura 8 - Regressões para macroporosidade nas profundidades de 0,15 e 0,25 m em função das doses de N	48
Figura 9 - Regressões para microporosidade nas profundidades de 0,05, 0,15 e 0,25 m em função das doses de N	49
Figura 10 -Densidade de fluxo média de água no solo (mm dia^{-1}) e precipitação (mm), na profundidade de 0,80 m, durante o período de desenvolvimento de uma cultura de milho na safra de 2004/2005	51
Figura 11 -Densidade de fluxo média de água no solo (mm dia^{-1}) e precipitação (mm), na profundidade de 0,80 m, durante o período de desenvolvimento de uma planta de cobertura (tremoço branco) no inverno de 2005	51
Figura 12 -Densidade de fluxo média de água no solo (mm dia^{-1}) e precipitação (mm), na profundidade de 0,80 m, durante o período de desenvolvimento de uma cultura de milho na safra de 2005/2006	52
Figura 13 -Regressões para drenagem interna em função das doses de N nas safras de 2004/2005 e 2005/2006 de milho e para a planta de cobertura de inverno+pousio	53

Figura 14 -Regressões para variação de armazenagem de água no solo em função das doses de N nas safras de 2004/2005 e 2005/2006 de milho e para a planta de cobertura de inverno+pousio.	56
Figura 15 -Variação da armazenagem de água no solo e precipitação (mm) durante o período de desenvolvimento de uma cultura de milho na camada de 0,0-0,80 m na safra de 2004/2005.	56
Figura 16 -Variação da armazenagem de água no solo e precipitação (mm) na camada de 0,0-0,80 m durante o período de pousio e de desenvolvimento da planta de cobertura no inverno de 2005.	57
Figura 17 -Variação da armazenagem de água no solo e precipitação (mm) durante o período de desenvolvimento de uma cultura de milho na camada de 0,0-0,80 m na safra de 2005/2006.	57
Figura 18 -Regressões para evapotranspiração do milho em função das doses de N nas safras de 2004/2005 e 2005/2006 e para a planta de cobertura de inverno+pousio	59
Figura 19 -Evapotranspiração real em função do rendimento de grãos de milho na safra de 2004/2005.	59
Figura 20 -Regressões para eficiência do uso da água em função das doses de N para a cultura do milho nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e para a planta de cobertura de inverno ..	62
Figura 21 -Eficiência do uso da água em função do rendimento de grãos de milho para as safras 2004/2005 e 2005/2006 e da MS da planta de cobertura de inverno	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Densidade do solo (Ds), densidade das partículas (Dp), análise granulométrica e classe textural do solo antes da instalação do experimento.....	26
Tabela 2 - Doses de nitrogênio utilizados nos tratamentos	27
Tabela 3 - Caracterização dos períodos de avaliação do balanço de água no solo.....	31
Tabela 4 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N sobre as características agronômicas do milho para a safra de 2004/2005 e 2005/2006.	39
Tabela 5 - Teste de Tukey para tratamentos referentes as características agronômicas do milho em função das doses de N	40
Tabela 6 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N sobre a matéria seca (MS) das plantas de cobertura de inverno.	43
Tabela 7 - Teste de Tukey para matéria seca (MS) das plantas de cobertura de inverno.....	43
Tabela 8 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N na porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo.....	45
Tabela 9 - Teste de Tukey para épocas de avaliação e doses de N referentes à porosidade total nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m	45
Tabela 10 - Teste de Tukey para épocas de avaliação e doses de N referentes macroporosidade nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m e regressões ^(a) para doses	47
Tabela 11 - Médias e teste de Tukey do desdobramento épocas dentro de doses de N referentes a macroporosidade do solo nas profundidades de 0,05 e 0,35 m.....	47
Tabela 12 - Teste de Tukey para épocas de avaliação e doses de N referentes à microporosidade nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m e regressões ^(a) para doses	49
Tabela 13 - Teste de Tukey para épocas de avaliação e doses de N referentes à densidade do solo nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m.....	50
Tabela 14 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N na drenagem interna de água no solo para a safra de 2004/2005 e 2005/2006 e planta de cobertura de inverno (tremoço branco) + pousio.....	53

Tabela 15 - Teste de Tukey para drenagem interna de água no solo nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e para o período de pousio + planta de cobertura de inverno (tremoço branco) em função das doses de N	53
Tabela 16 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N na variação de armazenagem de água no solo para a safra de 2004/2005 e 2005/2006 e planta de cobertura de inverno (tremoço branco) + pousio	55
Tabela 17 - Teste de Tukey para armazenagem de água no solo nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e para o período de pousio+ planta de cobertura de inverno (tremoço branco) em função das doses de N	55
Tabela 18 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N na evapotranspiração do milho para a safra de 2004/2005 e 2005/2006 e planta de cobertura de inverno (tremoço branco) + pousio	58
Tabela 19 - Teste de Tukey para evapotranspiração do milho nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e para o período de pousio+ planta de cobertura de inverno (tremoço branco) em função das doses de N	58
Tabela 20 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N sobre a eficiência do uso da água (EUA) do milho nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e para a planta de cobertura de inverno (tremoço branco)	61
Tabela 21 - Teste de Tukey para eficiência do uso da água do milho nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e para a planta de cobertura de inverno (tremoço branco) em função das doses de N	61

1 INTRODUÇÃO

O cultivo do milho sem o auxílio da prática de irrigação, está condicionado a um planejamento criterioso para que, ao longo do período de desenvolvimento se tenha temperaturas favoráveis e precipitações em quantidades e distribuição adequadas para garantir boa produtividade da cultura, no que diz respeito ao suprimento de água. Entretanto, cabe ressaltar que, a quantidade de água disponível para a cultura, depende da profundidade de solo explorada pelo sistema radicular e da capacidade de armazenagem de água do solo. Assim, avaliar o balanço de água e o comportamento da cultura de milho, quanto à utilização da água e do nitrogênio torna-se importante no que se refere à otimização desses dois recursos, ou seja, a melhora do desenvolvimento e distribuição das raízes no solo favorecendo o uso eficiente da água no processo produtivo.

Práticas de manejo de solos e de culturas têm sido recomendadas com o objetivo de reverter o processo de degradação física dos solos agrícolas, proporcionando assim melhor distribuição de água em seu perfil. Por exemplo, as alterações provocadas pelo sistema de plantio direto nas propriedades físicas do solo, em especial na estrutura, certamente devem alterar o comportamento da água no solo (AZOOZ; ARSHAD, 1996).

A relação entre sistema plantio direto, cultivo de milho em sucessão a plantas de cobertura do solo e processos do balanço hídrico fica mais clara quando se verifica que, sob sistema plantio direto, devido à menor mobilização do solo e à manutenção de resíduos culturais na superfície, as perdas de água e solo por deflúvio superficial devem ser reduzidas.

Assim, esse sistema de manejo do solo, por manter restos culturais na superfície, protege o solo das fortes chuvas, devendo contribuir com uma maior infiltração de água, melhoria na condução e armazenagem de água, bem como numa melhor distribuição de água no perfil do solo devido à melhora na estrutura causada por aumento do teor de matéria orgânica. Entretanto, deve-se levar em consideração que essas mudanças no solo ocorrem de forma lenta e gradual.

Nesse contexto, o balanço de água num solo cultivado, o qual nada mais é do que a contabilização das entradas e saídas de água num volume de solo que englobe todo o sistema radicular da cultura durante um determinado intervalo de tempo, contempla todos os processos de retenção e condução da água no sistema solo-planta-atmosfera. Portanto, a determinação de tal

balanço no sistema de plantio direto deverá esclarecer muitos pontos sobre o comportamento da água sob esta prática de manejo.

Todavia há carência de informações, principalmente no Estado de São Paulo, com base em experimentos, sobre o consumo de água ou evapotranspiração real de culturas de milho utilizando o sistema de plantio direto, com a adubação nitrogenada. Nesse sentido, obter o máximo rendimento de grãos aliado a uma prática de manejo que alcance, além de economia, uma máxima eficiência do uso da água e nutrientes, no caso o nitrogênio, seria de grande valia não somente econômica, mas também ambiental.

No que diz respeito à adubação nitrogenada do milho, é de se esperar aumento na produção de grãos com o aumento da dose dependendo, evidentemente, do regime hídrico do local, o que também vai ser refletido nos processos do balanço de água.

Assim, a presente pesquisa teve por objetivos: a) avaliar os processos do balanço de água no solo em culturas de milho sob sistema de plantio direto, adubadas com diferentes doses de nitrogênio, em sucessão a plantas de cobertura do solo; b) verificar possíveis alterações de algumas propriedades físico-hídricas do solo neste tipo de prática de manejo na região.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

2.1.1 Balanço de água no solo

O conhecimento de como as plantas utilizam a água retida no solo e de como respondem aos níveis de armazenagem no perfil, pode ser uma saída viável para o estabelecimento de estratégias eficazes de manejo visando ao melhor uso possível das reservas de água no solo pelas culturas. O movimento cíclico da água na lavoura começa com a sua penetração no solo por meio da infiltração, continua com sua armazenagem temporária na zona do sistema radicular e termina com sua remoção do solo por meio da drenagem, da evaporação e da absorção pelas raízes (HILLEL, 1970).

Para determinar o balanço de água no solo com uma cultura agrícola, em uma dada área de terreno no campo, é necessário, portanto, computar, durante um determinado período de tempo, quanto entra e quanto sai de água num volume de solo delimitado pela superfície do solo (interface solo - atmosfera ou superfície superior) e a superfície à profundidade do sistema radicular (ou superfície inferior). A água pode entrar no volume, através da superfície superior, por precipitação pluvial e/ou irrigação e por deflúvio superficial; ela pode sair do volume, por evapotranspiração através desta superfície e também por deflúvio superficial. Através da superfície inferior, a água pode sair por drenagem interna ou entrar por ascensão capilar. Dependendo das condições do terreno e do solo, a água pode também entrar no volume ou dele sair lateralmente, abaixo da superfície do solo por deflúvio subsuperficial. Se a quantidade de água que entra no período de tempo considerado for maior que a quantidade que sai durante o mesmo período, o saldo será positivo e, caso contrário, será negativo. Tanto o saldo positivo como o negativo são medidos pela variação da armazenagem de água no perfil do solo no período considerado (LIBARDI, 2005).

Dentre os parâmetros da equação do balanço de água no solo, os avaliados com maior facilidade são a precipitação e a irrigação. Já, a armazenagem de água no perfil do solo é obtida pela integração dos perfis de conteúdo de água no solo, o qual pode ser obtido, por exemplo, por meio de sondas de nêutron e por tensiômetros instalados no campo via curva de retenção. A

medida do deflúvio superficial ou “runoff” no campo é trabalhosa, e, em muitos estudos pode ser desconsiderada da equação do balanço. A drenagem interna e a ascensão capilar são componentes de grande complexidade no cálculo do balanço, sendo normalmente determinada pela equação de Darcy-Buckingham, a qual envolve a função de condutividade hidráulica do solo a qual, de acordo com van Lier; Libardi (1999), é uma das propriedades mais importantes para os estudos que envolvem a infiltração e fluxos da água no perfil do solo, podendo ser estimada no campo pelo método do perfil instantâneo (HILLEL et al., 1972; LIBARDI et al., 1980). A vantagem deste método está em ser feito diretamente no campo, porém envolve instrumentação adequada, tempo e trabalho.

Em estudos relacionados com a interação solo-planta, o conhecimento do movimento da água no perfil do solo, da drenagem interna, do movimento de poluentes e nutrientes, da curva de retenção, da função condutividade hidráulica do solo, é essencial na elaboração do balanço de água no solo (VIEIRA; CASTRO, 1987; PAULETTO et al., 1988). A profundidade efetiva das raízes também deve ser estabelecida, pois representa o limite inferior do volume de solo onde são contabilizadas a ascensão capilar e a drenagem interna (LIBARDI, 2005).

A importância do balanço de água no solo como ferramenta para avaliar a intensidade das saídas e entradas de água no solo e, por conseguinte, para definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico para a cultura, está relacionada não só ao conhecimento dos fatores que o compõem (evapotranspiração, precipitação, drenagem interna ou ascensão capilar) como, também, ao conhecimento das características da planta, principalmente da sua fenologia, que representa o ponto de partida para a interpretação coerente dos resultados do balanço (CINTRA et al., 2000).

2.1.2 Comportamento físico-hídrico do solo sob sistema plantio direto

Devido ao uso intensivo, o solo tem-se degradado rapidamente, principalmente nos países tropicais, despertando nas últimas décadas, a sustentabilidade da exploração agrícola bem como a preocupação com a qualidade do solo.

A produtividade de uma cultura, bem como sua alta rentabilidade, dependem fundamentalmente, da capacidade produtiva dos solos. Plantas que têm importância econômica, como o milho, por exemplo, podem ter sua produtividade elevada quando cultivado sob semeadura direta e rotação com plantas de cobertura. Assim, a associação de práticas agrícolas,

como a calagem, a rotação de culturas e a adubação verde, objetivam proporcionar modificações nos teores de nutrientes no solo, na sua estrutura, na porosidade, na agregação, na densidade do solo, na infiltração e na disponibilidade de água, tendo em vista o adequado desenvolvimento radicular da cultura (SILVA, 2003).

As operações de preparo causam alterações nas propriedades físicas do solo, as quais são importantes fatores de desenvolvimento das plantas. Dentre as propriedades do solo que sofrem modificações estão a estrutura, a porosidade e a densidade as quais, conseqüentemente, deverão alterar a infiltração, a condutividade hidráulica, a armazenagem de água, bem como a distribuição de água no perfil do solo.

As alterações que ocorrem na estrutura do solo, evidenciada por modificações nos valores de densidade, afetam a resistência do solo à penetração, a porosidade total, a distribuição do diâmetro dos poros e a porosidade de aeração, a armazenagem e disponibilidade de água às plantas, a dinâmica da água na superfície e no seu perfil (KLEIN et al., 1998).

A capacidade de um solo armazenar água disponível para o desenvolvimento das culturas é função de seus parâmetros físico-hídricos e da profundidade do sistema radicular (VILLA NOVA, 1982). O regime hídrico do solo e a disponibilidade de água às plantas são fatores importantes quando este é avaliado como potencialmente produtivo para determinada cultura. A quantidade de água absorvida pelas plantas não depende apenas do conteúdo ou potencial total da água no solo, mas também de sua capacidade em transmitir esta água para as plantas (HILLEL, 1970).

O sistema plantio direto, devido à mínima mobilização do solo e à manutenção de resíduos culturais na superfície, diminui significativamente as perdas de solos e de água por erosão hídrica, atendendo ao aspecto conservacionista do solo. Os fatores que determinam a redução da erosão hídrica no sistema plantio direto, podem provocar mudanças na estrutura e na porosidade do solo quanto à infiltração de água e do crescimento radicular, resultando em condições distintas daquelas apresentadas pelos sistemas convencionais (SÁ, 1993).

O sistema plantio direto por ser uma técnica de semeadura em solo não revolvido, no qual a mobilização é efetuada apenas na linha de semeadura, mantendo os restos culturais da cultura anterior na superfície, protege o solo contra a chuva e permite maior infiltração de água no perfil. O solo coberto com resíduos culturais apresenta melhora em sua estrutura na camada superficial, devido ao aumento do conteúdo de água e de matéria orgânica e à proteção contra chuva e enxurrada (DE MARIA; CASTRO, 1993), porém cabe lembrar que, essas melhorias fazem parte

de um processo lento e gradual de mudanças físicas e químicas no solo, visto que a falta de mobilização do solo causa inicialmente diminuição do volume do espaço poroso do solo (SIDIRAS; VIEIRA; ROTH, 1984; STONE; SILVEIRA, 2001; SECCO et al. 2005). Stone; Silveira (2001) observaram após três e quatro anos de sistema plantio direto, menores valores de macroporosidade e porosidade total e maiores valores para a microporosidade. Secco et al. (2005) obtiveram o mesmo comportamento para os valores de macroporosidade e porosidade total, uma vez que nos tratamentos que sofreram menor mobilização do solo, nas três profundidades e nos três anos avaliados, os valores foram inferiores em relação aos demais sistemas de manejo do solo. Benjamim (1993) verificou mudanças na densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, o que refletiu diretamente na condutividade hidráulica quando o solo foi submetido a diferentes sistemas de preparo.

Apesar disso, Lal (1994), avaliando diversos sistemas de preparo do solo, concluiu que em sistemas nos quais houve mobilização mínima do solo, houve maior armazenagem de água ao longo do ciclo da cultura. Dalmago et al. (2002), estudando a disponibilidade de água no solo em sistemas de plantio direto e semeadura convencional, verificaram que o primeiro, mantém por período mais prolongado, maior disponibilidade de água no solo, em relação à convencional. Su et al. (2007) avaliando o armazenamento de água do solo sob diferentes práticas de manejo conservacionista do solo, verificaram que o plantio direto obteve o maior valor de armazenamento de água no solo após seis anos de estudos.

