

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**COBERTURA MORTA DE MILHO NA UMIDADE DO SOLO E
PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA
PLANTIO DIRETO NA REGIÃO DE CAMPINAS-SP**

DOUGLAS ROBERTO BIZARI

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**COBERTURA MORTA DE MILHO NA UMIDADE DO SOLO E
PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA
PLANTIO DIRETO NA REGIÃO DE CAMPINAS-SP**

Tese de Doutorado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de
Doutor em Engenharia Agrícola, na Área de
Concentração Água e Solo.

DOUGLAS ROBERTO BIZARI

Orientador: Prof. Dr. Edson Eiji Matsura

Co-orientador: Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

B551c Bizari, Douglas Roberto
Cobertura morta de milho na umidade do solo e
produtividade do feijoeiro irrigado em sistema plantio
direto na região de Campinas-SP / Douglas Roberto
Bizari. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientadores: Edson Eiji Matsura, Zigomar Menezes
de Souza.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Irrigação. 2. Reflectometria no domínio do tempo.
3. Solo - Conservação. 4. Feijão - Cultivo. 5. Cobertura
morta. I. Matsura, Edson Eiji. II. Souza, Zigomar
Menezes de. III. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Título em Inglês: Maize mulching in the soil moisture and productivity of
irrigated dry bean under no-tillage system in Campinas-SP

Palavras-chave em Inglês: Irrigation, Time domain reflectometry, Soil -
Conservation, Beans - Cultivation, Mulching

Área de concentração: Água e Solo

Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Luis Fernando Stone, Emilio Sakai, Claudinei Fonseca
Souza, Roberto Testezlaf

Data da defesa: 23/02/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Douglas Roberto Bizari**, aprovada pela Comissão Julgadora em 23 de fevereiro de 2011, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



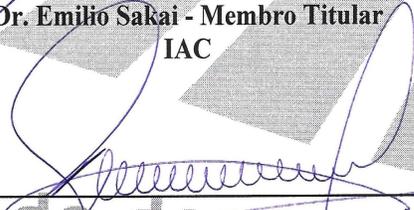
Prof. Dr. Edson Eiji Matsura – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp



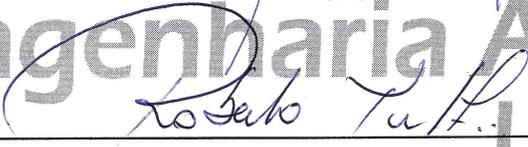
Dr. Luis Fernando Stone - Membro Titular
Embrapa/CNPAP



Dr. Emilio Sakai - Membro Titular
IAC



Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza - Membro Titular
UFSCar



Prof. Dr. Roberto Testezlaf - Membro Titular
Feagri/Unicamp

DEDICATÓRIA

Ofereço esse trabalho para as pessoas mais importantes da minha vida:

Aos meus pais, Sérgio e Rosa, por tudo que eles representam pra mim.

À Gabriela, minha esposa e companheira.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida e pelos passos que pude dar com Sua permissão.

Ao Prof. Dr. Edson Eiji Matsura, pela orientação segura, pelo aprendizado, pela confiança, amizade e apoio incondicional na realização desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza, meu co-orientador, pelo apoio na realização desse trabalho.

À Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) pela oportunidade e confiança para a realização desse trabalho.

Aos professores do Departamento de Água e Solo da FEAGRI, pelo apoio e compreensão durante o desenvolvimento desse trabalho, em especial ao Professor Roberto Testezlaf, que gentilmente, cedeu sua sala para que eu pudesse redigir parte da minha tese e também pelos momentos de descontração.

Ao professor Claudinei Fonseca Souza do Centro de Ciências Agrárias da UFSCar, pela colaboração na adaptação do sistema portátil para sonda de TDR.

Ao Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agronômico de Campinas, por gentilmente, ceder o laboratório para as análises de raízes.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa.

Aos meus pais, Sérgio e Rosa, por minha formação, pelo exemplo de vida, dedicação e carinho à minha formação pessoal e profissional e à Gabriela, minha esposa, pela paciência e companheirismo nos momentos difíceis.

Aos técnicos do Laboratório de Hidráulica e Irrigação, Túlio Assunção Pires Ribeiro e Gelson Espíndola da Silva, pela amizade, boa vontade, aprendizado e apoio nos ensaios de campo.

Aos técnicos do Laboratório de Solos, Antônio Javarez Júnior e Célia Panzararin Gonçalves, pelo apoio em parte do trabalho.

Ao técnico de Campo José Ricardo de Freitas Lucarelli, pelo apoio nas atividades de campo.

Ao técnico Agmon Moreira Rocha, pela amizade, pelo cafezinho e pelas inúmeras horas dedicadas ao meu computador.

Aos meus companheiros e companheiras de sala, Franciana, Allan, Marcelo e Leonardo pelo convívio proporcionado ao longo de parte desse caminho.

Aos amigos de pós-graduação Laura, Tânia, Rhuanito, Fábio pela alegria no nosso convívio e

contribuição nesse trabalho.

Aos amigos Marcelo Colet e Daniel Albiero pela ajuda no plantio do feijão.

Ao meu amigo Márcio Mesquita, em especial, pela amizade, palavras de incentivo, companhia nos Congressos e nos momentos de descontração.

Aos alunos de iniciação científica, Thiago, Jamile, Thomaz, Romeu, Ana e Rodrigo, pela amizade, contribuição e dedicação nesse trabalho.

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o sucesso desse trabalho.

EPÍGRAFE

*"Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis."*

Bertolt Brecht

RESUMO

A potencialidade do sistema plantio direto (SPD) na conservação da água e do solo, aliado à necessidade de pesquisas com culturas irrigadas nesse sistema, principalmente no Estado de São Paulo, determina uma demanda de informações nessa área, visando minimizar a degradação dos recursos hídricos, normalmente utilizado de maneira inadequada na busca por elevadas produtividades. Diante da importância da necessidade da água para irrigação, torna-se imprescindível a conscientização do produtor rural com relação ao seu manejo racional, que pode ser alcançado tanto pela implantação de técnicas conservacionistas quanto pela utilização de equipamentos de monitoramento da umidade do solo mais práticos e eficientes. Apesar da sua importância para o sucesso do SPD irrigado, há uma carência, no Estado de São Paulo, de estudos voltados para a quantidade adequada de cobertura morta na superfície do solo, que possa proporcionar disponibilidade de água necessária para as plantas, durante o seu ciclo de desenvolvimento, levando-se em conta a sua decomposição, que pode ser mais ou menos rápida, dependendo das condições climáticas da região. Baseado nisso, estudou-se a influência de diferentes quantidades de cobertura morta de milho na conservação da umidade e produtividade da cultura do feijoeiro, avaliando-se também a técnica da TDR (Reflectometria no domínio do tempo) no monitoramento da umidade do solo, na redistribuição da água no seu interior e no manejo da irrigação. Para isso, foi semeada a cultura do feijão, variedade Pérola, na época de inverno nos anos de 2007, 2008 e 2009. Na primeira safra, caracterizou-se o sistema radicular da cultura ao longo de todo seu ciclo de desenvolvimento, buscando-se uma relação com os parâmetros da parte aérea, e também, como uma forma de aprimorar o cálculo da lâmina de água aplicada nas culturas irrigadas, contribuindo para um manejo mais racional da irrigação e um menor desperdício de água aplicada no SPD. Na segunda safra, verificou-se a influência de diferentes quantidades de cobertura morta de milho na temperatura e umidade do solo na cultura do feijoeiro irrigado em SPD e na última safra avaliou-se a decomposição dessas diferentes quantidades de cobertura morta ao longo de todo o ciclo da cultura e também, desenvolveu-se um equipamento portátil para otimizar as leituras de umidade no campo por sondas de TDR, como proposta de uma ferramenta para ser utilizada no manejo da irrigação e ensaios de redistribuição de água no interior do solo. Foi possível verificar que a profundidade efetiva de raízes do feijoeiro variou ao longo do ciclo da cultura, apresentando

boa correlação com a altura de plantas, índice de área foliar e massa seca da parte aérea. Que a maior quantidade de cobertura morta de milho proporcionou as menores taxa de decomposição, os maiores valores de umidade do solo, os menores valores de temperatura do solo e a maior produtividade de grãos e de seus componentes de produtividade. Finalmente a técnica da TDR juntamente com o equipamento portátil para uma única sonda de TDR foi viável no monitoramento da umidade do solo, podendo também ser empregada no manejo da irrigação e ensaios de redistribuição de água no interior do solo.

Palavras-chave: Irrigação; TDR; Técnicas conservacionistas; Cultura do feijoeiro.

ABSTRACT

Due to the potential of the no-tillage system (SPD) in the water and soil conservation combined with the need for research with irrigated crops in this system, mainly in the State of São Paulo, has been increasing the demand for information to minimize the degradation of hydric resources, inappropriately used in the search for higher productivities. However, due to the importance of the need of water for irrigation, it becomes essential to farmers awareness to water rational management, by implementation of conservation techniques and also practical and efficient equipments for monitoring soil moisture. Despite its importance in the success of the SPD, there is a lack of studies, about permanence and adequate amount of mulch on the soil surface, which may provide water availability needed for plants for a longer period of time, considering mulch decomposition. So, studies were conducted to evaluate the influence of different amounts of maize mulch in the moisture conservation and dry bean productivity and also, to evaluate the TDR technique to monitor soil moisture and irrigation management and soil water redistribution. For that, was sown dry bean, Pérola variety, in the winter period, during years 2007, 2008 and 2009. In the first year, was characterized the dry bean root system, throughout its development cycle to find a relation with the aerial part, and also, as way to improve the irrigation water applied calculation to crops irrigated, contributing to rational irrigation management. On the second year, the objective was to verify the influence of different amounts of maize mulch in the soil moisture conservation, temperature and crop productivity, and in the last year was development a portable equipment to optimize the moisture readings in the field with TDR probes, such as proposed tool to be used for irrigation management and soil water redistribution tests. It was possible to verify that the dry bean effective root depth varied during the crop cycle, showing good correlation with plant height, leaf area index and dry mass of aerial part. The largest quantify of maize mulch provided largest values of soil moisture, less values of soil temperature and largest grain yield and its productivity components. The TDR technique with the portable equipment was feasible to monitor soil moisture and can be used for irrigation management and soil water redistribution tests.

Keywords: Irrigation; TDR; Conservation techniques; Dry bean crop.

LISTA DE FIGURAS

PUBLICAÇÃO I: PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

- Figura 1. Altura de plantas (a); índice de área foliar (b) e massa seca da parte aérea (c) em função da densidade radicular da cultura do feijoeiro irrigado, variedade Pérola, cultivado sob sistema plantio direto em um Latossolo Vermelho distroférico típico da FEAGRI/UNICAMP. 30
- Figura 2. Altura de plantas (a); índice de área foliar (b) e massa seca da parte aérea (c) em função da profundidade efetiva do sistema radicular na cultura do feijoeiro irrigado, variedade Pérola, cultivado sob sistema plantio direto em um Latossolo Vermelho distroférico típico da FEAGRI/UNICAMP. 31

PUBLICAÇÃO II: COBERTURA MORTA DE MILHO NO DÉFICIT DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

- Figura 1. Umidade média do solo, na camada de 0-0,20 m, ao longo do ciclo da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, ano 2008, FEAGRI-UNICAMP. 46
- Figura 2. Umidade média do solo, na camada de 0,20-0,40 m, ao longo da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, ano 2008, FEAGRI-UNICAMP. 48
- Figura 3. Variação média do armazenamento de água no solo na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com diferentes quantidades de cobertura morta. 49
- Figura 4. Valores médios de produtividade de grãos (a), vagens por planta-NV (b) e grãos por vagem-NGV (c) da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto na FEAGRI-UNICAMP. 53
- Figura 5. Valores médios de grãos por planta-NGP (a), peso de grãos por planta-PG (b) e massa de 100 grãos-M100 (c) da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto na FEAGRI-UNICAMP. 54

PUBLICAÇÃO III: DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PORTÁTIL PARA UTILIZAÇÃO DE SONDAS DE TDR EM ENSAIOS DE CAMPO

- Figura 1. Esquema com os componentes necessários para o monitoramento da umidade do solo e condutividade elétrica pela técnica da TDR. (Cortesia: Prof. Scott B. Jones- Universidade Estadual de Utah, EUA). 68
- Figura 2. Desenho do equipamento portátil e dos componentes necessários para a medição da umidade do solo e condutividade elétrica pela técnica da TDR..... 71
- Figura 3. Leitura da umidade do solo e condutividade elétrica por sonda de TDR e detalhe da sua fixação no equipamento portátil. 72
- Figura 4. Distribuição espacial da lâmina aplicada na superfície do solo para o sistema plantio direto. 75
- Figura 5. Distribuição espacial da umidade do solo após o ensaio de uniformidade de distribuição de água, em sistema plantio direto..... 76
- Figura 6. Distribuição espacial da condutividade elétrica do solo após o ensaio de uniformidade de distribuição de água, em sistema plantio direto. 76

PUBLICAÇÃO IV: DECOMPOSIÇÃO DA COBERTURA MORTA DE MILHO NA UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO NA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

- Figura 1. Precipitação na cultura do feijoeiro de inverno, safra de 2009 comparado com o mesmo período de 2008. 90
- Figura 2. Decomposição da cobertura morta de milho nos estádios da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto. 92

PUBLICAÇÃO V: EQUIPAMENTO PORTÁTIL PARA SONDA DE TDR NO MANEJO DE IRRIGAÇÃO E REDISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SOLO NA CULTURA DO FEIJOEIRO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

- Figura 1. Valores médios de umidade do solo, na profundidade de 0,20 m, na cultura do feijoeiro irrigado sob sistema plantio direto com diferentes quantidades de cobertura morta..... 120

LISTA DE TABELAS

PUBLICAÇÃO I: PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

- Tabela 1. Densidade média de raízes no ciclo da cultura do feijoeiro irrigado, variedade Pérola, sob sistema plantio direto, em um Latossolo Vermelho distroférico típico da FEAGRI-UNICAMP..... 25
- Tabela 2. Profundidade efetiva do sistema radicular ($P_{efetiva}$) e valores médios dos parâmetros altura de plantas, índice de área foliar e massa seca da parte aérea no ciclo da cultura do feijoeiro irrigado, variedade Pérola, sob sistema plantio direto em um Latossolo Vermelho distroférico típico da FEAGRI-UNICAMP..... 27

PUBLICAÇÃO II: COBERTURA MORTA DE MILHO NO DÉFICIT DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

- Tabela 1. Valores médios* de déficit de armazenamento médio de água no solo em cada estágio da cultura do feijoeiro irrigado no sistema plantio direto com diferentes quantidades de cobertura morta de milho. 51

PUBLICAÇÃO III: DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PORTÁTIL PARA UTILIZAÇÃO DE SONDAS DE TDR EM ENSAIOS DE CAMPO

- Tabela 1. Valores médios de lâmina coletada na superfície, umidade e condutividade elétrica (CE) no perfil do solo e seus respectivos Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC), no sistema plantio direto..... 72
- Tabela 2. Porcentagem de área de cada classe de lâmina aplicada na parcela irrigada durante o ensaio de uniformidade de aplicação de água. 74
- Tabela 3. Porcentagem de área de cada classe da umidade do solo e condutividade elétrica (CE) na parcela irrigada durante o ensaio de uniformidade de aplicação de água. 76

PUBLICAÇÃO IV: DECOMPOSIÇÃO DA COBERTURA MORTA DE MILHO NA
UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO NA CULTURA DO FEIJOEIRO
IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Tabela 1. Taxas de decomposição nos diferentes tratamentos e estádios da cultura do feijoeiro, em sistema plantio direto.	92
Tabela 2. Valores médios de temperatura do ar (T_a) e temperatura do solo (T_s) nos diferentes tratamentos com cobertura morta de milho e estádios da cultura do feijoeiro, na profundidade de 0,20 m, em sistema plantio direto.....	94
Tabela 3. Valores de umidade do solo nos diferentes tratamentos com cobertura morta de milho e estádios da cultura do feijoeiro, na profundidade de 0,20 m, em sistema plantio direto.....	97
Tabela 4. Valores médios * de produtividade de grãos, número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagem (NG), número de grãos por planta (NGP), peso de grãos (PG) e massa de 100 grãos (M100) na cultura do feijoeiro em sistema plantio direto.	100

PUBLICAÇÃO V: EQUIPAMENTO PORTÁTIL PARA SONDA DE TDR NO MANEJO
DE IRRIGAÇÃO E REDISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SOLO NA CULTURA
DO FEIJOEIRO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Tabela 1. Valores médios de umidade, na profundidade de 0,20 m nos estádios de desenvolvimento do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, com diferentes quantidades de cobertura morta.....	121
Tabela 2. Valores médios de lâmina coletada, umidade do solo e coeficiente de uniformidade de Christiansen na superfície do solo ($CUC_{sup.}$); antes (CUC_{antes}) e após 24 horas (CUC_{depois}) aos eventos de irrigação na cultura do feijoeiro em SPD.	123
Tabela 3. Valores médios * de produtividade de grãos, número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagem (NG), número de grãos por planta (NGP), peso de grãos (PG) e massa de 100 grãos (M100) na cultura do feijoeiro em sistema plantio direto.	127

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. HIPÓTESES DO TRABALHO	3
3. OBJETIVOS	4
3.1 Objetivo geral.....	4
3.2 Objetivos Específicos	4
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
5. PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS.....	16
Publicação I:	17
PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO	17
Publicação II.....	37
COBERTURA MORTA DE MILHO NO DÉFICIT DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO	37
Publicação III.....	62
DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PORTÁTIL PARA UTILIZAÇÃO DE SONDAS DE TDR EM ENSAIOS DE CAMPO.....	62
Publicação IV	83
DECOMPOSIÇÃO DA COBERTURA MORTA DE MILHO NA UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO NA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	83
Publicação V.....	111
EQUIPAMENTO PORTÁTIL PARA SONDA DE TDR NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO E REDISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SOLO NA CULTURA DO FEIJOEIRO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	111

6. DISCUSSÃO GERAL	138
7. CONCLUSÕES GERAIS	141
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143
APÊNDICE	149
ANEXOS	182

1. INTRODUÇÃO GERAL

Na agricultura, a água é essencial para o desenvolvimento das culturas, influenciando diretamente seu crescimento e produtividade. Porém, a instabilidade climática é um dos fatores determinantes para que essa produtividade seja aquém da desejada. Um dos fatores climáticos de maior variabilidade é a precipitação pluvial e, na maioria dos casos, a sua baixa disponibilidade ou distribuição irregular limita a produção para um dado local e espécie de cultivo.

A tecnologia de irrigação é a alternativa que o agricultor tem para não correr riscos de déficit hídrico, principalmente nos meses de inverno, quando esse é mais acentuado para algumas regiões brasileiras, como, por exemplo, no Estado de São Paulo. Nessa região, a cultura do feijoeiro irrigado por aspersão em sistema plantio direto (SPD) tem sido uma excelente opção de uso agrícola sustentável, principalmente no que se refere à conservação de água no solo. STONE e MOREIRA (2000) constataram uma redução de 30% da lâmina de água aplicada no feijoeiro irrigado em SPD quando comparado ao sistema convencional. Em trabalho realizado por BIZARI et al. (2009) a economia de água foi de 12 %, com um incremento de produtividade das plantas nesse sistema, em relação as do sistema convencional. Maior economia de água decorrente da utilização da cobertura morta no sistema de manejo conservacionista também foi verificada por ANDRADE et al. (2002) e STONE (2005). Porém, mesmo com a crescente utilização do SPD em muitas regiões do Brasil, a grande maioria dos produtores não utiliza qualquer técnica para a aplicação correta da água no solo, resultando em plantas com baixa produtividade causada pelo estresse hídrico, ou ainda, sendo mais comum, o desperdício de água e energia pelo excesso de água aplicada.

Existem vários métodos para quantificar adequadamente a umidade do solo e minimizar o uso inadequado dos recursos hídricos na agricultura. Mas, a técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) vem sendo cada vez mais utilizada, principalmente, por ser um método não destrutivo, por não utilizar radiação ionizante, por apresentar possibilidade de automação e acoplamento a dispositivos multiplicadores de leituras, pouca influência da textura, densidade e salinidade (COELHO e OR, 1996; SOUZA et al., 2006). No entanto, a maioria dos trabalhos com essa técnica é realizada em laboratório, havendo a necessidade de verificar o seu comportamento em ensaios de campo na condução

de culturas agrícolas irrigadas.

Considerando o potencial do SPD como técnica conservacionista, propõe-se estudar nesse trabalho a influência de diferentes quantidades de cobertura morta de milho na conservação da umidade e produtividade da cultura do feijoeiro irrigado sob SPD e, também, avaliar a técnica da TDR no monitoramento da umidade do solo, redistribuição da água no seu interior e no manejo de irrigação, em condições de campo.

Para tanto, esse trabalho está apresentado em publicações a fim de facilitar o entendimento e o detalhamento dos resultados. O trabalho encontra-se dividido em:

Publicação 1 – Profundidade efetiva de raízes e sua relação com a parte aérea da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto.

Publicação 2 – Cobertura morta de milho no déficit de armazenamento de água no solo e produtividade da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto.

Publicação 3 – Desenvolvimento de um equipamento portátil para utilização de sondas de TDR em ensaios de campo.

Publicação 4 – Decomposição da cobertura morta de milho na umidade e temperatura do solo na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto.

Publicação 5 – Equipamento portátil para sonda de TDR no manejo de irrigação e redistribuição da água no solo na cultura do feijoeiro em sistema plantio direto.

2. HIPÓTESES DO TRABALHO

A maior quantidade de cobertura morta de milho não retendo parte da lâmina de água aplicada na sua superfície, proporcionará os maiores valores de umidade do solo com aumento da produtividade de grãos do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto. A Reflectometria no Domínio do Tempo é uma técnica com potencial para monitoramento da umidade do solo, redistribuição da água no seu interior e manejo correto da irrigação.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Verificar a influência de diferentes quantidades de cobertura morta de milho na conservação da umidade e produtividade da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, na região de Campinas-SP. Avaliar o potencial do uso da técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo no monitoramento da umidade do solo na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto.

3.2 Objetivos Específicos

Caracterizar a densidade radicular e a profundidade efetiva de raízes ao longo de todo o ciclo da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto e relacioná-las com os parâmetros: altura de plantas, índice de área foliar e massa seca da parte aérea.

Avaliar a influência de diferentes quantidades de cobertura morta de milho na disponibilidade de água no solo e produtividade das plantas do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto.

Avaliar a decomposição de diferentes quantidades de cobertura morta de milho na umidade e temperatura do solo na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto.

Avaliar o equipamento portátil para sonda de TDR no monitoramento da umidade do solo, redistribuição da água no seu interior e no manejo da irrigação na cultura do feijoeiro em sistema plantio direto.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a espécie mais cultivada do gênero *Phaseolus*. As produções agrícolas envolvendo todos os gêneros e espécies de feijão encontradas, segundo estatísticas da FAO, estão presentes em mais de 107 países em todo o mundo. Considerando somente o gênero *Phaseolus*, o Brasil é o maior produtor, seguido do México. Entretanto, a produção brasileira de feijão tem sido insuficiente para abastecer o mercado interno, devido à redução na área plantada, da ordem de 35%, nos últimos 17 anos. Mesmo com o aumento de 48% na produtividade de grãos obtida nesse período, ainda assim, ocorreu uma diminuição de 4% na produção total, não sendo suficiente para atender a demanda nacional (EMBRAPA, 2010).

Os grãos de feijão representam uma importante fonte protéica na alimentação humana dos países em desenvolvimento, das regiões tropicais e subtropicais, e sempre fez parte da dieta dos brasileiros. No entanto, nos últimos anos, observa-se uma redução constante no consumo per capita do produto. Sabe-se que o consumo dessa leguminosa varia conforme a região, local de moradia e condição financeira do consumidor, com o tipo e cor de grãos, entre outros aspectos. Mas, de uma forma simplificada, pode-se dizer que o consumo médio per capita de feijão na década de 1960 foi de 23,0 kg/habitante/ano, enquanto nas décadas de 70, 80 e 90 foi, respectivamente de, 20,0; 16,0 e 17,0 kg/habitante/ano. Por outro lado, enquanto no período de 1974 a 1975, o consumo metropolitano per capita foi de 16,5 kg/habitante/ano, o consumo rural foi quase o dobro, 32,0 kg/habitante/ano. Em 2002, esse consumo caiu para aproximadamente 16,3 kg/habitante/ano (EMBRAPA, 2010). Algumas das possíveis causas dessa queda do consumo per capita no Brasil estão relacionadas com a substituição por fontes de proteína de origem animal, o êxodo rural, bem como, a mudança de hábitos alimentares, fortes flutuações de oferta e preços e a demora para o preparo do produto.

O feijoeiro comum no Brasil é plantado em três safras anuais, sendo a primeira, denominada de “feijão das águas”, cultivada principalmente nas regiões Sul e Sudeste; a segunda, denominada “safrinha” ou “feijão da seca” cultivada nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste; e a terceira safra, também conhecida como de “terceira época” ou “de inverno”, cultivada sob irrigação por aspersão, principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do país, nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás/Distrito Federal, região Oeste da Bahia e

Mato Grosso. Alguns estados da Região Nordeste, por possuírem regime pluvial diferenciado, iniciam o cultivo do feijoeiro comum em maio, quando começa o período chuvoso (SILVA et al., 2004). As duas primeiras safras são responsáveis por 90% da produção nacional, proveniente de aproximadamente 2,9 milhões de hectares de lavouras de pequenos e médios produtores que utilizam, na sua maioria, mão-de-obra familiar com baixo nível tecnológico, tendo como consequência uma produtividade média de 1.037,0 kg ha⁻¹ e 708,0 kg ha⁻¹ para a primeira e segunda safra, respectivamente. Por outro lado, a safra de inverno, com aproximadamente 721,9 mil hectares, é responsável pelos 10% restantes da produção nacional (3,3 milhões de toneladas) em lavouras com alto nível tecnológico, na qual a irrigação é essencial para alcançar produtividade média de 2.504,0 kg ha⁻¹, como por exemplo, no Sudeste brasileiro, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2010).

De acordo com o levantamento realizado em outubro de 2010 pela CONAB, em termos estaduais e por ordem decrescente, os cinco maiores produtores de feijão, englobando os gêneros *Phaseolus* e *Vigna*, na primeira safra foram: Paraná (489,2 mil toneladas), Minas Gerais (213,6 mil toneladas), São Paulo (194,4 mil toneladas), Bahia (140,8 mil toneladas) e Santa Catarina (125,2 mil toneladas); na segunda safra: Paraná (293,5 mil toneladas), Minas Gerais (207,7 mil toneladas), Ceará (147,0 mil toneladas), Mato Grosso (82,5 mil toneladas) e Pernambuco (44,2 mil toneladas) e na terceira safra: Minas Gerais (196 mil toneladas), Bahia (192,2 mil toneladas), Goiás (130,1 mil toneladas), São Paulo (78,4 mil toneladas) e Pernambuco (54,6 mil toneladas)

Esse mesmo levantamento mostra que para o Estado de São Paulo a área cultivada na primeira safra foi de 116,7 mil hectares com uma produtividade média de 1.666,0 kg ha⁻¹, para a segunda e terceira safras de 29,5 mil hectares e de 34,4 mil hectares, com produtividades médias de 1.550,0 kg ha⁻¹ e 2.280,0 kg ha⁻¹, respectivamente. Para o município de Campinas, no Estado de São Paulo, a área cultivada na safra 2008/09 para o feijoeiro de primeira e segunda safra foi de 1.776,2 hectares com uma produção de 51.084,5 sacos de 60 kg. Para a terceira safra não irrigada essa área foi em torno de 35 hectares com uma produção de somente 97,5 sacos de 60 kg. Para a área irrigada, a estimativa foi de 204 hectares na safra de inverno (terceira safra) com uma produção de 6.492,0 sacos de 60 kg, de acordo com o Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2010).

Para a obtenção de altas produtividades, o fornecimento adequado de água para a cultura do feijoeiro é fundamental, pois essa cultura é pouco tolerante ao déficit hídrico, principalmente, se esse ocorrer nos estádios de florescimento e enchimento de grãos, o que pode ocasionar queda significativa de produtividade. O déficit hídrico no período vegetativo também pode reduzir o crescimento das plantas, que podem se recuperar se a irrigação for reiniciada, mas não apresentarão a mesma produtividade das plantas irrigadas adequadamente durante todo o seu ciclo (SILVEIRA e STONE, 1998).

De acordo com DOORENBOS e KASSAN (1979) a necessidade de água do feijoeiro com ciclo de 60 a 120 dias varia entre 300 a 500 mm para obtenção de alta produtividade. Nos sistemas irrigados, essa demanda de água pode ser fornecida pela técnica da irrigação para atender à exigência hídrica da planta, mas cabe ressaltar que essa varia, principalmente, com as condições de clima do local, época de semeadura, sistema de manejo, cultivares e estádios de desenvolvimento da planta (SILVEIRA e STONE, 1998; BIZARI et al., 2009), sendo necessários estudos específicos em cada local de cultivo com relação ao consumo de água pelas plantas, visando uma aplicação mais adequada de água em todo o seu ciclo de desenvolvimento, de forma a garantir boas produtividades com um melhor gerenciamento da prática da irrigação.

Nesse contexto, são fundamentais nos dias de hoje a adoção de técnicas racionais de manejo conservacionista do solo e da água para a sustentabilidade da agricultura, de tal forma que se possam manter ao longo dos anos esses recursos com quantidade e qualidades suficientes para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade (WUTKE et al., 2000).