Kitur et al. (1994) estudando o efeito de manejos do solo no crescimento e produtividade de milho, observaram alterações em algumas propriedades físico-hídricas do solo, dentre elas a retenção de água. Zimmermann (2001), ao analisar as alterações no dossel vegetativo e no rendimento de grãos de milho e sua relação com as variações na armazenagem, disponibilidade e extração de água do solo por plantas de milho irrigadas sob dois sistemas de preparo do solo, verificou que a semeadura direta e a semeadura convencional não diferiram quanto à armazenagem e à disponibilidade de água no solo às plantas de milho. Ainda Silva (2003) estudando o efeito do manejo nas propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho de cerrado e na produtividade do milho, verificou na semeadura direta menor armazenamento de água na camada de 0-0,20 m, porém com maior eficiência em disponibilizar a água armazenada às plantas e maior uniformidade de distribuição de água no perfil do solo.

2.1.3 Adubação nitrogenada do milho em sistema plantio direto e seu reflexo no balanço de água no solo

Devido à expectativa de acúmulo de matéria orgânica oriunda dos resíduos vegetais, nas camadas superficiais do solo sob plantio direto, também é esperado aumento no teor de nitrogênio, uma vez que 95 % ou mais do total do nitrogênio do solo encontra-se sob formas orgânicas (CAMARGO et al., 1999). Entretanto, isso não significa maior disponibilidade deste nutriente no sistema plantio direto, pois segundo Argenta; Silva (1999) a disponibilidade de nitrogênio no solo e, portanto, a resposta à adubação nitrogenada pela cultura do milho, em sucessão à plantas de cobertura, depende dos processos microbianos de imobilização e mineralização ocorrentes durante a decomposição dos resíduos culturais, ou seja, o fator determinante da disponibilidade de nitrogênio no plantio direto é o balanço entre imobilização e mineralização de nitrogênio no solo (SÁ, 1995), já que nos primeiros anos de adoção do plantio direto ocorre uma maior imobilização, a qual tende a ser reduzida com o tempo, coincidindo com o aumento da mineralização de nitrogênio (CERETTA; FRIES, 1998).

Dessa forma, considerando a importância da adubação da cultura do milho, a recomendação de adubação nitrogenada no sul do Brasil 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 nitrogênio em plantio direto que deveriam ser levados em consideração na recomendação de adubação deste nutriente. Dentre estes fatores destacam-se a disponibilidade inicial de nitrogênio no solo, o tipo de sequência de culturas em sucessão, o sistema de rotação de culturas e o tempo de adoção do sistema de plantio direto (SÁ, 1996).

No que se refere à produtividade, Ribeiro et al. (2002), avaliando cultivares de milho de diferentes grupos em sistemas plantio direto e semeadura convencional em três níveis de adubação em cobertura, verificaram diferença estatística no rendimento de grãos, isto é, a média geral da semeadura convencional foi 8267 kg ha⁻¹ de grãos contra 6532 kg ha⁻¹ no plantio direto. Pandey; Maranville; Admou (2000) estudando o déficit de irrigação e doses de nitrogênio na cultura do milho verificaram diferença para rendimento de grãos em função da dose de nitrogênio. Fernandes (2006) estudando a dinâmica do N na cultura do milho, em cultivo sucessivo à aveia preta em semeadura direta, também verificou diferença quanto ao rendimento de grãos.

Devido, principalmente, à baixa capacidade dos solos tropicais em suprir nitrogênio, e à baixa eficiência de utilização tanto do nitrogênio nativo, como do fertilizante aplicado, há

necessidade da aplicação de fertilizantes nitrogenados para sustentar altas produções das culturas cultivadas em solos tropicais (EMBRAPA, 1980; GROVE et al., 1980).

Nesse contexto, avaliar o balanço de água e o comportamento da cultura de milho quanto ao uso da água e à adubação nitrogenada torna-se importante no que se refere à otimização desses dois recursos, ou seja, a melhora do desenvolvimento e distribuição das raízes no solo favorecendo o eficiente uso da água no processo produtivo.

Eck (1984) relatou que em solos com baixo conteúdo de água, a produtividade do milho foi mais limitada pelas condições de falta de água do que pelo nitrogênio, enquanto que o contrário ocorreu em ótimos níveis de irrigação. Segundo Ogola; Wheeler; Harris, (2002) o efeito de doses de nitrogênio na evapotranspiração foi maior em experimentos com conteúdo adequado de água no solo. Pandey; Maranville; Admou (2000) estudando o efeito de níveis de irrigação e doses de nitrogênio na cultura do milho, também verificaram diferença para a evapotranspiração entre as doses de nitrogênio e níveis de água.

Dessa forma, considerando a adubação nitrogenada do milho, pode-se esperar acréscimo no rendimento de grãos com o aumento da dose dependendo, evidentemente, do regime hídrico do local, o que também vai ser refletido nos processos do balanço de água no solo.

2.1.4 Plantas de cobertura do solo no sistema plantio direto

A agricultura moderna é um dos grandes agentes degradadores do ambiente e uma das alternativas para minimizar os impactos causados pelo manejo do solo é a utilização do sistema plantio direto, devido ao não revolvimento do solo e à presença de cobertura morta, como mencionado anteriormente.

Segundo Derpsch et al. (1986), o sucesso do plantio direto depende do uso da sucessão de culturas e da cobertura vegetal a qual minimiza os efeitos da compactação superficial devido à presença da cobertura morta. Portanto, quanto mais matéria seca a espécie produzir, mais cobertura permanecerá na superfície do solo.

Dispõem-se de várias espécies de cobertura de solo com características adequadas para o plantio direto e para o rendimento de grãos de milho cultivado em sucessão. Para beneficiar este sistema, as espécies de cobertura devem proteger o solo e melhorar as suas características físicas e químicas e, para a cultura subsequente, devem incrementar o rendimento de grãos e o suprimento de nitrogênio (AITA, 1997). As consorciações de culturas de cobertura (gramíneas, leguminosas,

crucíferas e outras) apresentam vários benefícios à melhoria da qualidade do solo. Especificamente quanto ao nitrogênio, as leguminosas adicionam este nutriente pela fixação biológica do nitrogênio atmosférico, contribuindo para o aumento da disponibilidade de nitrogênio para as culturas em sucessão, enquanto que as gramíneas e as crucíferas atuam na ciclagem do nitrogênio mineral do solo, reduzindo os riscos de lixiviação. Segundo Paula; Assis; Bahia (1998) as gramíneas, que possuem um sistema radicular mais denso, provocam normalmente uma melhoria nas propriedades físicas do solo, como aumento da macroporosidade, da agregação e estabilidade dos agregados, da friabilidade do solo e da retenção de água. As leguminosas, devido à presença de um sistema radicular geralmente mais bem ramificado e profundo, promovem a reciclagem de nutrientes das camadas inferiores e, com a morte e decomposição das raízes, formam canalículos que aumentam a infiltração de água no solo.

As espécies leguminosas, por possuírem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico por meio da simbiose com bactérias específicas e, desta forma, elevar a disponibilidade deste nutriente no solo, apresentam características benéficas para anteceder a cultura do milho. No entanto, estas espécies são pouco utilizadas para cobertura de solo no inverno, devido a algumas limitações, como: desenvolvimento inicial lento, maior custo na aquisição de sementes em relação a outras espécies e, principalmente, alta taxa de decomposição de seus resíduos (Da ROS; AITA, 1996), deixando o solo desprotegido muito rapidamente.

Entretanto, segundo pesquisa realizada por Gouveia (1995), o tremoço branco (*Lupinus albus*), em comparação com outras plantas de cobertura do solo, produziu quantidade de matéria seca equivalente a $3,2 \text{ t ha}^{-1}$ proporcionando maior eficiência na cobertura do solo, juntamente com a aveia preta. Ainda Kanthack et al. (1991), estudando o efeito da adubação nitrogenada em cobertura para o milho após a cultura do tremoço, obteve aproximadamente 4 t ha^{-1} de massa de matéria seca de tremoço branco, fitomassa em quantidade apreciável para adequada cobertura do solo, o que significa aumento do material orgânico que poderá ser incorporado ao solo, contribuindo com melhoria em suas condições físicas, além das condições biológicas e químicas.

Por apresentar elevada produção de massa seca, facilidade de aquisição de sementes e de implantação, rusticidade (SÁ, 1996), rapidez de formação de cobertura (Da ROS; AITA, 1996), eficiente reciclagem de nitrogênio (REEVES, 1994) e ciclo adequado, a aveia-preta (*Avena strigosa* Scheid) é a espécie de cobertura de solo mais utilizada, no período de inverno, antecedendo ao cultivo do milho, plantado em sistema de plantio direto.

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 nitrogênio (TEIXEIRA et al., 1994; Da ROS; AITA, 1996; ARGENTA et al., 1999a) e no rendimento de grãos (PAVINATO et al., 1994; SÁ, 1996; ARGENTA et al., 1999b), devido à alta relação C/N de seus resíduos (ARGENTA, 1998). A adição de quantidades elevadas de resíduos culturais com alta relação C/N faz com que os microrganismos quimiorganotróficos que atuam na decomposição da matéria orgânica se multipliquem gradativamente, produzindo CO₂ em grande quantidade. Como consequência, o nitrato e o amônio presentes no solo diminuem (VICTORIA; PICCOLO; VARGAS, 1992).

Segundo Haas (1997), a cobertura do solo agregada ao sistema de plantio direto é a grande responsável pela otimização do aproveitamento de nutrientes, tanto dos fertilizantes, como do próprio solo, num processo lento e gradual de melhorias físico-químicas.

2.1.5 Eficiência do uso da água

A avaliação do balanço de água e o comportamento da cultura de milho quanto à utilização dessa água e fertilizantes nitrogenados torna-se importante no que se refere à otimização desses dois recursos, ou seja, a melhora do desenvolvimento e distribuição das raízes no solo favorecendo o uso eficiente da água no processo produtivo.

A necessidade do adequado fornecimento de água às plantas para que elas tenham um bom desenvolvimento é devido às suas funções na fisiologia vegetal, sendo que deficiências hídricas podem afetar desde a germinação até o desenvolvimento reprodutivo das plantas. Para o milho, as maiores exigências em água se concentram nas fases de emergência, florescimento e formação do grão, exigindo um mínimo de 400 a 500 mm de precipitação durante o ciclo para que produza adequadamente, sem a necessidade de irrigação (FANCELLI; DOURADO NETO, 2005).

Nesse sentido, a eficiência do uso da água, a qual é geralmente definida em agronomia como a razão entre a produtividade da cultura e a quantidade de água consumida pela cultura, representada pela evapotranspiração real, pode ser um indicador confiável dessa relação e, segundo Mueller et al. (2005), altos valores de eficiência do uso da água ocorrem quando há alta produtividade. Contudo, no sentido de maximizar a produtividade das culturas, a adoção de práticas de manejo que minimizem as perdas de água e aumentem a eficiência do uso da água,

como o sistema plantio direto e adubação nitrogenada, devem ser utilizadas. Pandey; Maranville; Admou (2000) estudando os efeitos do déficit de irrigação e do nitrogênio no milho e Ogola; Wheeler; Harris (2002) estudando o efeito do nitrogênio e da irrigação na eficiência do uso da água pelo milho, verificaram aumento na eficiência do uso da água com o aumento das doses de N.

Entretanto, os valores obtidos para esse parâmetro são muito variáveis. Asseng; Tuner; Keating (2001) analisando a eficiência do uso da água e do nitrogênio pelo trigo, concluíram que a variabilidade sazonal obtida poderia ser atribuída aos efeitos da quantidade e da distribuição da precipitação durante o ciclo da cultura, além do tipo de solo também ter grande influência, devido às diferenças no armazenamento de água, evaporação do solo e a interação entre precipitação e manejo.

2.2 Materiais e métodos

2.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido, sob condições de campo, em área experimental da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. As coordenadas geográficas do local são 22°42'30" de latitude sul, 47°38'00" de longitude oeste e aproximadamente 546 m de altitude. Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região 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, 1257 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. O solo do local é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 1999), distrófico (Typic Haplustox) textura arenosa (Tabela 1).

Por ocasião da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo das camadas 0,0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m de profundidade para a determinação das características físicas do perfil (Tabela 1). A análise granulométrica foi determinada pela metodologia descrita por Gee; Bauder (1986), a densidade do solo pelo método do anel

volumétrico e a densidade das partículas pelo método do balão volumétrico descrito por Kiehl (1979).

Tabela 1 - Densidade do solo (Ds), densidade das partículas (Dp), análise granulométrica e classe textural do solo antes da instalação do experimento

sólo antes da instalação do experimento						
Camada (m)	Ds (kg m ⁻³)	Dp (kg m ⁻³)	Areia	Silte	Argila	Classe textural
(%)						
0,0-0,20	1627	2754	84	2	14	Areia franca
0,20-0,40	1678	2760	80	2	18	Franco-arenosa
0,40-0,60	1675	2738	76	4	20	Franco-argilo-arenosa
0,60-0,80	1635	2693	76	4	20	Franco-argilo-arenosa

2.2.2 Histórico da área experimental

O experimento foi instalado no ano agrícola de 2003/2004, quando foi implantado o sistema de plantio direto (SPD). Para isso foi feita uma subsolagem, uma aração e duas gradagens e, para uma melhor uniformização da área, foi realizada uma calagem com calcário dolomítico na camada de 0,0-0,20 m para elevar a saturação por bases a 60 %. A partir daí, com a área experimental devidamente estabelecida a seguinte sucessão de culturas foi desenvolvida: milho-aveia preta-milho-tremoço branco-milho.

Na presente pesquisa, para a avaliação do balanço de água no solo, acompanhou-se a safra 2004/2005 de milho (*Zea mays* L.), o período de entressafra, em que foi cultivado o tremoço branco (*Lupinus albus*), e a safra 2005/2006 de milho. Para a análise das características físicas do solo e matéria seca das plantas de cobertura do solo, foram obtidos também dados referentes ao cultivo de aveia preta (*Avena strigosa*) cultivada no inverno de 2004, antes da primeira safra de milho.

Portanto, os resultados aqui obtidos são referentes ao segundo e terceiro anos de implantação do SPD.

2.2.3 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 4 repetições. Os tratamentos constaram de 3 doses de nitrogênio (N) (60, 120 e 180 kg ha⁻¹) e uma testemunha, conforme consta na Tabela 2. Foi utilizado o sulfato de amônio, com 30 kg ha⁻¹ de N aplicados na semeadura e o restante em cobertura, no estágio de 6 a 8 folhas.

A área da parcela experimental era de 36 m² (5,0 x 7,2 m), sendo a distância entre parcelas de 2,0 m, num terreno de aproximadamente 3 % de declividade. A Figura 1 mostra a distribuição das parcelas na área experimental.

Tabela 2 - Doses de nitrogênio utilizados nos tratamentos

Tratamentos	Doses de N (kg ha ⁻¹)		Total de N aplicado (kg ha ⁻¹)
	Plantio	Cobertura	
01	-	-	-
02	30	30	60
03	30	90	120
04	30	150	180

Figura 1 - Croqui da área experimental

No sulco de semeadura foi aplicado o Furadan (para controlar pragas do solo) na dose de 20 kg ha⁻¹. Durante os cultivos de milho também foram controladas a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith), pulverizando lufenuron (match 300 ml ha⁻¹) e

zetacipermetrina (Mustang 350 EC 60 ml ha⁻¹), e formigas, pulverizando-se deltametrina (K-Otrine 2P 10 g/ninho).

Para o controle de plantas daninhas foi utilizado o herbicida em pós-emergência glifosato, na dose de 2400 g ha⁻¹ do i.a.

2.2.4 Semeadura e desenvolvimento da aveia preta (*Avena strigosa*) e do tremoço branco (*Lupinus albus*)

A aveia preta foi semeada manualmente em 29/07/2004. Para isso retirou-se toda a palhada do milho e fez-se a semeadura num espaçamento de 0,20 m entre linhas, empregando-se uma densidade de sementes de 60 kg ha⁻¹. Posteriormente retornou-se toda a palhada de milho novamente na parcela. O manejo mecânico da cobertura foi feito na época do florescimento pleno (28/10/2004) com triturador de palhas simulando o rolo faca.

O tremoço branco foi semeado manualmente em 09/06/2005. O mesmo procedimento realizado com a palhada do milho para a aveia preta foi feito para o tremoço branco. Foi empregada a densidade de 33 sementes por m², com espaçamento entre linhas de 0,30 m. O manejo mecânico da cobertura foi feito no florescimento pleno (24/08/2005) com triturador de palhas simulando o rolo faca.

2.2.5 Semeadura e desenvolvimento do milho (*Zea mays* L.)

A semeadura do milho foi realizada manualmente em 02/12/2004 e em 18/11/2005. As sementes foram distribuídas com auxílio de uma régua, deixando-se, a cada 0,20 m, duas sementes, desbastando-se uma planta, uma semana após a emergência (08/12/2004 e 23/11/2005) para a obtenção de uma população final de aproximadamente 62500 plantas por hectare, ou seja, 5 plantas por metro de sulco. O híbrido escolhido foi o DKB 350 para ambas as safras, um híbrido simples com alto potencial produtivo e recomendado para a região.

Na safra 2004/2005, as plantas atingiram o florescimento pleno em 10/02/2005 e a colheita ocorreu em 06/04/2005. Já na safra seguinte, o florescimento pleno ocorreu em 19/01/2006 e a colheita em 22/03/2006. Após ambas colheitas, realizou-se a trituração dos restos culturais, simulando um rolo faca.

2.2.6 Aplicação dos adubos

A adubação básica da cultura do milho (fosfatada e potássica) foi feita manualmente no sulco de semeadura, com superfosfato simples (90 kg ha^{-1} de P_2O_5) e cloreto de potássio (50 kg ha^{-1} de K_2O) a 5 cm abaixo das sementes no momento da semeadura, para se evitar o contato direto com as sementes. As adubações nitrogenadas tiveram como fonte o sulfato de amônio e foram realizadas manualmente no sulco de semeadura (adubação de semeadura) 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.

Na aveia preta, a adubação básica foi de 30 kg ha^{-1} de N, 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 50 kg ha^{-1} de K_2O (RAIJ et al., 1997) na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, feita à lanço após a semeadura.

No tremço branco, a adubação básica foi de 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 30 kg ha^{-1} de K_2O (RAIJ et al., 1997) na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, feita à lanço após a semeadura.

2.2.7 Avaliações no solo

2.2.7.1 Determinações físico-hídricas

Por ocasião da instalação do experimento, em uma trincheira adjacente à parcela experimental, amostras de solo com estrutura indeformada foram retiradas das profundidades de 0,05, 0,10, 0,20, 0,30, 0,40, 0,50, 0,60, 0,70, 0,80 e 0,90 m utilizando um amostrador do tipo Uhland, e levadas para o Laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP, onde foram realizadas as seguintes determinações:

- a) densidade do solo, pelo método do anel volumétrico (BLAKE; HARTGE, 1986), o qual tinha um volume de $2,55 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.
- b) curvas de retenção (Apêndices A, B e C), por meio de funis de placa porosa (tensões de 1, 3, 6 e 10 kPa) e câmaras de pressão com placas porosas (tensões de 50, 100, 500 e 1500 kPa), seguindo os procedimentos descritos em Libardi (2005). As curvas de retenção da água no solo foram então, ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980), utilizando o software Table Curve 2D – Jandel Scientific – Copyright 1989-1994.

Ao longo do experimento, especificamente, após o manejo da aveia preta em 2004, após o manejo do tremço branco em 2005 e após a colheita do milho em 2005 e 2006, amostragens semelhantes foram feitas às profundidades de 0,05, 0,15, 0,25, 0,35 m para determinação apenas

da densidade do solo e da tensão 0,6 m em mesa de tensão (KIEHL, 1979) para avaliação da macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo (PT).

Além disso, em parcela adjacente à área experimental, foi determinada a condutividade hidráulica (K) do solo em função do conteúdo de água no solo (θ), pelo método do perfil instantâneo (WATSON, 1966; LIBARDI, 2005), por meio de tensiômetros com manômetro de mercúrio instalados às profundidades de 0,10, 0,20, 0,30, 0,40, 0,50, 0,60, 0,70, 0,80 e 0,90 m e das curvas de retenção determinadas às mesmas profundidades. O maior interesse no presente caso era a função $K(\phi_m)$ na profundidade de 0,80 m, limite do volume de solo delimitado para o balanço de água; a essa profundidade assumiu-se que possíveis modificações causadas pelo sistema de plantio direto na estrutura do solo não foram atingidas.

Para execução desse método foi utilizada uma estrutura de chapa galvanizada de espessura 2 mm, 1 m de altura e 2,5 m de diâmetro 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, foram instalados os tensiômetros (Figura 2A). O perfil foi saturado com água (Figura 2B), após o que a parcela foi coberta com uma lona plástica, para evitar qualquer fluxo de água através da superfície e, sobre a lona plástica, colocada palha, para controle de temperatura (Figura 2C). O momento da colocação do plástico foi considerado como tempo zero ($t=0$) de redistribuição quando, então, iniciaram-se as leituras dos tensiômetros, as quais foram realizadas durante 18 dias, até que o movimento da água praticamente cessasse, ou seja, até que as leituras dos tensiômetros permanecessem praticamente constantes. A partir das leituras dos tensiômetros, obtiveram-se os valores de potencial mátrico e, por meio das curvas de retenção, determinadas às mesmas profundidades, obtiveram-se os valores de conteúdo de água volumétrico em função do tempo de redistribuição, podendo-se, assim, escrever a equação de condutividade hidráulica por meio da equação

$$K(\theta)|_z = \frac{-\int_0^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dZ}{\frac{\partial \Phi_t}{\partial Z}|_z} \quad (1)$$

em que t é o tempo de redistribuição; Z é a profundidade do solo; ϕ é o potencial total da água no solo e θ a umidade volumétrica. A função $K(\theta)$ obtida, após a aplicação de método para a profundidade de 0,8 m, foi

$$K(\theta) = 507,05e^{50,676*(\theta-0,3529)} \quad (2)$$

em que K é expressa em mm dia^{-1} .

Figura 2 – Método do perfil instantâneo: A) detalhe da chapa galvanizada e dos tensiômetros; B) inundação do perfil; C) cobertura do perfil com plástico e palha

2.2.7.2 Balanço de água no solo

O balanço de água foi realizado em três períodos (Tabela 3), sendo eles o ciclo de milho da safra 2004/2005, o período de entressafra (pousio + cultivo do tremoço branco) e a safra 2005/2006 de milho.

Tabela 3 – Caracterização dos períodos de avaliação do balanço de água no solo

Períodos	Data inicial	Data final	Nº de dias
1	30/12/2004	16/05/2005	112
2	17/05/2005	19/10/2005	133
3	20/10/2005	23/03/2006	153

Período 1: Ciclo de milho da safra 2004/2005 + 39 dias de pousio; 2: entressafra (pousio + cultivo do tremoço branco); 3: 33 dias de pousio + ciclo de milho da safra 2005/2006.

Esta determinação baseia-se na utilização da equação da conservação de massa, segundo a qual a soma algébrica dos fluxos da água num determinado volume de solo é igual à variação da

quantidade de água nele armazenada, num dado intervalo de tempo (ROSE; STERN, 1967).

Assim a equação do balanço de água no solo pode ser escrita como:

$$P + I + D + AC + ET + R = \Delta h_z \quad (3)$$

sendo P a precipitação (mm); I a irrigação (mm); D a drenagem interna (mm); AC a ascensão capilar (mm); ET a evapotranspiração (mm); R o deflúvio superficial (mm) e Δh_z a variação da armazenagem de água (mm).

a) Precipitação (P)

Definida por

$$\int_{t_i}^{t_f} p dt = P \quad (4)$$

sendo p a intensidade de precipitação (mm dia^{-1}) e t o tempo. A contabilização de entrada de água por precipitação foi feita por meio de um pluviômetro (Figura 3) instalado no centro da área experimental.

b) Irrigação (I)

Definida por

$$\int_{t_i}^{t_f} i dt = I \quad (5)$$

sendo i, à semelhança de p, a intensidade de irrigação (mm dia^{-1}) e, igualmente, t o tempo. Como a área experimental não foi irrigada, tal parâmetro foi desconsiderado na equação.

Figura 3 - Pluviômetro instalado no centro da área experimental

c) Deflúvio superficial (R)

Calculada a partir da definição

$$\int_{t_i}^{t_f} r dt = R \quad (6)$$

sendo r a intensidade do deflúvio superficial (mm dia^{-1}) que é positivo quando decorrente de contribuição à montante e negativo quando refletir perda de água por escoamento superficial.

A contabilização do deflúvio superficial foi realizada em quatro parcelas experimentais sendo uma em cada bloco, aleatoriamente, como mostra a Figura 1. Para isso foram instaladas folhas metálicas (chapa galvanizada) de 0,50 m de altura (0,40 m enterrados) nas dimensões de cada parcela (7,20 m x 5,0 m), sendo que, no lado de cota mais baixa, foi colocada uma calha para contenção da água, a qual foi coletada e efetuados os devidos cálculos (Figura 4). Como os volumes de água coletada nos períodos chuvosos resultaram em R muito pequenos (o somatório de todos os volumes coletados não atingiram 2 mm), este componente foi desconsiderado na equação do balanço.

Nas demais parcelas foram enterradas, de modo semelhante, folhas metálicas de igual altura (0,50 m) apenas no lado (5,0 m) de maior cota para evitar o escoamento de água de uma parcela para outra e, com isso, mantendo condições semelhantes, com relação ao deflúvio, em todas as parcelas.

d) Drenagem interna (D) / ascensão capilar (AC)

Calculada por

$$\int_{t_i}^{t_f} q_z dt = D \text{ (ou AC)} \quad (7)$$

sendo q_z a densidade de fluxo de água no solo (mm dia^{-1}) que pode ser positiva, resultando na ascensão capilar (AC) e negativa, resultando na drenagem interna (D) (APÊNDICES D, E e F).

Este componente, na profundidade e tempo considerados, foi estimado pela equação de Darcy-Buchingham, isto é:

$$q = -K(\theta)(\Delta\phi / \Delta Z) \quad (8)$$

sendo q a densidade de fluxo da água no solo (mm dia^{-1}); ΔZ = o comprimento da camada do solo (0,20 m), entre as profundidades 0,90 e 0,70 m; $K(\theta)$ = a condutividade hidráulica K (mm dia^{-1}) obtida em função do conteúdo de água volumétrico θ pelo método do perfil instantâneo; e

$\Delta\phi_t$ = a diferença de potencial total (m) obtida a partir da diferença de leitura dos tensiômetros instalados às profundidades 0,70 e 0,90 m.

Figura 4 - Calhas para contenção de água do deflúvio superficial. A) instalação das calhas; B) vista geral das calhas no experimento; C) detalhe das calhas; D) detalhe do recipiente coletor de água (volume do recipiente maior = 100 l)

O potencial total ϕ_t , em m de água, foi calculado por

$$\phi_t = -12H + h_c \quad (9)$$

uma vez que

$$\phi_t = \phi_m + \phi_g \quad (10)$$

em que ϕ_g é o potencial gravitacional da água no solo, medido considerando-se a referência gravitacional localizada na superfície do solo, portanto, $\phi_g = -Z$ m de água e o potencial mátrico ϕ_m calculado de acordo com a equação

$$\phi_m = -12,6H + h_c + Z \quad (11)$$

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

Foi observado ainda que, durante alguns dias dos períodos determinados, o fluxo de água apresentou resultados positivos, indicando a ocorrência de ascensão capilar. No entanto, para efeito do balanço de água, foi considerado o somatório dos componentes ascensão capilar e drenagem interna ocorridas no período, e o fluxo resultante foi em sua maioria, a drenagem interna.

e) Armazenagem (h_z) e variação de armazenagem (Δh_z)

Estes parâmetros foram determinados a partir de perfis de conteúdo de água nos períodos especificados para a realização do balanço (Tabela 3) obtidos por meio das leituras dos tensiômetros nas profundidades de 0,05, 0,10, 0,20, 0,30, 0,50, 0,70, 0,80 e 0,90 m (Figura 5) e respectivas curvas de retenção. Nos períodos mais secos e/ou de maior demanda, quando os tensiômetros deixaram de funcionar, os conteúdos de água foram determinados por gravimetria a partir de amostras obtidas por gradagem. A armazenagem de água (h_z) no perfil de solo 0-Z m ($Z = 0,80$ m) de profundidade, foi calculada pela integral

$$h_z = \int_0^L \theta(Z) dZ \quad (12)$$

em que, θ = conteúdo de água volumétrico, função de Z , e L a profundidade de solo definida para o balanço, igual a 0,80 m. Assim, h_z representa a armazenagem de água na camada 0-L m. A avaliação dessa integral para $L = 0,80$ m foi feita pela regra de integração numérica do trapézio, assumindo-se o mesmo valor de θ em $Z = 0,05$ m para a camada $Z = 0,0-0,05$ m, resultando daí a seguinte expressão

$$h_{0,0-0,80} = [(\theta_{0,05} + \theta_{0,10} + 2\theta_{0,20} + \theta_{0,30}) * 0,05 + (\theta_{0,30} + 2\theta_{0,50} + \theta_{0,70}) * 0,10 + (\theta_{0,70} + \theta_{0,80}) * 0,05] \quad (13)$$

Com as armazenagens obtidas para as datas limites de cada período do balanço de água no solo, obteve-se a variação de armazenagem Δh_z , calculada por

$$\int_0^Z \left[\int_{t_i}^{t_j} (\partial \theta / \partial t) dz \right] dt = \Delta h_z \quad (14)$$

sendo Δh_z a variação de armazenagem de água no solo no período de tempo $t_j - t_i$.

Figura 5 – Tensiômetros. A) no centro da parcela experimental; B) manômetro de mercúrio

f) Evapotranspiração (ET)

Dada por

$$\int_{t_i}^{t_j} et dt = -ET \quad (15)$$

sendo et a intensidade de evapotranspiração (mm dia^{-1}). Este componente foi determinado por diferença, por meio da equação simplificada do balanço de água, visto que os outros componentes da equação foram determinados conforme as metodologias descritas nos itens a a e.

2.2.7.3 Eficiência do uso da água (EUA)

Com os dados de rendimento de grãos obtidos na área de estudo determinou-se a eficiência do uso da água pela relação deste e a quantidade de água consumida pela cultura ao longo do ciclo, representada pela evapotranspiração estimada pela equação do balanço de água no solo, isto é:

$$EUA = RC^{-1} \quad (16)$$

em que EUA é a eficiência de uso da água (kg m^{-3}); R é o rendimento de grãos (kg ha^{-1}) e C é a evapotranspiração real ou consumo de água ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

2.2.8 Características agronômicas do milho

Para altura de plantas foram medidas, ao acaso, 10 plantas por parcela, medindo-se a distância entre o colo das plantas até a inserção da última folha.

O número de fileiras por espiga e o número de grãos por fileira foi obtido pela contagem de fileiras de 10 espigas colhidas em plantas de três linhas internas das parcelas, separadas aleatoriamente, antes da trilhagem dos grãos.

A massa de 100 grãos foi obtida pela pesagem de duas amostras de 100 grãos e contados manualmente.

A massa da matéria seca das plantas foi feita por ocasião da colheita, no final do ciclo das culturas, quando foram coletadas quatro plantas por parcela, as quais foram secas e pesadas.

Para determinar o rendimento de grãos foram colhidas espigas de três linhas internas das parcelas. Os grãos foram trilhados e pesados e, então, transformados em kg ha^{-1} (13% de umidade).

A fenologia da cultura do milho, observada nas Figuras 10 e 12, isto é, os estádios de desenvolvimento da cultura cultivada na safra 2004/2005 e na safra 2005/2006 foi realizada conforme definição de Ritchie; Hanway; Benson (2003).

2.2.9 Matéria seca das plantas de cobertura de inverno

Para obter a massa da matéria seca da aveia preta, coletaram-se as plantas na época do florescimento pleno, em uma área útil de $1,0 \text{ m}^2$ da parcela e, para o tremoço branco, coletaram-se 10 plantas por parcela e determinada a fitomassa seca em estufa com circulação forçada de ar a $60\text{-}70^\circ\text{C}$, até a massa constante, em balança de precisão.

2.2.10 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias e análise de regressão polinomial para os estudos dos efeitos das doses de N por meio do programa estatístico SANEST - Sistema de Análises Estatísticas para Microcomputadores (ZONTA; MACHADO, 1980).

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Características agronômicas do milho

Como as condições do ambiente foram diferentes nas safras 2005/2006 e 2004/2005, a análise foi feita separadamente para cada safra. A Tabela 4 mostra o teste F e o coeficiente de variação para o efeito das doses de N sobre as características agronômicas do milho para as safras

2004/2005 e 2005/2006, na qual se observa que houve efeito das doses de N para todas as características estudadas. Na Tabela 5 são apresentados os resultados do teste de Tukey para o efeito das doses de N em alguns parâmetros de desenvolvimento das culturas de milho e rendimento de grãos nas safras 2004/2005 e 2005/2006. A resposta do milho quanto à altura de plantas foi quadrática (Figura 6A) em ambas as safras, concordando com Souza et al. (2002). A dose zero apresentou a menor altura de plantas (Tabela 4) como já era esperado, demonstrando que essa característica depende de aplicação de N. Tozetti et al. (2004) avaliando progênies de milho na presença e ausência de adubo, verificaram que a adubação afeta diretamente a altura de plantas. Fernandes (2006) também verificou efeito das doses de N na altura de plantas de milho.

Para o número de grãos por fileira e comprimento de espiga (Tabela 5), a dose de 180 kg ha⁻¹ promoveu maior resultado para essas características, seguido pela dose de 120, 60 e 0 kg ha⁻¹ em ambas as safras de milho, sendo que para o número de grãos por fileira, na safra 2004/2005 a resposta foi cúbica e na safra seguinte quadrática (Figura 6B), concordando com Sangoi et al. (2001) que obtiveram ajustes lineares e quadráticos quando estudaram o efeito de doses de N e diferentes híbridos.