Em algumas regiões do Estado de São Paulo em que, durante parte do ano, as condições de temperatura e radiação solar são suficientes para a produção agrícola e que ao mesmo tempo ocorre um déficit hídrico importante no inverno, a implantação do sistema plantio direto (SPD) associado à técnica da irrigação tem sido uma excelente opção de uso agrícola, pois tem se mostrado uma forma de manejo promissora com relação à conservação da umidade do solo e economia de água perante a situação de escassez hídrica em muitas regiões agrícolas desse Estado.

A adoção do SPD, como sistema de manejo conservacionista, está minimizando os impactos negativos no que se refere à perda de água e solo, uma das maiores preocupações

que a agricultura moderna vem sofrendo. Pois, o uso intensivo da terra para a produção vegetal e animal tem causado degradação da estrutura do solo, que afeta negativamente o desenvolvimento vegetal e predispõe o solo à erosão hídrica (STONE e GUIMARÃES, 2005).

De acordo com AMADO e ELTZ (2003), o SPD foi desenvolvido gradativamente nos Estados Unidos, Alemanha e Nova Zelândia, refletindo em uma evolução tecnológica da produção agrícola, visando reduzir a intensidade de preparo do solo. A área mundial agrícola sob SPD é superior a 95 milhões de hectares, sendo os Estados Unidos o país com a maior área cultivada nesse sistema, seguido pelo Brasil, com mais de 25 milhões de hectares na safra de 2005/2006, segundo a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FEBRAPDP, 2010).

No Brasil, o SPD foi introduzido na década de 70 no Estado do Rio Grande do Sul. Na década seguinte, verificou-se o início de sua expansão para os demais Estados do Sul, sendo consolidado a partir dos anos 90, quando alcançou o Cerrado e as novas fronteiras agrícolas, como o Norte do país, espalhando-se assim, por todo o território nacional. Regionalmente, o SPD já vem sendo adotado de modo sistemático nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (3,8, 0,8 e 4,5 milhões de hectares, respectivamente) havendo, nos anos recentes, uma maior adoção do SPD em outros Estados brasileiros, principalmente em Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. A expansão relativamente rápida do SPD no Brasil pode ser explicada pelo menor custo de produção e pelas facilidades de operação das práticas de campo, aliado à maior proteção do solo.

No Estado de São Paulo, restrições climatológicas limitam a manutenção da cobertura do solo pelos resíduos vegetais, o que pode explicar a pequena adesão dos produtores ao sistema, e pelo fato de que boa parte da área plantada nesse Estado se restringe às culturas de cana-de-açúcar, citros e pastagens. Apesar disso, cabe ressaltar que o SPD em três anos se expandiu de uma área de 45 mil hectares em 1998 para mais de 1 milhão de hectares em 2001 (FEBRAPDP, 2007), devido ao incentivo da Secretaria de Agricultura e empenho dos órgãos de pesquisa e extensão. Atualmente, há um aumento da área cultivada com a cultura do feijoeiro sob SPD, mas ao mesmo tempo, escassez de informações sobre o cultivo dessa leguminosa nesse sistema de manejo. Nesse sentido, a pesquisa orientada ao aprimoramento dessa técnica de manejo associada à prática da irrigação, pode ser um fator importante para que os agricultores paulistas adotem o SPD pelas inúmeras vantagens que esse sistema

proporciona, sobretudo pela conservação do solo e da água, quando comparado ao sistema convencional de cultivo.

O SPD tem seu fundamento na mínima mobilização do solo, na manutenção da cobertura morta que permanece sobre ele e na rotação de culturas. É a forma de manejo que envolve todas as técnicas recomendadas para aumentar a produtividade, conservando ou melhorando continuamente o ambiente (CURY, 2000). Em função dessa mínima mobilização do solo têm-se observado nas camadas mais superficiais uma maior estabilidade estrutural, os maiores valores de densidade e microporosidade e menores valores de porosidade total e macroporosidade, quando comparado a outros sistemas de preparo (STONE e SILVEIRA, 2001). Segundo esses autores, com o passar dos anos a densidade do solo sob SPD pode vir a diminuir, pelo aumento gradativo do conteúdo de matéria orgânica na camada superficial favorecendo a melhoria da estrutura do solo.

BERTOL et al. (2004) avaliando as propriedades físicas do solo sob sistema convencional e SPD em rotação e sucessão de culturas, concluíram que na camada de 0-0,10 m, a densidade do solo foi maior no SPD que no sistema convencional e campo nativo, em função da redução do volume de macroporos nesse sistema. Resultados semelhantes foram observados por FIGUEIREDO et al. (2009) para a mesma profundidade, com os maiores valores de densidade do solo no SPD com pastagem, provavelmente devido ao pisoteio dos animais. Os autores afirmam que cultivos intensivos, mesmo quando há rotação de culturas, tende a um desarranjo maior das partículas do solo, o que pode comprometer a porosidade e diminuir a infiltração e a redistribuição de água no solo e, como consequência, aumentar a compactação, o que prejudicaria sensivelmente a produção agrícola.

Para MOREIRA et al. (1999a), outra característica hídrica importante do solo em SPD está relacionada à capacidade de armazenamento de água e a distribuição do tamanho dos poros, pois, nos sistemas de manejo com revolvimento do solo ocorre um aumento do volume de macroporos, facilitando as perdas de água na camada revolvida (VIEIRA, 1984). Em trabalho realizado por DERPSCH et al. (1991) os autores concluíram que o SPD apresentou maior capacidade de retenção de água em relação ao sistema convencional nas camadas de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m de profundidade. SIDIRAS et al. (1982) observaram que no SPD o conteúdo de água no solo superava consideravelmente o do sistema convencional. Nas

camadas de 0,03-0,10 m, 0,11-0,20 m e 0,21-0,30 m, o conteúdo de água no SPD superou o sistema convencional em 31%, 20% e 5%, respectivamente.

Outros fatores como a temperatura do solo e a cobertura morta superficial, têm proporcionado maiores conteúdos de água para as plantas cultivadas em solos com menor revolvimento (SALTON e MIELNICZUK, 1995; STONE e SILVEIRA, 1999; BIZARI et al., 2009). A permanência da cobertura na superfície do solo atua na dissipação de energia cinética das gotas de chuva, diminuindo a desagregação das partículas do solo e a erosão hídrica (SCHAEFER et al., 2001), além de promover o aporte de matéria orgânica e nutrientes e reduzir a amplitude térmica do solo ao longo do ciclo da cultura (SATURNINO e LANDERS, 1997).

A velocidade de decomposição dos resíduos culturais, que segundo ALVARENGA et al. (2001) depende da natureza do material vegetal, do volume, da fertilidade do solo, do manejo da cobertura, e das condições climáticas, principalmente, precipitação pluvial e temperatura. Produzir e manter a cobertura morta sobre o solo tem sido um dos grandes entraves encontrados para o SPD, principalmente nas regiões sujeitas a altos valores de temperatura e umidade, onde a decomposição do resíduo é mais acelerada. No Estado de São Paulo vêm sendo conduzidos trabalhos para avaliação de algumas espécies de plantas quanto à produção de fitomassa, tais como, o milheto MURAISHI et al. (2005), capim pé-de-galinha MURAISHI et al. (2005), FRANCISCO et al. (2007) e milho SÁENZ et al. (2008). Porém, a maioria desses trabalhos são conduzidos na época do verão e geralmente não avaliam o efeito da cobertura morta no armazenamento e disponibilidade de água nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas, submetidas à irrigação na época do inverno.

Para as regiões com elevadas temperaturas e índices pluviométricos, ou mesmo naquelas em que é necessária a prática mais intensiva da irrigação, uma alternativa para a implantação do SPD seria a utilização de plantas de cobertura que apresentassem elevada produção de resíduos e maiores tempo de meia-vida, resultando em menor velocidade de decomposição e permanência desses na superfície do solo por um maior período de tempo (CERETTA et al., 2002), com uma atuação mais prolongada da cobertura morta na conservação da umidade do solo.

Muitos trabalhos realizados com a cultura do feijoeiro mostram que o SPD com

adequada cobertura morta foi mais eficiente no uso da água, propiciando maiores produtividades com menor quantidade de água aplicada, em relação aos tratamentos sem cobertura (BARROS e HANKS, 1993; STONE e MOREIRA, 2000; ANDRADE et al., 2002; BIZARI et al., 2009). Para MOREIRA et al. (1999b) a economia de água começa a ser significativa a partir dos 50 % de cobertura do solo pela palhada, implicando em menor número de irrigações do feijoeiro. ALLEN et al. (1998) afirmam que para cada 10 % da superfície do solo com presença de cobertura morta ocorre redução em torno de 5 % na evaporação de água. E que, para uma condição de 50 % de cobertura morta presente no solo a evapotranspiração pode ser reduzida em 25 % no estágio inicial da cultura e entre 5 a 10 % nos demais estádios.

Pela atuação da cobertura morta na conservação da umidade do solo, MOREIRA et al. (1999a) sugere que o manejo da irrigação no SPD seja diferente daquele praticado no sistema convencional, quanto à lâmina de irrigação e ao turno de rega. O principal objetivo do manejo da irrigação é evitar o desperdício ou a falta de água para a cultura do feijoeiro, por meio da aplicação de água no momento certo e na quantidade adequada em cada estágio do seu ciclo de desenvolvimento, suprimindo assim, as necessidades hídricas das plantas. Dessa forma, o uso racional da água, de energia e dos insumos agrícolas é garantido, podendo-se obter alta produtividade com menor impacto ambiental (BERNARDO, 1995; ANDRADE et al., 2002).

Para a implantação do manejo de irrigação é necessário conhecer a distribuição do sistema radicular da cultura a ser irrigada, ao longo de todo o seu ciclo de desenvolvimento, pois, normalmente, no cálculo da lâmina de água aplicada considera-se somente uma única camada onde se encontra a profundidade efetiva das raízes, acarretando muitas vezes em lâminas aplicadas em excesso, mesmo com a utilização adequada dos instrumentos de monitoramento da umidade do solo.

Diversos são os métodos para a determinação da umidade do solo, como o gravimétrico, considerado o método direto padrão, além dos métodos indiretos, tais como, atenuação de nêutrons, resistência elétrica, tensiometria e reflectometria no domínio do tempo (TDR) (SOUZA e MATSURA, 2002). O método gravimétrico apresenta resultados precisos a um custo relativamente baixo, quando usado como técnica laboratorial, mas para medidas no

campo o acondicionamento e transporte das amostras podem reduzir a precisão dos resultados e, ainda, para amostragens repetidas em uma pequena área, pode causar interferência no local em estudo.

O uso da sonda de nêutrons exige um treinamento e licença especial para seu manuseio, por apresentar fontes radioativas. O bloco de gesso é um instrumento simples e de baixo custo, mas o sensor sofre deterioração com o tempo devido à interação com os compostos químicos do solo (COELHO e OR, 1996). Embora seja um equipamento de boa precisão e custo não muito elevado, seu emprego no campo tem sido restrito, principalmente, devido à variabilidade dos solos, dos próprios blocos e da faixa de umidade em que funciona corretamente (REZENDE e ALBUQUERQUE, 2002). O tensiômetro tem o seu emprego mais recomendado para o controle das irrigações em campo, em virtude de sua simplicidade, baixo custo e facilidade de operação, porém, apresenta algumas limitações, como leitura pontual de umidade, representatividade da área e escala de uso.

Com relação à técnica da TDR, as vantagens que esse método apresenta, como, a precisão, por ser um método não destrutivo, a não utilização de radiação ionizante, possibilidade de automação e acoplamento a dispositivos multiplicadores de leituras, pouca influência da textura, densidade e salinidade, são justificativas fortes para a sua adoção em substituição a outros métodos (TOPP et al. 1980; COELHO e OR, 1996, SOUZA et al., 2006).

Por outro lado, sua principal desvantagem ainda tem sido o custo, considerado alto para os padrões da agricultura nacional. De qualquer forma, ainda não existe uma técnica ideal capaz de atender da melhor forma possível todas as condições e interesses envolvidos.

No manejo da irrigação do feijoeiro geralmente é utilizado o tensiômetro com a curva de retenção da água do solo ou tanque Classe A, ou o tanque Classe A com a curva de retenção de água no solo, conforme apresentado detalhadamente em trabalho realizado por MOREIRA et al. (1999a). Para os métodos que utilizam os tensiômetros, quando os valores obtidos são baixos esses indicam solo úmido e valores altos indicam solo seco. Esse equipamento tem capacidade para leituras de até 80 kPa, sendo que para tensões maiores que essa o aparelho pára de funcionar.

Para SILVEIRA e STONE (2002), os tensiômetros devem ser instalados na lavoura de feijão após a emergência das plântulas e com o solo em condições adequadas de umidade,

garantindo-se assim, o seu correto funcionamento. Para os mesmos autores, a instalação deve ser feita em duas profundidades, 0,15 m e 0,30 m, um ao lado do outro, sendo que a leitura do tensiômetro instalado na menor profundidade indica o momento da irrigação e representa a tensão média da água de um perfil de aproximadamente 0,30 m de profundidade, que engloba quase a totalidade do sistema radicular do feijoeiro. O outro tensiômetro instalado a 0,30 m é usado para verificar como a irrigação está sendo conduzida, ou seja, se está havendo falta ou excesso de água aplicada. A curva de retenção, que relaciona o teor ou o conteúdo de água no solo com a força (tensão) com que ela está por ele retida, permite a estimativa rápida da disponibilidade de água no solo para as plantas, a uma profundidade de interesse, pela determinação da quantidade máxima de armazenamento de água (Capacidade de campo), o armazenamento mínimo (Ponto de murchamento) ou o armazenamento em qualquer outro ponto da curva (SILVEIRA e STONE, 2002).

Para SILVEIRA e STONE (2002), quando se opta pela utilização da tensiometria associado ao tanque Classe A, o tensiômetro instalado a 0,15 m de profundidade indica o momento adequado de irrigar e a lâmina líquida de irrigação é igual à evapotranspiração da cultura entre uma irrigação e outra. Por fim, no manejo realizado pelo tanque Classe A e a curva de retenção, a lâmina líquida é estabelecida com base nessa curva, sendo que a irrigação é realizada toda vez que a evapotranspiração atingir o valor dessa lâmina. CHIEPPE JUNIOR (1998) ao comparar os três métodos nas condições de Senador Canedo, GO, observou que esses não diferiram significativamente quanto à eficiência do uso da água e produtividade do feijoeiro.

No caso do feijoeiro, a recomendação é realizar a irrigação toda vez que os tensiômetros de decisão apresentarem a faixa de 20 a 35 kPa. Para MOREIRA et al. (1999a) bons rendimentos de grãos têm sido obtidos quando são mantidas baixas tensões de água no solo, exigindo irrigações frequentes, que podem ocasionar aumento nos custos de produção e nas perdas de água por evaporação, além de favorecerem o aparecimento de doenças. Assim, deve-se adequar o manejo da irrigação para se alcançar a produtividade máxima econômica.

Conforme visto anteriormente, existem diferentes métodos e equipamentos para o monitoramento da umidade do solo, porém, atualmente, existe uma tendência da utilização da técnica da TDR para estimativas de umidade do solo e condutividade elétrica, mesmo com a

necessidade do levantamento de uma curva de calibração para cada tipo de solo, um inconveniente normalmente aceitável, comparado com as vantagens que apresenta em relação a outras técnicas.

A técnica da TDR se baseia no efeito da umidade do solo sobre a velocidade de propagação de ondas eletromagnéticas em hastes condutoras envoltas por solo. Esse fenômeno se deve à diferença entre as constantes dielétricas (K_a) da água, do ar e do material sólido do solo. Na matriz do solo as constantes dielétricas variam entre 1 e 81. O ar possui o valor mínimo igual a 1, as partículas sólidas variam entre 3 e 5, e a água possui o valor máximo de 81. A constante dielétrica é determinada medindo-se o tempo de propagação de uma onda eletromagnética, através de um cabo coaxial até um sensor (sonda), imerso em um meio. Parte da onda incidente, que pode ser produzida por um testador de cabos, é refletida ao atingir o sensor devido à diferença de impedância entre esse e o cabo coaxial. O remanescente da onda propaga-se pelo sensor até alcançar a sua extremidade, sendo também refletida. O tempo de propagação da onda, entre o início e o final do sensor, pode ser medido pelo osciloscópio do testador de cabos (NOBORIO, 2001).

Há outras várias possibilidades de aplicações da TDR e essa tem sido muito utilizada também para avaliação do movimento de solutos no solo (NADLER et al. 1999; WARD et al., 1995; MMOLAWA e OR, 2000; SOUZA et al. 2009; BARROS et al. 2009; SOUZA et al., 2010).

No entanto, há a necessidade de estudos voltados para o desenvolvimento de equipamentos que apliquem esse princípio para a umidade do solo em condições de campo para fins de manejo de irrigação e avaliação da uniformidade de redistribuição da água no interior do solo, como forma de aproveitar todo o potencial que essa técnica oferece. O levantamento de informações de forma rápida, sobre a redistribuição da água no solo em irrigação por aspersão, pode gerar novos trabalhos com relação a espaçamento entre aspersores e sua relação com o rendimento das culturas, custos de sistemas de irrigação e avaliação mais detalhada na elaboração de projetos de irrigação. Para culturas de alto valor econômico, especialmente, aquelas de sistema radicular pouco profundo, considera-se o mais econômico sistema de irrigação aquele que proporciona alta uniformidade de distribuição de água, ou seja, Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) superior a 80 %

(PEREIRA, 2001).

Porém, esse tipo de avaliação realizado apenas na superfície do solo, desconsidera a redistribuição da água no seu interior, que é tridimensional e de grande importância nas relações água-solo-planta, subestimando-se a eficiência do sistema em funcionamento. Em trabalhos realizados por LI e KAWANO (1996), ROCHA et al. (1999), RODRIGUES et al. (2001) e ROQUE et al. (2008) foi constatado o aumento dos coeficientes de uniformidade abaixo da superfície do solo. No entanto, poucos são os trabalhos que utilizam a técnica da TDR para esse tipo de avaliação, principalmente pelas dificuldades de operação e manuseio em campo. Assim, busca-se o aprimoramento da utilização dessa técnica para facilitar seu uso em condições de campo, constituindo-se como mais uma ferramenta para os agricultores irrigantes, na busca por informações sobre o comportamento da umidade do solo durante o desenvolvimento das culturas.

A prática da irrigação deve se tornar mais eficiente no uso da água, por meio de avaliações precisas da quantidade a ser utilizada pelas plantas, que juntamente com o manejo sustentável do solo, possibilite condições cada vez melhores para o bom desenvolvimento vegetal, promovendo, conseqüentemente, menores perdas de solo e água, garantindo-se assim, boas produtividades associadas à qualidade ambiental.

5. PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

Publicação I:

PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

RESUMO

No dimensionamento de projetos e manejo da irrigação é importante o conhecimento do sistema radicular das culturas para o controle adequado das irrigações e armazenamento de água no solo. Pelas dificuldades dos métodos de trabalho, a caracterização da profundidade efetiva de raízes se faz geralmente no florescimento da cultura, resultando em falta de informação, principalmente nos estádios iniciais de seu crescimento. Em face dessa realidade, o objetivo desse trabalho foi determinar, para as condições locais, a profundidade efetiva de raízes nos estádios de desenvolvimento do feijoeiro, variedade Pérola, e relacioná-la com os parâmetros de desenvolvimento da parte aérea. A irrigação foi realizada pelo turno de rega variável, mantendo o conteúdo de água no solo entre 36 % e 33 %, que correspondem às umidades na capacidade de campo e crítica para a cultura, respectivamente. Os resultados indicaram que a profundidade efetiva do sistema radicular da variedade estudada nas condições específicas em que ocorreu o ensaio, se encontra nas camadas: de 0 a 0,15 m para o desenvolvimento vegetativo, de 0 a 0,20 m para o florescimento/enchimento de grãos e de 0 a 0,25 m no início da maturação fisiológica. A relação entre os parâmetros de crescimento da variedade Pérola, altura de plantas, índice de área foliar e massa seca da parte aérea pode ser considerada um instrumento adequado para estimar a profundidade efetiva do sistema radicular para manejo de irrigação no local onde foi realizado o ensaio. A densidade radicular relacionou-se linearmente com esses parâmetros, com os valores máximos obtidos no estágio de enchimento de grãos.

Palavras-chave: manejo de irrigação; crescimento radicular; estádios de desenvolvimento da cultura; variedade Pérola.

RELATIONSHIP BETWEEN EFFECTIVE ROOTING DEPTH AND AERIAL PART IN THE IRRIGATED DRY BEAN CROP IN NO-TILLAGE SYSTEM

ABSTRACT

In the projects and irrigation management, it is important the knowledge of the root system of crops for the appropriate control of irrigations and soil water storage. Due to the difficulties of the work methods, the characterization of the effective rooting is usually accomplished in the flowering stage of crop, resulting in lack of information, mainly in initial crop growth stage. In face of this reality, the objective of this work was to determine, to local conditions, the effective rooting depth in the development stages of the bean crop, Pérola variety, and to relate it with the parameters of the aerial part. The irrigation was accomplished by variable intervals irrigation, maintaining the soil water content between 36 % and 33 %, which corresponds to humidities at field capacity and critic for the crop, respectively. The results indicated that the effective rooting depth of studied variety, in the specific conditions that occurred this experiment, is in the layers: from 0 to 0,15 m for the vegetative development, from 0 to 0,20 m for the flowering/ grains filling and from 0 to 0,25 m in the beginning of the physiologic maturation. The relationship between the parameters of growth of the dry bean crop, height of plants, leaf area index and dry mass of the aerial part can be considered an appropriate instrument to estimate the effective depth of root system for irrigation management in the local of experiment. The root density related linearly to the height of plants, leaf area index and dry mass of the aerial part. The maximum values of root density and parameters of the aerial part were obtained at grains filling stage.

Key words: irrigation management, root growth, crop development stages, Pérola variety.

INTRODUÇÃO

O manejo de irrigação tem sido objeto de estudos em diversas pesquisas, porém, os resultados obtidos ainda são pouco empregados no campo por agricultores irrigantes. Além disso, a falta de critérios para a utilização dos equipamentos de irrigação tem contribuído para o aumento dos custos de energia elétrica e lâminas de água aplicada em excesso, comprometendo, de certa forma, a expansão da agricultura irrigada (PAVANI et al., 2009). Porém, com a cobrança pelo uso da água será necessário um gerenciamento mais efetivo dos recursos hídricos nas propriedades rurais, e que deve consistir de alguns aspectos principais, tais como, dimensionamento correto dos sistemas de irrigação e implantação do manejo adequado da água ao longo do ciclo de desenvolvimento das culturas, com o objetivo de evitar o desperdício de água e conseqüentemente perda de solo e nutrientes.

Em face dessa realidade, uma maneira da agricultura irrigada alcançar maior eficiência seria por meio de estudos mais consistentes sobre a determinação da profundidade efetiva do sistema radicular para diferentes culturas e, conseqüentemente, instalação mais criteriosa de sensores de umidade e extratores de solução do solo (MACHADO e COELHO, 2000; SANTOS et al., 2005), pois na prática do manejo de irrigação, esse parâmetro representa a camada na superfície do solo onde se encontra a maioria de raízes finas ou absorventes, que devem receber a lâmina de água no momento correto e na quantidade adequada. Para Jung (citado por PIRES et al., 1991) o crescimento das raízes é influenciado por diversos fatores relacionados ao solo que as envolvem, como por exemplo, resistência mecânica, umidade, aeração e fertilidade do solo, podendo limitar sua atuação na absorção e translocação de nutrientes, e também na sustentação das plantas. Segundo FUJIWARA et al. (1994), para a cultura do feijoeiro tem sido relatado que, em condições ideais de solo, as raízes podem atingir 1,5 m de profundidade.

De acordo com VASCONCELOS et al. (2003) não existe uma forma perfeita para avaliação de raízes e os resultados podem variar de acordo com o método empregado, cultura, variedade estudada e seu manejo, com o tipo de solo, condições físico-químicas e com os procedimentos adotados pelo operador. Sendo que, a escolha do método a ser utilizado deve considerar os objetivos da pesquisa e os parâmetros que se deseja avaliar. Normalmente, as raízes dessa leguminosa se desenvolvem até 0,40 m de profundidade em regiões tropicais e até

abaixo de 1,0 m em regiões de clima temperado. Outro fator importante é que o sistema radicular é diferenciado para cada espécie vegetal e varia de acordo com as características genéticas das culturas, sendo as cultivares com sistema radicular mais raso, as menos tolerantes à seca (AIDAR et al., 2003). É o caso das plantas do feijoeiro, que por apresentarem sistema radicular pouco desenvolvido são muito sensíveis às variações climáticas, necessitando da utilização da irrigação e manejo adequado na época de inverno, para suprir suas necessidades hídricas (SOUSA et al., 2009). Caso isso não ocorra, pode haver queda de produtividade se o déficit hídrico ocorrer, principalmente, nos estádios de florescimento e enchimento de grãos, em virtude de sua baixa capacidade de recuperação após o estresse hídrico (MOUHOUCHE et al., 1998).

O conhecimento do sistema radicular é importante na produtividade das culturas, mas, pelo fato de ficar abaixo do solo, os métodos existentes para sua determinação são trabalhosos quando comparados aos utilizados na determinação dos parâmetros da parte aérea das culturas, dificultando os estudos de raízes para fins de manejo de irrigação (FUJIWARA et al., 1994; AIDAR et al., 2003). E isso, possivelmente, limitou a maioria dos trabalhos a determinarem a profundidade efetiva do sistema radicular somente após o florescimento, como pode ser observado em PIRES et al. (1991) e WUTKE et al. (2000). Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi estimar a densidade radicular e a profundidade efetiva das raízes nos diferentes estádios da cultura do feijoeiro, variedade Pérola, em SPD irrigado, relacionando-as com os parâmetros da parte aérea.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi desenvolvido em um Latossolo Vermelho distroférico típico argiloso (EMBRAPA, 1999) na região de Campinas, Estado de São Paulo, Brasil, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22° 48'57" sul, longitude 47°03'33" oeste e altitude média de 640 m.

As análises químicas e físicas do solo foram determinadas conforme metodologia proposta por EMBRAPA (1997) e apresentaram os seguintes resultados: pH (CaCl₂), 5,4; Ca²⁺, 51,0 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺, 20,0 mmol_c dm⁻³; P, 38,0 mg dm⁻³; K, 6,2 mmol_c dm⁻³; e areia, 310,0 g kg⁻¹; silte, 158,0 g kg⁻¹ e argila, 532,0 g kg⁻¹. Os valores de densidade média do solo foram: 1,23 g cm⁻³ na camada de 0 a 0,20 m; de 1,18 g cm⁻³ na de 0,20 a 0,40 m e de 1,17 g cm⁻³ na camada de 0,40 a 0,60 m.

A adubação de plantio foi realizada com base nas informações contidas na análise de solo, usando-se 250,0 kg ha⁻¹ da formulação 04-16-08, de forma a corrigir as deficiências nutricionais que poderiam vir a influenciar no crescimento radicular. Aplicou-se a quantidade de 120,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio na adubação de cobertura, parcelado aos 30 e 60 dias após a emergência das plantas, segundo recomendação de AMBROSANO et al. (1996). O controle das plantas infestantes para implantação do ensaio foi realizada em 17/05/2007 com a aplicação de Roundup na dose de 4,0 l ha⁻¹. Também foi realizada uma aplicação do fungicida Cercobim 700 PM na dose de 0,5 kg ha⁻¹, em pós-emergência da cultura do feijão.

Para a realização do experimento foi utilizada uma área experimental sob SPD no terceiro ano de implantação. No ano agrícola de 2005 foi instalada a cultura de verão (milho) nesse sistema sobre cobertura morta de nabo forrageiro, cultivado no ano agrícola anterior no período de inverno, iniciando-se as pesquisas com esse sistema de manejo na área estudada. No ano de 2006, foi cultivada a cultura do feijoeiro no inverno nos restos culturais do milho da safra 2005/2006. Após a colheita desse feijão foi cultivado o milho novamente na safra de verão (ano 2006/2007) para a formação de cobertura morta para a instalação do feijão irrigado na época de inverno, no ano de 2007, possibilitando a realização do presente ensaio. A variedade de feijão estudada foi a Pérola, semeada no dia 08/06/2007, com espaçamento de 0,5 m entre linhas. A densidade de plantio foi de 10 a 12 plantas por metro e a irrigação foi a aspersão convencional, constituída de 2 linhas laterais com 5 aspersores cada uma, do tipo 427 AG e vazão de 0,45 m³ h⁻¹ e pressão de serviço de 196 kPa. O espaçamento utilizado entre os aspersores foi de 12 m x 12 m, proporcionando uma precipitação média de 4,0 mm h⁻¹,

determinada pela quantificação dos volumes de água em cada coletor pertencente a uma malha regular de 2,0 m x 2,0 m utilizada na avaliação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) com valor médio de 73,0 %.

O manejo da irrigação foi realizado pelo turno de rega variável, baseado na reposição da lâmina de água evapotranspirada, estimada pela evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultura ao longo do ciclo do feijoeiro, que compreende os estádios de Desenvolvimento vegetativo (DV); Florescimento (FL); Enchimento de grãos (EG) e Maturação fisiológica (MF). Para a estimativa da evapotranspiração de referência foi utilizada a equação de Penman-Monteith modificado pela FAO (ALLEN et al., 1998) sendo os dados climáticos levantados junto à Estação Meteorológica, marca Campbell com datalogger modelo CR 10 X., instalada próximo ao ensaio. O monitoramento da umidade do solo ao longo do ciclo do feijoeiro foi realizado por seis baterias de tensiômetros instalados nas profundidades de 0,20 e 0,40 m.

Para a avaliação quantitativa do sistema radicular utilizou-se o método do trado tipo caneca com 0,07 m de diâmetro, descrito por FUJIWARA et al. (1994) por permitir um maior número de repetições no campo, sem comprometimento da área, sendo que cada amostragem foi realizada a 0,05 m da linha de plantio. A tradagem foi realizada a 0,10 m de profundidade, e posteriormente de 0,05 em 0,05 m até a profundidade de 0,40 m, em nove plantas por amostragem, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijoeiro.

No período vegetativo, as amostras de raízes foram retiradas com um intervalo de tempo de uma semana, nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25 e 0,25-0,30 m Na fase reprodutiva, a amostragem foi realizada com um intervalo de quinze dias, nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25; 0,25-0,30; 0,30-0,35 e 0,35-0,40 m, até a fase de maturação da cultura. A densidade média do solo foi determinada nas camadas de 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m aos 50 DAE, próxima às nove plantas selecionadas para avaliação do sistema radicular. Imediatamente após a extração das raízes nas profundidades estabelecidas, essas eram acondicionadas em sacos plásticos, em solução com 5% de álcool para manter sua conservação. Posteriormente, as raízes eram lavadas em água corrente com peneira de malha 0,1 mm de abertura. - Método Gottingen (BOHM, 1979).

A lavagem das raízes foi realizada em um laboratório específico para essa atividade, permitindo o descarte adequado do solo, proveniente das sucessivas lavagens. Após isso, as

raízes eram secas em temperatura ambiente, sendo as impurezas e matéria orgânica retiradas com auxílio de pinças. Com a retirada desses materiais, as raízes eram colocadas na estufa a 65,0 °C por 48 horas e pesadas, para a determinação da densidade radicular e da profundidade efetiva das raízes, interpolando-se o somatório dos valores de duas ou mais profundidades consecutivas, sendo considerada a efetiva aquela que apresentasse 80% ou mais de raízes finas.

Com relação aos parâmetros de desenvolvimento da parte aérea, a altura de plantas foi determinada nas mesmas plantas amostradas para a determinação da densidade radicular (7 a 92 DAE), pela medida da distância vertical entre a superfície do solo e o ponto de inserção da última folha, utilizando-se uma régua graduada. Em seguida, as plantas eram retiradas e levadas em laboratório para a determinação da área foliar utilizando-se o medidor Marca Li-Cor, modelo 3100, que estima a área foliar total de cada planta, em cm², segundo metodologia utilizada por GUIMARÃES et al. (2002) e PAVANI et al. (2009). Pela relação da área foliar e a superfície correspondente do terreno ocupado pela respectiva planta, determinou-se o índice de área foliar (IAF), em m² m⁻², segundo metodologia utilizada por URCHEI et al. (2000).

Para a análise de massa seca da parte aérea (MS), quantificou-se por pesagem a massa total constituída pelas hastes e folhas, após serem secas em estufa por 24 horas a 65 °C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A lâmina total de água recebida pela cultura foi de 346,2 mm, sendo 119,0 mm proveniente das irrigações e 227,2 mm das chuvas que se concentraram, principalmente, no final do estágio de desenvolvimento vegetativo e início do florescimento. A umidade no solo manteve-se na faixa entre a capacidade de campo (36,0 %) e a umidade crítica para a cultura (33,0 %), mostrando que a irrigação foi bem conduzida durante o ensaio não comprometendo o crescimento da cultura. De acordo com DOORENBOS e KASSAN (1979) a necessidade de água do feijoeiro com ciclo de 60 a 120 dias varia entre 300,0 a 500,0 mm. Nesse ensaio a lâmina de água atendeu à exigência hídrica das plantas, mas o consumo pode variar com as condições de clima do local, época de semeadura e cultivares (SILVEIRA e STONE, 1998) e também em diferentes sistemas de preparo e estádios de desenvolvimento da planta (BIZARI et al., 2009).

Os valores médios de densidade de raízes coletadas ao longo de todo o ciclo da cultura do feijoeiro, variedade Pérola, estão apresentados na Tabela 1. Os resultados mostram que na primeira avaliação, realizada aos 7 dias após a emergência das plantas (DAE), 100% das raízes se concentraram na camada de 0 a 0,10 m. Observa-se ainda, que foram encontradas raízes até a profundidade de 0,40 m (78 e 92 DAE), mas a maior concentração se deu nas camadas mais superficiais do solo (0 a 0,25 m) com diminuição gradativa em profundidade para todas as épocas de amostragem, com exceção das avaliações realizadas aos 64 e 92 DAE na camada de 0,30 a 0,35 m, e na de 0,20 a 0,30 m aos 78 DAE. Isso pode ser resultado da metodologia utilizada, que proporciona uma maior variabilidade espacial na área de amostragem, tendo como consequência altos valores de coeficientes de variação entre as repetições.

Outro fator importante é a posição de amostragem com o trado em relação à planta. VASCONCELOS et al. (1999) constataram uma redução gradativa da quantidade de raízes de cana-de-açúcar da linha de plantio para o meio da entrelinha. No caso do feijão, que apresenta espaçamento bem reduzido entre plantas, a quantidade de raízes pode variar com a variedade e o estágio de desenvolvimento da cultura quando se mantém a mesma posição de amostragem do início até final do seu ciclo. Em trabalho realizado por KUCKE et al. (1995) também foram

observados altos valores de coeficientes de variação para diferentes tipos de cultura, tipos de solo, profundidade e épocas de amostragem.

Tabela 1. Densidade média de raízes no ciclo da cultura do feijoeiro irrigado, variedade Pérola, sob sistema plantio direto, em um Latossolo Vermelho distroférico típico da FEAGRI-UNICAMP.

Profundidade (m)	Densidade de raízes (mg cm^{-3})								
	7 DAE	15 DAE	22 DAE	29 DAE	36 DAE	50 DAE	64 DAE	78 DAE	92 DAE
0 – 0,10	0,70 (0,26)	0,54 (0,22)	0,54 (0,30)	0,52 (0,27)	0,46 (0,13)	0,77 (0,26)	0,87 (0,51)	0,49 (0,28)	0,48 (0,30)
0,10 – 0,15	-	0,12 (0,07)	0,14 (0,15)	0,13 (0,07)	0,18 (0,13)	0,17 (0,09)	0,24 (0,12)	0,25 (0,19)	0,20 (0,14)
0,15 – 0,20	-	0,08 (0,04)	0,05 (0,03)	0,06 (0,04)	0,12 (0,02)	0,11 (0,04)	0,15 (0,19)	0,09 (0,06)	0,14 (0,10)
0,20 – 0,25	-	0,0	0,05 (0,04)	0,04 (0,02)	0,09 (0,04)	0,10 (0,06)	0,10 (0,07)	0,13 (0,09)	0,13 (0,10)
0,25 – 0,30	-	0,0	0,03 (0,02)	0,02 (0,01)	0,02 (0,02)	0,07 (0,04)	0,05 (0,03)	0,11 (0,05)	0,07 (0,06)
0,30 – 0,35	-	-	-	-	0,0	0,0	0,11 (0,11)	0,06 (0,03)	0,11 (0,08)
0,35 – 0,40	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,04 (0,04)	0,02 (0,02)
Total	0,70	0,74	0,81	0,77	0,87	1,21	1,53	1,17	1,14

DAE: Dias após emergência das plantas; Os números entre parênteses correspondem aos valores de desvio padrão.

Nas avaliações realizadas dos 15 aos 29 DAE houve maior concentração acumulada de raízes na camada de 0 a 0,15 m, com valores entre 0,65 a 0,68 mg cm^{-3} , podendo ser considerada a profundidade efetiva para o respectivo estágio, pois abrangeu 80% ou mais de raízes em relação ao total encontrado por planta. No final do estágio de desenvolvimento vegetativo (36 DAE) e início do enchimento de grãos (64 DAE) mais de 80% da quantidade acumulada de raízes se concentrou na camada de 0 a 0,20 m, com valores aumentando de 0,76; 1,05 e 1,26 mg cm^{-3} no período avaliado. Na avaliação realizada aos 78 DAE (final do estágio de enchimento de grãos) as raízes continuam em processo de crescimento em profundidade, com maior concentração cumulativa do sistema radicular para fins de manejo de irrigação na camada de 0 a 0,25 m, com valor de 0,96 mg cm^{-3} , estabilizando-se nessa mesma camada aos 92 DAE (maturação fisiológica) com praticamente o mesmo valor, 0,95 mg cm^{-3} . MEDEIROS (2001), avaliando o crescimento radicular da cultura do feijoeiro, no

florescimento, utilizando a mesma metodologia, encontrou a profundidade efetiva do sistema radicular em uma camada superior em relação à obtida nesse ensaio e no mesmo período de avaliação, provavelmente, em função da variedade e sistema de preparo utilizado. Por outro lado, PIRES et al. (1991) trabalhando com a mesma cultura e metodologia encontraram valores mais próximos aos observados no presente ensaio, com a profundidade efetiva das raízes na camada de 0-0,30 m, a partir do florescimento da cultura. De acordo com esses autores houve uma redução drástica na distribuição percentual de raízes a partir de 0,30 m de profundidade, sendo que para esse ensaio essa redução ocorreu somente aos 0,40 m.

Utilizando outra metodologia e condições experimentais, GUIMARÃES et al. (2002) observaram que a maior quantidade de massa seca de raízes do feijoeiro se concentrou na camada de 0 a 0,20 m em relação a de 0,20 a 0,40 m, não sendo observado nessa última camada, crescimento radicular para densidade do solo acima de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$. No presente ensaio, que utilizou a mesma variedade, as raízes também se concentraram nas camadas mais superficiais do solo, cuja densidade média foi de $1,23 \text{ g cm}^{-3}$. Porém, no presente trabalho, foram observadas raízes na profundidade de 0,40 m, porém com densidade média abaixo de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ na camada de 0,20-0,40 m ($1,18 \text{ g cm}^{-3}$). Os maiores valores de densidade do solo obtidos na camada superficial, provavelmente, são decorrentes da prática de manejo conservacionista, na qual não há revolvimento do solo na superfície. Os menores valores de densidade do solo na camada seguinte (0,20-0,40 m) favoreceram o crescimento radicular em profundidade, devendo-se também ressaltar a correção química do solo realizada no início do ensaio e também a utilização da prática da irrigação.

Estudando o crescimento radicular do feijoeiro por meio de imagens digitalizadas, que considera o comprimento das raízes, SOUZA et al. (2009) observaram os maiores valores na camada de 0 a 0,10 m em relação a de 0,10 a 0,20 m para todos os estádios, exceto na maturação fisiológica. O mesmo foi constatado no presente estudo, que foi instalado no mesmo tipo de solo e com a mesma variedade, mas com os maiores valores nessa mesma camada em todos os estádios de desenvolvimento da cultura. WUTKE et al. (2000), avaliando o desenvolvimento radicular do feijoeiro irrigado, no estágio de florescimento, utilizando a mesma metodologia desse ensaio, constataram que 80% do sistema radicular do feijoeiro se concentrou nas camadas de 0 a 0,35 m e na de 0 a 0,42 m, recomendando a profundidade de 0,35 a 0,40 m, como a efetiva para a cultura, que foi superior em 0,15 e 0,22 m ao encontrado

no presente estudo (0 a 0,20 m no florescimento), possivelmente, por utilizarem outra variedade e também diferentes tipos de cultura, como adubos verdes e graníferas, na rotação com o feijão, mesmo esse sendo cultivado em um Latossolo Vermelho.

Com relação ao desenvolvimento dos parâmetros da parte aérea (altura de plantas, área foliar e massa seca) e as diferentes profundidades efetivas de raízes determinados dos 7 aos 92 DAE, os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Profundidade efetiva do sistema radicular (P_{efetiva}) e valores médios dos parâmetros altura de plantas, índice de área foliar e massa seca da parte aérea no ciclo da cultura do feijoeiro irrigado, variedade Pérola, sob sistema plantio direto em um Latossolo Vermelho distroférico típico da FEAGRI-UNICAMP.

DAE	P_{efetiva} cm	Raízes na P_{efetiva} %	Altura de plantas cm	Índice de área Foliar $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$	Massa seca g planta^{-1}
7	0,0 – 0,10	80,00	9,94 (1,51)	0,35 (0,11)	1,00 (0,28)
15	0,0 – 0,15	89,50	13,94 (1,89)	0,47 (0,11)	1,33 (0,48)
22	0,0 – 0,15	84,82	20,54 (2,60)	0,67 (0,19)	2,42 (0,54)
29	0,0 – 0,15	84,68	23,44 (6,74)	1,11 (0,46)	3,31 (1,48)
36	0,0 – 0,20	87,05	34,76 (5,67)	2,00 (0,56)	14,16 (2,66)
50	0,0 – 0,20	86,43	61,11 (11,30)	3,04 (1,37)	13,20 (5,93)
64	0,0 – 0,20	82,33	71,50 (14,30)	3,79 (1,40)	38,32 (7,39)
78	0,0 – 0,25	81,49	58,61 (7,18)	0,40 (1,20)	29,53 (14,77)
92	0,0 – 0,25	88,87	53,83 (10,27)	0,02 (0,01)	27,64 (11,57)

DAE: Dias após emergência das plantas; Os números entre parênteses correspondem aos valores de desvio padrão.

Observa-se pela Tabela 2 que os parâmetros avaliados tiveram o mesmo comportamento ao longo do ciclo da cultura, com valores crescentes até os 64 DAE (início do enchimento de grãos). Posteriormente, houve uma diminuição da atividade fotossintética para o início do processo de senescência. Os valores obtidos nesse período para altura, área foliar e massa seca foram de 71,5 cm; 3,8 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, e 38,32 g planta^{-1} , respectivamente, com uma concentração de 82,33 % das raízes na camada de 0 a 0,20 m.

Estudando a altura de plantas na cultura do feijoeiro, HORN et al. (2000) encontraram para altura máxima o valor de 48,0 cm. Resultados semelhantes foram encontrados por SOUZA et al. (2004) e PARISI (2007) porém, menores que os obtidos no presente ensaio (71,5 cm), possivelmente pelos diferentes objetivos de cada estudo

mencionado, que apresentavam diferentes espaçamentos e populações de plantas, níveis de adubação, e lâminas irrigadas, além de variedades distintas. Por outro lado, MEIRA et al. (2005) avaliando a adubação de cobertura com nitrogênio no feijoeiro irrigado em SPD, encontraram o valor máximo de altura de 86,0 cm com aplicação de 120,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio, sendo 16 % superior ao obtido no presente ensaio para a mesma dose de nitrogênio, porém aplicado em uma outra variedade da cultura.

Para a área foliar da cultura do feijoeiro, GUIMARÃES et al. (2002) encontraram os maiores valores entre 45 e 60 DAE, variando de 5,0 m² m⁻² a 12,5 m² m⁻², sendo superior ao maior valor obtido nesse ensaio. Isto se justifica pelo objetivo do estudo, cujas plantas foram cultivadas em vasos com diferentes densidades do solo, cujos menores valores proporcionaram os maiores valores do IAF. Outro fato importante foi o controle da densidade de plantas, que para aquele ensaio foi de 18,0 plantas por metro, o que influencia diretamente os valores desse parâmetro, mesmo utilizando a mesma variedade. O maior valor de IAF obtido no presente ensaio foi de 3,79 m² m⁻² aos 64 DAE, sendo esse valor intermediário aos encontrados por URCHEI et al. (2000), que observaram que as plantas no SPD apresentaram os maiores valores desse parâmetro em relação ao sistema convencional com arado de disco, variando de 4,2 a 5,1 e de 2,0 a 3,2 m² m⁻², respectivamente, dependendo da variedade estudada.

Situação semelhante foi observada em trabalho realizado por PAVANI et al. (2009) para esses dois sistemas de preparo, porém em outra variedade de feijão. Esses dados estão coerentes com os obtidos no presente ensaio, cuja área está em transição de sistema convencional para SPD, que tem apenas três anos de implantação e bem próximos aos obtidos por MEDEIROS et al. (2001) que trabalhando na mesma área experimental com feijoeiro irrigado, encontrou valores entre 3,2 a 3,9 m² m⁻² para outra variedade.

Na avaliação da MS, o maior valor encontrado no presente estudo foi de 38,32 g planta⁻¹ aos 64 DAE, no estágio de florescimento, sendo em torno de 30 % superior em relação aos dados observados por PAVANI et al. (2009) que obtiveram valores máximos de MS variando entre 24,15 a 27,61 g planta⁻¹. Para esse mesmo parâmetro PARISI (2007) encontrou o maior valor (30,58 g planta⁻¹), aos 101 DAE, no tratamento baseado em 80 % da lâmina evapotranspirada de referência. No tratamento para reposição de 100% da evapotranspiração de referência, esse valor foi de 26,42 g planta⁻¹, sendo inferior ao encontrado nesse ensaio, para a mesma forma de reposição de lâmina e manejo de irrigação.

GUIMARÃES et al. (2002) encontraram os maiores valores de MS (25,0 a 30,0 g planta⁻¹) nos menores valores de densidade do solo, da mesma forma que o IAF. Para densidades do solo igual ou acima de 1,40 g cm⁻³, os valores de MS não ultrapassaram 10,0 g planta⁻¹. URCHEI et al. (2000) também avaliando a produção de MS do feijoeiro constataram que esse parâmetro foi influenciado pelo sistema de preparo do solo, com as plantas no SPD propiciando os maiores valores, possivelmente, decorrente do aumento da disponibilidade de água para as plantas, em função das menores taxas de evaporação e menores valores em módulo de potenciais de água no solo ao longo do ciclo da cultura.

Nesse estudo, os parâmetros altura, IAF e massa seca da parte aérea relacionaram-se linearmente com a densidade média radicular total, conforme mostrado na Figura 1. Porém, cabe ressaltar que para o IAF o ajuste foi realizado com os dados obtidos até 64 DAE, sendo que após este período houve uma redução muito acentuada desse parâmetro em relação à perda de massa do sistema radicular, conforme mostrado na Tabela 2. GUIMARÃES et al. (2002) trabalhando com a variedade Pérola encontraram relação linear da MS ($R^2=0,85$) e IAF ($R^2=0,78$) com a densidade do comprimento radicular da cultura. Pela Figura 2 observa-se que esses mesmos parâmetros apresentaram boa correlação com a profundidade efetiva de raízes do feijoeiro, com R^2 acima de 0,85, sendo o melhor ajuste obtido para massa seca da parte aérea com R^2 de 0,91.

Pela Figura 2 nota-se que os resultados mostraram uma tendência linear até aproximadamente 64 DAE (enchimento de grãos) para altura de plantas e MS. Na avaliação aos 78 DAE, que corresponde ao final do estágio de enchimento de grãos, foi observada uma redução nos valores dos parâmetros de desenvolvimento da parte aérea, devido ao processo de senescência das plantas, um mecanismo genético da cultura que ocorre próximo à fase de maturação, e de acordo com WOLF et al. (1988) tem uma importância fundamental na produção final das culturas, pois reduz a área fotossinteticamente ativa da planta, limitando seu crescimento e priorizando a formação de grãos. Mesmo com a redução dos parâmetros da parte aérea, o sistema radicular continuou a crescer até os 78 DAE, sendo observado um pequeno incremento da profundidade efetiva do sistema radicular, que se concentrou na camada de 0 a 0,25 m, e assim permaneceu até a última avaliação, aos 92 DAE. O feijoeiro apresenta sistema radicular raso, que após o secamento da superfície do solo pelo término da

prática da irrigação no final do ciclo da cultura, pode explorar camadas um pouco mais profundas e com maior disponibilidade de água.

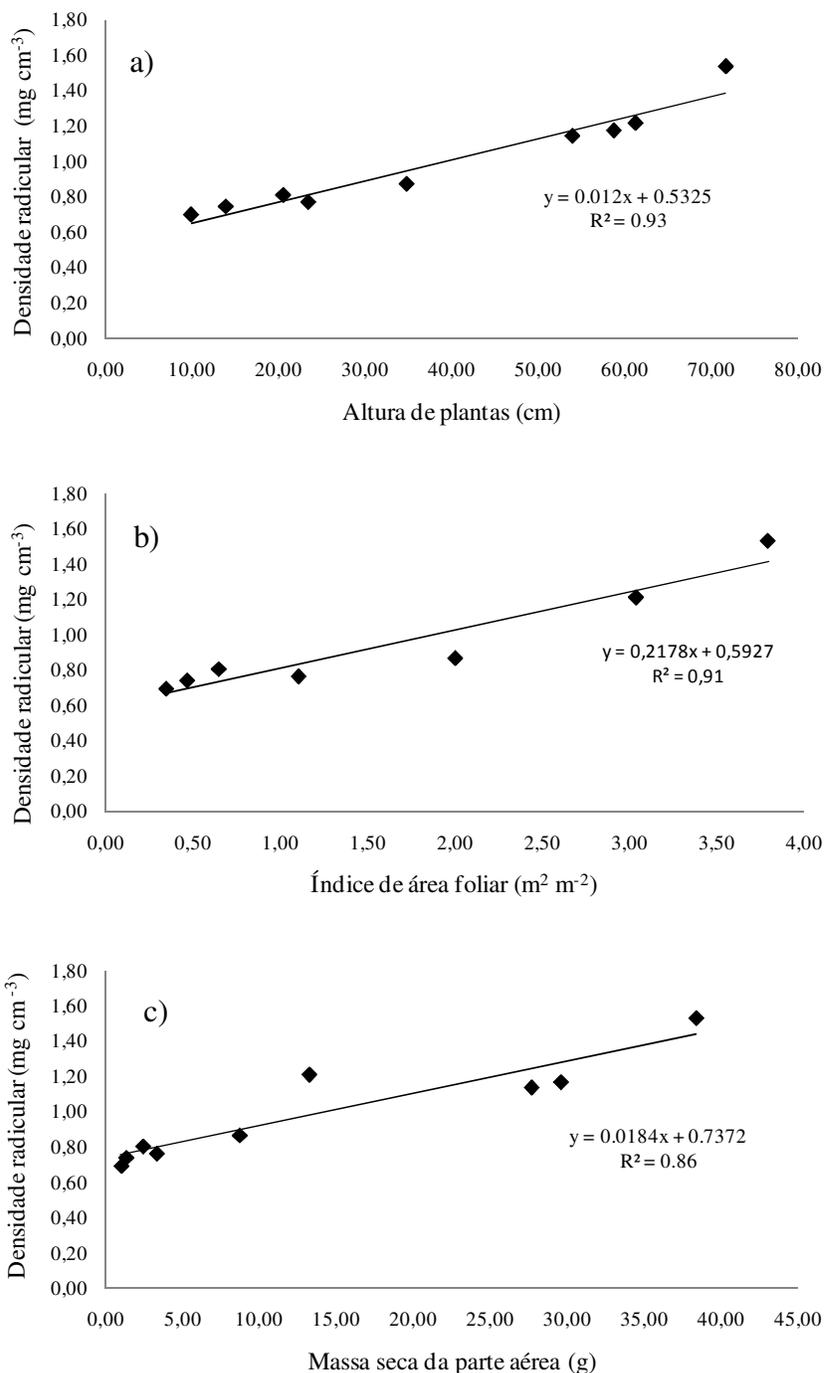


Figura 1. Altura de plantas (a); índice de área foliar (b) e massa seca da parte aérea (c) em função da densidade radicular da cultura do feijoeiro irrigado, variedade Pérola, cultivado sob sistema plantio direto em um Latossolo Vermelho distroférico típico da FEAGRI/UNICAMP.

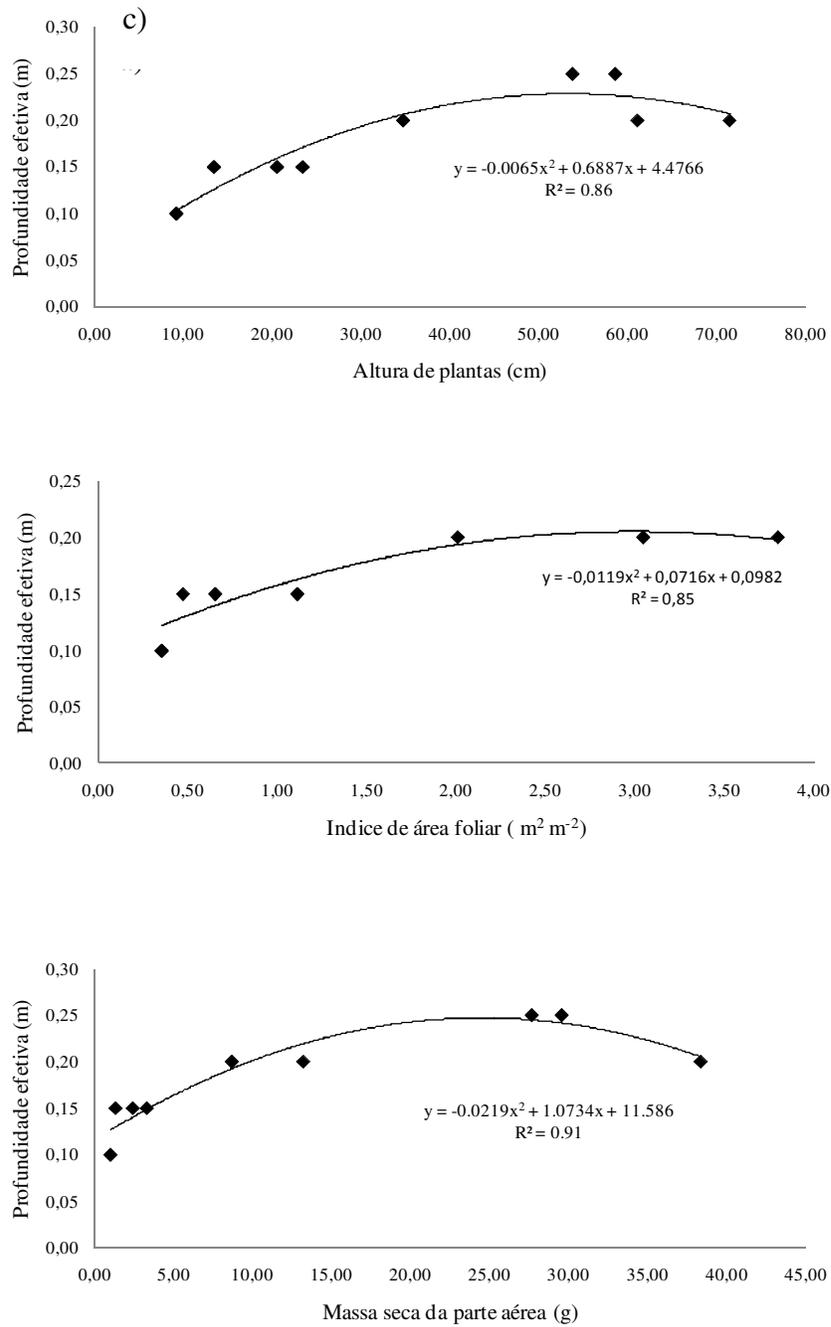


Figura 2. Altura de plantas (a); índice de área foliar (b) e massa seca da parte aérea (c) em função da profundidade efetiva do sistema radicular na cultura do feijoeiro irrigado, variedade Pérola, cultivado sob sistema plantio direto em um Latossolo Vermelho distroférico típico da FEAGRI/UNICAMP.

CONCLUSÕES

Considerando a variedade estudada e as condições específicas na qual foi realizado o ensaio, conclui-se que:

1. A profundidade efetiva do sistema radicular, em cada estágio de desenvolvimento da variedade Pérola, se encontra nas camadas: de 0 a 0,15 m para o desenvolvimento vegetativo, de 0 a 0,20 m para o florescimento/enchimento de grãos e de 0 a 0,25 m no início da maturação fisiológica
2. A relação entre os parâmetros de crescimento da variedade Pérola, altura, índice de área foliar e massa seca da parte aérea pode ser considerada um instrumento adequado para estimar a profundidade efetiva do sistema radicular para manejo de irrigação no local do ensaio.
3. A densidade radicular relacionou-se linearmente com os parâmetros altura de plantas, índice de área foliar e massa seca da parte aérea. Os valores máximos de densidade radicular e parâmetros de desenvolvimento da parte aérea foram obtidos no estágio de enchimento de grãos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado ao primeiro autor.

Ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônomo de Campinas pelo apoio técnico e material para a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDAR, H; KLUTHCOUSKI, J.; SANTOS, A.B. dos; THUNG, M. **Recomendações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum em várzeas tropicais irrigadas por subirrigação**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 12p. (Circular técnica, 60).
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 328p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996, 11p. (Boletim 100).
- BIZARI, D.R.; MATSURA, E.E.; ROQUE, M.W.; SOUZA, A.L. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciencia Rural**, v. 39, n. 7, p. 2073-2079, 2009.
- BOHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979.
- DOOREMBOS, J.; KASSAN, A.H. **Field response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Europa, 1997.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1999.
- FUJIWARA, M.; KURACHI, S.A.H.; ARRUDA, F.B.; PIRES, R.C.M.; SAKAI, E. **A Técnica de estudo de raízes pelo método do trado**. Campinas: IAC, 1994, 10p. (Boletim 153).
- GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro irrigado. II: Efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.213-218, 2002.