Para o comprimento de espiga (Tabela 5) a dose de 180 kg ha⁻¹ promoveu o maior resultado e o ajuste foi quadrático em ambas as safras (Figura 6C), concordando com Silva; Buzetti (2002) que estudaram doses de N na produtividade de seis cultivares de milho.

Quanto ao número de fileiras por espiga (Tabela 5) a dose zero apresentou o menor resultado diferindo significativamente das demais doses de N, à semelhança dos resultados obtidos por Fernandes; Buzetti; Silva (2004) e Fernandes (2006).

No que diz respeito à matéria seca da parte aérea de plantas (Tabela 5), a aplicação de N foi significativa, com a dose de 180 kg ha⁻¹ promovendo a maior quantidade de massa seca seguida pelas doses de 120, 60 e 0 kg ha⁻¹ em ambas as safras de milho, o mesmo ocorrendo com Araújo; Ferreira; Cruz (2003) e Fernandes (2006) que obtiveram maior produção de matéria seca com a maior dose de N aplicada. O ajuste dos resultados foi quadrático para as duas safras de milho quanto à produção de massa seca (Figura 6D). Silva et al. (2002) estudando os efeitos de doses de calcário e de N no milho, verificaram um ajuste quadrático para a produção de matéria seca da parte aérea em relação às doses de N.

Tabela 4 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N sobre as características agronômicas do milho para a safra de 2004/2005 e 2005/2006

Causas da variação	Altura de plantas (m)	Número de grãos/fileira	Comprimento de espiga (cm)	Número de fileiras/espiga	MS (t ha ⁻¹)	Massa 100 grãos (g)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)
Valores de F safra 2004/2005							
Doses	27,11**	139,10**	149,65**	10,06*	40,94**	14,58*	340,84**
CV (%)	7,27	4,83	3,66	4,92	8,66	4,13	3,69
Valores de F safra 2005/2006							
Doses	15,03*	463,53**	243,75**	19,08*	25,85**	1656**	778,10**
CV (%)	8,06	3,00	3,35	3,86	13,52	2,49	3,63

** * significativo a 1 e a 5 % de probabilidade, respectivamente pelo teste de Tukey

Tabela 5 - Teste de Tukey para tratamentos referentes as características agrônômicas do milho em função das doses de N

Doses (kg ha ⁻¹)	Altura de plantas (m)	Número de grãos/fileira	Comprimento de espiga (cm)	Número de fileiras/espiga	MS (t ha ⁻¹)	Massa 100 grãos (g)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)
Safrá 2004/2005							
0	1,45 b	16,70 c	10,43 c	13,10 b	8,20 d	21,26 c	2004,49 d
60	2,09 a	25,35 b	12,46 b	14,90 a	13,67 c	22,92 c	3557,58 c
120	2,18 a	27,45 b	13,13 b	15,10 a	15,01 b	24,09 b	3857,53 b
180	2,30 a	34,75 a	17,55 a	15,80 a	16,84 a	25,65 a	4977,90 a
Safrá 2005/2006							
0	1,52 c	16,83 d	10,19 d	12,38 b	8,67 c	14,23 d	1424,86 d
60	1,82 bc	24,22 c	13,93 c	14,00 a	9,47 c	31,77 c	3201,14 c
120	1,98 ab	32,03 b	16,81 b	14,75 a	13,51 b	42,44 b	4304,96 b
180	2,22 a	37,20 a	19,37 a	15,00 a	17,94 a	58,60 a	5885,92 a

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

Figura 6 - Regressões para características agrônômicas do milho nas safras 2004/2005 e 2005/2006 em função das doses de N. A) altura de plantas; B) número de grãos/fileira; C) comprimento de espiga; D) MS; E) massa de 100 grãos; F) rendimento de grãos

Quando se comparam as duas safras, percebe-se que a safra 2004/2005 produziu menor quantidade de matéria seca por planta de milho. De acordo com Argenta et al. (2001), a menor produção de matéria seca por planta de milho em sucessão à aveia preta, pode ser atribuída ao fato de que a adição dos resíduos culturais da cobertura de inverno favoreceu a imobilização de N pelos microorganismos.

Os resultados obtidos para massa de 100 grãos (Tabela 5) mostram que para ambas as safras de milho a dose de 180 kg ha⁻¹ proporcionou maior peso de grãos, seguida pelas doses de 120, 60 e 0 kg ha⁻¹, sendo que na safra 2004/2005, os dados se ajustaram a uma função linear (Figura 6E), à semelhança dos resultados de Silva; Buzetti (2002), e na segunda safra, os dados ajustaram-se a uma função cúbica. Verifica-se ainda que, os resultados obtidos para a primeira safra foram menores do que os observados na segunda safra, cuja precipitação foi bem distribuída ao longo de todo o ciclo da cultura. A safra 2004/2005, embora tenha apresentado rendimento satisfatório de grãos, apresentou deficiência no enchimento de grãos. Segundo Caramori; Wrege; Gonçalves (1999); Pandey; Maranville; Admou (2000), o período reprodutivo é o período considerado crítico, sendo muito afetado por condições de falta de água, refletindo assim no rendimento de grãos.

Podem-se relacionar os resultados de rendimento aos de massa de 100 grãos, o qual aumentou com a dose de N aplicada (Tabela 5) em ambas as safras com um efeito cúbico das doses (Figura 6F). 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 1000 grãos. Araújo; Ferreira; Cruz (2003), estudando os efeitos da adubação nitrogenada na cultura do milho, também observaram os mesmos resultados obtidos nesta pesquisa quanto ao rendimento de grãos. Pandey; Maranville; Admou (2000) estudando o déficit de irrigação e doses de N na cultura do milho, também verificaram diferença para rendimento de grãos em função da dose de N. Fernandes (2006) estudando a dinâmica do N na cultura do milho, em cultivo sucessivo à aveia preta em semeadura direta, também verificou diferença quanto ao rendimento de grãos. Vale ainda lembrar que, as médias dos tratamentos referentes ao rendimento de grãos nas safras 2004/2005 (3,6 t ha⁻¹) e 2005/2006 (3,7 t ha⁻¹) foram equivalentes às médias do Estado de São Paulo, ou seja, 3,7 e 4,0 t ha⁻¹, nas respectivas safras (FNP, 2007).

2.3.2 Plantas de cobertura de inverno

Os resultados do teste F e o teste de Tukey para a matéria seca das plantas de cobertura de inverno constam nas Tabelas 6 e 7, respectivamente. A resposta da aveia preta às doses de N foi significativa com a dose de 180 kg ha⁻¹ proporcionando maior resultado, seguida pelas doses de 120, 60 e 0 kg ha⁻¹. Entretanto, a quantidade de matéria seca produzida foi considerada baixa (média de 3143 kg ha⁻¹) em todas as doses de N aplicadas, devido ao plantio tardio, quando comparada com os resultados obtidos por outros autores como Argenta (1998), Bortolini et al. (2001) e Mai et al. (2003) em experimentos no sul do Brasil, os quais obtiveram 6500, 5700 e 7185 kg ha⁻¹, respectivamente.

O mesmo comportamento foi observado para o tremoço branco, o qual foi cultivado antes da 2ª safra de milho e, este também produziu baixa quantidade de matéria seca (média de 2623 kg ha⁻¹) em relação aos resultados obtidos por Kanthack et al. (1991) e Gouveia (1995) que obtiveram 3200 e 4000 kg ha⁻¹, respectivamente, não sendo eficiente na formação de palhada devido principalmente à alta taxa de decomposição de seus resíduos (Da ROS; AITA, 1996), deixando o solo desprotegido muito rapidamente. Baixa produção de matéria seca implica em pouca palhada sobre o solo, podendo proporcionar, assim, altas taxas de densidade de fluxo de água no solo. Ainda, observou-se um ajuste em uma curva de regressão cúbica para ambas as plantas de cobertura (Figura 7).

Tabela 6 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N sobre a matéria seca (MS) das plantas de cobertura de inverno

Causas da variação	Valores de F	
	MS aveia preta	MS tremoço branco
Doses	77,00**	32,97**
CV (%)	2,62	2,11

** significativo a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 7 - Teste de Tukey para matéria seca (MS) das plantas de cobertura de inverno

Doses (kg ha ⁻¹)	MS aveia preta (kg ha ⁻¹)	MS tremoço branco (kg ha ⁻¹)
0	2864,65 c	2450,59 c
60	3132,95 b	2548,20 c
120	3057,75 b	2677,22 b
180	3718,30 a	2815,87 a

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

Figura 7 – Regressões para matéria seca das plantas de cobertura de inverno em função das doses de N

2.3.3 Propriedades físicas do solo avaliadas após o cultivo de aveia preta, após a safra 2004/2005 de milho, após cultivo de tremoço branco e após safra 2005/2006 de milho

Os resultados do teste F e coeficiente de variação para a porosidade total (PT), macroporosidade, microporosidade e densidade do solo nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m estão apresentados na Tabela 8. Embora avaliados nos primeiros anos de implantação do SPD (a partir do 2º ano) os resultados só não foram significativos para a densidade do solo em nenhuma das profundidades estudadas.

Os resultados significativos para a PT (Tabela 9) foram encontrados somente entre épocas e na profundidade de 0,05 m, onde verificou-se que a PT foi maior quando avaliada após o cultivo da aveia preta, diminuindo nas demais épocas de avaliação. Nas demais profundidades, a PT permaneceu praticamente constante, com uma moderada tendência de diminuição com o tempo, o que já era esperado nas camadas superficiais devido ao não revolvimento do solo no SPD: a falta de mobilização do solo diminui o volume do espaço poroso do solo (SIDIRAS; VIEIRA; ROTH, 1984; STONE; SILVEIRA, 2001; SECCO et al. 2005). Apesar de não ter sido observada diferença significativa entre as doses de N para a PT, percebe-se uma tendência de aumento da PT do solo com o aumento da dose de N na profundidade de 0,05 m, comportamento não observado nas demais profundidades, as quais mantiveram certa constância de PT.

Tabela 8 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N na porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo

Causas da variação	Profundidades (m)			
	0,05	0,15	0,25	0,35
Porosidade total				
Dose (D)	1,99 ^{ns}	0,03 ^{ns}	2,13 ^{ns}	1,26 ^{ns}
Época (E)	58,14**	0,83 ^{ns}	0,96 ^{ns}	2,41 ^{ns}
E*D	1,42 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,47 ^{ns}
CV (%)	2,77	3,08	3,24	3,84
Macroporosidade				
Dose (D)	122,32**	7,41*	14,59**	10,20**
Época (E)	1011,99**	6,00*	14,76**	79,44**
E*D	39,63**	0,45 ^{ns}	0,46 ^{ns}	3,39*
CV (%)	4,55	10,99	8,74	5,5
Microporosidade				
Dose (D)	4,11*	9,37**	16,45**	0,26 ^{ns}
Época (E)	8,86**	19,84**	1,75 ^{ns}	0,30 ^{ns}
E*D	0,77 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,12 ^{ns}
CV (%)	4,12	2,17	3,17	4,45
Densidade do solo				
Dose (D)	0,98 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Época (E)	1,31 ^{ns}	2,74 ^{ns}	0,70 ^{ns}	1,71 ^{ns}
E*D	0,27 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,57 ^{ns}
CV (%)	4,49	4,06	4,68	4,11

ns não significativo; * significativo a 1 %; ** significativo a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 9 - Teste de Tukey para épocas de avaliação e doses de N referentes à porosidade total nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m

		Porosidade total (%)			
		Profundidade (m)			
		0,05	0,15	0,25	0,35
Épocas	1	41,98 a	34,56	32,46	32,30
	2	36,19 b	35,18	31,69	30,97
	3	36,17 b	35,33	31,90	30,95
	4	36,69 b	35,22	31,72	31,02
Doses (kg ha ⁻¹)	0	36,98	35,02	32,73	30,80
	60	37,98	34,99	31,77	31,02
	120	37,93	35,13	31,73	31,60
	180	38,13	35,14	31,54	31,82

Médias na mesma coluna, seguidas por letras comuns não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Épocas: (1) Após cultivo de aveia preta; (2) Após 1º cultivo de milho; (3) Após cultivo de tremoço branco; (4) Após 2º cultivo de milho.

Marinari et al. (2000) estudando a influência de fertilizantes minerais e orgânicos nas propriedades físicas e químicas do solo e Haiti et al. (2007) estudando as mudanças nas propriedades físicas e no carbono orgânico de um solo após 28 anos de manejo contínuo, observaram aumento na PT com a aplicação de fertilizante nitrogenado na camada de 0,0-0,15 m. Dessa forma, resultados aqui obtidos foram devidos, provavelmente, ao aumento da massa de matéria seca das plantas com o aumento da dose de N (Tabelas 5 e 7) o que levou a um maior desenvolvimento radicular com influência na PT, principalmente na menor profundidade.

O teste de Tukey e as regressões para épocas de avaliação e doses de N referentes à macroporosidade nas profundidades 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m constam na Tabela 10. Os resultados obtidos mostraram significância para a interação entre épocas e doses nas profundidades de 0,05 e 0,35 m (Tabela 11) sendo que, em ambas as profundidades, se observa o mesmo comportamento, ou seja, diminuição da macroporosidade com a época de avaliação assim como observado para a PT. Devido o cultivo da aveia-preta, os valores foram sempre maiores, confirmando a influência positiva desta gramínea nas propriedades físicas do solo. No SPD, em geral, os solos apresentam, nas camadas superficiais, após três a quatro anos, menores valores de macroporosidade e PT quando comparado com o preparo convencional, decorrente, sobretudo, do arranjo natural do solo quando não é mobilizado (VIEIRA; MUZILLI, 1984; CORRÊA, 1985; CASTRO, 1989). Stone; Silveira (2001) observaram após três e quatro anos de SPD, menores valores de macroporosidade e PT. Secco et al. (2005) obtiveram o mesmo comportamento para os valores de macroporosidade e PT, uma vez que nos tratamentos que sofreram menor mobilização do solo, nas três profundidades e nos três anos avaliados, os valores foram inferiores em relação aos demais sistemas de manejo do solo. Em relação às doses de N, a macroporosidade aumentou positivamente em todas as épocas avaliadas, apesar de na profundidade de 0,35 m ter ocorrido aumento significativo da macroporosidade somente na 1ª época avaliada (após cultivo da aveia preta) com valores absolutos notadamente crescentes, porém sem diferença estatística, nas demais épocas avaliadas. Isso pode ser resultado do maior desenvolvimento radicular das plantas quando se aplica o fertilizante nitrogenado.

Na Figura 8, observa-se que os valores de macroporosidade nas profundidades de 0,15 e 0,25 m em função das doses de N ajustaram-se a funções lineares crescentes, ou seja, houve aumento desta característica do solo com o aumento da dose do fertilizante nitrogenado. Esses resultados estão de acordo com Fernandes (2006) que estudando a dinâmica do N na cultura do

Tabela 10 – Teste de Tukey para épocas de avaliação e doses de N referentes macroporosidade nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m e regressões^(a) para doses

		Macroporosidade (%)			
		Profundidade (m)			
		0,05	0,15	0,25	0,35
Épocas	1	13,70	7,67	6,79	6,31
	2	6,33	6,88	6,03	4,68
	3	5,74	6,55	5,58	4,55
	4	5,30	6,14	5,15	4,51
Doses (kg ha ⁻¹)	0	5,86	5,86 ^(a)	5,02 ^(a)	4,59
	60	7,93	6,75	5,66	4,98
	120	8,11	7,08	6,30	5,17
	180	9,17	7,57	6,57	5,30

Épocas: (1) Após cultivo de aveia preta; (2) Após 1º cultivo de milho; (3) Após cultivo de tremoço branco; (4) Após 2º cultivo de milho.

Tabela 11 – Médias e teste de Tukey do desdobramento épocas dentro de doses de N referentes a macroporosidade do solo nas profundidades de 0,05 e 0,35 m

		Macroporosidade (%)			
		Épocas			
		1	2	3	4
		Profundidade 0,05			
0		8,36 aB	5,04 bC	5,03 bB	5,02 bA
60		15,09 aA	6,27 bB	5,20 cB	5,15 cA
120		15,28 aA	6,54 bAB	5,44 cB	5,18 cA
180		16,07 aA	7,46 bA	7,29 bA	5,87 cA
		Profundidade 0,35			
0		5,09 aB	4,51 aA	4,40 aA	4,38 aA
60		6,48 aA	4,58 bA	4,45 bA	4,40 bA
120		6,71 aA	4,77 bA	4,63 bA	4,56 bA
180		6,96 aA	4,85 bA	4,74 bA	4,69 bA

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma linha e maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si em nível de significância de 5% pelo teste de Tukey. Épocas: (1) Após cultivo de aveia preta; (2) Após 1º cultivo de milho; (3) Após cultivo de tremoço branco; (4) Após 2º cultivo de milho.