HORN, F.L.; SCHUCH, L.O.B.; SILVEIRA, E.P.; ANTUNES, I.F.; VIEIRA, J.C.; MARCHIORI, G.; MEDEIROS, D.F.; SCHWENGBER, J.E. Avaliação de espaçamento e população de plantas de feijão visando à colheita mecanizada direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.1, p.41-46, 2000.

JUNG, G.A. **Crop tolerance to suboptimal land conditions**. Madison: American Society of Agronomy, 1978, 343p. (Special publication, 32) apud PIRES, R.C.de M.; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; BORTOLETTO, N. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central. **Bragantia**, v.50, n.1, p.153-162, 1991.

KUCKE, M.; SCHMID, H.; SPIESS, A. A comparison of four methods for measuring roots in field crops in three contrasting soils. **Plant Soil**, v.172, p.63-71, 1995.

MACHADO, C.C.; COELHO, R.D. Estudo da distribuição espacial do sistema radicular do limão Cravo enxertado com lima ácida 'Tahiti'. **Laranja**, v.21, n.2, p.359-380, 2000.

MEDEIROS, G.A. **Influência do manejo de um latossolo roxo sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado**. 184p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

MEIRA, F.A.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; ARF, O. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.4, p.383-388, 2005.

MOUHOUCHE, B, RUGET, F., DELÉCOLLE, R. Effects of water stress applied at different phenological phase on productivity components of dwarf bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agronomie**, v.18, p. 197-205, 1998.

PARISI, A.R.C. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob as culturas de feijão (*phaseolus vulgaris* L.) e milho (*zea mays* L.) na região de Santiago, RS**. 124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PAVANI, L.C.; LOPES, A.da S.; PEREIRA, G.T. Desenvolvimento da cultura do feijoeiro submetida a dois sistemas de manejo de irrigação e cultivo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, p.453-459, 2009.

PIRES, R.C. de M.; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; BORTOLETTO, N. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central. **Bragantia**, v.50, n.1, p.153-162, 1991.

SANTOS, D.B.; COELHO, E.F.; AZEVEDO, C.A.V. Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v.9, n.3, p.327-333, 2005.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Irrigação. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: UFV, 1998, 19p.

SOUZA, A.B.; ANDRADE, M.J.B.; ALVES, V.G. Populações de plantas, adubação e calagem para o feijoeiro (cv. Iapar 91) em um Gleissolo de Ponta Grossa, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.26, n.3, p.347-352, 2004.

SOUZA, M.A.; LIMA, M.D.B.; SIMON, G.A.; ANDRADE, J.W.de SÁ. Efeito do estresse hídrico na densidade do comprimento radicular em estádios de desenvolvimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.39, n.1, p.25-30, 2009.

URCHEI, M.A.; RODRIGUES, J.D.; STONE, L.F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p.497-506, 2000.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; BARBOSA, J.C.; LANDELL, M.G.A. Aplicação de método de amostragem do sistema radicular da cana-de-açúcar. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE CIENCIA DEL SUELO, 14, 1999. Pucon. **Proceeding...** Pucon: Sociedad Latino-americana de La Ciencia Del Suelo, 1999, v.1. p.832-832, 1999.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L.A.C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.849-858, 2003.

WOLFE, D.W.; HENDERSON, D.W.; HSIAO, T.C. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize: I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and productivity. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, n.4, p.859-864, 1988.

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A. SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. Propriedades do solo e o sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.621-633, 2000.

Publicação II

COBERTURA MORTA DE MILHO NO DÉFICIT DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

RESUMO

A utilização do sistema plantio direto (SPD) em áreas irrigadas pode ser uma alternativa viável no que se refere à conservação da umidade no solo e maior disponibilidade de água para as plantas. O objetivo desse trabalho foi verificar o efeito de diferentes quantidades de cobertura morta de milho no déficit de armazenamento de água no solo e na produtividade de grãos da cultura do feijoeiro irrigado em SPD. O déficit de armazenamento de água foi determinado pela diferença da umidade do solo na capacidade de campo e a umidade atual no dia, considerando a profundidade efetiva do sistema radicular em cada estágio de desenvolvimento da planta. O manejo da irrigação foi baseado na reposição da lâmina evapotranspirada, obtida por meio da evapotranspiração de referência (ET_o) calculada pelo método de Penman-Monteith utilizando-se os dados climáticos obtidos junto à Estação Meteorológica instalada na área experimental, e os valores de coeficiente de cultura do feijoeiro. O ensaio foi conduzido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, em Campinas, SP, no período de junho a setembro de 2008, em delineamento de blocos casualizados constituído de por cinco tratamentos (0,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho) e três repetições. Os resultados indicaram que o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho manteve o solo com os maiores valores de umidade, principalmente no início do crescimento das plantas, em relação às demais quantidades de cobertura morta avaliadas. Esse mesmo tratamento apresentou os menores valores de déficit de armazenamento de água no solo em todos os estágios da cultura e os maiores valores de produtividade de grãos e de seus componentes de produtividade.

Palavras-chave: áreas irrigadas; conservação da umidade do solo; estágios da cultura; produtividade de grãos.

MAIZE MULCHING IN THE SOIL WATER STORAGE DEFICIT AND IN THE PRODUCTIVITY OF IRRIGATED DRY BEAN CROP UNDER NO-TILLAGE SYSTEM

ABSTRACT

The use of no-tillage system in irrigated areas can be a viable alternative regarding to soil and water conservation and higher water availability to plants. The objective of this work was to study the effect of different amounts of maize mulch in soil moisture deficit and grain productivity of the irrigated dry bean crop in no-tillage system. The water storage was determined by difference of the moisture at field capacity and moisture present in the day, considering the root system effective depth at each plant development stage. The irrigation management was based on replacement of evapotranspired level obtained by reference evapotranspiration (ET_o) calculated by Penman-Monteith method, using climatic data obtained from the Meteorological Station installed in experimental area and the dry bean crop coefficient. This experiment was carried out in the Experimental Field of Faculty of Agricultural Engineering of UNICAMP, in Campinas, SP., in the period of June to September of 2008. The experiment was arranged in a randomized block with five treatments (0,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹ of maize mulch) and three replications. The results indicate that the treatment with 12,0 Mg ha⁻¹ presented the highest moisture values, especially in the dry bean crop vegetative development, in relation to other evaluated mulch quantities; the lower values of water storage deficit at all dry bean crop development, and also the highest values of grain productivity and its components.

Key words: irrigated areas; moisture soil conservation; crop stages; grain productivity.

INTRODUÇÃO

A perda de solo e água por erosão constitui-se em uma das maiores preocupações que a agricultura moderna vem sofrendo, pois acarreta em degradação dos recursos naturais, trazendo consequências indesejáveis ao meio ambiente e a sociedade. Para minimizar esses impactos, soluções vêm sendo apresentadas, como por exemplo, o sistema plantio direto (SPD). Esse sistema de manejo tem como princípios o mínimo revolvimento do solo, a cobertura morta continuamente presente na sua superfície e a rotação de culturas. O sistema plantio direto, por influenciar os fatores relacionados ao escoamento superficial, pode ser uma alternativa na redução de perdas de solo e água nos sistemas produtivos. Valores médios obtidos em estudos no Brasil mostram que o SPD reduz as perdas de solo em até 76 % e de água em até 69 % em relação ao sistema convencional (ANA, 2010). Essas menores perdas se devem ao não revolvimento do solo e a presença da cobertura morta na sua superfície, que atua como agente isolante, impedindo oscilações bruscas da temperatura do solo, contribuindo para a menor evaporação da água armazenada com melhor aproveitamento do conteúdo de água no solo pelas plantas.

MOREIRA et al. (1999a), relataram que uma característica hídrica importante do solo sob SPD, está relacionada à capacidade de armazenamento de água, pois nos sistemas em que há maior revolvimento, ocorre o aumento de volume de poros, facilitando as perdas de água na camada revolvida. Segundo esses autores, fatores como temperatura do solo e cobertura morta superficial, juntamente com a questão do armazenamento tem proporcionado maiores conteúdos de água para as plantas cultivadas em solos com menor revolvimento. MOREIRA et al. (1999b) constataram que a economia de água começa a ser significativa quando 50 % do solo está coberto por resíduos vegetais, implicando em menor número de irrigações do feijoeiro. Porém, mesmo o SPD sendo a tecnologia de manejo que mais cresce no país, seus benefícios não estão sendo plenamente aproveitados, principalmente, devido à falta de controle da irrigação nos sistemas irrigados e ao despreparo de alguns produtores com relação ao manejo do solo e manutenção da cobertura morta na sua superfície.

Produzir e manter a cobertura morta sobre o solo tem sido um dos grandes entraves encontrados para o SPD, principalmente nas regiões sujeitas a altas temperaturas e precipitações, onde a decomposição desse resíduo é mais acelerada. No Estado de São Paulo, vêm sendo conduzidos alguns trabalhos para avaliação de algumas espécies de plantas quanto

à produção de fitomassa, tais como, o milheto (MURAISHI et al., 2005), capim pé-de-galinha (MURAISHI et al., 2005; FRANCISCO et al., 2007) e milho (SÁENZ et al., 2008). Porém, a maioria dos trabalhos são conduzidos no período de verão e, geralmente, não estão voltados para o estudo do efeito da cobertura morta no armazenamento e disponibilidade de água no solo para as plantas, nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura irrigada, no período de inverno. E quando são realizados na época de inverno, se restringem a comparar esse sistema de manejo com o convencional, constando na maioria dos casos, a economia de água pelo primeiro. Há certa carência de estudos quando se buscam informações sobre diferentes quantidades de uma mesma espécie de cobertura no déficit de armazenamento de água e seu efeito na produtividade das culturas, principalmente no Estado de São Paulo, que apresenta em algumas regiões características restritivas com relação a implantação do SPD. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi determinar os déficits de armazenamento de água no solo em todos os estádios de desenvolvimento do feijoeiro irrigado em SPD com diferentes quantidades de cobertura morta distribuídas na superfície do solo e verificar sua influência na produtividade da cultura do feijoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em um Latossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA et al., 1999), em Campinas, SP, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22° 48'57" sul, longitude 47°03'33" oeste e altitude média de 640 m. As análises químicas e físicas do solo foram determinadas conforme metodologia proposta por (EMBRAPA, 1997) e apresentaram os seguintes resultados: pH (CaCl₂), 5,8; Ca²⁺, 65,0 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺, 11,0 mmol_c dm⁻³; P, 33,0 mg dm⁻³; K, 7,4 mmol_c dm⁻³; areia, 310,0 g kg⁻¹; silte, 158,0 g kg⁻¹ e argila, 532,0 g kg⁻¹. A densidade média do solo na camada de 0-0,20 m foi de 1,20 g cm⁻³ e na de 0,20-0,40 foi de 1,22 g cm⁻³. A adubação básica foi realizada com base nas informações contidas na análise de solo, usando-se 200,0 kg ha⁻¹ da formulação 04-14-08. Aplicou-se a quantidade de 120,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio na adubação nitrogenada de cobertura, parcelado aos 30 e 60 dias após a emergência das plantas, segundo recomendação de AMBROSANO et al. (1996).

O controle das plantas infestantes para implantação do ensaio foi realizada em 09/06/2008 com a aplicação de Roundup na dose de 5,0 L ha⁻¹. Durante a condução do ensaio foi realizada em 04/07/2008 uma aplicação do herbicida Robust na dose de 1,0 L ha⁻¹, em pós-emergência da cultura do feijão.

A cultura de verão (milho) utilizada para a formação da cobertura morta foi cortada na fase de maturação de grãos com um triturador de palha (Triton) e os resíduos culturais deixados sobre o solo. Foi utilizada no ensaio a variedade Pérola, semeada no dia 11/06/2008, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e densidade de plantio de 10 a 12 plantas por metro.

Em 12/06/2008, delimitou-se a área onde seria instalado o ensaio para, em seguida, retirar todo o material vegetal deixados sobre o solo. Esse material foi levado para um local cimentado para secagem natural e pequenas amostras desse material para estufas no laboratório, mantidas à temperatura de 65 °C por 24 horas. Após isso, descontava-se a massa de água no cálculo da quantidade de resíduos vegetais a ser distribuído no campo. Esse material foi distribuído nas parcelas experimentais em quantidades correspondentes aos seguintes tratamentos: 0,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹. O ensaio foi constituído por um delineamento em blocos casualizado com cinco tratamentos (quantidades de cobertura morta) e três repetições, perfazendo 15 parcelas de 16 m² cada. O sistema de irrigação empregado foi

o de aspersão convencional, constituído por aspersores do modelo NaanDan 427 AG, com espaçamento de 12 m x 12 m, vazão de 0,45 m³ h⁻¹ para uma pressão de 196,13 kPa, raio molhado de 11,0 m e intensidade de precipitação média de 5,0 mm h⁻¹, determinada pela quantificação do volume de água em 240 coletores (malha 1m x 1m) em toda a área do ensaio durante a avaliação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), cujo valor foi de 71 %.

O manejo da irrigação escolhido foi o turno de rega variável com o objetivo de aplicar em cada evento de irrigação a lâmina que abrangeria de uma única vez toda a área do ensaio, em função do objetivo do estudo. A irrigação foi baseada na reposição da lâmina de água evapotranspirada estimada pela evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultura para todos os estádios de desenvolvimento do feijoeiro, considerando o armazenamento de água para diferentes profundidades efetivas do sistema radicular. Para a determinação da evapotranspiração de referência foi utilizada a equação de Penman-Monteith modificado pela FAO (ALLEN et al., 1998) sendo os dados climáticos levantados junto à Estação Meteorológica, marca Campbell com datalogger modelo CR 10 X, instalada próximo ao ensaio. O monitoramento da umidade do solo ao longo do ciclo do feijoeiro foi realizado por uma bateria de tensiômetros instalada em cada parcela nas profundidades de 0,20 e 0,40 m.

A variação de armazenamento de água no solo foi calculada no período de 13 a 83 dias após a emergência (DAE) por meio do balanço hídrico de campo (Equação 1) dividido em 10 subperíodos (sete subperíodos de 7 dias, um de 6 dias e dois de 8 dias) considerando-se a camada de solo de 0,20 m, e quatro estádios da cultura do feijoeiro:

$$\Delta h = ETc - P - I \pm D - R \quad (1)$$

em que:

Δh é a variação do armazenamento de água no solo (mm), ETc é a evapotranspiração da cultura (mm), P é a precipitação pluviométrica expressa em (mm), I a irrigação (mm), D é a drenagem ou ascensão capilar (mm), R é o escoamento superficial (mm). A precipitação e a irrigação foram registradas por pluviômetro e hidrômetros, respectivamente, instalados nas parcelas experimentais.

O déficit de armazenamento de água no solo foi determinado pela diferença da umidade do solo na capacidade de campo e a umidade atual no dia, conforme equação (2). Para o presente ensaio considerou-se a profundidade efetiva de raízes do feijoeiro presente na camada de 0-0,15 m no estágio de desenvolvimento vegetativo, na camada de 0-0,20 m para os estádios de florescimento e enchimento de grãos, segundo (BIZARI et al., 2010). Para o estágio de estágio de maturação fisiológica adotou-se a profundidade efetiva de raízes na camada de 0-0,15 m.

$$A = (\theta_{cc} - \theta_a) * Z \quad (2)$$

em que:

A é o armazenamento diário de água no solo expresso em (mm), θ_{cc} é a umidade volumétrica na capacidade de campo, em ($m^3 m^{-3}$), θ_a é a umidade volumétrica atual no solo, em ($m^3 m^{-3}$), z é a profundidade efetiva do sistema radicular, em (mm).

Os valores de umidade do solo foram obtidos indiretamente por meio das leituras diárias dos potenciais matriciais em uma bateria de dois tensiômetros por repetição, instalados nas profundidades de 0,20 m e 0,40 m, respectivamente, e posteriormente, utilizando-se a curva de retenção de água no solo para a camada de 0-0,20 m de profundidade, na qual a umidade correspondente à da capacidade de campo foi de 36%. A curva de retenção de água no solo foi ajustada ao modelo de VAN GENUTCHEN (1980) utilizando-se o programa desenvolvido por DOURADO NETO et al. (2000):

$$\theta = \theta_{res} + \frac{(\theta_{sat} - \theta_{res})}{\left(1 + (\partial * h)^n\right)^{-m}} \quad (3)$$

em que:

θ é o conteúdo volumétrico de água no solo ($cm^3 cm^{-3}$), θ_{res} é o conteúdo volumétrico residual de água no solo ($cm^3 cm^{-3}$), θ_{sat} é o conteúdo volumétrico saturado de água no solo ($cm^3 cm^{-3}$), h é o potencial matricial da água no solo (kPa), n e m ($m = 1 - 1/n$) são parâmetros empíricos adimensionais de ajuste; ∂ é um parâmetro empírico de ajuste (kPa^{-1}). Os valores dos

parâmetros de ajuste utilizados são: $\theta_{res} = 0,232 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, $\theta_{sat} = 0,513 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, $\partial = 2,9454 \text{ kPa}^{-1}$, $n = 5,0789$ e $m = 0,0453$. A drenagem profunda e a ascensão capilar da água no solo foram calculadas pela equação de Buckingham – Darcy:

$$q_z = -k(\theta) * \frac{d\phi}{dz} \quad (4)$$

em que:

q_z é a densidade de fluxo da água no solo (mm dia^{-1}), $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica do solo em função do conteúdo volumétrico de água no solo (mm dia^{-1}) e $d\Phi/dz$ é o gradiente de potencial total da água do solo (m m^{-1}). A condutividade hidráulica do solo $K(\theta)$ foi determinada em três pontos por repetição e seus valores obtidos por meio da equação 5 proposta por LOYOLA e PREVEDELLO (2003). A condutividade hidráulica saturada (K_s) foi obtida a campo usando o Permeômetro de Guelph. Os valores médios de K_s foram de 2,67; 2,79; 3,62; 1,86 e 2,14 m dia^{-1} , para os tratamentos com 0,0; 2,0; 4,0; 8,0 e 12,0 Mg ha^{-1} , respectivamente.

$$k(\theta) = k_s * \left[\frac{\theta - \theta_{res}}{\theta_{sat} - \theta_{res}} \right]^{0,5} * \left\{ 1 - \left[1 - \left[\frac{\theta - \theta_{res}}{\theta_{sat} - \theta_{res}} \right]^{\frac{1}{m}} \right]^m \right\}^2 \quad (5)$$

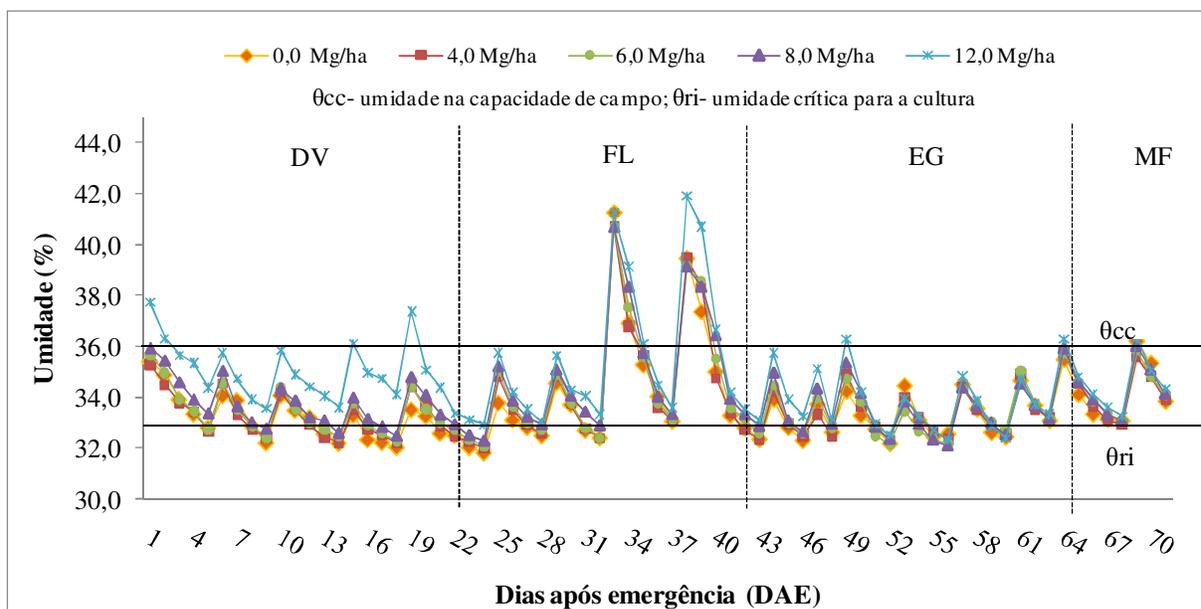
Para a determinação da produtividade de grãos e de seus componentes foi realizada a coleta de 75 plantas por tratamento, das quais foram avaliados: o número de vagens por planta (NV), o número de grãos por vagem (NGV), o número de grãos por planta (NGP), o peso de grãos por planta (PG) e a massa de 100 grãos (M100). Os resultados obtidos foram interpretados por meio de análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A lâmina total de água aportada à cultura do feijoeiro foi de 198,0 mm, sendo 119,0 mm provenientes da irrigação e 79,0 mm da precipitação, sendo essa última com maior frequência no estágio de florescimento (FL). A evapotranspiração de referência totalizou 167,0 mm com média diária de 2,0 mm. O maior valor foi obtido no período de 68 a 75 DAE no estágio de enchimento de grãos (EG), sendo de 2,2 mm dia⁻¹. Os valores de perda de água por drenagem profunda e ganho por ascensão capilar foram considerados nulos para efeito do balanço hídrico de campo, devido aos baixos valores encontrados. O componente escoamento superficial foi desconsiderado devido à dificuldade de sua determinação no momento das precipitações e pela não ocorrência nas irrigações.

A Figura 1 apresenta, em todos os tratamentos, a umidade média do solo na camada de 0-0,20 m, para cada estágio de desenvolvimento da cultura do feijoeiro. Observa-se pela Figura 1 que todos os tratamentos apresentaram o mesmo comportamento com relação à umidade do solo ao longo do ciclo da cultura, devido principalmente ao manejo de irrigação adotado, aplicando-se a mesma lâmina em todos os tratamentos no momento da irrigação com o intuito de verificar a influência da cobertura morta no armazenamento de água no solo. Os tratamentos avaliados apresentaram a maior parte dos valores de umidade do solo entre a umidade crítica para a cultura (33%) e a umidade na capacidade de campo (36%), mostrando que o manejo de irrigação empregado foi adequado para o presente estudo.

O tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho manteve os maiores valores de umidade no solo praticamente durante todo o desenvolvimento da cultura do feijoeiro quando comparado aos demais tratamentos, principalmente, no estágio de desenvolvimento vegetativo (DV), com os valores próximos ou acima da capacidade de campo. Os valores médios encontrados foram de 33 % para os tratamentos com 0,0 e 4,0 Mg ha⁻¹, de 34 % para os tratamentos com 6,0 e 8,0 Mg ha⁻¹ e de 35 % para o tratamento com o maior quantidade de cobertura morta de milho. Apesar da pequena diferença de volume de água encontrado entre o tratamento com a maior quantidade de cobertura e aqueles com as quantidades de 0,0 e 4,0 Mg ha⁻¹, esse valor representa quase a diferença entre a umidade crítica para a cultura e a umidade na capacidade de campo para o solo em estudo, cujo valor é de 3,0 %.



DV: Desenvolvimento vegetativo; FL: Florescimento; EG: Enchimento de grãos; MF: Maturação Fisiológica.

Figura 1. Umidade média do solo, na camada de 0-0,20 m, ao longo do ciclo da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, ano 2008, FEAGRI-UNICAMP.

Esses resultados mostram a importância da maior quantidade de cobertura morta na superfície do solo no DV, pois, pelo fato das plantas apresentarem porte reduzido, a cobertura com 12,0 Mg ha⁻¹ de milho atuou mais fortemente na diminuição da evaporação, propiciando maior disponibilidade de água para as plantas. Na avaliação da umidade do solo na cultura do algodão sob SPD e sistema convencional, BORDOVSKY et al. (1994) encontraram diferenças acentuadas da umidade até 30 dias após o plantio, período em que o cultivo se aproxima da fase de cobertura completa do solo.

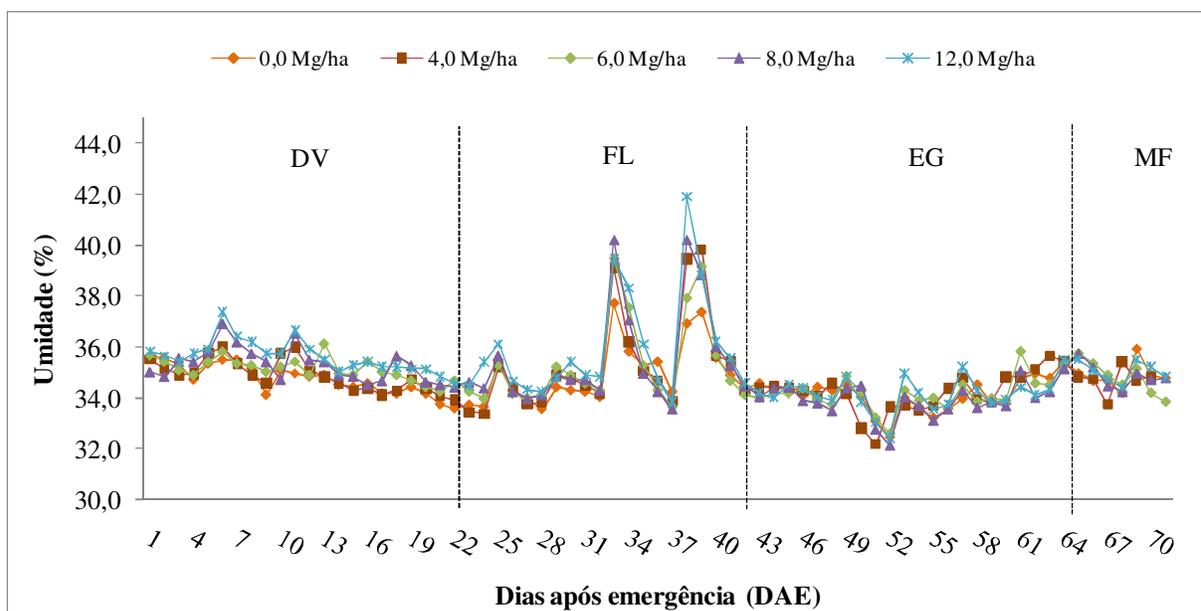
A partir do estágio de FL observa-se ainda os maiores valores de umidade no tratamento 12,0 Mg ha⁻¹, porém com uma menor diferença em relação aos obtidos nos demais tratamentos. Na segunda metade do estágio FL houve maior concentração dos eventos de precipitação, elevando-se os valores de umidade do solo acima da capacidade de campo no local do ensaio. Mesmo assim, o tratamento com a maior quantidade de cobertura morta apresentou os maiores valores de umidade no solo, independente da lâmina de água recebida. Nesse estágio, a umidade do solo para o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ foi de 36 %, pouco superior aos obtidos nos demais tratamentos com cobertura (35%). O tratamento sem cobertura morta apresentou o menor valor de umidade do solo, em torno de 34 %.

Nos demais estádios de desenvolvimento da cultura, as diferenças são menos perceptíveis, principalmente a partir da segunda metade do estágio de EG, na qual o solo se encontra totalmente coberto pelas plantas e o dossel das plantas atua na diminuição da evaporação de água no solo tanto quanto à própria cobertura morta. Da mesma forma que no FL, o tratamento com a quantidade de 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura apresentou pequenos incrementos nos valores de umidade do solo em relação aos demais tratamentos, com valores de 34,0 % e 35,0 % nos estádios de EG e maturação fisiológica (MF), respectivamente. Na metade do estágio de EG, nota-se que para todos os tratamentos, os valores de umidade do solo ficaram um pouco abaixo dos obtidos no início desse estágio, com valores em torno de 33 %. Provavelmente, em função do maior consumo de água pelas plantas nesse período para o enchimento dos grãos, sendo necessária uma maior lâmina de água no final desse estágio.

No estágio de MF foi realizado somente um evento de irrigação para que as plantas entrassem no processo de senescência e secamento das vagens. No final do ciclo da cultura, com a secagem das folhas das plantas, a cobertura morta fica novamente mais exposta, influenciando na conservação da umidade do solo. Nesse estágio, os tratamentos com as maiores quantidades de cobertura morta de milho apresentaram valores de umidade em torno de 35 %, pouco superior em relação aos demais tratamentos, que apresentaram valores de 34 %.

ANDRADE et al. (2002), trabalhando com a cultura do feijoeiro em SPD observaram que a evapotranspiração da cultura no final do seu ciclo de desenvolvimento apresentou valores menores à medida que se aumentou a porcentagem de cobertura morta no solo. DERPSCH et al. (1991) verificaram que a maior disponibilidade de água no solo obtida no SPD foi devida às menores perdas por evaporação e ao aumento da taxa de infiltração. Trabalhando com a cultura do feijão, STONE e SILVEIRA (1999), STONE e MOREIRA (2000), BIZARI et al. (2007), SAÉNZ (2008) e BIZARI et al. (2009) verificaram que o SPD mais cobertura morta no solo propiciaram maiores valores de umidade do solo com maior disponibilidade de água para as plantas quando comparado aos sistemas sem cobertura morta na superfície. Resultados semelhantes foram encontrados por MELO FILHO e SILVA (1993) em milho e ANDRADE et al. (1994) na cultura da soja.

A Figura 2 apresenta os valores médios de umidade na camada de 0,20 a 0,40 m, para todos os tratamentos e estádios de desenvolvimento da cultura.



DV: Desenvolvimento vegetativo; FL: Florescimento; EG: Enchimento de grãos; MF: Maturação Fisiológica.

Figura 2. Umidade média do solo, na camada de 0,20-0,40 m, ao longo da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, ano 2008, FEAGRI-UNICAMP.

Pela Figura 2 observa-se que os valores de umidade encontrados na camada de 0,20 a 0,40 m foram bem próximos para todos os tratamentos avaliados. Nessa profundidade ocorre menor exploração radicular da cultura do feijoeiro, fazendo com que haja menor variação da umidade do solo. No estágio de DV e FL os valores de umidade do solo para o tratamento com a maior quantidade de cobertura morta de milho foi de 36 %, enquanto para os demais tratamentos os valores obtidos ficaram em torno de 35 %, com exceção do tratamento com 8,0 Mg ha⁻¹ no FL, que apresentou também o valor de 36%. Nos demais estádios, todos os tratamentos apresentaram valores de umidade semelhantes, em torno de 34 % e 35 % para os estádios de EG e MF, respectivamente. As precipitações ocorridas na segunda metade do estágio de FL aumentaram os valores de umidade para próximo ou acima de 40 %, da mesma maneira que na camada de 0-0,20 m, praticamente uniformizando a umidade no perfil do solo, porém com os menores valores obtidos nos tratamentos sem cobertura, que variaram de 36,9 a 37,7 %.

A Figura 3 apresenta a variação média do armazenamento de água no solo para todos os tratamentos e estádios da cultura do feijoeiro, e que teve início no dia 01/07/2008 (13 DAE) estendendo-se até 10/09/2008 (83 DAE). Nota-se pela Figura 3, que o em todos os estádios de desenvolvimento da cultura houve perda de água no solo, com exceção do estágio do

florescimento, onde concentrou os eventos de precipitação durante a realização do ensaio. No estágio DV, o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura de milho apresentou o maior valor de perda de água, em torno de 5,0 mm, superior em 15,4 %; 27,2 %; 20,6 % e 21,6 % em relação aos tratamentos com 0,0; 4,0; 6,0 e 8,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, respectivamente.

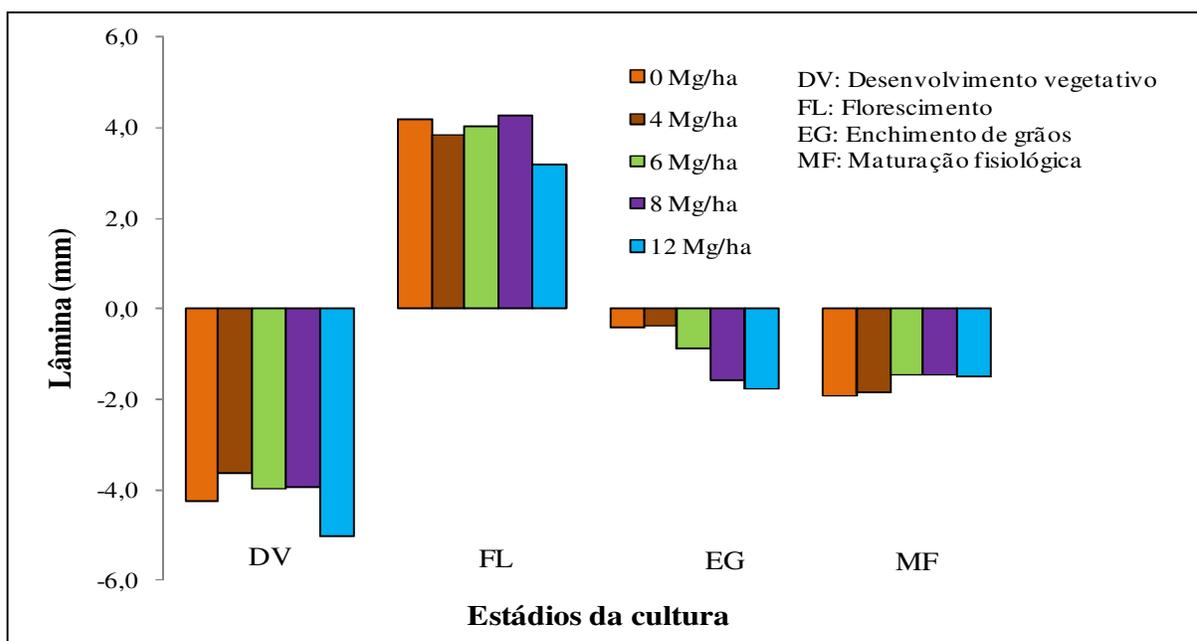


Figura 3. Variação média do armazenamento de água no solo na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com diferentes quantidades de cobertura morta.

Nesse estágio, o tratamento com a maior quantidade de cobertura morta por manter maior quantidade de água no solo disponível para as plantas propiciou maior evapotranspiração da cultura em relação aos demais tratamentos, que apresentaram valores de perda de água variando entre 3,5 a 4,0 mm. No estágio FL foram observados ganho de água em todos os tratamentos, que pode ser explicado pela concentração de precipitações com alta intensidade nesse período, limitando o efeito da cobertura morta na conservação da umidade no solo.

No estágio EG, como praticamente todo o fornecimento de água foi por meio da irrigação, observa-se o efeito da cobertura morta na disponibilidade de água no solo, acarretando em maiores valores de evapotranspiração das plantas nos tratamentos com as maiores quantidades de cobertura morta, o que resultou em perdas de água de 1,56 e 1,75 mm para os tratamentos com 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹, respectivamente. Segundo MOUHOUCHE et al. (1998), é nesse período que a planta do feijoeiro atinge o consumo máximo de água, e a partir

daí começa a se estabilizar. Assim, se ocorrer um déficit de água nesse estágio, poderá haver queda significativa na produção, em virtude de sua baixa capacidade de recuperação após estresse e do seu sistema radicular pouco desenvolvido. O manejo da irrigação baseado em dados climáticos resultou em períodos de déficit de água no solo para as plantas nos tratamentos com as menores quantidades de cobertura, implicando na redução da taxa de evapotranspiração dessas plantas e conseqüentemente em menores perdas de água no solo. Dessa maneira, os tratamentos com as maiores quantidades de cobertura morta (8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹) ao diminuir a evaporação da água no solo, propiciaram melhores condições de desenvolvimento para as plantas nesses tratamentos, o que pode ter influenciado a produtividade de grãos.

No estágio MF, foi constatado perda de água em todos os tratamentos com valores variando de 1,5 a 2,0 mm. Isto provavelmente ocorreu pelo fato que nesse estágio foi realizada somente uma irrigação, posteriormente cessando-se essa prática em função da maturação dos grãos. Como o processo de evapotranspiração continua mesmo em menor intensidade, constatou-se um déficit de água no solo. Em trabalho realizado por STONE et al. (2006), com a mesma variedade e sistema de manejo com diferentes espécies de cobertura morta, os autores concluíram que as perdas de água por evapotranspiração são influenciadas pela quantidade de massa de matéria seca das culturas de cobertura. No caso da cobertura de milho em consorciação com braquiária em uma quantidade de aproximadamente 3,7 Mg ha⁻¹ a perda de água foi de 12,5 mm, diminuindo para 0,6 m no ano seguinte para a mesmo tipo de cobertura na quantidade de 4,9 Mg ha⁻¹. Para esses mesmos autores, as maiores diferenças encontradas entre essas coberturas na evapotranspiração do feijoeiro ocorrem nos estágios iniciais e finais do ciclo dessa cultura, momento em que a cobertura morta está mais exposta na superfície do solo, porém atuando também nos demais estágios de desenvolvimento da planta. Resultados semelhantes foram obtidos no presente ensaio pelo tratamento com a maior quantidade de cobertura morta de milho. No ensaio conduzido por ANDRADE et al. (2002) também utilizando a mesma variedade em SPD, porém com diferentes quantidades de sorgo na superfície do solo, constataram que houve perdas de água em todos os tratamentos no final do ciclo, porém, sendo menor no tratamento com 100 % de cobertura do solo. Na Tabela 1 abaixo estão apresentados os valores médios do déficit de armazenamento de água no solo

para cada estágio de desenvolvimento da cultura do feijoeiro e para todos os tratamentos avaliados.

Tabela 1. Valores médios* de déficit de armazenamento médio de água no solo em cada estágio da cultura do feijoeiro irrigado no sistema plantio direto com diferentes quantidades de cobertura morta de milho.

DAE	Estádios	P (mm)	I (mm)	Cobertura morta de milho (Mg ha ⁻¹)				
				0,0	4,0	6,0	8,0	12,0
				Déficit de armazenamento médio de água no solo (mm)				
A= 54 mm (z = 0,15 m)								
12 a 35	DV	0,0	26,0	4,00c	3,95c	3,79c	3,31b	1,35a
A=72 mm (z = 0,20m)								
36 a 56	FL	48,0	26,0	3,01b	2,87b	2,53b	1,13a	0,64a
A=72 mm (z = 0,20m)								
57 a 70	EG	4,5	55,0	5,42b	5,36b	5,36b	5,09b	4,35a
A= 54 mm (z = 0,15 m)								
71 a 79	MF	0,0	12,0	2,49a	2,55a	2,22a	2,19a	1,90a

* Médias, na mesma coluna, seguidas de letra igual, não diferem em nível de 5%, pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).

DAE: dias após emergência das plantas, A: Armazenamento de água no solo, z: camada onde se encontra a profundidade efetiva do sistema radicular, DV: Desenvolvimento vegetativo, FL: Florescimento, EG: Enchimento de grãos, MF: Maturação fisiológica.

Observa-se ainda pela Tabela 1 que a quantidade de cobertura morta de milho distribuída na superfície do solo tem efeito significativo nos valores de déficit de armazenamento de água, praticamente em todos os estádios da cultura do feijoeiro. O tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta apresentou os menores valores em todos os estádios de desenvolvimento da cultura em relação aos demais tratamentos, sendo que essa diferença foi mais acentuada nos estádios de DV e FL. No primeiro, o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ diferiu-se estatisticamente em relação aos demais, com valor obtido inferior em 66 % em relação aos tratamentos com 0,0 e 4,0 Mg ha⁻¹, e em 64 e 59 %, em relação aos tratamentos com 6,0 e 8,0 Mg ha⁻¹, respectivamente. No estágio FL, o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ também apresentou diferença estatística significativa em relação aos outros tratamentos, com exceção do tratamento com 8,0 Mg ha⁻¹, cujo valor foi de 1,13 mm, mais próximo ao

encontrado no tratamento com a maior quantidade de cobertura. O tratamento sem cobertura morta apresentou o maior valor de déficit de umidade do solo (3,01 mm).

No estágio EG foram encontrados os maiores valores de déficit de armazenamento de água no solo para todos os tratamentos ao longo do ciclo da cultura, com o maior valor obtido no tratamento sem cobertura (5,42 mm). Nesse estágio, ocorre o consumo máximo de água pelas plantas, sendo necessário um maior cuidado no manejo da irrigação. Apesar disso, o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ proporcionou um menor estresse hídrico para as plantas, com diferença estatística significativa em relação aos demais tratamentos. Cabe ressaltar que as diferenças encontradas entre os valores de déficit foram menores em relação aos estágios anteriores, provavelmente em função do menor efeito da cobertura morta na conservação de umidade, ocasionada por uma maior proteção da superfície do solo pelo dossel das plantas, que cobre totalmente a superfície do solo nesse estágio.

No estágio MF realizou-se um único evento de irrigação cessando-se em seguida essa prática para a secagem das vagens e posterior colheita das plantas. Nota-se que, com a redução da área foliar e mesmo com redução do consumo de água pelas plantas, o tratamento com maior quantidade de cobertura, ainda assim, apresentou o menor valor de déficit de armazenamento, 1,90 mm, nesse caso, sem apresentar diferença estatística em relação aos demais tratamentos. Isto mostra que a presença da cobertura morta até o final do ciclo é importante, pois seus benefícios podem ser aproveitados na cultura subsequente.

Cabe ressaltar que houve diferença estatística significativa entre os blocos em todos os estágios de desenvolvimento da cultura, exceto na MF. Parece que isto pode ser resultado da disposição dos aspersores no campo, o que pode ter influenciado a lâmina de água aplicada nas repetições, uma vez que os valores médios de velocidade do vento se mantiveram abaixo de 1,0 m s⁻¹ (Coeficiente de variação de 15,4 %) no momento das irrigações. Com o intuito de verificar o efeito do déficit de armazenamento na produção da cultura do feijoeiro realizou-se a análise de regressão da produtividade de grãos e de seus componentes, conforme mostrado nas Figuras 4 e 5. Na avaliação dos componentes da produtividade, observa-se que o maior valor de número de vagens por planta- NV- (Figura 4b) foi obtido pelas plantas do tratamento com a maior quantidade de cobertura morta, seguido pelas plantas do tratamento com 8,0 Mg ha⁻¹, com valor de 18,8, quase 6,0 vagens a mais que o encontrado nas plantas no tratamento sem cobertura.

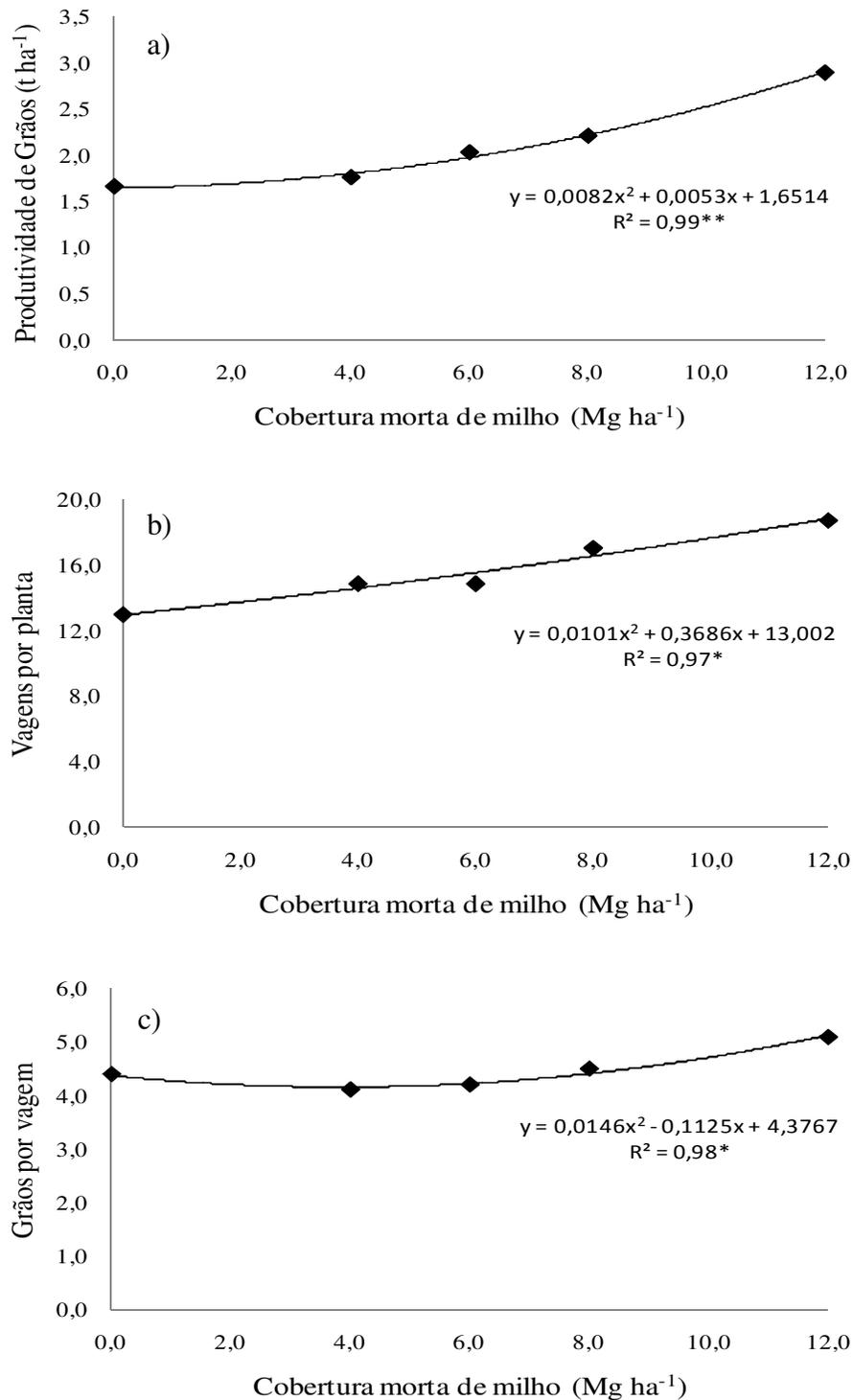


Figura 4. Valores médios de produtividade de grãos (a), vagens por planta-NV (b) e grãos por vagem-NGV (c) da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto na FEAGRI-UNICAMP.

a)

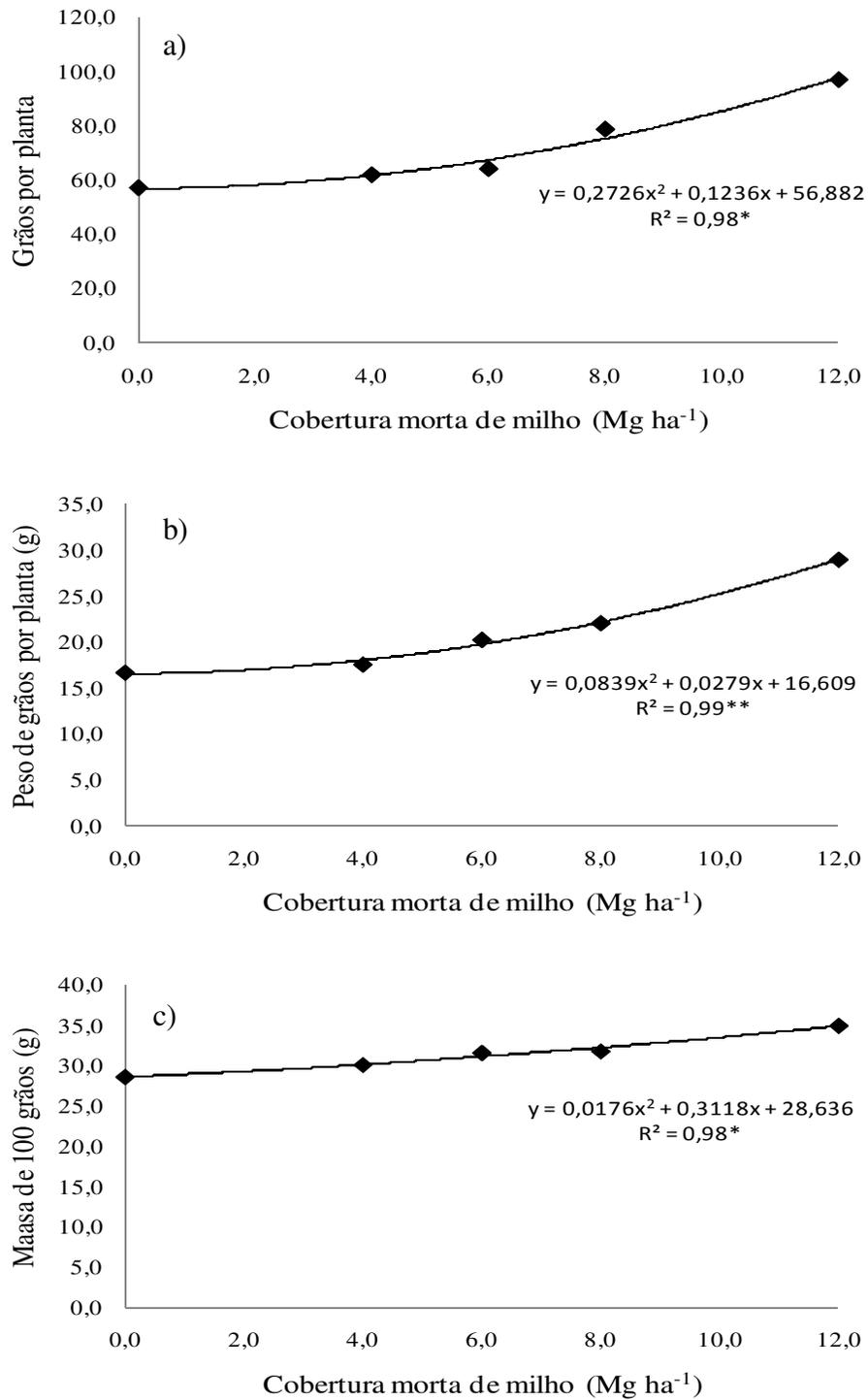


Figura 5. Valores médios de grãos por planta-NGP (a), peso de grãos por planta-PG (b) e massa de 100 grãos-M100 (c) da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto na FEAGRI-UNICAMP.

As plantas dos tratamentos com 6,0 e 8,0 Mg ha⁻¹ apresentaram valores médios de 15,0 vagens por planta. O NV nas plantas do tratamento 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta foi 36 % superior em relação ao obtido por BIZARI et al. (2009), o que corresponde a um incremento em torno de 7,0 vagens por planta. ANDRADE et al. (2002) encontraram valores do NV variando de 9,6 a 13,2, sendo inferiores aos encontrados nas plantas de todos os tratamentos com cobertura no presente ensaio e próximos aos encontrados nas plantas do tratamento sem cobertura, semelhantes aos obtidos por FRIZZONE et al. (2007) que apresentaram valores variando de 9,2 a 12,5 para esse componente de produtividade.

Por outro lado, CALVACHE et al. (1997) encontraram na cultura do feijoeiro, variedade Imbabello “INIAP 404”, em tratamento sem cobertura morta, valores de NV entre 15,5 a 24,1. Porém, nesse caso, os autores além de trabalhar com outra variedade também verificaram o efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação e níveis de fertilização, que podem ser fatores tão importantes quanto às diferentes quantidades de cobertura estudadas no presente ensaio na produção de grãos e nos componentes de produtividade.

O número de grãos por vagem (NGV) foi bem semelhante entre as plantas de todos os tratamentos avaliados, com valores variando entre 4,1 e 5,1 grãos por vagem (Figura 4c). Essa pequena diferença de grãos já era esperada, pois é uma característica da própria variedade, independentemente do sistema de cultivo que as plantas essem submetidas. Esse valores estão entre os obtidos por BIZARI et al. (2009) e ANDRADE et al. (2002) que trabalharam com a mesma variedade em estudo e abaixo do valor encontrado por FRIZZONE et al. (2007), cujo valor médio foi de 5,8. Nesse caso, deve-se ressaltar que os referidos autores utilizaram outra variedade de feijão, a IAPAR-57.

Para os componentes NV e NGV, SÁENZ et al. (2008) não encontraram diferença estatística significativa entre os tratamentos, com o maior valor obtido de 13,3 vagens por planta e de 5,2 grãos por vagem. O primeiro valor representa quase 5 vagens a menos que o obtido no tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ do presente ensaio e bem próximo ao obtido pelas plantas no tratamento sem cobertura. No caso do número de grãos por planta –NGP- as plantas no tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ apresentaram o maior valor (96,9) com incremento de quase 40 grãos por planta em relação ao tratamento sem cobertura, sendo superior em 40,2; 36,0; 33,7; e 18,8% em relação ao obtido pelas plantas dos tratamentos com 0,0; 4,0; 6,0 e 8,0 Mg ha⁻¹, respectivamente, conforme mostrado na Figura 5a.

Para o componente peso de grãos por planta -PG- (Figura 5b), nota-se que o maior valor encontrado foi de 29,0 g nas plantas do tratamento com maior cobertura, sendo superior em 42% quando comparado ao tratamento sem cobertura. Para o componente massa de 100 grãos (M100), observa-se que o maior valor encontrado foi nas plantas do tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ (35,0 g), conforme mostrado na Figura 5c. As plantas dos tratamentos com 6,0 e 8,0 Mg ha⁻¹ apresentaram valores em torno de 32,0 g. O menor valor encontrado foi obtido pelas plantas do tratamento sem cobertura (28,6 g). Valores semelhantes para a M100 foram constatado por BIZARI (2007) e ANDRADE et al. (2002) com valores de 28,7 e 28,4 g, respectivamente, em SPD, e por PEREIRA et al. (2004) com valor de 28,5 g no sistema convencional.

SÁENZ et al. (2008), encontraram valores variando de 21,2 a 22,7 g para todas as coberturas avaliadas, valores esses mais próximos aos obtido por FRIZZONE et al. (2007), sendo inferiores aos obtidos no presente ensaio para todos os tratamentos avaliados e em torno de 35 % inferior ao encontrado no tratamento com a maior quantidade de cobertura. Em uma avaliação visual, os grãos das plantas no tratamento com maior cobertura morta mostraram-se um pouco maiores e aparentemente com melhor aspecto em relação aos demais.

A produtividade de grãos de uma cultura e de seus componentes de produção é específica para cada local de cultivo, pois os valores obtidos podem variar em função das características locais do ensaio, variedades estudadas, sistemas de preparo do solo, manejo da irrigação, lâmina de água aplicada, tratos culturais, ocorrências de pragas e doenças, etc., além da variabilidade do solo que influencia diretamente nos componentes avaliados.

No presente ensaio, a presença de maiores quantidades de cobertura morta na superfície do solo mostrou-se importante no aspecto conservacionista da água com efeito na produtividade da cultura. No entanto, sabe-se que ao longo do ciclo da cultura ocorre a decomposição dos resíduos vegetais deixados sobre a superfície do solo, que pode ser mais ou menos acelerada em função das condições climáticas do local, e principalmente, da quantidade e qualidade dos resíduos vegetais deixados, o que pode vir a influenciar no conteúdo de água no solo. Para trabalhos futuros sugere-se o monitoramento da decomposição da cobertura morta do milho e sua influência na disponibilidade de água no solo em cada estágio da cultura do feijoeiro.

CONCLUSÕES

Para as condições em que ocorreu o ensaio, conclui-se que:

1. O tratamento com $12,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cobertura morta de milho apresentou os maiores valores de umidade do solo, principalmente no início do crescimento das plantas, em relação às demais quantidades de cobertura morta avaliadas.
2. O tratamento com $12,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cobertura morta de milho apresentou os menores valores de déficit de armazenamento de água no solo em todos os estádios da cultura e os maiores valores de produtividade de grãos e de seus componentes de produtividade.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2010. Conservação de água e solo. http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/arquivos/ANAConservacao_agua_solo_Felix_Domin_gues.pdf, 27/09/2010.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 328p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996, 11p. (Boletim 100).

ANDRADE, A.P.; WOLFE, D.W.; FERERES, E. Sistemas de preparo do solo: I. Efeito sobre o conteúdo de água e temperatura do solo na cultura da soja. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 10, 1994, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: SBCS, 1994. p. 184-185.

ANDRADE, R. da S.; MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.; CARVALHO, J. de A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p. 35-38, 2002.

BIZARI, D.R. **Diferentes sistemas de cultivo na economia de água e produtividade do feijão de inverno irrigado**. 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

BIZARI, D.R.; MATSURA, E.E.; CHAMLET, J.; MESQUITA, M.; SALVADOR, C.A. Profundidade efetiva de raízes e sua relação com a parte aérea da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.4, n.3, p.172-183, 2010.

BIZARI, D.R.; MATSURA, E.E.; ROQUE, M.W.; SOUZA, A.L. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciencia Rural**, v.39, n.7, p. 2073-2079, 2009.

BORDOVSKY, J.P.; LYLE, V.M.; KEELING, J.W. Crop rotation and tillage effects on soil water and cotton productivity. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.1-6, 1994.

CALVACHE, A.M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O.O.S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso da água em uma cultura de feijão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.54, n.3, p. 232-240, 1997.

CASER, D.V.; CAMARGO, A.M.M.P. de; BUENO, C.R.F.; CAMARGO, F.P. de; ÂNGELO, J.A.; OLIVETTE, M.P.de A.; FRANCISCO, V.L.F. dos S. Previsões e estimativas das safras agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2010/11, Intenção de Plantio, e Levantamento Final, Ano Agrícola 2009/10. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.40, n.11, 2010.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, V. Controle de erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: Dt. Ges. Für Techn. Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Fundação IAPAR, 1991. 292p.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (swrc, version 2.00). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.191-196, 2000.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Europa, 1997, 212p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1999, 412p.

FRANCISCO, E.A.B.; CÂMARA, G.M.S.; SEGATELLI, C.R. Estado nutricional e produção do capim pé-de-galinha e da soja cultivada em sucessão em sistema antecipado de adubação. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.2, p.259-266, 2007.

FRIZZONE, J.A.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A.C.A.; JÚNIOR, C.H. Produtividade do feijoeiro sob diferentes uniformidades de distribuição de água na superfície e na subsuperfície do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.414-425, 2007.

LOYOLA, J.M.T.; PREVEDELLO, C.L. Modelos analíticos para predição do processo da redistribuição da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.783-787, 2003.

MELO FILHO, J.F.; SILVA, J.R.C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um Podzólico Vermelho-Amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, p.291-297, 1993.

MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.; PEREIRA, A.L. **Manejo da irrigação do feijoeiro em plantio direto: cobertura do solo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999b. 2p. (Pesquisa em foco, 26).

MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.; SILVA, S.C.; SILVEIRA, P.M. **Irrigação do feijoeiro no Sistema Plantio Direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999a. 31p. (Circular técnica, 33).