Figura 8 – Regressões para macroporosidade nas profundidades de 0,15 e 0,25 m em função das doses de N

milho em cultivo sucessivo com a aveia em SPD, obteve ajuste linear para a macroporosidade com as doses de N. Lange (2002) pelo contrário, ao estudar o efeito da palhada e N nas propriedades do solo e rendimento de milho em SPD no cerrado, concluiu que as propriedades físicas do solo não foram influenciadas pelas doses de N aplicadas. Apesar disso, tal resultado pode ser atribuído à atividade radicular, ou seja, devido aos incrementos na massa de matéria seca, como já mencionado anteriormente para a PT. Observou-se ainda que, com exceção da 1ª época de avaliação na profundidade de 0,05 m e nas doses de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, os valores de macroporosidade estão abaixo do limite crítico de aeração considerado impeditivo para o crescimento de raízes (10%) (GRABLE; SIEMER, 1968). Segundo Giusquiani, et al. (1994) apud Marinari et al. (2000), a principal consideração a ser feita a respeito dos macroporos não é somente a sua forma, mas também a distribuição do seu tamanho, especialmente de poros contínuos e alongados, uma vez que eles são diretamente relacionados ao crescimento das plantas, isto é, por facilitar a penetração radicular e armazenagem de água e gases.

O teste de Tukey e regressões para épocas de avaliação e doses de N referentes à microporosidade nas profundidades 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m constam na Tabela 12. Apesar de não ter ocorrido diferença significativa para as épocas de avaliação, os resultados mostraram tendência de aumento com o tempo, concordando com Stone; Silveira (2001), os quais observaram maiores valores de microporosidade após três e quatro anos de adoção do SPD. Os resultados foram significativos para doses nas profundidades de 0,05, 0,15 e 0,25 m (Figura 9) os quais ajustaram-se a equações lineares sendo que, a microporosidade diminuiu com as doses de N, estando de acordo com a macroporosidade que teve efeito inverso.

Tabela 12 – Teste de Tukey para épocas de avaliação e doses de N referentes microporosidade nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m e regressões^(a) para doses

		Microporosidade (%)			
		Profundidade (m)			
		0,05	0,15	0,25	0,35
Épocas	1	28,28	26,89	25,68	25,99
	2	29,86	28,30	25,86	26,30
	3	30,43	28,78	26,12	26,40
	4	31,38	29,07	26,57	26,52
Doses (kg ha ⁻¹)	0	31,12 ^(a)	29,16 ^(a)	27,71 ^(a)	26,21
	60	30,05	28,25	26,12	26,05
	120	29,83	28,05	25,24	26,43
	180	28,96	27,57	25,16	26,52

Épocas: (1) Após cultivo de aveia preta; (2) Após 1º cultivo de milho; (3) Após cultivo de trevoço branco; (4) Após 2º cultivo de milho.

Figura 9 – Regressões para microporosidade nas profundidades de 0,05, 0,15 e 0,25 m em função das doses de N

O teste de Tukey para épocas de avaliação e doses de N referentes à densidade do solo nas profundidades 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m estão apresentados na Tabela 13, onde verifica-se que não houve diferença significativa para épocas de avaliação e nem para doses de N.

Na profundidade de 0,05 m percebe-se uma moderada tendência de aumento da densidade do solo com o tempo de estudo e, nas demais profundidades os valores permaneceram praticamente constantes, não indicando tendência de adensamento. Contudo, mudanças imediatas e substanciais na camada superficial do solo durante sua adaptação ao manejo reduzido têm sido relatadas por vários pesquisadores (VOORHEES; LINDSTROM, 1984; CARTER, 1991; STONE; SILVEIRA, 2001; MUNKHOLM et al.; 2003). O aumento do conteúdo de matéria orgânica com o tempo nesse sistema, porém, pode reduzir a densidade do solo, como observado por Reeves (1995).

Tabela 13 – Teste de Tukey para épocas de avaliação e doses de N referentes à densidade do solo nas profundidades de 0,05, 0,15, 0,25 e 0,35 m

		Densidade do solo (kg m^{-3})			
		Profundidade (m)			
		0,05	0,15	0,25	0,35
Épocas	1	1530	1620	1710	1730
	2	1570	1560	1660	1720
	3	1580	1540	1660	1720
	4	1600	1590	1660	1660
Doses (kg ha^{-1})	0	1550	1580	1690	1700
	60	1600	1580	1690	1740
	120	1560	1570	1640	1690
	180	1570	1580	1650	1720

Épocas: (1) Após cultivo de aveia preta; (2) Após 1º cultivo de milho; (3) Após cultivo de tremoço branco; (4) Após 2º cultivo de milho.

Contudo percebe-se que as propriedades físicas do solo têm mudado paulatinamente com o tempo e com a aplicação do fertilizante nitrogenado, sendo interessante um estudo a longo prazo no SPD, para se obter resultados mais significativos e conclusivos. Kushwaha; Singh; Tripathi (2001); Silva; Kay; Nadler (2001); Dam et al. (2005) concluíram que as práticas de manejo tiveram um grande impacto na densidade do solo, sendo que os últimos autores observaram maior diferença na densidade do solo devido ao tipo de manejo adotado do que à presença de resíduos na superfície durante os 11 anos de estudos.

2.3.4 Balanço de água no solo

2.3.4.1 Drenagem interna e precipitação

As Figuras 10, 11 e 12 mostram a densidade de fluxo de água no solo (valores médios) e a precipitação ocorridas na 1ª safra de milho (2004/2005), na entressafra, quando se cultivou o tremoço branco como planta de cobertura de inverno, e na 2ª safra de milho (2005/2006), respectivamente. Observa-se, nessas figuras, que, a despeito das doses de N, a densidade de fluxo apresentou um comportamento padrão de variação, com altos valores quando houve maior precipitação. De acordo com Gaiser et al. (2004), especialmente em solos arenosos, isso ocorre com altas intensidades de precipitação permitindo rápidos fluxos de água através do perfil do solo. Segundo Lima; Lima, (2000), de forma geral, solos arenosos têm baixa capacidade de retenção de água e alta susceptibilidade à erosão hídrica, mais do que os solos argilosos.

Figura 10 - Densidade de fluxo de água média no solo (mm dia⁻¹), na profundidade de 0,80 m e precipitação (mm) durante o período de desenvolvimento de uma cultura de milho na safra de 2004/2005

Figura 11 - Densidade de fluxo de água média no solo (mm dia⁻¹), na profundidade de 0,80 m e precipitação (mm) durante o período de desenvolvimento de uma cultura de plantas de cobertura (tremoço branco) no inverno de 2005

Figura 12 - Densidade de fluxo de água média no solo (mm dia^{-1}), na profundidade de 0,80 m e precipitação (mm) durante o período de desenvolvimento de uma cultura de milho na safra de 2005/2006

A precipitação em ambas as safras de milho (572 e 905 mm, na safra 2004/2005 e 2005/2006, respectivamente) foi considerada suficiente para que a cultura do milho tivesse boa produtividade (FANCELLI; DOURADO NETTO, 2005). Porém, observou-se que na 2ª safra (Figura 12), além de a precipitação ter sido 334 mm maior que na 1ª safra, o período reprodutivo da cultura (pendoamento, florescimento e enchimento e grãos) ocorreu em melhores condições de armazenagem de água no solo (Tabela 17), resultante das frequências de precipitação no período. De outro modo, no ano agrícola anterior (2004/2005), as precipitações não foram bem distribuídas (Figura 10) e, segundo Caramori; Wrege; Gonçalves (1999); Pandey; Maranville; Admou (2000), o período reprodutivo é o período considerado crítico, sendo muito afetado por condições de falta de água, refletindo assim no rendimento de grãos (Tabela 5).

Na entressafra (pousio + tremoço branco), as maiores precipitações ocorreram antes da semeadura da planta de cobertura coincidindo com os maiores valores de densidade de fluxo (Figura 11), porém, no decorrer do período observou-se pouca variação, o que já era esperado porque no período de entressafra (inverno), as precipitações são baixas. Entretanto, quando estas ocorreram, não coincidiram com a fase de florescimento do tremoço branco, o que seria ideal para uma boa produção de matéria seca.

Na Tabela 14 constam os valores de F e coeficiente de variação para a drenagem interna de água no solo nas safras de 2004/2005 e 2005/2006 de milho e para a planta de cobertura de inverno e pousio, onde verifica-se que houve influência das doses de N.

Tabela 14 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N na drenagem interna de água no solo para a safra de 2004/2005 e 2005/2006 e planta de cobertura de inverno (tremoço branco) + pousio

Causas da variação	Valores de F		
	Safra 2004/2005	Planta de cobertura de inverno + pousio	Safra 2005/2006
Doses	10,51**	1,04 ^{ns}	6,90*
CV (%)	33,86	30,07	39,13

^{ns} * ** não significativo e significativo a 5% e a 1 % de probabilidade pelo teste de Tukey

Considerando a drenagem interna ocorrida em toda a safra (somatório das densidades de fluxo diários), em todos os períodos avaliados, não houve diferença significativa entre as doses de N (Tabela 15), apenas com relação a testemunha na qual a drenagem foi maior; os valores médios ajustaram-se a uma função do segundo grau (Figura 13). O maior valor de drenagem interna na testemunha pode ser atribuído ao fato de, neste tratamento o solo se encontrar com uma armazenagem de água relativamente maior que os demais tratamentos, por uma menor demanda pela cultura.

Tabela 15 - Teste de Tukey para drenagem interna de água no solo nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e para o período de pousio + planta de cobertura de inverno (tremoço branco) em função das doses de N

Doses (kg ha ⁻¹)	D (mm)		
	Safra 2004/2005	Planta de cobertura de inverno + pousio	Safra 2005/2006
0	348,48 a	66,14 a	589,80 a
60	121,99 b	45,71 a	244,34 b
120	110,52 b	54,06 a	240,84 b
180	226,06 b	53,48 a	257,79 b

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

Figura 13 – Regressões para drenagem interna em função das doses de N nas safras de 2004/2005 e 2005/2006 de milho e para a planta de cobertura de inverno+pousio

Nas duas safras de milho, todas as doses de N promoveram valores menores de drenagem interna em relação à testemunha, isto é, menor movimento descendente de água no solo possivelmente porque houve maior quantidade de água consumida/absorvida pelas plantas nesses tratamentos uma vez que a variação de armazenagem foi menor nas referidas doses em todos os períodos estudados (Tabela 17). Estes resultados também são confirmados pelos valores de evapotranspiração (Tabela 19), os quais foram maiores para as doses mencionadas em ambas as safras de milho. Além disso, como se trata de um solo que vem sendo utilizado com o SPD, acredita-se que as doses de N aplicadas tenham melhorado o desenvolvimento das raízes as quais modificaram as condições físicas do solo pelo incremento de matéria orgânica e assim maior retenção de água, podendo esta última ser comprovada pela tendência de aumento da microporosidade com o tempo (Tabela 12). Ainda, esses tratamentos apresentaram os menores valores de densidade de fluxo nas épocas de maior demanda hídrica do milho, ou seja, pendoamento, florescimento e enchimento de grãos (Figuras 10 e 12), o que pode ser traduzido em absorção pelas plantas, já que houve menores valores de variação de armazenagem de água (Figuras 15 e 17).

Na entressafra (pousio + tremoço branco) não observou-se diferença significativa entre as doses de N e, de uma forma geral, baixos valores de drenagem interna para todas as doses aplicadas, o que pode ser atribuído à baixa precipitação do período.

2.3.4.2 Variação de armazenagem de água no solo

O teste F e o efeito das doses de N na variação de armazenagem de água no solo nas safras 2004/2005 e 2005/2006 de milho e na entressafra (pousio + tremoço branco) são mostrados nas Tabelas 16 e 17. Observa-se diferença significativa para a variação de armazenagem de água no solo em todos os períodos de avaliação, sendo que nos tratamentos onde se aplicou N a variação de armazenagem de água obteve valores menores, concordando com os dados de evapotranspiração (Tabela 19) os quais foram maiores nesses tratamentos. Isso indica que o sistema radicular das plantas desses tratamentos se desenvolveram o suficiente para extrair água das camadas mais profundas do solo, podendo-se afirmar o contrário para a dose zero de N. Os resultados foram ajustados a uma função cúbica, conforme se observa na Figura 14.

Tabela 16 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N na variação de armazenagem de água no solo para a safra de 2004/2005 e 2005/2006 e planta de cobertura de inverno (tremoço branco) + pousio

Causas da variação	Valores de F		
	Safra 2004/2005	Planta de cobertura de inverno + pousio	Safra 2005/2006
Doses	4,76*	5,82*	20,76**
CV (%)	14,95	11,91	8,19

*** significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de Tukey

Tabela 17 - Teste de Tukey para armazenagem de água no solo nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e para o período de pousio+ planta de cobertura de inverno (tremoço branco) em função das doses de N

Doses (kg ha ⁻¹)	Δh (mm)		
	Safra 2004/2005	Planta de cobertura de inverno + pousio	Safra 2005/2006
0	-25,85 a	-16,40 a	29,64 a
60	-38,17 b	-17,68 ab	24,93 b
120	-36,08 ab	-17,78 ab	22,47 bc
180	-36,14 ab	-22,48 b	18,99 c

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

O menor valor observado para a variação da armazenagem na safra 2004/2005 de milho (Figura 15), foi obtido aos 56 dias após emergência do milho (DAE), ou seja, no florescimento pleno, época de maior demanda hídrica e máxima absorção de nutrientes pelas plantas, concordando com resultados obtidos por Ogola; Wheeler; Harris, (2002), os quais estudando os efeitos do nitrogênio e da irrigação no uso da água pela cultura do milho, verificaram que aos 50 DAE houve um declínio no conteúdo de água no solo quando se aplicou a maior dose de N (100 kg ha⁻¹). Manfron et al. (1991) verificaram em uma terra roxa estruturada que, aos 71 dias após a semeadura de milho, cerca de 70 % do total da massa radicular até 1 m encontrava-se a 0,60 m de profundidade e, segundo Bassoi et al. (1994), as raízes mais profundas usualmente podem extrair mais água e de maneira mais efetiva do que aquelas próximas à superfície do solo, devido ao fato delas serem mais jovens, menos comprimidas e freqüentemente localizadas em solo com maior conteúdo de água.

Figura 14 – Regressões para variação de armazenagem de água no solo em função das doses de N nas safras de 2004/2005 e 2005/2006 de milho e para a planta de cobertura de inverno+pousio

Figura 15 - Variação da armazenagem de água no solo e precipitação (mm) durante o período de desenvolvimento de uma cultura de milho na camada de 0,0-0,80 m na safra de 2004/2005

Na entressafra (pousio + tremoço branco) observou-se menor alteração na variação de armazenagem de água no solo, porém com valores negativos do período que compreendeu 8 DAE até o florescimento pleno, quando houve pouca precipitação (Figura 16). Para a safra 2005/2006 de milho os menores valores de variação da armazenagem (Figura 17) compreenderam os 11 dias após emergência até a fase de grão pastoso (78 DAE), contudo, obteve saldo positivo de água no solo em todas as doses, visto que as chuvas foram maiores e mais uniformemente distribuídas. Além disso, com o SPD espera-se melhoria na armazenagem de água no solo devido às mudanças estruturais que ocorrem durante a adaptação do solo ao manejo reduzido. Isso pode ser comprovado pela tendência de aumento dos valores de microporosidade observada nesta pesquisa (Tabela 12). Su et al. (2007) avaliando a armazenagem de água do solo, sob diferentes práticas de

manejo conservacionista do solo, verificaram que no plantio direto se obteve o maior valor de armazenagem de água após seis anos.

Figura 16 - Variação da armazenagem de água no solo e precipitação (mm) na camada de 0,0-0,80 m durante o período de pousio e de desenvolvimento da planta de cobertura no inverno de 2005

Figura 17 - Variação da armazenagem de água no solo e precipitação (mm) durante o período de desenvolvimento de uma cultura de milho na camada de 0,0-0,80 m na safra de 2005/2006

2.3.4.3 Evapotranspiração

O teste F e a influência das doses de N na evapotranspiração (ET) da cultura do milho nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e na entressafra (pousio + tremoço branco) são mostrados nas Tabelas 18 e 19.

Para a 1ª safra de milho, a ET variou de 249,11 a 497,25 mm, verificando-se diferença estatística entre os tratamentos, ajustando-se à função quadrática (Figura 18). Entre as doses de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N não houve diferença estatística, mas tiveram os maiores valores de ET em relação à dose zero, sugerindo que as doses de N melhoraram o desenvolvimento radicular das plantas de milho levando-as a uma melhor extração de água da camada de solo explorada (OGOLA; WHEELER; HARRIS, 2002). Nesta safra, devido à má distribuição de água de precipitação no período de enchimento de grãos (Figura 10), o que provavelmente levou aos menores resultados obtidos para matéria seca, massa de 100 grãos e rendimento para essas doses, em relação à safra 2005/2006 (Tabela 5), os maiores valores de ET podem ser relacionados ao saldo negativo de água (Tabela 17), já que a drenagem interna foi menor para essas doses (Tabela 15).