MOUHOUCHE, B, RUGET, F., DELÉCOLLE, R. Effects of water stress applied at different phenological phase on productivity components of dwarf bean (*Phaseolus vulgaris* L.) **Agronomie**, v.18, p. 197-205, 1998.

MURAISHI, C.T.; LEAL, A.J.F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L.R.; GOMES JUNIOR, F.G.G. Manejo de espécies vegetais de cobertura de solo e produtividade do milho e da soja em semeadura direta. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.2, p.199-207, 2005.

PEREIRA, J.C.R., RODRIGUES, R.A.F., ARF, O., ALVAREZ, A.C.C. Influência do manejo do solo, lâminas de irrigação e doses de nitrogênio na produtividade do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.26, n.1, p.13-19, 2004.

SÁENZ, C.M.S.; SOUZA, Z.M.; MATSURA, E.E.; CAMPOS, M.C.C. Decomposição do resíduo de milho e produtividade do feijão irrigado. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.8, n.2, p.207-213, 2008.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos do sistema de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.835-841, 2000.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos dos sistemas de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.1, p. 83-91, 1999.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; MOREIRA, J.A.A.; BRAZ A.J.B.P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p. 577-582, 2006.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.5, p. 892-898, 1980.

Publicação III

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PORTÁTIL PARA UTILIZAÇÃO DE SONDAS DE TDR EM ENSAIOS DE CAMPO

RESUMO

A Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) têm contribuído em pesquisas na agricultura irrigada, pela facilidade de obtenção, aquisição e armazenamento de dados para a estimativa da umidade do solo e condutividade elétrica. Porém, é pouco utilizada em pesquisas de campo que envolva seu uso em grandes áreas ou em experimentos com delineamentos que empregam geoestatística, devido, principalmente, ao seu alto custo de aquisição e pelas dificuldades de operação. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi construir um equipamento portátil para acoplar uma sonda de TDR e facilitar o monitoramento da umidade do solo e da condutividade elétrica em condições de campo. O equipamento portátil e a forma de aquisição dos dados foram baseados no equipamento *GPS Portable Water Content Sensor*, da Universidade Estadual de Utah, EUA. Um primeiro protótipo foi desenvolvido no Brasil pelos laboratórios de Hidráulica e Irrigação e de Protótipos da FEAGRI/UNICAMP em parceria com CCA/UFSCar. Esse equipamento foi testado em campo e os resultados mostraram que o equipamento portátil para uma sonda TDR convencional apresentou bom desempenho de operação em campo, podendo substituir grande quantidade de cabos coaxiais e sondas TDR na superfície do solo. Com ele é possível monitorar a umidade do solo e a condutividade elétrica em uma grande quantidade de pontos amostrais, e de maneira rápida, constituindo-se assim, em uma boa ferramenta para possíveis ensaios sobre manejo de irrigação e uniformidade da redistribuição de água no solo.

Palavras-chave: agricultura irrigada; manejo de irrigação; redistribuição de água no solo; condutividade elétrica.

DEVELOPMENT OF THE PORTABLE EQUIPMENT FOR TDR PROBES IN THE FIELD

ABSTRACT

The Reflectometry Time Domain (TDR) has contributed to research in irrigated agriculture due to the easy production, acquisition and storage of data for soil water content and electrical conductivity estimation. However, it's not very used in field research involving its use in large areas or in experimental designs employing geostatistical, mainly due to its high cost and operation difficulties. Therefore, the objective of this work was to build a portable prototype to improve soil moisture and electrical conductivity monitoring in the field with TDR probes based on the *GPS Portable Water Content Sensor equipment* developed at Utah State University. The first prototype was developed in Brazil by the Laboratory of Hydraulics and Irrigation of FEAGRI/UNICAMP in partnership with CCA/UFSCar and used in field. The results showed that portable equipment for a TDR probe presented good performance in the field, and can replace a large quantity of coaxial cables and TDR probes on the soil surface. With the portable equipment, it was possible to quickly monitor soil moisture and electrical conductivity in a large number of sampling points, being a good tool for irrigation management and water redistribution uniformity tests.

Key words: irrigated agriculture; irrigation management; soil water redistribution; electrical conductivity.

INTRODUÇÃO

Dentre os métodos existentes para a estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo, a técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) vem se destacando em relação aos demais, principalmente, por ser um método rápido, não destrutivo e que possibilita a automação da aquisição dos dados. O método se baseia na relação que existe entre o teor de água no solo e sua constante dielétrica, tendo como principal limitação o custo do equipamento e a necessidade de calibração para cada tipo de solo. Em função do custo elevado das sondas TDR importadas, vários modelos têm sido desenvolvidos e construídos nas Instituições de Pesquisa e Universidades brasileiras, em condições artesanais, apresentando resultados satisfatórios tanto em laboratório quanto em campo, conforme constatado nos trabalhos de (COELHO et al., 2001; SOUZA et al., 2001; SOUZA et al., 2006; COELHO et al., 2005; ROQUE, 2007; MILANI et al., 2008). A técnica da TDR tem sido utilizada na avaliação do movimento de sais no solo e formação de bulbo molhado em irrigação localizada em condições de campo e também em laboratório utilizando-se colunas de solo não saturado (BARROS et al., 2009; SOUZA et al., 2009; VARALLO et al., 2010, LOPES et al., 2010) e essa aplicação pode trazer importantes subsídios ao estudo da dinâmica de solutos para o manejo da fertirrigação.

Um manejo adequado da agricultura irrigada, especialmente sob condições de fertirrigação, requer informações periódicas da concentração de sais solúveis próximos à zona radicular das plantas, para a adequação das práticas de uso do solo e cultivo, de planos de preservação da qualidade da água e operação de projetos de irrigação, envolvendo processos de lixiviação e drenagem, balanço de sais, sustentabilidade da irrigação e proteção ambiental (QUEIROZ et al., 2002).

Além disso, a utilização de sensores portáteis para medições das características do solo nas condições de campo e em tempo real, segundo HEUVEL (1996), pode contribuir para a implantação bem sucedida da agricultura de precisão, como por exemplo, o mapeamento da condutividade elétrica, que pode ser utilizada para estimar algumas propriedades físico-químicas do solo (MACHADO et al., 2006) por meio da observação de manchas de mesmas características que podem variar espacialmente em toda a área de análise. E, de posse desses valores mapeados geograficamente é possível dividir as regiões em áreas de manejo e posteriormente proceder a coleta de algumas amostras para analisá-las segundo as suas

propriedades e tomar decisões de como e quanto intervir com os insumos, defensivos e irrigação (RABELLO, 2009)

Nos ensaios realizados com a técnica da TDR pode-se utilizar uma única sonda móvel ou fixá-la no solo em determinada profundidade, na qual as leituras são feitas por equipamentos comerciais, tais como, Tektronix (Tektronix, Inc.), Trase System (Soil moisture) e o TDR 100 (Campbell Scientific). Para a determinação contínua e automática dos dados em campo em diversas posições ou locais no solo há necessidade de uso de várias sondas acopladas ao multiplexador que é conectado ao equipamento TDR (ROQUE, 2007), aumentando a quantidade de cabos coaxiais sobre a superfície do solo, que ficam sujeitos às injúrias climáticas e às dos tratos culturais, além do elevado custo proveniente da aquisição desse material.

No Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp (Feagri/Unicamp) foram realizados experimentos envolvendo a técnica da TDR, incluindo a construção de sensores em grande escala e em diferentes modelos. SOUZA e MATSURA (2002) e SOUZA et al. (2006) conduziram pesquisas na confecção de sondas de TDR de baixo custo para viabilizar a aplicação dessa técnica em situações que necessitassem de uma quantidade elevada de sensores para o monitoramento da dinâmica da solução do solo.

Esses mesmos autores verificaram a possibilidade de usar hastes de latão em substituição ao aço inoxidável, e constataram que ambos os materiais possuíam características semelhantes na propagação de ondas eletromagnéticas, concluindo que as hastes de latão poderiam substituir as de aço inoxidável, o que resultaria em economia no custo de fabricação das sondas de TDR. Além disso, observaram a possibilidade de utilização de sondas do tipo multi-haste segmentada (hastes descontínuas) e sondas coaxiais de volume variável desenvolvidas na FEAGRI-UNICAMP, conectadas em um equipamento de TDR convencional, modelo Trase System I, no monitoramento da umidade do solo em diversas profundidades, e na avaliação de bulbo molhado em irrigação localizada. Concluindo-se, assim, que essas sondas podem ser uma ferramenta no dimensionamento de irrigação e no balanço de água no solo.

No entanto, a sonda multi haste segmentada apresenta dificuldades na sua instalação, manuseio e retirada após a realização dos ensaios, tendo como consequência, na maioria dos casos, a deformação das hastes maiores, principalmente, quando instaladas em solos argilosos.

Outro problema se refere à dificuldade na interpretação dos picos de impedância quando utilizado um número elevado de segmentações, que aumenta consideravelmente as reflexões dos sinais, limitando seu uso para no máximo 4 segmentos por sonda (SOUZA e MATSURA , 2002).

ROQUE (2007) propôs um aparato experimental para a fabricação de sondas de TDR, na qual permitiu a construção de um número elevado de sensores, posteriormente utilizadas em condições de laboratório e campo, em estudos de geoestatística, utilizando multiplexadores. Com essas mesmas sondas, o autor avaliou a redistribuição da água de irrigação no interior do solo em dois sistemas de manejo e concluiu que a técnica da TDR foi eficiente no monitoramento da umidade do solo ao longo do ciclo da cultura do feijoeiro, podendo ser empregada no manejo da irrigação, desde que se faça uma prévia calibração do equipamento para as condições locais. Porém, nesse caso, além do custo elevado para a aquisição de cabos coaxiais e multiplexadores, esses ficavam expostos às intempéries climáticas e às injúrias físicas eventualmente provocadas pelos tratamentos culturais e manuseio do equipamento, havendo a necessidade da troca constante das sondas danificadas no campo e limpeza do sistema de aquisição de dados.

A técnica da TDR pode contribuir com as pesquisas em agricultura irrigada, porém, por apresentar limitações operacionais, como a inserção das sondas em solos muito argilosos e as dificuldades de seu manuseio em campo. Esse trabalho teve como objetivo desenvolver um equipamento portátil para ser acoplado a uma única sonda TDR de fácil manuseio para otimizar a leitura da umidade do solo e condutividade elétrica em ensaios de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O equipamento portátil para uso de sonda de TDR foi desenvolvido com o apoio dos Laboratórios de Hidráulica e Irrigação e de Protótipos da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, em parceria com o Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, campus Araras. A sua concepção foi baseada no equipamento *GPS Portable Water Content Sensor*, desenvolvido pelo Departamento de Plantas, Solo e Clima, da Universidade Estadual de Utah, Estados Unidos.

Esse protótipo foi desenvolvido com o intuito de facilitar a inserção da sonda no solo e servir de suporte para a conexão dessa com os demais componentes que possibilitam a estimativa da umidade do solo e da condutividade elétrica pela técnica da TDR, tais como, a bateria de 12 Volts, o datalogger CR1000 e o TDR 100, ambos da marca Campbell Scientific. Também, pode-se utilizar um GPS para o georreferenciamento dos pontos amostrais. Esses componentes ficam conectados entre si dentro de uma “mochila” apoiada nas costas do operador no momento da leitura. Na parte superior do equipamento é alocado um display com ligação direta ao datalogger, que transmite para o seu visor os valores dos dados armazenados de: constante dielétrica (K_a), umidade volumétrica, condutividade elétrica (CE) e a voltagem da bateria.

Para a obtenção, armazenamento e visualização dos dados foi utilizado um programa específico para o datalogger CR 1000, sendo que tanto o programa quanto o display foram desenvolvidos na Universidade Estadual de Utah. A Figura 1 abaixo mostra o esquema de conexão entre os dispositivos utilizados para a leitura da umidade do solo e da condutividade elétrica. Após sua construção, o equipamento foi testado em campo, na avaliação da redistribuição do teor de água e condutividade elétrica no perfil do solo por meio da técnica da TDR em uma parcela sob SPD. O solo do ensaio foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico argiloso (EMBRAPA, 1999) localizado no campo experimental da Feagri/Unicamp, na região de Campinas, estado de São Paulo, Brasil. As coordenadas geográficas do local são: latitude 22° 48'57”sul, longitude 47°03'33” oeste e altitude média de 640 m.

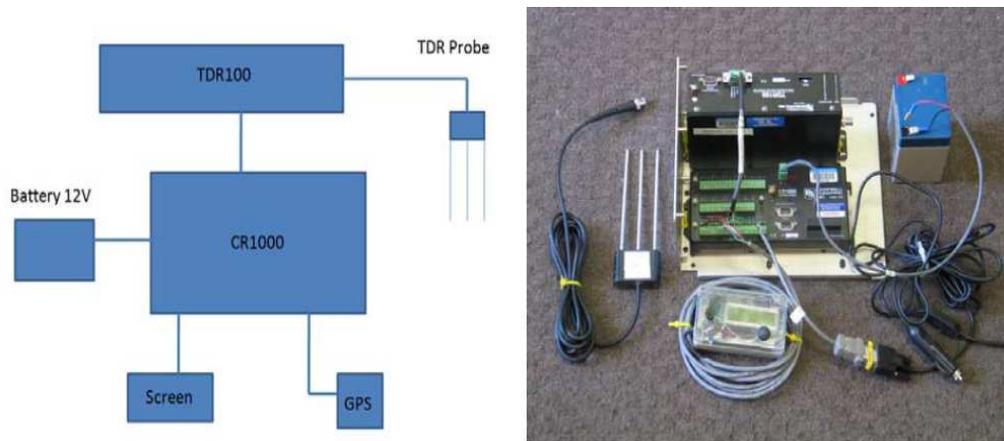


Figura 1. Esquema com os componentes necessários para o monitoramento da umidade do solo e condutividade elétrica pela técnica da TDR. (Cortesia: Prof. Scott B. Jones-Universidade Estadual de Utah, EUA).

As análises químicas e físicas do solo foram determinadas conforme metodologia proposta por EMBRAPA (1997) e apresentaram os seguintes resultados: pH (CaCl_2), 5,3; Ca^{2+} , $49,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg^{2+} , $11,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; P, $32,7 \text{ mg dm}^{-3}$; K, $6,54 \text{ mmol}_c$; M.O., $3,4 \%$; dm^{-3} ; F_2O_3 , $21,3 \%$; H+Al, $3,0 \text{ mmol}_c$; CTC, $96,8 \%$ e V(%), $69,0$. Areia, $310,0 \text{ g kg}^{-1}$; silte, $158,0 \text{ g kg}^{-1}$ e argila, $532,0 \text{ g kg}^{-1}$. Os valores de densidade média do solo foram: $1,27 \text{ g cm}^{-3}$ na camada de 0 a $0,20 \text{ m}$ e de $1,25 \text{ g cm}^{-3}$ na camada de $0,20$ a $0,40 \text{ m}$.

Para avaliação do desempenho do equipamento no referido ensaio foi utilizada uma parcela experimental de 144 m^2 , em SPD no quinto ano de implantação com $12,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cobertura morta de milho distribuído na superfície do solo, proveniente da cultura de verão. O sistema de irrigação utilizado foi o de aspersão convencional, constituído de 4 aspersores, do tipo 427 AG, vazão de $0,45 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e pressão de serviço de 196 kPa . O espaçamento utilizado entre os aspersores foi de $12 \text{ m} \times 12 \text{ m}$. Para a determinação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) foram instalados coletores em uma malha regular de $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ (6 linhas e 6 colunas), totalizando 36 coletores. O sistema de irrigação foi acionado durante uma hora para a quantificação do volume de água nos coletores e posterior estimativa da lâmina de água aplicada. Logo após e abaixo de cada coletor, foi determinado, indiretamente, a umidade do solo e a condutividade elétrica na profundidade de $0,20 \text{ m}$, que corresponde ao comprimento da haste da sonda de TDR utilizada e que engloba a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura do feijoeiro no local de estudo.

Para a obtenção da estimativa desses parâmetros foi utilizado um programa para o datalogger CR1000, marca, Campbell Scientific, com algumas modificações em função da sonda que foi utilizada no presente ensaio, tais como, comprimento do cabo coaxial, comprimento da haste enterrada no solo, comprimento da haste revestida por resina epóxi, etc.

Assim, pode-se determinar a constante dielétrica aparente do solo (K_a) pela equação 1 abaixo:

$$K_a = \left(\frac{c * t}{2 * L} \right) \quad (1)$$

em que:

c é a velocidade da luz ($m s^{-1}$); t é o tempo de propagação lido pelo TDR (s) e L é o comprimento da haste TDR (m).

Para a estimativa da umidade no solo foi utilizada a equação de calibração ($R^2 = 0,75$) para a área experimental em estudo, conforme ROQUE (2007).

$$\theta = 20,03 + (0,548 * K_a) \quad (2)$$

em que:

θ é a umidade volumétrica (%) e K_a é a constante dielétrica aparente do solo (adimensional).

Na medição da condutividade elétrica do solo (CE) foi utilizada a equação 3 apresentada por GIESE e TIEMANN (1975):

$$CE = \frac{K_p}{Z_c} * \left(\frac{1 - \rho}{1 + \rho} \right) \quad (3)$$

em que:

CE é a condutividade elétrica do solo ($S m^{-1}$); K_p é a constante da sonda, Z_c é a impedância do cabo (50 ohm) e ρ é o coeficiente de reflexão.

Para a determinação da uniformidade de distribuição de água na superfície e sua redistribuição no interior do solo foi utilizado o CUC, proposto por CHRISTIANSEN (1942) conforme equação 3:

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum Z_i - \bar{Z}}{\bar{Z} N} \right] \quad (3)$$

em que:

CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

Z_i - lâmina coletada no pluviômetro i, mm;

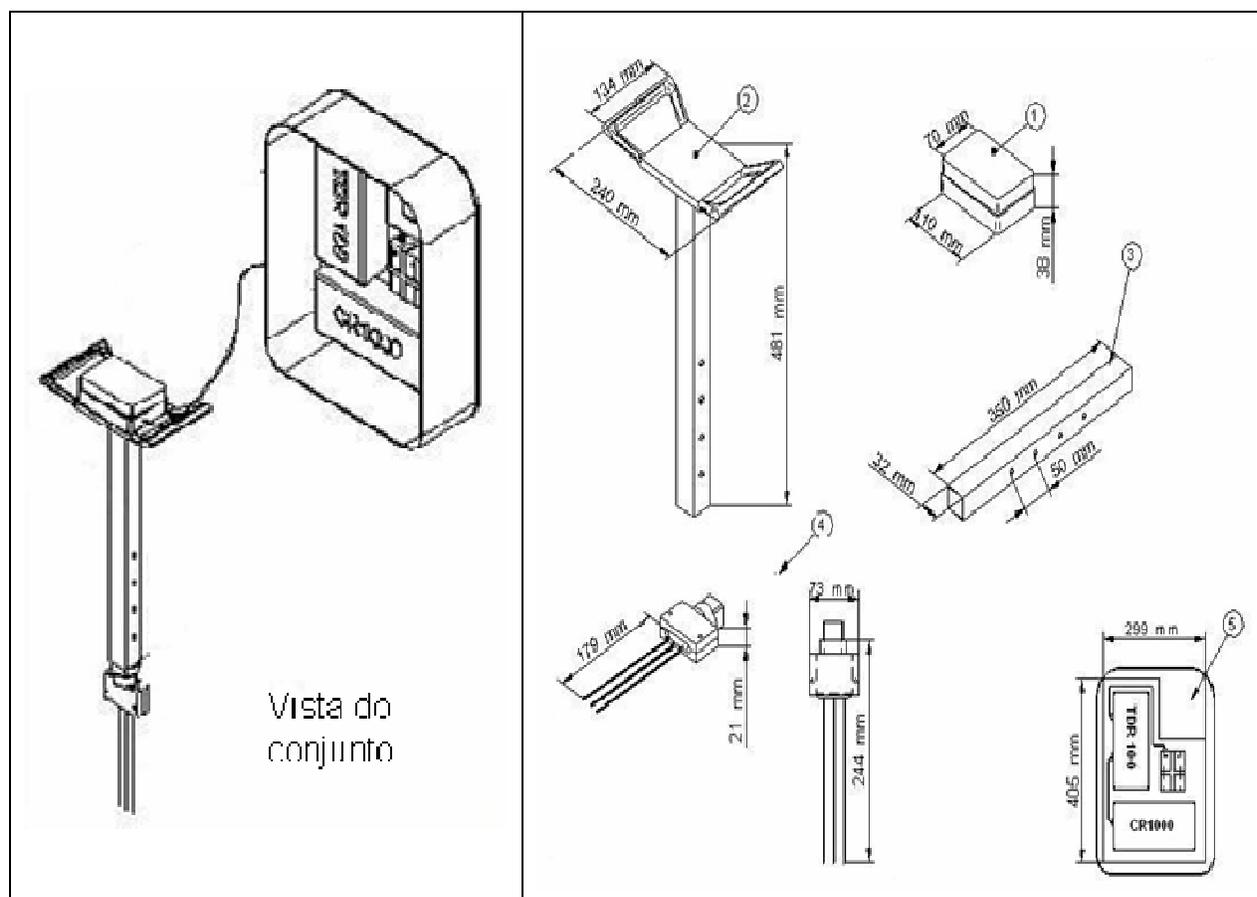
\bar{Z} - lâmina média, mm;

N - número de coletores.

Para verificar a distribuição espacial da lâmina de água coletada, da umidade do solo e da condutividade elétrica na parcela estudada foram gerados mapas de superfície, utilizando o programa Surfer versão 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta o equipamento portátil desenvolvido nesse trabalho e suas partes principais, com as suas respectivas dimensões.



Legenda: (1) display; (2) corpo principal e fixação do display; (3) regulador de altura da haste; (4) adaptador com sonda TDR; (5) suporte com os componentes: TDR 100, CR 1000. Bateria 12 V.

Figura 2. Desenho do equipamento portátil e dos componentes necessários para a medição da umidade do solo e condutividade elétrica pela técnica da TDR.

A Figura 3 ilustra a malha dos coletores instalados na parcela e o funcionamento do equipamento no campo. Com a utilização do equipamento acoplado na sonda de TDR foi possível realizar a leitura dos dados em 36 pontos em um tempo de aproximadamente 20 minutos, com uma média de 33 segundos por ponto amostrado. Os resultados obtidos dos valores médios de lâmina coletada na superfície, umidade e condutividade elétrica no solo e seus respectivos CUCs, em SPD, estão apresentados na Tabela 1.



Figura 3. Leitura da umidade do solo e condutividade elétrica por sonda de TDR e detalhe da sua fixação no equipamento portátil.

Observa-se pela Tabela 1, que o valor da umidade do solo ficou em torno de 38%, bem próximo ao obtido na capacidade de campo (36%) para uma lâmina coletada de 6,76 mm. Com relação ao CUC nota-se que o valor obtido na superfície foi de 84,20%, ficando acima do valor recomendado pela literatura (CUC>80%) para sistemas de irrigação por aspersão.

Tabela 1. Valores médios de lâmina coletada na superfície, umidade e condutividade elétrica (CE) no perfil do solo e seus respectivos Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC), no sistema plantio direto.

Parcela	Superfície do solo		Perfil do solo			
	Lâmina (mm)	CUC (%)	Teor de água (%)	CUC (%)	CE (dS m ⁻¹)	CUC (%)
SPD	6,76	84,20	38,25	96,92	0,17	87,36
CV (%)	19,99	-	4,37	-	16,20	-

CV-coeficiente de variação.

De acordo com GOMES (1994) admitem-se valores de CUC < 80 %, se a área a ser irrigada recebe chuvas durante o período de irrigação, ou se a planta possui sistema radicular profundo ou, ainda, se a economia obtida no custo da instalação, com maiores espaçamentos entre aspersores e entre linhas laterais, compensar a redução do rendimento da cultura irrigada. Mas, observa-se ainda pela Tabela 1, que o valor de CUC obtido no interior do solo foi em torno de 21 % superior (96,92 %) em relação ao obtido na superfície, ou seja, bem acima da

faixa recomendada. Cabe ressaltar que antes do ensaio a umidade do solo era de 34,12% com um CUC de 90,45 %.

Resultados semelhantes foram obtidos por ROQUE (2007), que utilizou 60 sondas de TDR conectadas em multiplexadores em ensaio realizado na mesma área experimental, cujos valores encontrados foram de 72,0 e 90,0 % na superfície e interior do solo, respectivamente. Porém, naquela ocasião com uma maior dificuldade operacional, principalmente, pela necessidade de conexão individual de cada sonda no multiplexador, seu manuseio no campo, maior tempo de leitura e não visualização imediata dos dados obtidos, dificultando a detecção de sondas danificadas ou a ocorrência de algum tipo de erro de leitura em tempo real. O mesmo não ocorrendo quando se utilizou o equipamento portátil para uma única sonda de TDR, cujos dados foram visualizados no display, proporcionando melhor acompanhamento dos valores de umidade do solo e condutividade elétrica durante o ensaio.

Avaliando o CUC na superfície e perfil do solo em irrigação por aspersão, PEREIRA et al. (2009) encontraram nesse último os maiores valores, sendo 86,3 e 73,9 % nas camadas de 0-0,10 m e 0,10 a 0,20 m, respectivamente. Esses valores estão abaixo dos obtidos no presente ensaio. No entanto, cabe ressaltar que segundo os autores, o estudo foi desenvolvido em uma área de pastejo, em solo compactado, o que de certa forma, poderia influenciar a redistribuição de água no interior do solo. OLIVEIRA et al. (2003) trabalhando com SPD e sistema convencional irrigado por pivô central, verificaram que os CUCs no interior do solo foram superiores em relação aos obtidos na superfície, com valores de 95,88 e 96,38 %, respectivamente, no período de 24 horas após a irrigação e que até esse período, a redistribuição da água foi mais rápida no SPD devido aos incrementos nos valores de CUC em relação ao sistema convencional. Observaram também que o SPD apresentou maior desempenho no que se refere à distribuição da água no solo na camada de 0-0,20 m, considerada a de maior interesse para esse sistema de manejo do solo.

Resultados de CUC maiores no interior do solo em relação à superfície foram obtidos por DRUMOND et al. (2006) na avaliação da irrigação em malha com aplicação de água residuária. No entanto, os autores mencionados acima realizaram o monitoramento da umidade do solo pelo método da gravimetria. Utilizando a técnica da TDR, RODRIGUES et al. (2001) na avaliação do CUC em irrigação por pivô central, obtiveram valores no interior do solo (89,19%) maiores que os obtidos na superfície (77,97%) e constataram que os valores de

umidade do solo tiveram a mesma tendência que os de lâmina coletada, concluindo que essa técnica pode ser utilizada em trabalhos de campo dessa natureza. Sugeriram como trabalhos futuros, o acompanhamento da redistribuição da água no solo para um manejo mais correto da irrigação.

Também foi possível determinar os valores de CE e do seu CUC no interior do solo, com valor de $0,17 \text{ dS m}^{-1}$ e 87% , respectivamente. LOPES et al. (2010) avaliando a condutividade elétrica pela técnica da TDR em um Latossolo Vermelho Amarelo, encontraram valores de CE variando de $0,90$ a $1,30 \text{ dS m}^{-1}$ na região do bulbo molhado em irrigação localizada e valor médio de uniformidade de distribuição em torno de 84% , bem próxima ao obtido no presente ensaio. Uma boa uniformidade da distribuição da solução no interior do solo pode resultar em uma distribuição mais homogênea dos solutos para o sistema radicular das plantas, reduzindo-se assim, as perdas de íons pelo processo de lixiviação e contribuindo para um melhor aproveitamento e transporte dos nutrientes para as raízes, que serão absorvidos com mais facilidade por fluxo de massa e mecanismos de difusão. Fazendo-se uma análise da distribuição espacial dos dados (Tabela 2 e Figura 4) observa-se que quase 60% (classe 3) da área do ensaio recebeu a lâmina próxima ou acima da lâmina média coletada ($6,76 \text{ mm}$) indicando que essa é representativa para os cálculos do tempo de irrigação, considerando a redistribuição da água no interior do solo. Mas cabe ressaltar que, em alguns momentos durante a realização do ensaio, foram observados valores de velocidade do vento acima de $2,0 \text{ m s}^{-1}$ na direção sudeste, influenciando a lâmina de água coletada, conforme mostrado na Figura 4.

Tabela 2. Porcentagem de área de cada classe de lâmina aplicada na parcela irrigada durante o ensaio de uniformidade de aplicação de água.

Classes de Lâmina (mm)	Ensaio -SPD
	Área (%)
0,0 – 4,5	0,31
4,5 – 6,5	40,28
6,5 – 8,5	58,09
> 8,5	1,32

SPD: sistema plantio direto

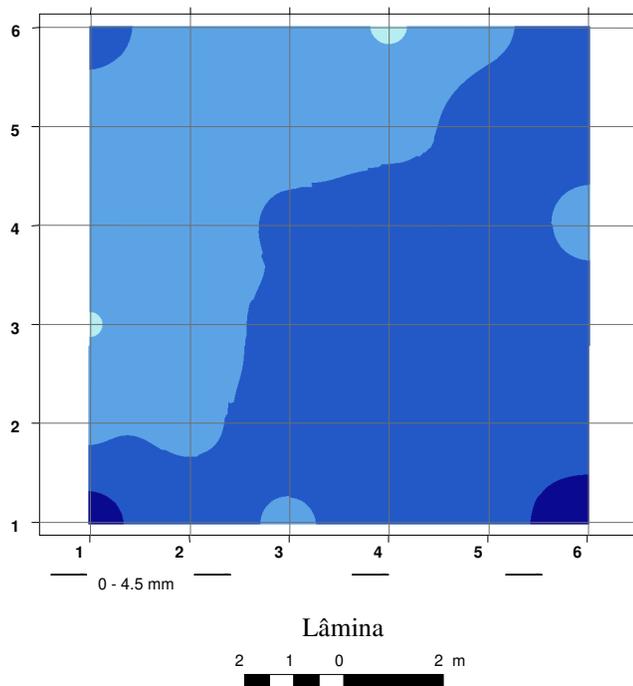


Figura 4. Distribuição espacial da lâmina aplicada na superfície do solo para o sistema plantio direto.