Tabela 18 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N na evapotranspiração do milho para a safra de 2004/2005 e 2005/2006 e planta de cobertura de inverno (tremoço branco) + pousio

Causas da variação	Valores de F		
	Safra 2004/2005	Planta de cobertura de inverno + pousio	Safra 2005/2006
Doses	11,21**	1,51 ^{ns}	5,43*
CV (%)	17,03	3,92	27,40

^{ns}*** não significativo, significativo a 1 % e a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Tabela 19 - Teste de Tukey para evapotranspiração do milho nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e para o período de pousio+ planta de cobertura de inverno (tremoço branco) em função das doses de N

Doses (kg ha ⁻¹)	ET (mm)		
	Safra 2004/2005	Planta de cobertura de inverno + pousio	Safra 2005/2006
0	249,11 b	384,92 a	285,46 b
60	487,87 a	406,58 a	635,62 a
120	497,25 a	398,32 a	645,07 a
180	384,10 a	403,60 a	624,64 a

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

Figura 18 – Regressões para evapotranspiração do milho em função das doses de N nas safras de 2004/2005 e 2005/2006 e para a planta de cobertura de inverno+pousio

Segundo Ogola; Wheeler; Harris, (2002), os efeitos do N no uso/extração de água pelas culturas variam com a disponibilidade de água no solo. Eck (1984) relatou que, em solos com baixo conteúdo de água, a produtividade do milho foi mais limitada pelas condições de falta de água do que pelo N, enquanto que o contrário ocorreu em ótimos níveis de irrigação. No caso presente, a ET teve uma relação quadrática com o rendimento de grãos de milho e a Figura 19 mostra que para um máximo rendimento de grãos a ET ótima seria de 398,88 mm.

Figura 19 – Evapotranspiração real em função do rendimento de grãos de milho na safra de 2004/2005

No período da entressafra, não se verificou diferença estatística entre as doses de N (Tabela 19). Nesse período, as taxas de ET devem-se além da planta de cobertura, principalmente à evaporação do solo, o qual devido à baixa produção de matéria seca da planta de cobertura, bem como a rápida decomposição de seus resíduos, esteve desprotegido durante a maior parte do período, além da variação de armazenagem de água ter apresentado saldo negativo.

Na 2ª safra, a ET variou de 285,46 a 645,07 mm, observando-se o mesmo comportamento da safra 2004/2005, ou seja, entre as doses de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N não houve diferença estatística, mas estas obtiveram maiores valores de ET em relação à dose zero, ajustando-se à uma função quadrática (Figura 18). Cabe ainda ressaltar que nessa safra, a precipitação foi elevada e houve saldo positivo de água no solo e, segundo estudos de Zhang et al. (2004) sobre o efeito do conteúdo de água do solo na ET, produtividade de trigo e milho e eficiência do uso da água, o déficit de água no solo reduz a ET e vice-versa. Ainda, estudos de Farré; Faci (2006) mostraram que a água armazenada no solo e a precipitação são fatores que influenciam a ET. Ogola; Wheeler; Harris, (2002), verificaram que o efeito de doses de N na ET foi maior em experimentos com irrigação (conteúdo adequado de água no solo) do que em experimentos sem irrigação. Dessa forma, pode-se inferir que toda a água fornecida a cultura na 2ª safra, foi utilizada, mesmo apesar de perdas por drenagem interna. Isso também implica que as doses de N parecem ter proporcionado bom desenvolvimento radicular das plantas no que se refere à extração de água da camada de solo em estudo. A menor ET observada para a testemunha em todos os períodos evidencia o baixo desenvolvimento das culturas sem a aplicação de N, que pode ser observado pelos resultados das características agrônômicas do milho (Tabela 5), principalmente pela produção de matéria seca a qual pode-se relacionar com uma menor área foliar das plantas nesse tratamento. Pandey; Maranville; Admou (2000) estudando o déficit de irrigação e doses de N na cultura do milho, também verificaram diferença para a ET entre as doses de N.

Por outro lado, estudos de Liu et al., (2002) mostraram que um excesso de água pode levar a um aumento na ET sem um correspondente aumento no rendimento da cultura, discordando dos resultados aqui obtidos, já que quando se aplicou o N a ET foi maior. Nesta safra (2005/2006) a ET não teve uma relação quadrática com o rendimento de grãos de milho, como ocorreu na safra anterior.

2.3.5 Eficiência do uso da água (EUA)

O teste F e a influência das doses de N na eficiência do uso da água da cultura do milho nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e da planta de cobertura (tremoço branco) são mostrados nas Tabelas 20 e 21. Para a safra 2004/2005 não houve diferença estatística e os valores variaram de 0,73 a 1,31 kg m⁻³. Para a planta de cobertura os valores variaram de 0,63 a 0,70 kg m⁻³, sendo

que a maior dose de N promoveu o maior valor de EUA como também para a safra 2005/2006, na qual os valores variaram de 0,54 a 0,97 kg m⁻³. A resposta da EUA ao N foi quadrática (Figura 20) para as duas safras de milho e cúbica para o tremoço branco. Pandey; Maranville; Admou (2000); Ogola; Wheeler; Harris (2002) verificaram aumento na EUA com o aumento das doses de N.

Tabela 20 - Teste F e coeficiente de variação (CV) para avaliar o efeito das doses de N sobre a eficiência do uso da água (EUA) do milho nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e para a planta de cobertura de inverno (tremoço branco)

Causas da variação	Valores de F		
	Safra 2004/2005	Planta de cobertura	Safra 2005/2006
Doses (D)	3,73 ^{ns}	4,79*	4,25*
CV (%)	29,47	4,71	27,83

^{ns} * não significativo e significativo a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey

Tabela 21 - Teste de Tukey para eficiência do uso da água do milho nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e para a planta de cobertura de inverno (tremoço branco) em função das doses de N

Doses (kg ha ⁻¹)	EUA (kg m ⁻³)		
	Safra 2004/2005	Planta de cobertura	Safra 2005/2006
0	0,95 a	0,64 b	0,54 b
60	0,73 a	0,63 b	0,56 ab
120	0,78 a	0,67 ab	0,68 ab
180	1,31 a	0,70 a	0,97 a

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

Os resultados obtidos nesta pesquisa estão de acordo com os valores de EUA encontrados por Farré; Faci (2006), os quais observaram valores de 0,05 a 1,88 g m⁻² mm⁻¹. Os valores encontrados na literatura para a EUA têm grande variabilidade. Asseng; Tuner; Keating (2001) analisando a EUA e a eficiência do uso do N pelo trigo, concluíram que a variabilidade estacional obtida poderia ser atribuída aos efeitos da quantidade e da distribuição da precipitação durante o ciclo da cultura, além do tipo de solo também ter grande influência, devido às diferenças na armazenagem de água, evaporação do solo e a interação entre precipitação e manejo.

Ainda observa-se que o efeito das doses de N na EUA foi mais pronunciado na safra 2004/2005, pelos maiores valores de EUA, ou seja, ano com menor armazenagem de água no solo, menor precipitação e menor ET do que a verificada na safra posterior e, no entanto, as plantas utilizaram as fontes de N e de água com mais eficiência, garantindo assim boa produtividade, a qual variou quadraticamente com a EUA (Figura 21) em ambas as safras. Su et

al., (2007) estudando os efeitos das práticas de manejo conservacionista na EUA e produtividade de trigo na China, observaram maiores valores de EUA em anos com menor precipitação e armazenagem de água no solo, afirmando que este parâmetro variou significativamente com as mudanças anuais na precipitação.

Figura 20 - Regressões para eficiência do uso da água em função das doses de N para a cultura do milho nas safras 2004/2005 e 2005/2006 e para a planta de cobertura de inverno

Figura 21 - Eficiência do uso da água em função do rendimento de grãos de milho para as safras 2004/2005 e 2005/2006

3 CONCLUSÕES

Quanto aos parâmetros do balanço de água, de forma geral, verificou-se que as doses de N os alteraram, uma vez que nos tratamentos com aplicação de N, o solo se encontrou com uma variação de armazenagem de água relativamente menor que o tratamento sem N, refletindo em menor valor de drenagem interna nesses tratamentos, sendo traduzido em maior absorção pelas plantas, bem como maior EUA e maior rendimento de grãos.

Detalhando, observou-se o seguinte:

- a) a drenagem interna apresentou um comportamento padrão de variação, ou seja, com valores maiores quando houve maior precipitação. Também verificou-se que os tratamentos que apresentaram os menores valores de densidade de fluxo o obtiveram nas épocas de maior demanda hídrica do milho, o que pôde ser traduzido em absorção pelas plantas, já que houve menores valores de variação de armazenagem de água.
- b) no que se refere à variação de armazenagem de água no solo, foram verificados menores valores deste parâmetro com o aumento das doses de N, sendo interpretado como maior absorção pelas plantas. Independentemente das variações climáticas observadas nas diferentes safras, os resultados mostraram que o SPD deve melhorar a armazenagem de água no solo devido às mudanças estruturais que ocorrem durante sua adaptação ao manejo reduzido.
- c) o máximo rendimento de grãos de milho, obtido com a dose de 180 kg ha^{-1} de N, foi alcançado com uma ET sem diferença estatística das menores doses de N, ou seja, 60 e 120 kg ha^{-1} de N, em ambas as safras de milho. Contudo, a EUA foi crescente com a dose de N.
- d) os resultados mostraram claramente que, a resposta do rendimento de grãos depende das doses de N, assim como as demais características agronômicas do milho.

Quanto às propriedades físico-hídricas do solo, há tendências de mudança, principalmente no que se refere à macro e microporosidade do solo, condicionadas pela alteração estrutural do solo. Entretanto, estas mudanças ocorrem paulatinamente, com o tempo e com a aplicação de N, sendo interessante um estudo em longo prazo no SPD, para se obter resultados mais significativos e conclusivos quanto a essa prática de manejo na região.

REFERÊNCIAS

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.

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. **Resumos expandidos...** Ribeirão Preto:UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

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

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, out./dez. 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, out./dez. 1999a.

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, out./dez. 1999b.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; 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, jun. 2001.

ASSENG, S.; TURNER, N.C.; KEATING, B.A. Analysis of water and nitrogen use efficiency of wheat in a Mediterranean climate. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.233, p. 127-143, June 2001.

AZOOZ, J.H.; ARSHAD, M.A. Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage systems. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.76, p.143-152, 1996.

BASSOI, L.H.; FANTE JÚNIOR, L.; JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S.; REICHARDT, K. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: II. Comparação entre cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, p.541-548, set./dez.1994.

BENJAMIN, J.G. Tillage effects on near-surface soil hydraulic properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.26, n.4, p.277-288, Aug. 1993.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; FORSTHOFFER, 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, set. 2001.

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

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

CARAMORI, P.H.; WREGE, 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.

CARTER, M.R. Evaluation of shallow tillage for spring cereals on a fine sandy loam. II. Soil physical, chemical and biological properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.21, p.37-52, Oct. 1991.

CASTRO, O.M. de. Compactação do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A.L. (coord.). **Plantio direto no Estado de São Paulo**. Piracicaba: FEALQ/ESALQ, 1989. p.129-139.

CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NUEREMBERG, N.J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do solo – Núcleo Regional sul, 1998. p.111-120.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.1, p.23-28, jan./abr. 2000.

Comissão de Fertilidade do Solo-C.F.S.-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.

CORRÊA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.11, p.1317-1322, nov. 1985.

DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I.; SANTOS, A.P.; HECKLER, B.M.M. Alterações na disponibilidade de água no solo em sistemas de semeadura direta e convencional. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 47.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 30.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO FEIJÃO, 35., 2003, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: FEPAGRO/EMATER-RS, 2002. v. 1. p. 1-3.

DAM, R.F.; MEHDI, B.B.; BURGESS, M.S.E.; MANDRAMOOTOO, C.A.; MEHUYS, G.R.; CALLUM, I.R. Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.84, p.41-53, Nov. 2005.

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**, Campinas, v.20, p.135-140, maio/ago. 1996.

DE MARIA, I.C., CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p. 471-477, maio/jun. 1993.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C.H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.8, n. 1, p.253-263, Nov. 1986.

ECK, H.B. Irrigated corn yield response to nitrogen and and water. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, p.421-428. 1984.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos cerrados. **Relatório técnico anual**. Planaltina, 1980. 170p.

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

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Produção do milho em terras baixas. In: _____ **Milho, Tecnologia e Produção**. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2005. cap. 3, p.21-33.

FARRÉ, I.; FACI, J.M. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.83, p.135-143, May. 2006.

FERNANDES, F.C.S. **Dinâmica do nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays* L.), em cultivo sucessivo com aveia preta (*Avena strigosa*), sob implantação do sistema plantio direto**. 2006. p.197. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

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.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agrianual 2007**. Anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2007. p.516.

GAISER, T., DE BARROS, I., LANGE, F.-M., WILLIAMS, J.R. Water use efficiency of a maize/cowpea intercrop on a highly acidic tropical soil as affected by liming and fertilizer application. **Plant Soil**, v.263, p.165–171, 2004.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle size analysis. In: KLUTE, A. (Ed). **Methods of soil Analysis**. Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy, 1986. cap 15, p. 383-423:

GOUVEIA, R.F. **Possibilidades da adubação verde no município de Paty do Alferes (RJ)**. 1995. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1995. Disponível em: < <http://www.ia.ufrj.br/cpacs/tese/tese-me.htm> >. Acesso em: 13 abr. 2005.

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

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 Society of American Journal**, Madison, v.32, n.1, p.180-186, 1968.

HAAS, F. Plantio direto- fatores que interferem na eficiência a adubação. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO E CALAGEM, ÊNFASE EM PLANTIO DIRETO, 3., Santa Maria, 1997. **Palestras...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1997. p.125-131.

HAITI, K.M.; SWARUP, A.; DWIVEDI, A.K.; MISRA, A.K.; BANDYOPADHYAY, K.K. Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.119, p.127-14, Feb. 2007.

HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231 p.

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

KANTHACK, R.A.D.; MASCARENHAS, H.A.A.; CASTRO, O.M. de; TANAKA, R.T. Nitrogênio aplicado em cobertura no milho após tremço. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.1, p.99-104, jan. 1991.

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

KITUR, B.K.; OLSON, K.R. EBELHAR, S.A.; BULLOCK, D.G. Tillage effects on growth and yields corn on Grantsburg soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.49, p.266-274, 1994.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, p.45-54, maio/ago.1998.

KUSHWAHA, C.P., SINGH, K.P., TRIPATHI, S.K., Soil organic matter and water-stable aggregates under different tillage and residue conditions in a tropical dryland agroecosystem. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.16, p.229–241. Mar. 2001.

LAL, R. Water management in various crop production systems related to soil tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.30, p.169-185, June 1994.

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.

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

LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Simple field methods for estimating the unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.3-7, 1980.

LIMA, V.E.; LIMA, J.M.J.C. **Fundamentos de pedologia**. Curitiba: UFPR, 2000.56p.

LIU, W.Z., HUNSAKER, D.J., LI, Y. S., XIE, X.Q., WALL, G.W., Interrelations of yield, evapotranspiration, and water use efficiency from marginal analysis of water production functions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.56, p.143–151, July 2002.

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, jan. 2003.

MANFRON, P.A.; PAULETTO, E.A.; LIBARDI, P.L.; MORAES, S.O. Efeito do método de preparo do solo na distribuição radicular do milho (*Zea mays* L.) em terra roxa estruturada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.21, n.3, p.353-366, maio/jun.1991.

MARINARI, S.; MASCIANDARO, G.; CECCANTI, B.; GREGO, S. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. **Bioresource Technology**, Essex, v.72, p.9-17, Mar. 2000.

MUELLER, L.; BEHRENDT, A.; SCHALITZ, G.; SCHINDLER, U. Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperature climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.75, p.117-136, July. 2005.

MUNKHOLM, L.J.; SCHJØNNING, P.; RASMUSSEN, K.J.; TANDERUP, K. Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.71, p.163-173, June 2003.

OGOLA, J.B.O.; WHEELER, T.R.; HARRIS, P.M. Effects of nitrogen and irrigation on water use of maize crops. **Field crops Research**, Amsterdam, v.78, p.105-117, Nov. 2002.

PANDEY, R.K.; MARANVILLE, J.W.; ADMOU, A. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment I. Grain yield and yield components. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 46, p.1-13, Nov. 2000.

PAULA, M.B. de; ASSIS, R.L.; BAHIA, V.G. Efeitos 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.

PAULETTO, E.A.; LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S.O. Determinação da condutividade hidráulica de solos a partir da curva de retenção de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, p. 189-195, jan./fev. 1988.

PAVINATO, A.; AITA, C.; CERETTA, C.A.; BEVILAQUA, G.P. Resíduos culturais de espécies de inverno e o rendimento de grãos de milho no sistema cultivo mínimo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, p.427-432, set. 1994.