Na Tabela 3 e Figuras 5 e 6 observa-se a porcentagem que cada classe de umidade e CE representou dentro da área total da parcela e a sua distribuição espacial logo após o ensaio. Nota-se que houve boa redistribuição da água no interior do solo, com quase 96 % da área com valores de umidade acima de 36 %, considerada a umidade na capacidade de campo, sendo que desses, mais de 73,0 % apresentou valores acima de 38 %.

Nota-se em função dos resultados obtidos, que a área em estudo apresenta baixa salinidade, não havendo excesso de sais na água de irrigação que possa vir a prejudicar a absorção de água pelas plantas ou modificar as propriedades físico-químicas do solo. VARELLO et al. (2010) avaliando a CE pela técnica da TDR em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico após aplicação de água de reúso constataram aumento nos valores de CE de 0,07 para 0,12 dS m^{-1} , sendo classificada segundo CAVINS et al. (2006) como água de salinidade muito baixa. SOUZA et al. (2009) avaliando o potencial de colunas de solos não saturados acoplados a sondas de TDR no monitoramento da dinâmica da solução do solo em Latossolo Vermelho Amarelo encontraram valores de CE variando de 0,20 a 0,25 dS m^{-1} , pouco superior aos obtidos no presente ensaio.

Tabela 3. Porcentagem de área de cada classe da umidade do solo e condutividade elétrica (CE) na parcela irrigada durante o ensaio de uniformidade de aplicação de água.

Sistema plantio direto			
Classes de Umidade (%)	Área (%)	Classes de CE (dS m ⁻¹)	Área (%)
32,0 – 34,0	0,54	0,11 – 0,14	4,08
34,0 – 36,0	2,78	0,14 – 0,17	36,16
36,0 – 38,0	22,95	0,17 – 0,20	55,99
>38,0	73,73	> 0,20	3,77

Observa-se que os valores obtidos ficaram abaixo do intervalo de 2,0 a 3,5 dS m⁻¹, considerado por CAVINS et al. (2006) como água de salinidade normal, correspondendo a uma faixa padrão para a maioria das plantas em crescimento, mas representando um limite superior para as plantas sensíveis à salinidade.

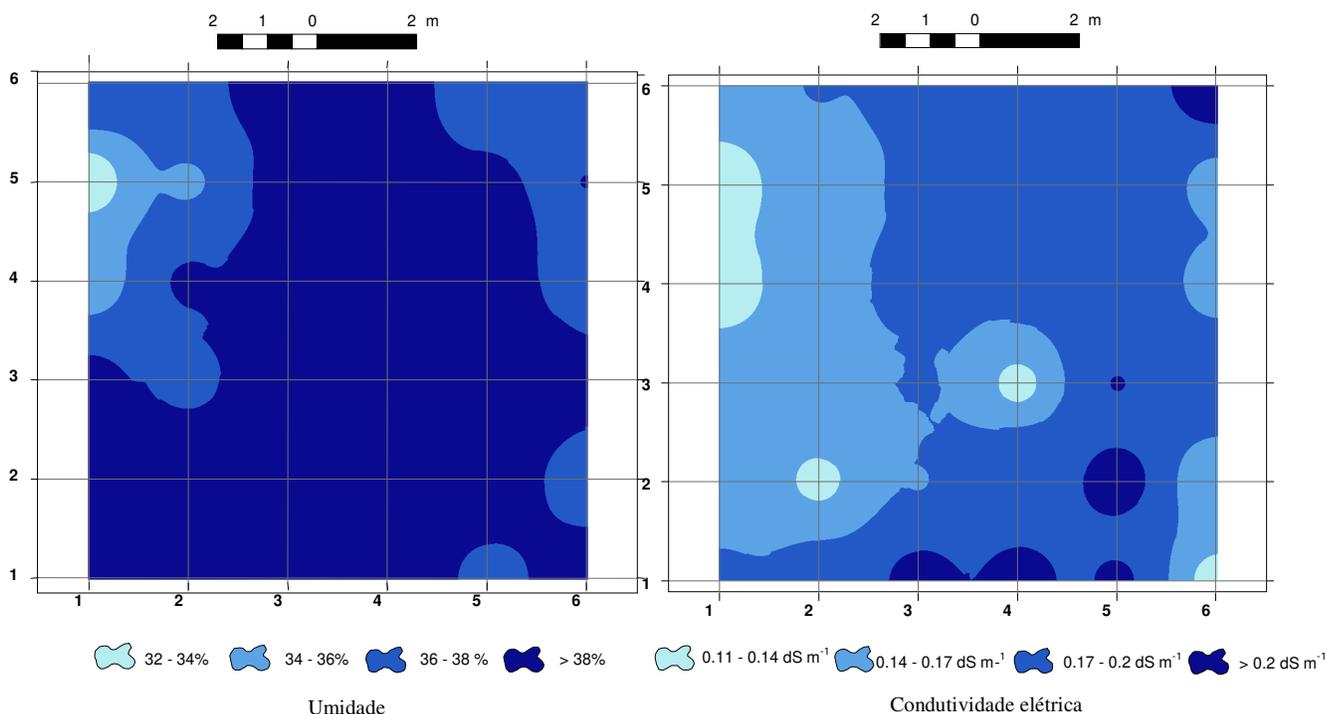


Figura 5. Distribuição espacial da umidade do solo após o ensaio de uniformidade de distribuição de água, em sistema plantio direto.

Figura 6. Distribuição espacial da condutividade elétrica do solo após o ensaio de uniformidade de distribuição de água, em sistema plantio direto.

Pelos dados apresentados anteriormente, constata-se que o equipamento portátil para sondas de TDR, respondeu de forma satisfatória sobre o monitoramento da umidade e da condutividade elétrica e de sua redistribuição no interior do solo. Ele apresenta potencial para estudos de geoestatística voltado para o mapeamento da umidade e condutividade elétrica no interior do solo em pequena, média e grandes áreas e também na aplicação do manejo da irrigação em condições de campo, contribuindo para um melhor controle da lâmina de água aplicada nas culturas agrícolas.

CONCLUSÕES

A partir do ensaio realizado pode-se concluir que:

1. O equipamento portátil para uma sonda TDR convencional apresentou bom desempenho de operação em campo, podendo substituir grande quantidade de cabos coaxiais e sondas TDR na superfície do solo.
2. Com a utilização desse equipamento foi possível monitorar a umidade do solo e a condutividade elétrica em uma grande quantidade de pontos amostrais, e de maneira rápida, constituindo-se assim, em uma boa ferramenta para possíveis ensaios sobre manejo de irrigação e uniformidade da redistribuição de água no interior do solo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado

Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos.

Ao Departamento de Plantas, Solos e Clima da Universidade Estadual de Utah.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, A.C.; FOLEGATTI, M.V.; SOUZA, C.F.; SANTORO, B.L. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v.13, n.6, p.700-707, 2009.
- CAVINS, T.J.; WHIPKER B. E.; FONTENO, W.C.; HARDEN, B.; McCALL, I.; GIBSON, J. L. Monitoring and managing pH and EC using the PourThru Extraction Method. Horticulture Information Leaflet / NCSU, Raleigh, n.590, 2006. <http://www2.ncsu.edu/unity/lockers/project/hortsublab/>, 09/10/2010.
- CHRISTIANSEN, E. J. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: California Agricultural Station. 1942. 142p. (Bulletin, 670).
- COELHO, E.F.; ANDRADE, C.L.T.; OR, D.; LOPES, L.C.; SOUZA, C.F. Desempenho de diferentes guias de ondas para uso com o analisador de umidade Trase. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.81-87. 2001.
- COELHO, E.F.; VELLAME, L.M.; FILHO, M.A.C. Sonda de TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo, com uso de multiplexadores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v.9, n.4, p.475-480, 2005.
- DRUMOND, L.C.D.; ZANINI, J.R.; FERNANDES, A.L.T.; RODRIGUES, G.P. Uniformidade de distribuição superficial e subsuperficial de água e de água residuária de suinocultura com irrigação por aspersão em malha. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.415-425, 2006.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Europa, 1997, 212p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1999, 412p.
- GIESE, K.; TIEMANN, R. Determination of the complex permittivity from thin-sample Time Domain Reflectometry . Improved analysis of the step response waveform. **Advances in Molecular Relaxation Process**, Amsterdam, v.7, n.1, p.45-59, 1975.
- GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**. João Pessoa: Ed. Universitária/UFPB, 1994.
- HEUVEL, R. M. V. The promise of precision agriculture. **Journal of Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 51, n.1, p.38-40, 1996.

LOPES, L. do N.; SOUZA, C.F.; SANTORO, B. de L. Utilização da tdr para monitoramento da solução de nitrato de potássio em latossolo vermelho-amarelo. **Engenharia. Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.5, p.932-947, 2010.

MACHADO, P.L.O. de A.; BERNARDI, A.C. de C.; VALENCIA, L.I.O.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; SILVA, C.A.; ANDRADE, A.G.; MADARI, B.E.; MEIRELLES, M.S.P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.1023-1031, 2006.

MILANI, D.I.C.; TAVARES, M.H.F.; SCHERPINSKI, Calibração de sondas TDR em condições de laboratório. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.3, n.1, 2008.

OLIVEIRA, L.F.C. de; ALVES FILHO, A.S.; SILVEIRA, P.M da. Distribuição de água no solo aplicada por pivô central. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.19, n.2, p.79-87, 2003.

PEREIRA, F.F.S.; MOUSINHO, F.E.P.; MATSURA, E.E.; BIZARI, D.R. Uniformidade de distribuição da água acima e abaixo da superfície do solo em um sistema de irrigação por aspersão convencional. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 10, 200. Juazeiro/Petrolina-**Resumos...** Juazeiro/Petrolina: SBEA, 2009. Cd Rom.

QUEIROZ, S. O.; TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E. Avaliação de metodologia para determinação da condutividade elétrica do solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31, 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA, 2002. CD Rom.

RABELLO, L.M. **Condutividade elétrica do solo, tópicos e equipamentos**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 19p. (Documentos).

RODRIGUES, T. R. I.; BATISTA, H. S.; CARVALHO, J. M.; GONÇALVES, A. O.; MATSURA, E. E. Uniformidade de distribuição de água em pivô central, com a utilização da técnica TDR na superfície e no interior do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v.5, n.2, p.187-191, 2001.

ROQUE, M.W. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo cultivado com feijão irrigado submetido a diferentes sistemas de preparo**. Campinas, 2007. 198 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

SOUZA, A.L.; MATSURA, E.E.; MIRANDA, J.H. de; ROQUE, M.W.; BIZARI, D.R.; ROQUE, W. Reflectometria no domínio do tempo em estudos de lixiviação de potássio em colunas de solo não-saturado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.4, p.1219-1222, 2009.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. Avaliação de sondas de TDR multi haste segmentadas para estimativa da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.63-68, 2002.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO, E.F.; OR D. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo. **Irriga**. Botucatu, v.11, n.1, p.12-25, 2006.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, R. Experiência de laboratório de hidráulica, irrigação e drenagem da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP no uso da técnica da TDR. In: MATSURA, E.E.; JAVAREZ JUNIOR, A.; GOMES, E.P.; SOUZA, C.F., (eds.) **Aplicações técnicas de TDR na agricultura**. Campinas: FEAGRI/UNICAMPI, 2001. p.147-176.

VARALLO, A.C.T.; CARVALHO, L.; SANTORO, B.L.; SOUZA, C.F. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reuso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.4, p.372-377, 2010.

Publicação IV

DECOMPOSIÇÃO DA COBERTURA MORTA DE MILHO NA UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO NA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

RESUMO

A eficiência do sistema plantio direto (SPD) na diminuição da erosão hídrica, da evaporação e no aproveitamento da água pelas plantas depende da quantidade de resíduos e de sua permanência na superfície do solo, que está diretamente relacionada com a sua velocidade de decomposição. O objetivo do trabalho foi avaliar a taxa de decomposição para as quantidades de 0,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, em todo o ciclo da cultura do feijoeiro irrigado sob SPD e verificar sua influência na temperatura e umidade do solo e na produtividade da cultura. As avaliações foram realizadas aos 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 dias após a instalação dos saquinhos de nylon, onde foram alocadas as diferentes quantidades de resíduos de milho. O experimento foi conduzido na área experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, em um Latossolo Vermelho distroférico típico, no período de junho a setembro de 2009, em delineamento de blocos casualizados, com seis tratamentos e três repetições. Os resultados indicaram que quanto maior a quantidade de cobertura morta de milho na superfície do solo menor é a taxa de decomposição dessa cobertura durante o ciclo da cultura do feijoeiro irrigado em SPD. O tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho apresentou os menores valores médios de temperatura e os maiores de umidade do solo no ciclo da cultura do feijoeiro irrigado, em SPD, quando comparado aos demais tratamentos. As plantas nesse tratamento apresentaram o maior valor de produtividade de grãos e de seus componentes, com exceção do número de grãos por vagem, que é característico da própria variedade.

Palavras-chave: taxas de decomposição; saquinhos de nylon; resíduos de milho; ciclo da cultura do feijoeiro.

DECOMPOSITION OF MAIZE MULCHING IN THE SOIL MOISTURE AND TEMPERATURE IN THE IRRIGATED DRY BEAN CROP UNDER NO-TILLAGE SYSTEM

ABSTRACT

The efficiency of no-tillage system in diminution of water erosion and evaporation and in the water utilization by plants depends of the quantity and permanence of residues in soil surface, and it is related with the decomposition speed. The objective of this work was evaluate the decomposition rate of five levels of maize mulch: 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 and 12,0 Mg ha⁻¹, in all crop cycle of the irrigated dry bean in no-tillage system and verify its influence in the temperature, soil moisture and crop productivity. The evaluations were carried at 15, 30, 45, 60, 75, 90 and 105 days after installation of the litterbags with different residues quantities. This experiment was carried out in the Experimental Field of Faculty of Agricultural Engineering of UNICAMP, in Campinas, SP, in the dystrophic Red Latosol in the period of June to September of 2008. The experiment was arranged in a randomized block with six treatments and three replications. The results indicated that the greater amount of maize mulch on the soil surface, lower the decomposition rate of this residues during the irrigated dry bean crop cycle in no-tillage system. The treatment 12,0 Mg ha⁻¹ of maize mulch presented the lowest values of temperature and soil moisture in the irrigated dry bean crop cycle, in no-tillage system, as compared to other treatments. The plants of this treatment showed the highest values of grain productivity and its productivity components, except to number of grains per pod, which is characteristic of the evaluated variety.

Key words: decomposition rates; litter bags; maize residues; bean crop cycle.

INTRODUÇÃO

A ação protetora proporcionada pelos resíduos orgânicos deixados sobre a superfície do solo em sistema plantio direto (SPD) é um dos fatores que tem contribuído para a minimização dos efeitos negativos provenientes da exploração inadequada dos solos agrícolas. A cobertura morta dissipa energia cinética das gotas de chuva, diminuindo a desagregação das partículas do solo e a erosão hídrica (SCHAEFER et al., 2001), além de promover o aporte de matéria orgânica e nutrientes, reduzir a amplitude térmica do solo e proporcionar maior disponibilidade de água ao longo do ciclo da cultura (SATURNINO e LANDERS, 1997; FREITAS et al., 2004).

O sucesso do SPD está relacionado com a permanência da cobertura morta na superfície do solo, sendo necessário o conhecimento da velocidade de decomposição desses resíduos culturais, que segundo ALVARENGA et al. (2001) depende da natureza do material vegetal, do volume, da fertilidade do solo, do manejo da cobertura, e das condições climáticas, principalmente, da precipitação pluvial e temperatura, que afetam a atividade microbiológica do solo. Para o cultivo agrícola em regiões com elevadas temperaturas e índices pluviométricos, ou mesmo em sistemas agrícolas que adotam a prática da irrigação, a utilização de plantas de cobertura que apresentem elevada produção de resíduos e maiores tempos de meia-vida, resultando em menor velocidade de decomposição, mantendo esses resíduos por mais tempo na superfície do solo (CERETTA et al., 2002).

Diversos autores têm avaliado a produção de fitomassa de diferentes espécies de plantas utilizadas como cobertura do solo em SPD em muitas regiões do país, dentre eles OLIVEIRA et al. (2002), TORRES et al. (2005), KLIEMANN et al. (2006) e FRANCISCO et al. (2007). E, na maioria dos casos, as gramíneas vêm apresentando os melhores resultados quando comparadas às leguminosas, devido, principalmente, aos seus altos valores de relação C/N, inerente à espécie vegetal, que segundo BERTOL et al. (2004) regula a velocidade de decomposição do resíduo sobre o solo. Uma das principais plantas de cobertura na região sul do país é a aveia preta, pela rapidez na formação da cobertura do solo, elevada produção de fitomassa e alta relação C/N (CALEGARI et al., 1993). Outras opções de estudo para implantação nessas regiões têm sido o milheto (MURAISHI et al., 2005), capim pé-de-galinha (MURAISHI et al., 2005; FRANCISCO et al., 2007) e milho (SÁENZ et al., 2008).

Nas regiões norte, nordeste e noroeste do Estado de São Paulo, a implantação do SPD com cultivos irrigados têm se mostrado promissora, do ponto de vista de melhor exploração do solo e também pelo aspecto conservacionista. Porém, há carência de estudos no que se refere à decomposição de diferentes quantidades de uma mesma espécie de cobertura e seu efeito na manutenção da umidade e temperatura do solo e, conseqüentemente, na produtividade das culturas em sistemas irrigados, já que a maioria dos trabalhos se restringe à avaliação da produção de fitomassa na época do verão. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi determinar a decomposição de diferentes quantidades de cobertura morta de milho nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do feijoeiro irrigado e verificar sua influência na temperatura e umidade do solo e na produtividade das plantas do feijoeiro na época do inverno.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi desenvolvido em um Latossolo Vermelho distroférico típico argiloso (EMBRAPA, 1999), na região de Campinas, estado de São Paulo, Brasil, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22° 48' 57" sul, longitude 47° 03' 33" oeste e altitude média de 640 m.

O clima pela classificação climática de Köppen é uma transição entre os tipos Cwa e Cfa, o que indica clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido. A temperatura do mês mais quente (fevereiro) é superior a 22°C e a do mês mais frio (junho) é inferior a 18°C. A precipitação média anual é de 1.382 mm, com o período chuvoso ocorrendo entre outubro a março (1.048 mm), o que representa 75 % do total de chuva anual. O período mais seco normalmente ocorre de junho a setembro.

As análises químicas e físicas do solo foram determinadas conforme metodologia proposta por EMBRAPA (1997) e apresentaram os seguintes resultados: pH (CaCl₂), 5,3; Ca²⁺, 49,6 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺, 11,7 mmol_c dm⁻³; P, 32,7 mg dm⁻³; K, 6,54 mmol_c; M.O., 3,4 %; dm⁻³; F₂O₃, 21,3 %; H+Al, 3,0 mmol_c; CTC, 96,8 % e V(%), 69,0. areia, 310,0 g kg⁻¹; silte, 158,0 g kg⁻¹ e argila, 532,0 g kg⁻¹. Os valores de densidade média do solo foram: 1,27 g cm⁻³ na camada de 0 a 0,20 m e de 1,25 g cm⁻³ na camada de 0,20 a 0,40 m.

A adubação de plantio foi realizada com base nas informações contidas na análise de solo, usando-se 300,0 kg ha⁻¹ da formulação 4-14-8. Aplicou-se a quantidade de 120,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio na adubação de cobertura, parcelado aos 30 e 60 dias após a emergência das plantas, segundo recomendação de AMBROSANO et al. (1996). O controle das plantas infestantes para implantação do ensaio foi realizada em 05/05/2009 com a aplicação de Roundup na dose de 4,0 L ha⁻¹. Durante a condução do ensaio foram realizadas duas aplicações do fungicida Amistar na dose de 120,0 g ha⁻¹ e uma do herbicida Robust a 0,5 l ha⁻¹, em pós-emergência da cultura do feijão.

Para a realização do experimento foi utilizada uma área experimental sob SPD no quinto ano de implantação. No ano agrícola de 2005 foi instalada a cultura de verão (milho) nesse sistema sobre cobertura morta de nabo forrageiro, cultivado no ano agrícola anterior no período de inverno, iniciando-se as pesquisas com esse sistema de manejo na área estudada.

No ano de 2006, foi cultivada a cultura do feijoeiro no inverno nos restos culturais do milho da safra 2005/2006. Após a colheita dessa cultura foi cultivado o milho novamente na

safrade verão (ano 2006/2007) e assim, sucessivamente, até o ano agrícola 2008/2009, na qual foi instalado esse ensaio na época do inverno com a cultura do feijão safra de 2009. A variedade de feijão estudada foi a Pérola, semeada no dia 20/05/2009, com espaçamento de 0,5 m entre linhas. A densidade de plantio foi de 10 a 12 plantas por metro e a irrigação foi a aspersão convencional, constituída de quatro aspersores em cada parcela, do tipo 427 AG e vazão de $0,45 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e pressão de serviço de 196 kPa. O espaçamento utilizado entre os aspersores foi de 12 m x 12 m, proporcionando uma precipitação média de $6,8 \text{ mm h}^{-1}$, determinada pela quantificação dos volumes de água em cada coletor pertencente a uma malha regular de 2 m x 2 m utilizada na avaliação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), com valor médio de 78 %.

O delineamento utilizado no ensaio foi o de blocos ao acaso constituído por cinco tratamentos, correspondente às quantidades de cobertura morta de milho (2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e $12,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) e a testemunha (sem resíduo) em três repetições. Para avaliação da perda de massa da cobertura morta de milho ao longo do ciclo do feijoeiro, nos estádios de desenvolvimento vegetativo (DV); florescimento (FL); enchimento de grãos (EG) e maturação fisiológica (MF) foi empregado o método das bolsas de decomposição, utilizado por KLIEMANN et al. (2006).

A cultura do milho foi cortada no estádio de maturação de grãos com um triturador de palha (Triton) e os resíduos culturais deixados sobre o solo. Posteriormente, as amostras desses resíduos eram pesadas e acondicionadas em sacos de decomposição (Nylon), com dimensões de 0,25 m x 0,35 m, com quantidade de material vegetal correspondente aos tratamentos avaliados. Porém, antes de serem distribuídos no campo, amostras da cobertura morta eram levadas para a estufa um dia antes, e mantidas à temperatura de $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas, para a determinação da massa de água, que era descontada no cálculo da quantidade de resíduos a ser colocado dentro de cada saco de decomposição. A retirada desse material para avaliação da perda de massa foi realizada às 9:00 h aos 17, 32, 47, 62, 77, 92 e 107 dias após emergência das plantas (DAE). Após sua retirada, esses eram levados para o laboratório, lavados em água corrente para a retirada de solos e pequenas impurezas e o material vegetal remanescente era encaminhado para secagem em estufa a 65°C por 24 horas para determinação da matéria seca, segundo metodologia utilizada por KLIEMANN et al. (2006).

Foram registradas, no mesmo local onde os sacos de decomposição foram retirados, as temperaturas do ar a 1m da superfície do solo e a temperatura do solo na profundidade de 0,20 m, por um termômetro, modelo soloterm 1200. Também foi monitorada a umidade do solo pela técnica da TDR na mesma profundidade. Para descrever a decomposição dos resíduos vegetais aplicou-se um modelo matemático exponencial, utilizado por ESPÍNDOLA et al. (2006):

$$X = X_0 e^{(-kt)} \quad (1)$$

em que:

X é a quantidade de matéria seca após um período de tempo t, em dias;

X₀ é a quantidade de matéria seca inicial;

K é a constante de decomposição da matéria seca.

Reorganizando os termos dessa equação foi possível calcular a constante de decomposição (K):

$$k = \frac{-\left(\ln \frac{X}{X_0}\right)}{t} \quad (2)$$

Para a determinação da produção de grãos e seus componentes foram coletadas 21 plantas por repetição, nas quais foram avaliados: o número de vagens por planta (NV), o número de grãos por vagem (NG), número de grãos por planta (NGP), peso de grãos (PG) e massa de 100 grãos (M100). Os resultados obtidos da produtividade de grãos e de seus componentes, das taxas de decomposição, da umidade e temperatura do solo foram interpretados por meio da análise de variância. Para os efeitos significativos, compararam-se as médias pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aporte total de água recebida pela cultura foi de 400,0 mm, 395,0 mm, 404,0 mm, 401,0 mm, 401,0 mm e 406,0 mm nos tratamentos com 0,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹, respectivamente, sendo mais de 85 % proveniente dos eventos de precipitação no período de realização do ensaio, limitando o número e a quantidade de água aplicada via irrigação. A Figura 1 apresenta o número de precipitações ocorridas desde a emergência das plantas (04/06/2009) até a colheita (12/09/2009) em comparação com o mesmo período de 2008. O total de precipitações durante o período de desenvolvimento da cultura foi de 352,0 mm, quase três vezes mais que o obtido no ano de 2008 (130,0 mm). Assim, a umidade do solo esteve em níveis satisfatórios para favorecer a atividade microbiológica e a também a decomposição do milho durante o ensaio.

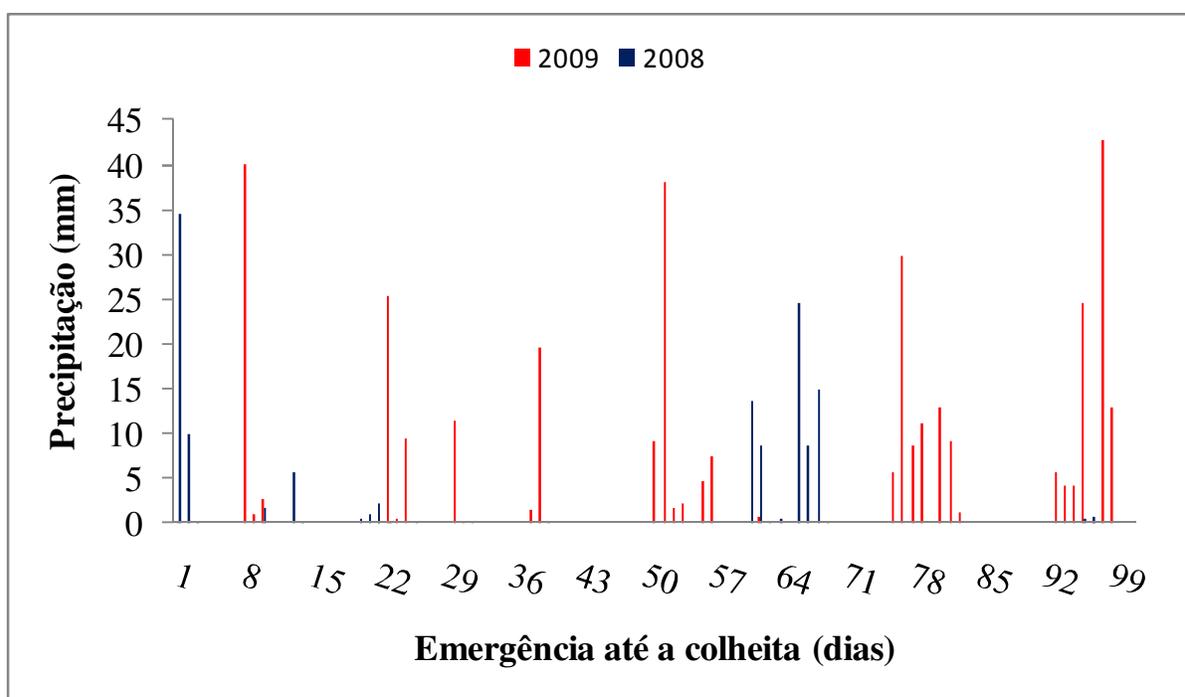


Figura 1. Precipitação na cultura do feijoeiro de inverno, safra de 2009 comparado com o mesmo período de 2008.

Essa quantidade de água por apresentar, de certa forma, uma distribuição regular, praticamente, atendeu à exigência hídrica das plantas. DOORENBOS e KASSAN (1979) relatam que a necessidade de água do feijoeiro com ciclo de 60 a 120 dias varia entre 300 a

500 mm, mas cabe ressaltar que esse consumo pode variar com as condições de clima do local, época de semeadura e cultivares (SILVEIRA e STONE, 1998) e também em diferentes sistemas de preparo, como, por exemplo, no SPD e estádios de desenvolvimento da planta (BIZARI et al., 2009). Em trabalho realizado por STONE (2005) e BIZARI et al. (2009) com a cultura do feijoeiro irrigado em SPD, os autores encontraram valores de consumo de água pelas plantas de 224,0 e 254,0 mm, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por JUNQUEIRA et al. (2004) que observaram para o consumo de água da cultivar Carioquinha, valores em torno de 274,01 mm.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios das taxas de decomposição (K) da cobertura morta de milho nos diferentes estádios da cultura do feijoeiro. Observa-se pela Tabela 1 que o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ apresentou as menores taxas de decomposição durante todo ciclo da cultura do feijoeiro quando comparado aos demais tratamentos, com valor médio de 0,007 g dia⁻¹. No estádio de DV foram observados os maiores valores de K nos tratamentos com 2,0 e 4,0 Mg ha⁻¹, que variaram de 0,021 a 0,024 e 0,015 a 0,019 g dia⁻¹, respectivamente. Nesse estádio, o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ diferiu estatisticamente dos tratamentos com as quantidades de 2,0 e 4,0 e 6,0 Mg ha⁻¹ aos 17 DAE, o mesmo ocorrendo aos 32 DAE, com exceção do tratamento 6,0 Mg ha⁻¹.