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

REEVES, D.W. Cover crops and rotations. In: HATFIELD, J. L.; STEWART, B. A. (Eds.). **Crop Residues Management**. F. Lewis: J.Wiley, 1994. p.125-172.

REEVES, D.W. Soil management under no-tillage: soil physical aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995. Passo Fundo, **Resumos...** Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1995. p.127-130.

RIBEIRO, P.H.R.; SÁ, J.C. de M.; MATTIONI, J.A.M. Comportamento de diferentes grupos cultivares de milho em sistema de plantio direto e plantio convencional em três níveis de adubação nitrogenada. In: CONGRESSO NACIONAL E MILHO E SORGO, 24., 2003, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: Multimídia Prox, 2002. 1 CD-ROM.

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).

ROSE, C.W.; STERN, W.R. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.5, p.11-19, June 1967.

SÁ, J.C. de M. Plantio direto: transformações e benefícios ao agroecossistema. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995. p.9-20.

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

SÁ, J.C. de M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1993. 96 p.

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, maio 2001.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p.407-414, maio/jun. 2005.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R; ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um latossolo roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v.8, p. 265-268, 1984

SILVA, A.P.; NADLER, A.; KAY, B.D. Factors contributing to temporal stability in spatial patterns of water content in the tillage zone. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.58, p.207-218, Mar. 2001.

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, M.M. **Manejo de um Latossolo vermelho de cerrado e o efeito nas propriedades físico-hídricas do solo e na produtividade do milho, irrigado por aspersão**. 2003. 88p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 2003.

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., 2002. Florianópolis, **Anais...** Sete Lagoas: ABMS/EMBRAPA Milho e Sorgo/EPAGRI, 2002. 1 CD-ROM.

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., 2002. Florianópolis, **Trabalhos...** Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Epagri, 2002. 1 CD-ROM.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. 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, p.395-401, maio/jun. 2001.

SU, Z.; ZHANG, J.; WU, W.; CAI, D.; LU, J.; JIANG, G.; HUANG, J.; GAO, J.; HARTMANN, R.; GABRIELS, D. Effects of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.87, p.307-314, Feb. 2007.

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

VAN LIER, Q.J.; LIBARDI, P.L. Parameter variability of the equation relating hydraulic conductivity to soil water content using the instantaneous profile method. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.1005-1014, nov./dez. 1999.

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.

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.

VIEIRA, S.R.; CASTRO, O.M. Determinação, em laboratório, de curvas de retenção de água com tensiômetros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.11, n.1, p. 87-90, jan./fev. 1987.

VIEIRA, M.J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.7, p.873-882, jul. 1984.

VILLA NOVA, N.A. **Principais métodos climáticos de estimativa de aplicação de água de irrigação**. Piracicaba:ESALQ, Departamento de Física e Meteorologia, 1982. 22p.

VOORHEES, W.B.; LINDSTROM, M.J. Long-term effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, p.152-156, 1984.

ZHANG, Y.; KENDY, E.; QIANG, Y.; CHANGMING, L.; YANJUN, S.; HONGYONG, S. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.64, p.107-122, Jan. 2004.

ZIMMERMANN, F.L. **Crescimento de plantas de milho e armazenamento de água no solo em dois sistemas de cultivo**. 2001. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. SANEST – **Sistema de Análise Estatística**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1980. (Software).

WATSON, K.K. An instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials. **Water Resources Research**, Washington, v. 2, n. 4, p. 709-715, 1966.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Parâmetros de ajuste da curva de retenção de água no solo

Profundidade (m)	Θ_r	Θ_s	α	m	n
0,05	0,160494	0,435658	0,003090	4,264298	1,078754
0,10	0,189683	0,358889	0,002341	21,65445	1,581303
0,20	0,130275	0,35921	0,031027	0,336627	2,372279
0,30	0,123777	0,344823	0,030736	0,136824	6,165869
0,40	0,143597	0,419587	0,001067	5,228021	0,597343
0,50	0,189683	0,358889	0,002341	21,65445	1,581303
0,60	0,10488	0,370618	0,042157	0,126134	4,556972
0,70	0,142631	0,369518	0,019387	0,585895	2,492938
0,80	0,118308	0,370037	0,037255	0,121217	5,262291
0,90	0,147393	0,353287	0,031952	0,011763	81,24894

APÊNDICE B – Curvas de retenção do solo nas profundidades 0,05, 0,10, 0,20, 0,30, 0,40 e 0,50 m

APÊNDICE C – Curvas de retenção do solo nas profundidades 0,60, 0,70, 0,80 e 0,90 m

APÊNDICE D: Densidade de fluxo média e precipitação para a safra 2004/2005 de milho

(continua)

Data (safra 2004/2005 de milho)	Precipitação (mm)	Densidade de fluxo média (mm dia ⁻¹)			
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			
		0	60	120	180
30/12/2004	0	-2,88824	-1,67445	-0,84386	-4,99378
31/12/2004	0	-3,75630	-1,23257	-0,85214	-1,93753
1/1/2005	0	-1,62212	-1,14085	-0,14042	-2,36775
4/1/2005	0	-1,18217	-0,8069	0,052253	-1,02159
5/1/2005	37,8	-3,51967	-1,60885	-0,74318	-2,43346
6/1/2005	8	-11,27231	-3,5014	-0,96891	-2,85472
7/1/2005	11,6	-7,48307	-5,27517	-0,62807	-7,87035
8/1/2005	0	-5,67805	-5,20608	-0,42412	-8,65295
9/1/2005	35,4	-13,98859	-11,2628	-0,53277	-10,1167
10/1/2005	0	-17,32634	-6,51342	-4,07205	-9,88436
11/1/2005	0	-4,27951	-3,72234	-0,94837	-5,91186
12/1/2005	26	-7,85959	-3,44306	-1,2153	-5,47902
13/1/2005	0	-6,10250	-2,58737	-1,06988	-5,43867
14/1/2005	0	-4,79895	-2,17664	-0,26759	-3,09048
15/1/2005	0	-4,53595	-3,27451	-0,09699	-4,88484
16/1/2005	0	-3,01069	-2,1433	-0,04802	-7,96333
18/1/2005	0	-3,19135	-0,50363	0,322369	-1,82364
19/1/2005	22,6	-1,50603	-0,39121	0,075687	-0,57207
20/1/2005	16,1	-1,61111	-0,38779	0,035735	-0,57338
21/1/2005	2,4	-2,24033	-0,45091	-0,57956	-0,6739
22/1/2005	9,4	-7,24559	-0,88845	-1,31897	-1,8465
24/1/2005	5,6	-8,65184	-1,56228	-2,05875	-3,66853
25/1/2005	17	-7,33586	-1,07555	-0,55308	-2,09422
26/1/2005	29,8	-9,91588	-1,48966	-0,97701	-2,25669
27/1/2005	3,6	-17,37033	-4,64586	-3,79925	-9,21761
28/1/2005	1,6	-5,53328	-3,0212	-2,64157	-6,52252
29/1/2005	12,4	-4,43904	-2,88753	-2,9387	-5,56813
30/1/2005	2,4	-6,90706	-2,65865	-2,66002	-4,64529
31/1/2005	4,6	-9,19199	-3,33959	-2,77809	-5,95614
1/2/2005	0,0	-4,02069	-1,73134	-4,29700	-5,62383
2/2/2005	0,8	-8,72381	-1,16944	-1,85654	-3,08857
3/2/2005	0,4	-10,43850	-1,0713	-1,67450	-1,91969
4/2/2005	43,2	-11,87075	-1,07798	-2,90662	-1,73482
5/2/2005	0	-11,89459	-1,23438	-1,15486	-1,86612
6/2/2005	0	-6,73316	-0,7239	-0,73521	-1,58531
9/2/2005	0	-8,22248	-0,67718	-0,67814	-2,53158
10/2/2005	0	-5,25641	-0,52585	-0,55963	-2,60557
11/2/2005	0	-4,48388	-0,50597	-0,2733	-2,33141
12/2/2005	6	-3,20025	-0,46702	-0,27732	-0,59624
13/2/2005	0	-2,37327	-0,44114	-0,15452	-1,22147
14/2/2005	0	-1,56339	-0,40288	-0,08071	-0,98179
15/2/2005	0	-1,92962	-0,18903	0,001776	-1,21623
16/2/2005	0	-1,69250	-0,20003	-0,12039	-0,9995
17/2/2005	0	-1,13580	-0,15822	-0,13623	-1,23396

18/2/2005 3,6 -0,87132 -0,15949 -0,08374 -0,99353
 APÊNDICE D: Densidade de fluxo média e precipitação para a safra 2004/2005 de milho
 (continuação)

Data (safra 2004/2005 de milho)	Precipitação (mm)	Densidade de fluxo média (mm dia ⁻¹)			
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			
		0	60	120	180
19/2/2005	0	-0,41529	-0,05831	-0,02453	-0,89799
20/2/2005	0	-0,12726	-0,0217	-0,02648	-0,29524
21/2/2005	0	-0,36888	-0,04147	-0,04046	-0,20977
22/2/2005	0	-0,01650	-0,03404	-0,05549	0,387025
23/2/2005	0	-0,06272	-0,00491	-0,0755	0,400839
24/2/2005	0	-0,01599	-0,02468	-0,07603	0,334503
25/2/2005	0	0,02793	-0,01755	-0,03364	0,30577
26/2/2005	33,6	0,19089	0,006395	-0,01379	0,272178
27/2/2005	0	0,17256	0,043213	-0,01012	0,239375
28/2/2005	3,6	0,11151	0,044585	-0,03335	0,198743
1/3/2005	0	0,06073	-0,01406	-0,13663	0,550708
2/3/2005	0	-0,00676	-0,05532	-0,14826	0,485758
3/3/2005	0	0,08889	-0,0543	-0,12661	0,456752
4/3/2005	0	0,11670	-0,05338	-0,14352	0,413216
5/3/2005	0	-0,00632	-0,03902	-0,11624	0,369252
7/3/2005	0	0,06276	-0,06776	-0,11677	0,486149
9/3/2005	0	0,15293	-0,17616	-0,10864	0,422218
10/3/2005	6,2	0,14484	-0,0792	-0,09227	0,441657
11/3/2005	0	0,15326	-0,0789	-0,08464	0,391443
13/3/2005	0	0,20226	-0,07154	-0,03438	0,375317
15/3/2005	25,4	0,15982	-0,07356	-0,08089	0,28602
16/3/2005	24,8	0,28615	-0,05231	-0,05415	0,321624
17/3/2005	25,2	-0,60783	-0,33462	-0,50558	0,292158
18/3/2005	3,4	-1,81114	-1,15309	-3,35559	0,147039
19/3/2005	0	-2,82180	-2,5933	-3,2568	0,156157
20/3/2005	0	-2,73028	-1,46565	-2,37522	-0,72101
21/3/2005	0	-2,26933	-0,88849	-1,64357	-0,37964
22/3/2005	11,4	-1,71726	-0,75957	-1,04609	-0,38627
23/3/2005	6,8	-2,13534	-0,66511	-0,9987	-2,7169
24/3/2005	38	-3,75827	-1,13515	-2,4526	-1,73838
25/3/2005	20,2	-5,18901	-6,61467	-20,5041	-17,5544
26/3/2005	0	-5,91682	-4,06842	-6,62352	-7,97051
28/3/2005	0	-2,86140	-1,10256	-1,34398	-4,27509
30/3/2005	0	-1,73751	-0,55744	-0,92357	-2,03001
31/3/2005	0	-1,39246	-0,41778	-0,85562	-3,2106
1/4/2005	0	-1,21684	-0,38555	-0,77294	-2,49506
2/4/2005	0	-1,34671	-0,51525	-0,52484	-2,89237
3/4/2005	0	-1,11000	-0,35255	-0,41001	-1,93992
4/4/2005	19,4	-0,83096	-0,32784	-0,44972	-1,09979
5/4/2005	15,2	-0,79715	-0,35487	-0,6344	-0,85914
6/4/2005	0	-1,24346	-0,60485	-1,01329	-1,40387
7/4/2005	0	-5,07630	-1,20698	-1,44952	-2,67624
9/4/2005	0	-4,27525	-0,62451	-2,02748	-1,89222
11/4/2005	0	-3,00664	-0,54699	-1,39979	-1,56152

12/4/2005   0   -2,66421   -0,92263   -1,20807   -1,18454
 APÊNDICE D: Densidade de fluxo média e precipitação para a safra 2004/2005 de milho
 (conclusão)

Data (safra 2004/2005 de milho)	Precipitação (mm)	Densidade de fluxo média (mm dia ⁻¹)			
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			
		0	60	120	180
13/4/2005	0	-2,52321	-0,53991	-0,9651	-1,09978
15/4/2005	0	-2,12785	-0,43167	-0,50013	-0,85881
16/4/2005	0	-1,88703	-0,34851	-0,75359	-0,52674
18/4/2005	0	-1,65845	-0,2898	-0,57267	-0,6947
19/4/2005	0	-1,95549	-0,28762	-0,35868	-0,59778
20/4/2005	0	-1,80265	-0,25505	-0,28793	-0,57356
22/4/2005	0	-1,56021	-0,2059	-0,3108	-0,56563
23/4/2005	0	-1,06541	-0,21398	-0,26405	-0,60888
25/4/2005	0	-0,95001	-0,16651	-0,23398	-0,48357
26/4/2005	5,2	-0,82831	-0,16945	-0,19509	-0,38464
27/4/2005	0	-0,72563	-0,17319	-0,19043	-0,37164
29/4/2005	3	-0,68331	-0,10809	-0,14741	-0,37137
30/4/2005	0	-0,54087	-0,39372	-0,12471	-0,32607
2/5/2005	0	-0,47008	-0,06756	-0,10359	-0,28844
3/5/2005	0	-0,47053	-0,06317	-0,06582	-0,31748
4/5/2005	0	-0,50020	-0,06571	-0,0234	-0,2955
6/5/2005	10	-0,40330	-0,0728	0,018073	-0,28736
9/5/2005	0	-0,29339	-0,06314	0,050988	-0,28388
11/5/2005	10	-0,28053	-0,01127	-0,0459	-0,47007
12/5/2005	0	-1,03366	0,077264	-0,31245	-0,38669
13/5/2005	10	-1,20389	0,002308	-0,06084	-0,1343
16/5/2005	0	-1,05476	-0,01853	-0,00738	-0,54168
Total	572	-348,477	-121,995	-110,52	-226,06

APÊNDICE E: Densidade de fluxo média e precipitação para a entressafra e tremoço branco
(continua)

Data (pousio+ tremoço branco)	Precipitação (mm)	Densidade de fluxo média (mm dia ⁻¹)			
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			
		0	60	120	180
17/5/2005	0	-0,39434	-0,06671	0,042445	-0,29906
18/5/2005	0	-0,60612	-0,39841	-0,18452	-1,0137
20/4/2005	0	-0,09541	-0,05418	0,043903	-0,22743
21/5/2005	0	-0,08388	-0,04901	0,048684	-0,19238
22/5/2005	13,8	-0,09694	-0,06658	0,051917	-0,24037
23/5/2005	0	-0,08163	-0,06601	0,063394	-0,24048
24/5/2005	62,4	0,26904	0,29550	-0,04195	-0,26147
25/5/2005	97,8	-1,98449	-3,71481	-16,4455	-1,91428
26/5/2005	0	-2,79546	-6,92935	-15,0092	-1,26217
27/5/2005	0	-3,59252	-5,52649	-3,61639	-0,7393
28/5/2005	0	-3,09506	-3,73585	-2,13573	-0,76446
30/5/2005	0	-2,64329	-1,54567	-1,21664	-0,83474
31/5/2005	0	-2,22715	-1,92862	-0,87266	-0,81176
1/6/2005	0,0	-2,15166	-1,43867	-0,90475	-0,78988
3/6/2005	0,0	-2,33272	-1,09668	-0,77497	-0,63357
4/6/2005	0,0	-1,83012	-0,56131	-0,51664	-0,66154
6/6/2005	0,0	-1,69947	-0,43320	-0,4963	-0,59329
7/6/2005	0,0	-1,51960	-0,38193	-0,46765	-0,60175
8/6/2005	0,0	-1,45992	-0,30261	-0,39398	-0,49805
9/6/2005	0,0	-1,31961	-0,22959	-0,35965	-0,51866
10/6/2005	0,0	-1,29366	-0,21994	-0,36374	-0,43768
11/6/2005	0,0	-1,03844	-0,07945	-0,34366	-0,31557
13/6/2005	0,0	-0,87043	-0,13116	-0,28411	-0,33988
14/6/2005	0,0	-0,78276	-0,11032	-0,21169	-0,35754
15/6/2005	0,0	-0,64170	-0,06399	0,074138	-0,22468
18/6/2005	0,0	-0,57629	-0,06413	0,085644	-0,20652
20/6/2005	12,8	-0,47517	-0,02609	0,100768	-0,22753
21/6/2005	8,4	-0,51936	-0,06037	0,062158	-0,28473
22/6/2005	0	-0,88180	-0,44687	-0,1573	-0,49004
24/6/2005	0	-1,58350	-0,80941	-1,08026	-2,94474
27/6/2005	0	-1,30591	-0,66496	-0,9993	-2,77405
28/6/2005	0	-1,17791	-0,64332	-0,87936	-2,66965
29/6/2005	21,4	-0,84057	-0,52028	-0,81877	-2,61545
30/6/2005	0	-1,26774	-0,66787	-1,00744	-3,15822
1/7/2005	0,0	-1,31429	-0,65674	-1,2014	-3,40504
2/7/2005	0,0	-1,29261	-0,86386	-1,58261	-3,0351
3/7/2005	0,0	-0,85476	-0,77669	-1,31973	-2,98447
4/7/2005	0,0	-0,83447	-0,84288	-1,09623	-2,5968
5/7/2005	0,0	-0,83667	-0,79306	-0,94422	-2,38152
7/7/2005	0,0	-0,81100	-0,81867	-0,86086	-2,21756
8/7/2005	0,0	-0,79879	-0,70202	-0,70115	-1,82088
9/7/2005	0,0	-0,84820	-0,72372	-0,60628	-1,81779
11/7/2005	0,0	-0,79006	-0,59701	-0,54582	-1,35243
12/7/2005	0,0	-0,80003	-0,59586	-0,45319	-1,21075
13/7/2005	0,0	-0,72051	-0,49371	-0,34353	-0,70675

14/7/2005 0,0 -0,63184 -0,44882 -0,33918 -0,68534
 APÊNDICE E: Densidade de fluxo média e precipitação para a entressafra e tremoço branco
 (continuação)

Data (pousio+ tremoço branco)	Precipitação (mm)	Densidade de fluxo média (mm dia ⁻¹)			
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			
		0	60	120	180
15/7/2005	0,0	-0,58803	-0,62296	-0,27358	-0,65087
16/7/2005	0	-0,61349	-0,4162	-0,14541	-0,62075
18/7/2005	0	-0,50617	-0,31823	-0,08821	-0,75289
19/7/2005	0	-0,65092	-0,3528	-0,09184	-0,73098
20/7/2005	0	-0,78169	-0,36059	-0,02186	-0,77651
21/7/2005	0	-0,89698	-0,39139	-0,05137	-0,65047
22/7/2005	0	-0,98808	-0,39727	-0,05342	-0,59341
25/7/2005	6	-0,89470	-0,36423	0,017689	-0,36911
26/7/2005	0	-0,81391	-0,36053	0,001696	-0,36781
27/7/2005	0	-0,80898	-0,33079	0,027548	-0,26088
28/7/2005	0	-0,75954	-0,22243	0,024031	-0,26929
29/7/2005	0	-0,80071	-0,1886	0,056338	-0,11275
31/7/2005	0	-0,69520	-0,15445	0,078792	-0,06744
1/8/2005	0,0	-0,62896	-0,09069	0,097594	0,125386
2/8/2005	0,0	-0,50194	-0,04755	0,150691	0,312007
3/8/2005	0,0	-0,57106	-0,10205	0,178615	0,358546
4/8/2005	0,0	-0,59726	0,00751	0,2188	0,392502
5/8/2005	0,0	-0,51394	0,05134	0,245814	0,449712
6/8/2005	10,0	-0,85220	0,05709	0,282641	0,505331
8/8/2005	0,0	-0,58276	0,01154	0,28825	0,520365
9/8/2005	0,0	-0,49315	0,00741	0,290162	0,513114
10/8/2005	0,0	-0,46597	-0,034985	0,310838	0,538542
11/8/2005	0,0	-0,24254	-0,00196	0,310895	0,471641
12/8/2005	0,0	-0,05322	0,011208	0,32399	0,492325
13/8/2005	0,0	1,07014	0,081491	0,334523	0,433603
14/8/2005	0,0	0,69359	0,095877	0,310604	0,414081
17/8/2005	0,0	0,54227	0,023061	0,330957	0,332528
18/8/2005	0,0	0,40452	0,001621	0,312498	0,273813
19/8/2005	0,0	0,22510	-0,06532	0,309649	0,27083
20/8/2005	0,0	0,10715	-0,05395	0,314703	0,260085
22/8/2005	0,0	0,10715	-0,02104	0,330155	0,357615
23/8/2005	0,0	-0,07075	-0,16791	0,365006	0,500032
25/8/2005	0,0	-0,10329	0,02125	0,349834	0,072864
26/8/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	0,22281	0,071876
27/8/2005	24,8	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
28/8/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
29/8/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
30/8/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
31/8/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
1/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
2/9/2005	6,4	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
3/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
4/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
5/9/2005	13,2	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046

6/9/2005 10,0 -0,00229 -0,00326 -0,00772 -0,01046
 APÊNDICE E: Densidade de fluxo média e precipitação para a entressafra e tremoço branco
 (conclusão)

Data (pousio+ tremoço branco)	Precipitação (mm)	Densidade de fluxo média (mm dia ⁻¹)			
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			
		0	60	120	180
7/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
8/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
10/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
11/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
12/9/2005	10,2	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
13/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
14/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
15/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
16/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
17/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
18/9/2005	4,6	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
19/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
20/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
21/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
22/9/2005	24,8	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
23/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
24/9/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
25/9/2005	6,6	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
26/9/2005	3,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
27/9/2005	2,6	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
28/9/2005	0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
29/9/2005	0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
30/9/2005	0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
1/10/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
2/10/2005	17,2	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
3/10/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
4/10/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
5/10/2005	13,2	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
6/10/2005	10,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
7/10/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
8/10/2005	11,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
9/10/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
10/10/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
11/10/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
12/10/2005	12,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
13/10/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
14/10/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
15/10/2005	20,4	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
16/10/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
17/10/2005	0,0	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
18/10/2005	4,6	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
19/10/2005	7,4	-0,00229	-0,00326	-0,00772	-0,01046
Total	434,6	-66,09	-45,71	-54,06	-53,48

APÊNDICE F: Densidade de fluxo média e precipitação para a safra 2005/2006 de milho
(continua)

Data (safra 2005/2006 de milho)	Precipitação (mm)	Densidade de fluxo média (mm dia ⁻¹)			
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			
		0	60	120	180
20/10/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
21/10/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
22/10/2005	7	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
23/10/2005	14,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
24/10/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
25/10/2005	6,6	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
26/10/2005	3,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
27/10/2005	5	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
28/10/2005	0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
29/10/2005	33,4	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
30/10/2005	0,2	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
31/10/2005	0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
1/11/2005	1,6	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
2/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
3/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
4/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
5/11/2005	11,2	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
6/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
7/11/2005	8,2	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
8/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
9/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
10/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
11/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
12/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
13/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
14/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
15/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
16/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
17/11/2005	6,4	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
18/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
19/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
20/11/2005	22,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
21/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
22/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
23/11/2005	19,2	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
24/11/2005	0,8	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
25/11/2005	1,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
26/11/2005	13,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
27/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
28/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
29/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
30/11/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
1/12/2005	19,6	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
2/12/2005	39,8	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125

3/12/2005 0,0 -0,0125 -0,0125 -0,0125 -0,0125
 4/12/2005 0,0 -0,0125 -0,0125 -0,0125 -0,0125

APÊNDICE F: Densidade de fluxo média e precipitação para a safra 2005/2006 de milho

(continuação)

Data (safra 2005/2006 de milho)	Precipitação (mm)	Densidade de fluxo média (mm dia ⁻¹)			
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			
		0	60	120	180
5/12/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
6/12/2005	6,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
7/12/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
8/12/2005	0,0	-0,0125	-0,0125	-0,0125	-0,0125
9/12/2005	0,0	-5,7604	-3,2786	-0,1450	-4,2138
10/12/2005	0,0	-3,0212	-2,4967	-0,0122	-2,3735
11/12/2005	0,0	-2,8658	-2,2820	-0,1599	-1,9910
12/12/2005	6,2	-2,5788	-1,9194	-0,2189	-1,4038
13/12/2005	0,0	-2,1296	-1,5203	-0,1753	-1,1445
14/12/2005	0,0	-1,6566	-1,2411	-0,0965	-1,0062
15/12/2005	0,0	-1,4398	-0,9588	-0,0873	-0,8632
16/12/2005	0,0	-1,0622	-0,4679	-0,0714	-0,6298
17/12/2005	3,2	-0,8475	-0,1040	-0,0026	-0,5412
18/12/2005	9,2	-0,9905	-0,2388	0,0070	-0,4550
19/12/2005	28,8	-1,2022	-0,6652	0,0196	-0,3520
20/12/2005	0,0	-1,0728	-0,5314	0,0355	-0,0610
21/12/2005	0,0	-1,4291	-1,4953	-0,1785	-2,4029
22/12/2005	10,0	-1,4502	-0,7779	-0,1785	-2,4029
23/12/2005	0,0	-1,4230	-1,0241	-0,1670	-2,5374
24/12/2005	2,0	-1,4231	-1,6282	-0,1998	-2,8753
25/12/2005	0,0	-1,2720	-1,9210	-0,1301	-2,6637
26/12/2005	0,0	-1,1181	-1,7001	-0,0865	-2,7716
27/12/2005	0,0	-0,8700	-1,3562	-0,0198	-3,0306
28/12/2005	0,0	-0,9567	-1,3360	-0,0665	-2,1440
29/12/2005	0,0	-1,7370	-1,2914	-0,1886	-0,8495
30/12/2005	0	-0,5836	-0,5887	-0,1706	-0,4547
31/12/2005	0,0	-0,3560	-0,2966	-0,1208	-0,2508
1/1/2006	33,0	-0,4281	-0,0511	0,0460	0,2367
2/1/2006	33,0	-8,0818	-1,8097	-8,1845	-1,9621
3/1/2006	56,0	-12,7679	-7,7028	-15,8452	-7,3982
4/1/2006	30,0	-26,9403	-18,4789	-22,1406	-8,2662
5/1/2006	8,6	-12,6962	-9,5148	-7,2988	-9,2827
6/1/2006	0,0	-9,6927	-6,9564	-4,8742	-8,0485
7/1/2006	0,0	-5,2898	-3,1463	-2,2902	-4,2797
8/1/2006	11,0	-3,4149	-2,6304	-2,2632	-3,6840
9/1/2006	24,6	-9,2007	-4,0307	-4,3443	-4,1652
10/1/2006	0,0	-8,4145	-4,2518	-3,7574	-4,8515
11/1/2006	0,0	-4,1376	-2,4357	-2,0927	-3,2885
12/1/2006	18,2	-2,8040	-2,1033	-1,2558	-4,6350
13/1/2006	0,0	-2,2382	-1,6271	-1,0806	-5,1958
14/1/2006	0,0	-2,0825	-1,5098	-0,8832	-3,0214
15/1/2006	0,0	-1,8719	-1,3361	-0,6111	-1,5153
16/1/2006	0,0	-1,6822	-0,9865	-0,4210	-1,1205

17/1/2006 0,0 -1,4724 -0,5657 -0,1668 -0,6719
 18/1/2006 0,0 -1,3290 -0,4582 -0,1172 -0,3313

APÊNDICE F: Densidade de fluxo média e precipitação para a safra 2005/2006 de milho

(continuação)

Data (safra 2005/2006 de milho)	Precipitação (mm)	Densidade de fluxo média (mm dia ⁻¹)			
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			
		0	60	120	180
19/1/2006	15,0	-0,9444	-0,3230	-0,0552	0,0169
20/1/2006	0,0	-0,5036	-0,2679	-0,0116	-0,0878
21/1/2006	0,0	-0,2371	-0,1787	0,0858	-0,1685
22/1/2006	0,0	-0,1840	-0,0663	0,1326	-0,0153
23/1/2006	0,0	-0,1134	0,0619	0,2216	0,1332
24/1/2006	0,0	-0,0456	0,0601	0,1682	0,2553
25/1/2006	0,0	-0,0435	0,1279	0,2462	0,4863
26/1/2006	11,6	-0,0380	0,1450	0,2122	0,5268
27/1/2006	0,0	-0,0259	0,1368	0,1291	0,6590
28/1/2006	17,0	-0,0058	-0,0490	0,0465	0,7207
29/1/2006	5,8	-0,0967	0,0113	-0,0822	0,6210
30/1/2006	41,8	-8,4933	-2,3614	-11,4291	1,3800
31/1/2006	7,0	-7,3245	-4,2431	-9,7369	-6,7878
1/2/2006	2,0	-6,4092	-2,2945	-2,6375	-5,2150
2/2/2006	0,0	-6,0195	-1,5619	-1,8373	-6,4167
3/2/2006	0,0	-1,4357	-0,5896	-0,6448	-2,4314
4/2/2006	0,0	-0,9242	-0,3996	-0,4434	-1,6746
5/2/2006	30,2	-2,4131	-0,5589	-1,0499	-0,5400
6/2/2006	0,0	-1,6183	-0,4247	-0,7213	-0,4066
7/2/2006	0,0	-4,1746	-0,6736	-0,7501	-1,0676
8/2/2006	5,6	-3,1414	-0,6241	-0,5308	-1,0239
9/2/2006	21,0	-2,7564	-0,6141	-0,4426	-1,9045
10/2/2006	6,6	-3,0444	-0,5707	-0,5004	-1,2288
11/2/2006	21,0	-8,3291	-1,2310	-1,6389	-1,2850
12/2/2006	15,4	-24,6882	-8,3790	-8,8049	-9,9191
13/2/2006	15,0	-22,0457	-9,7581	-10,3520	-9,6642
14/2/2006	0,0	-18,9346	-6,9359	-7,4563	-9,6481
15/2/2006	10,0	-16,0900	-4,5172	-4,1232	-6,8389
16/2/2006	43,0	-24,1933	-17,9411	-37,9587	-11,6368
17/2/2006	0,2	-24,2773	-6,9012	-7,9917	-7,1631
18/2/2006	4,6	-15,1489	-3,5125	-2,9369	-4,5015
19/2/2006	1,8	-9,8373	-2,4096	-1,9076	-3,5056
20/2/2006	0,0	-7,2503	-0,7642	-1,3371	-1,8112
21/2/2006	0,0	-6,0450	-0,6683	-1,1921	-1,5731
22/2/2006	32,0	-6,0541	-3,4484	-2,0744	-1,7027
23/2/2006	0,0	-9,9372	-5,1922	-3,8390	-3,3217
24/2/2006	0,0	-8,1347	-3,1503	-2,2285	-3,1959
25/2/2006	2,0	-7,1739	-2,4525	-1,5856	-2,3469
26/2/2006	0,0	-9,9768	-5,2345	-3,2402	-25,9591
27/2/2006	0,0	-4,5321	-1,2733	-0,8039	-1,8608
28/2/2006	0,0	-3,0590	-0,9569	-0,7450	-0,8928
1/3/2006	0,0	-3,9773	-1,1861	-0,7610	-0,8609
2/3/2006	0,0	-2,8186	-0,8029	-0,4702	-0,2552

3/3/2006 0,0 -2,4856 -0,5762 -0,3091 -0,0866
 4/3/2006 0,0 -2,2498 -0,5282 -0,2889 -0,0787

APÊNDICE F: Densidade de fluxo média e precipitação para a safra 2005/2006 de milho
 (conclusão)

Data (safra 2005/2006 de milho)	Precipitação (mm)	Densidade de fluxo média (mm dia ⁻¹)			
		Doses de N (kg ha ⁻¹)			
		0	60	120	180
5/3/2006	33,8	-1,9324	-0,2711	-0,1214	0,0805
6/3/2006	0,0	-2,0945	-0,4068	-0,2047	0,2461
7/3/2006	20,8	-2,1224	-0,4809	-0,1765	0,2285
8/3/2006	15,6	-15,4071	-3,7027	-2,6470	-0,7730
9/3/2006	0,0	-12,0666	-4,9952	-2,2814	-1,3425
10/3/2006	0,0	-10,2166	-2,5293	-2,0833	-2,2539
11/3/2006	29,6	-14,6557	-7,6061	-5,3510	-5,9228
12/3/2006	0,0	-21,1514	-5,5445	-5,3102	-8,7869
13/3/2006	0,0	-14,4852	-3,9520	-3,5464	-7,0585
14/3/2006	0,0	-10,1306	-2,2251	-1,5590	-4,7007
15/3/2006	0,0	-9,1492	-1,8710	-1,2561	-2,1892
16/3/2006	0,5	-5,4743	-1,2987	-0,7651	-1,1855
17/3/2006	0,0	-5,1536	-1,2504	-0,6530	-0,8771
18/3/2006	0,0	-4,9563	-1,2200	-0,5906	-0,7008
19/3/2006	0,0	-4,5972	-1,1630	-0,4862	-0,4045
20/3/2006	0,0	-4,7129	-0,9266	-0,4281	-0,4587
21/3/2006	0,0	-3,0060	-0,8935	-0,4061	-0,4518
22/3/2006	0,0	-4,7565	-0,8298	-0,3571	-0,4474
23/3/2006	4,2	-4,0909	-0,7615	-0,3273	-0,3944
Total	905	-589,81	-244,38	-240,84	-257,78