Observa-se ainda pela Tabela 1, que a partir do estádio de FL, o tratamento com a maior quantidade de cobertura morta de milho diferiu estatisticamente dos demais tratamentos praticamente até o final do ciclo da cultura, com exceção do tratamento com 8,0 Mg ha⁻¹, aos 62 (EG) e 107 (MF) DAE., respectivamente. O mesmo ocorrendo com os tratamentos com 4,0 e 6,0 Mg. O tratamento com 2,0 Mg ha⁻¹ apresentou os maiores valores de taxa de decomposição ao longo de todo o ciclo do feijoeiro. Os dados mostram que quanto maior a quantidade de resíduos vegetais de milho na superfície do solo, menor a sua taxa de decomposição, o que pode favorecer a disponibilidade de água no solo para as plantas.

A Figura 2 mostra a decomposição dos resíduos de milho dos 2 aos 107 DAE da cultura do feijoeiro irrigado, descrita em um modelo exponencial simples. Pelas equações de regressões exponenciais observa-se que o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ apresentou a menor taxa de decomposição, com valor de K de 0,008 g dia⁻¹.

Tabela 1. Taxas de decomposição nos diferentes tratamentos e estádios da cultura do feijoeiro, em sistema plantio direto.

Estádios	Taxas de decomposição				
	2,0	4,0	6,0	8,0	12,0
	-----g dia ⁻¹ -----				
2 (DV)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17(DV)	0,024d	0,019c	0,013b	0,010a	0,008a
32(DV)	0,021c	0,015b	0,010a	0,008a	0,007a
47(FL)	0,015e	0,013d	0,012c	0,010b	0,008a
62(EG)	0,014c	0,011b	0,010b	0,009a	0,008a
77(EG)	0,014c	0,013c	0,011b	0,009b	0,007a
92(MF)	0,013d	0,011c	0,009b	0,008b	0,007a
107(MF)	0,013c	0,012b	0,010b	0,008a	0,007a
Média	0,016	0,013	0,011	0,009	0,007

DV: Desenvolvimento vegetativo; FL: Florescimento; EG: Enchimento de grãos; MF: Maturação Fisiológica. Letras comparam os tratamentos na linha (Scott-Knott a 5%).

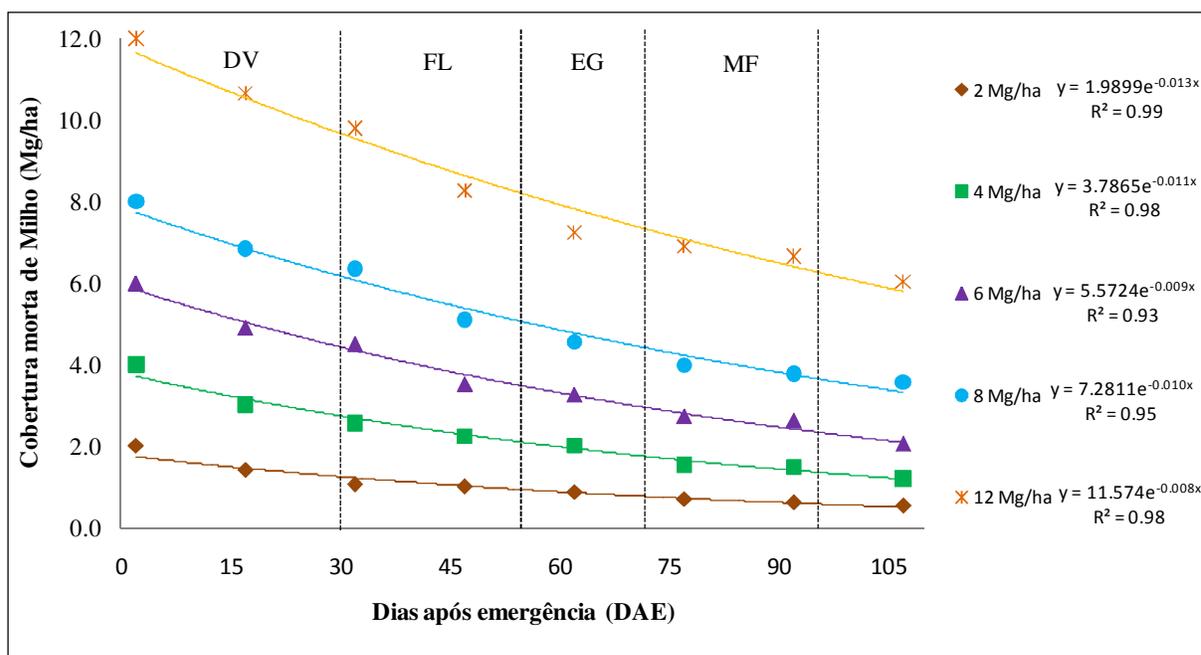


Figura 2. Decomposição da cobertura morta de milho nos estádios da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto.

Isso ocorreu em função das menores perdas de massa de cobertura morta ao longo de todo o ciclo da cultura do feijoeiro encontradas nesse tratamento aos demais tratamentos. As quantidades de 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho depositadas sobre a superfície do solo foram reduzidas em 74 %, 70 %, 66 %, 55% e 50% no final do

experimento, resando, respectivamente, as quantidades de 0,5; 1,2; 2,0; 3,6 e 6,0 Mg ha⁻¹ na superfície do solo.

A estimativa da quantidade de cobertura morta resante na superfície do solo é importante no planejamento da cultura subsequente, principalmente, no que se refere à conservação da umidade do solo, pois para ALVARENGA et al. (2001) a quantidade de 6,0 Mg ha⁻¹ é considerada satisfatória com relação à essa conservação, ou seja, a mesma obtida no final do ensaio para o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹. SÁENZ et al. (2008) trabalhando com o mesmo tipo de cobertura nas quantidades de 4,0; 6,0 e 10,0 Mg ha⁻¹ encontraram valores de perda de massa menores em relação aos obtidos no presente ensaio, possivelmente, pela metodologia utilizada e também pelo menor número de precipitações ocorridas naquele ano, sendo que o aporte hídrico favorece a atividade dos micro-organismos e a decomposição dos resíduos deixados sobre a superfície do solo. Nesse trabalho, os autores concluíram que quanto maior a quantidade de cobertura morta no solo menor sua taxa de decomposição, cujos valores variaram de 0,007 a 0,025 g dia⁻¹, sendo esse último superior aos encontrados no presente ensaio.

BERTOL et al. (2004) avaliando a decomposição do milho com 8,77 Mg ha⁻¹ distribuídos na superfície do solo constataram uma redução que variou de 40 a 53 % da quantidade inicial avaliada após 10 meses de avaliação. Esses valores estão abaixo dos encontrados no presente ensaio, provavelmente, devido às menores taxas de decomposição encontradas que variaram de 0,0017 a 0,0025 g dia⁻¹ e também da época das avaliação. Esses mesmos autores na avaliação da taxa de decomposição do milho constataram uma redução de 64 % de sua massa aos 180 dias, sendo que no presente ensaio as perdas acima de 60% ocorrem aos 77 DAE (estádio EG) para os tratamentos com 2,0 e 4,0 Mg ha⁻¹ e aos 107 DAE para os tratamentos com 6,0 Mg ha⁻¹.

Utilizando a mesma metodologia do presente ensaio, TORRES et al. (2005) ao avaliar a decomposição de várias espécies de cobertura morta com 2,5 Mg ha⁻¹ de resíduos deixados sobre o solo, observaram as maiores perdas de massa, que foram de 55 e 59 %, provenientes dos restos culturais de braquiária, nas parcelas com milho e soja, respectivamente, nos primeiros 42 dias de instalação das coberturas no campo. No presente ensaio para o mesmo período de avaliação, que corresponde aos 45 dias após a instalação das coberturas (47DAE), os valores encontrados foram inferiores aos obtidos por TORRES e al.

(2005) para todos os tratamentos avaliados, com o maior valor encontrado no tratamento com 2,0 Mg ha⁻¹ (48%). Em um estudo de decomposição de várias espécies vegetais, BOER et al. (2008) indicaram a cultura do milho, cultivar ADR 500 e capim pé de galinha como boas opções para plantio em safrinha, para a formação de palha e cobertura do solo, por apresentarem maiores produções de fitomassa e menores taxas de decomposição. Da mesma forma que no presente ensaio, isto mostra que a quantidade deixada sobre a superfície do solo influencia na decomposição, e isto pode vir a contribuir para a redução da temperatura do solo e para um maior armazenamento de água para as plantas, podendo resultar em incrementos de produtividade.

Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados os valores médios de temperatura do ar e do solo; e umidade do solo, respectivamente, nos estádios de desenvolvimento da cultura do feijoeiro. Observa-se pela Tabela 2, que a temperatura do ar apresentou uma amplitude com baixa variação, em torno de 5°C, que provavelmente não tenha influenciado na decomposição do milho, já que o ensaio foi realizado na época do inverno e em um curto período de tempo.

Tabela 2. Valores médios de temperatura do ar (Ta) e temperatura do solo (Ts) nos diferentes tratamentos com cobertura morta de milho e estádios da cultura do feijoeiro, na profundidade de 0,20 m, em sistema plantio direto.

Estádios	Ta (°C)	Temperatura do solo (°C)					
		Cobertura morta de milho (Mg ha ⁻¹)					
		0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	12,0
2 (DV)	23,0	23,4b	22,8b	21,9a	22,1a	21,7a	21,2a
17(DV)	22,0	22,7c	21,3b	21,0b	20,3a	20,2a	20,4a
32(DV)	22,0	21,9c	21,3b	20,6b	21,0b	19,7a	19,7a
47(FL)	18,0	17,3b	16,3a	16,7a	16,3a	16,1a	16,3a
62(EG)	20,0	19,6c	18,3b	18,7b	19,4c	17,2a	17,2a
77(EG)	20,0	19,0c	17,7b	17,9b	18,1b	17,2a	16,7a
92(MF)	23,0	20,5b	21,0b	20,2b	18,0a	17,7a	17,7a
107(MF)	22,0	21,1d	20,9d	20,2c	19,6b	18,2a	18,3a
Média	21,3	20,7	20,0	19,7	19,4	18,5	18,4

DV: Desenvolvimento vegetativo; FL: Florescimento; EG: Enchimento de grãos; MF: Maturação Fisiológica. Letras comparam os tratamentos na linha (Scott-Knott a 5%).

Com relação à temperatura do solo, nota-se que o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ apresentou o menor valor médio ao longo do ciclo da cultura, com valor de 18,4 °C, sendo em torno de 2,3°C menor que o obtido no tratamento sem cobertura morta e bem próximo ao obtido no com 8,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta. Esse fato pode ser explicado pela maior

quantidade de resíduo sobre a superfície do solo ao longo do ciclo do feijoeiro. Resultado semelhante foi encontrado por BERTOL et al. (2004) para a quantidade de 8,77 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, porém em um maior tempo de avaliação e sem cultura instalada, quando comparado ao tratamento sem cobertura.

No estágio de DV os tratamentos com 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹ apresentaram os menores valores de temperatura do solo, diferindo-se estatisticamente em relação aos demais somente aos 32 DAE, período em que os valores encontrados para esses tratamentos ficaram abaixo de 20 °C. No estágio de FL, com a temperatura média do ar na faixa de 18°C em um dia de pouca radiação solar, não foi observada diferença estatística significativa entre os tratamentos com cobertura morta. Porém, todos esses tratamentos diferiram-se estatisticamente em relação ao tratamento sem cobertura.

No estágio de EG, mesmo com quase total sombreamento da superfície do solo pelas plantas do feijoeiro, houve diferença estatística dos tratamentos com os maiores valores de cobertura morta (8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹) em relação às menores quantidades, incluindo a sem cobertura. Nota-se que, nesse período, a temperatura do solo nos tratamentos com essas quantidades de cobertura foram em torno de 2,0°C maiores que a obtida no tratamento sem cobertura morta de milho. O mesmo não ocorrendo no trabalho realizado por SILVA et al. (2006), que avaliando diferentes sistemas de preparo do solo na cultura do feijoeiro, verificaram que, quando as plantas sombreiam completamente o solo, não há diferenças nos valores obtidos de temperatura do solo.

No estágio de MF, observou-se que os tratamentos com as maiores quantidades de cobertura apresentaram os menores valores de temperatura do solo, diferindo-se estatisticamente dos outros tratamentos avaliados, exceto para o de 6,0 Mg ha⁻¹, aos 92 DAE. Esses mesmos tratamentos não se diferiram estatisticamente entre si nesse mesmo estágio de avaliação

BRAGAGNOLO e MIELNICZUK (1990) trabalhando com diferentes quantidades de cobertura morta de trigo (0,0; 2,5; 5,0 e 7,5 Mg ha⁻¹) observaram que houve uma redução na temperatura do solo variando de 0,6 a 1,1°C por Mg ha⁻¹ de massa seca depositada na superfície. Os mesmos autores encontraram uma redução da temperatura do solo de 8,5 °C (de 37,1 °C para 28,6 °C) no solo com 7,5 Mg ha⁻¹ de cobertura morta, retendo 10% a mais de água, quando comparado ao solo sem cobertura morta. No presente ensaio, trabalhando-se

com a cobertura de milho, porém, com quantidade semelhante ($8,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) a diferença encontrada foi de $2,3 \text{ }^\circ\text{C}$, considerando todo o ciclo da cultura do feijoeiro.

Maiores diferenças de temperatura do solo em função da cobertura morta na sua superfície também foram verificadas por GASPARIN et al. (2005), que trabalhando com duas quantidades de cobertura morta de aveia e solo sem cobertura, observaram temperaturas superiores a 40°C a $0,02 \text{ m}$ de profundidade, com amplitude térmica de $20 \text{ }^\circ\text{C}$, em relação ao solo sem cobertura. Segundo os autores, para a quantidade de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cobertura morta de aveia, a temperatura máxima foi inferior a 31°C , e a amplitude térmica diária foi reduzida para menos de 10°C . No presente ensaio, para a mesma quantidade de cobertura morta de milho, essa redução foi de $0,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Segundo os mesmo autores, quanto maior a densidade da cobertura morta sobre o solo, menor é a temperatura no seu perfil. Resultados semelhantes foram obtidos no presente ensaio, na qual se observou os menores valores de temperatura do solo com o aumento da quantidade de cobertura morta de milho ao longo de todo o ciclo da cultura do feijoeiro. Cabe ressaltar, que diferentes profundidades amostradas, tipos e quantidades de coberturas avaliadas, diferentes classes de solo e época de condução do ensaio podem influenciar nos resultados obtidos de temperatura do solo.

Em trabalho realizado por SÁENZ (2008) na avaliação da temperatura do solo com diferentes quantidades de cobertura morta de milho durante o ciclo da cultura do feijoeiro, constatou-se que os menores valores de temperatura do solo e amplitude térmica foram obtidos no tratamento com maior quantidade de cobertura morta ($10,0 \text{ Mg ha}^{-1}$). Os tratamentos com cobertura morta de milho apresentaram os menores valores de amplitude térmica quando comparado ao tratamento sem cobertura morta, na camada mais superficial do solo, praticamente durante todo o ciclo da cultura do feijoeiro.

Na avaliação da temperatura do solo sob diferentes tipos de cobertura vegetal, OLIVEIRA et al. (2005) observaram que a cobertura vegetal de milho proporcionou valores de temperatura do solo variando de $24,1$ a $25,5^\circ\text{C}$, dependendo da profundidade de amostragem e ângulo de plantio, tendo-se como referência o eixo leste-oeste, em comparação a tratamento sem cobertura, cujo maior valor obtido foi de $23,3^\circ\text{C}$. Esses resultados foram superiores aos obtidos no presente ensaio, que teve como cobertura vegetal a cultura do feijão e também a cobertura morta de milho na superfície, resultando em maior proteção do solo.

Para PEREIRA et al. (2002), a presença da cobertura morta na superfície do solo

modifica o balanço de energia, pois a cobertura morta intercepta a radiação solar antes de atingir o solo. Ao passo que os solos desnudos ficam sujeitos a grandes variações térmicas diárias nas camadas mais superficiais, principalmente, em dias de alta irradiância.

Os resultados obtidos de temperatura do solo estão coerentes com os dados de umidade do solo, pois a cobertura morta na sua superfície, em SPD, reduz os valores de temperatura, com reflexos positivos na disponibilidade de água no solo. A Tabela 3 apresenta os valores médios de umidade do solo para todos os tratamentos avaliados.

Tabela 3. Valores de umidade do solo nos diferentes tratamentos com cobertura morta de milho e estádios da cultura do feijoeiro, na profundidade de 0,20 m, em sistema plantio direto.

Estádios	Umidade do solo (%)					
	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	12,0
2 (DV)	37,9a	38,6a	38,9a	38,9a	39,8b	41,3c
17(DV)	33,2a	35,0a	34,6a	34,9a	34,7a	37,5b
32(DV)	38,5a	39,4a	40,2b	39,3a	40,8b	41,7b
47(FL)	32,4a	34,5b	35,1b	33,3a	33,2a	34,5b
62(EG)	36,0a	35,7a	35,8a	37,4b	37,4b	37,9b
77(EG)	38,3a	39,8a	39,4a	40,3a	40,4a	41,3a
92(MF)	32,6a	31,1a	31,5a	32,5a	34,3b	34,4b
107(MF)	33,1a	33,5a	33,5a	34,0a	34,9b	34,8b
Média	35,3	36,0	36,0	36,3	37,0	38,0

DV: Desenvolvimento vegetativo; FL: Florescimento; EG: Enchimento de grãos; MF: Maturação Fisiológica. Letras comparam os tratamentos na linha (Scott-Knott a 5%).

Observa-se pela Tabela 3 que a quantidade de cobertura morta na superfície favoreceu o armazenamento da umidade no solo, com os maiores valores obtidos nos tratamentos com 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹, na qual foram encontrados os valores médios durante todo o período de ensaio de 37 % e 38 %, respectivamente, valores esses, acima da umidade correspondente à capacidade de campo (36%), embora os demais tratamentos com cobertura também tenham apresentado valores médios de umidade próximos a esse valor, indicando que a cultura não sofreu déficit hídrico severo, na maior parte do seu ciclo de desenvolvimento. Os valores médios encontrados nos tratamentos com as maiores quantidades de cobertura foram superiores em 4,6 % e 7,1 %, respectivamente, quando comparados ao tratamento sem cobertura. E inferiores aos obtidos por BERTOL et al. (2004) em 13 %, referente ao tratamentos com 8,77 Mg ha⁻¹ com e sem nitrogênio.

Ainda pela Tabela 3, nota-se que a umidade no estágio de DV foi maior no tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹, diferindo-se estatisticamente dos demais tratamentos. Nesse estágio, devido ao porte reduzido das plantas, a cobertura morta tem maior influência na conservação da umidade, e que por estar mais exposta na superfície do solo atua mais fortemente na redução da evaporação, mostrando que a maior quantidade de cobertura morta de milho foi a que apresentou os maiores valores de umidade do solo nesse importante estágio de estabelecimento da cultura.

Resultados semelhantes foram obtidos por KNIES (2010) que avaliando o efeito da cobertura morta de aveia preta na umidade do solo observaram que as quantidades de 3,0 e 6,0 ha⁻¹ apresentaram maior armazenamento de água quando comparado ao solo sem cobertura morta, durante a fase inicial de desenvolvimento da cultura do milho, até os 48 dias após a semeadura. Próximo da área do ensaio e na mesma época de avaliação, BIZARI (2007) e ROQUE et al (2008), trabalhando com a cultura do feijoeiro irrigado observaram que o SPD com aproximadamente 8,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho apresentaram os maiores valores de umidade do solo em relação ao sistema convencional sem cobertura, resultando em menor lâmina de água aplicada na irrigação ao longo do ciclo da cultura.

No estágio de FL e EG, as plantas de feijoeiro começam a cobrir a superfície do solo, diminuindo a incidência de radiação solar. Nesse momento nota-se uma menor influência da quantidade de cobertura morta na superfície do solo com relação à conservação de umidade, com exceção no início do EG, em que se observa diferença estatística significativa entre os tratamentos com as maiores quantidades de cobertura, incluindo a de 6,0 Mg ha⁻¹ e os demais tratamentos avaliados. Mesmo com a cobertura do solo pelas plantas, constata-se que os maiores valores de umidade são obtidos nos tratamentos referidos anteriormente, com valores variando em torno de 37,4 % a 41,3 % no estágio de EG, com os maiores valores obtidos no tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹.

No estágio de MF os maiores valores de umidade foram encontrados nos tratamentos com 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹, apresentando diferença estatística significativa em relação aos demais tratamentos. Nota-se que até o final do estágio de MF, a cobertura morta, de certa forma, contribui para um aumento da disponibilidade de água no solo. Nesse estágio, como as plantas estão em processo de desfolhagem e maturação de grãos, a cobertura morta novamente volta a

ficar mais exposta na superfície do solo, atuando na conservação da umidade, mesmo com a prática da irrigação sendo cessada e a absorção de água pelas plantas reduzida.

Avaliando a influência da cobertura morta na conservação da umidade do solo em SPD, DERPSCH et al. (1991) constataram que a maior disponibilidade de água no solo nesse sistema de manejo se deve, principalmente, à diminuição das perdas por evaporação e ao aumento da taxa de infiltração, em função da cobertura morta sobre a superfície do solo. MELO FILHO e SILVA (1993) em milho; ANDRADE et al. (1994) em soja; STONE e SILVEIRA (1999), STONE e MOREIRA, (2000), ANDRADE et al. (2002), STONE (2005), ROQUE et al. (2008) e BIZARI et al. (2009) no feijoeiro, verificaram maior economia de água no SPD, em comparação a outros sistemas de preparo sem cobertura morta na superfície. O rendimento do feijoeiro é bastante afetado pela condição hídrica do solo, sendo que a deficiência ou o excesso de água nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas podem causar redução na produtividade em diferentes proporções.

A Tabela 4 apresenta os valores médios de produtividade de grãos e de seus componentes na cultura do feijoeiro irrigado em SPD com diferentes quantidades de cobertura morta. Nota-se pela Tabela 4 que a maior produtividade de grãos foi obtida pelas plantas no tratamento com 12 Mg ha⁻¹, 1,41 t ha⁻¹, bem próximo ao obtido pelas plantas do tratamento com 8,0 Mg ha⁻¹ e superior em 25,5; 18,4 e 8,7 % em relação ao encontrado nas plantas dos tratamentos com 0,0; 4,0 e 6,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, respectivamente.

Considerando todos os tratamentos avaliados, observa-se que os valores estão abaixo da estimativa para a produção de grãos do feijoeiro de inverno no Estado de São Paulo, que está em torno de 2,0 t ha⁻¹, segundo CASER et al. (2010) e também da produtividade esperada para a variedade Pérola (2,5 t ha⁻¹). Provavelmente, esse fato se deve ao excesso de chuvas durante o ensaio, resultando em uma maior incidência de doenças fúngicas, o que afetou diretamente a produção de grãos da cultura. BIZARI et al. (2009) trabalhando na mesma área de estudo e com a mesma variedade em SPD com a quantidade de 8,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, os autores encontraram resultado superior em quase 40 % ao obtido pelas plantas do tratamento com a maior quantidade de cobertura do presente ensaio.

Tabela 4. Valores médios * de produtividade de grãos, número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagem (NG), número de grãos por planta (NGP), peso de grãos (PG) e massa de 100 grãos (M100) na cultura do feijoeiro em sistema plantio direto.

Tratamentos	Produtividade (t ha ⁻¹)	Componentes de produtividade				
		NV	NGV	NGP	PG (g)	M100 (g)
0,0	1,05	8,5a	4,7a	40,0a	10,5a	24,4a
2,0	1,15	9,2a	4,7a	42,8a	11,5a	23,6a
4,0	1,33	11,4b	4,7a	53,8b	13,3a	24,9a
6,0	1,26	10,4b	4,7a	48,9b	12,6a	26,8b
8,0	1,38	10,7b	4,7a	50,6b	13,8a	27,4b
12,0	1,41	11,7b	4,6a	54,5b	14,1a	28,5c

* Médias, na mesma coluna, seguidas de letra igual, não diferem em nível de 5%, pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Situação semelhante foi verificada no trabalho realizado por STONE e MOREIRA (2000) que encontraram para a produtividade do feijoeiro em SPD com aproximadamente 6,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, valor quase 46,0 % maior que o maior valor encontrado no presente ensaio.

Avaliando a produtividade da cultura do feijoeiro, variedade pérola, ANDRADE et al (2002) encontraram valores de 2,7 t ha⁻¹ a 2,9 t ha⁻¹, com o maior valor obtido no sistema convencional. Esses valores também ficaram bem acima aos obtidos pelas plantas de todos os tratamentos estudados. Próximo a área do presente estudo, SÁENZ et al. (2008) constataram que o tratamento com a maior quantidade de resíduo de milho (10,0 Mg ha⁻¹) e a maior quantidade de nitrogênio na superfície do solo (120,0 kg ha⁻¹) proporcionou a maior produtividade do feijoeiro, com valor de 3,3 t ha⁻¹, sendo 57,2 % superior ao obtido no presente ensaio para o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta.

ROQUE et al. (2008) trabalhando com a cultura do feijoeiro observaram que as plantas no tratamento SPD irrigado obtiveram produtividade média superior em 17 % quando comparadas às plantas do tratamento sem cobertura, com valor de 3,4 Mg ha⁻¹. Por outro, nas parcelas não irrigadas, com a lâmina de água proveniente somente da precipitação, os mesmos autores constataram uma maior produtividade nas plantas no SPD, enfatizando que o não revolvimento do solo e a manutenção da cobertura morta na sua superfície propiciaram maior disponibilidade de água para as plantas, aumentando sua produtividade. O mesmo ocorrendo

no presente ensaio, que apesar das baixas produtividades encontradas nos tratamentos avaliados e o excesso de chuva, observou-se que as maiores quantidades de cobertura morta na superfície do solo, por atuarem mais intensamente na redução da evaporação, disponibilizando maiores quantidades de água para as plantas, apresentaram os maiores valores de produtividade em relação ao tratamento sem cobertura, cujo valor foi de 1,05 t ha⁻¹, que representa 360,0 kg ou 6,0 sacos de 60,0 kg de feijão produzido a menos que as plantas do tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹, considerando que a maior parte da lâmina de água aplicada também foi proveniente da precipitação.

Na avaliação dos componentes da produtividade, observa-se que houve diferença estatística significativa entre os tratamentos para o NV. O maior valor de NV foi obtido pelas plantas do tratamento com a maior quantidade de cobertura morta (11,7), porém não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, com exceção daqueles com 0,0 e 2,0 Mg ha⁻¹. Nesse caso, apresentando em torno de 3,0 vagens a mais que as plantas desses dois últimos tratamentos. Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos com 4,0; 6,0 e 8,0 Mg ha⁻¹, cujos valores ficaram em torno de 11,0 vagens por planta. O NV nas plantas do tratamento 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta foi bem próximo ao obtido por BIZARI et al. (2009), que encontraram o valor de 12,08 para a cultura do feijoeiro irrigado em SPD. E também bem próximo aos obtidos por ANDRADE et al. (2002) com valores variando de 9,6 a 13,2. Por outro lado, CALVACHE et al. (1997) encontraram na cultura do feijoeiro, variedade Imbabello “INIAP 404”, em tratamento sem cobertura morta, valores de NV entre 15,5 a 24,1. Porém, nesse caso, os autores além de trabalhar com outra variedade também verificaram o efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação e níveis de fertilização, que podem ser fatores tão importantes quanto às diferentes quantidades de cobertura estudadas no presente ensaio, na produção de grãos e nos componentes de produtividade.

O número de grãos por vagem (NGV) foi praticamente igual entre as plantas de todos os tratamentos avaliados, não sendo encontrada diferença estatística significativa para esse componente de produtividade, com valores obtidos em torno de 4,7 grãos por vagem. Esse tipo de resultado já era esperado, pois se trata de uma característica da própria variedade, produzir em torno de 5,0 grãos por vagem, independentemente do sistema de cultivo que as plantas sejam submetidas. Esses valores estão entre os encontrados por BIZARI et al. (2009) e ANDRADE et al. (2002) que trabalharam com a mesma variedade em estudo. E um pouco

superior aos obtidos por CALVACHE et al. (1997), o que pode ser explicado pelo fato desses últimos autores terem trabalhado com uma outra variedade de feijão.

Ainda com relação aos componentes NV e NGV, SÁENZ et al. (2008) não encontraram diferença estatística entre os tratamentos com cobertura morta de milho, com o maior valor obtido de 13,3 vagens por planta e de 5,2 grãos por vagem. O primeiro valor representa quase 2,0 vagens a mais que o obtido no tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ do presente ensaio. Para o NGV, o valor está bem próximo ao obtido no presente ensaio para todos os tratamentos avaliados. No caso de NGP, foi constatada diferença estatística significativa entre os tratamentos com 4,0; 6,0; 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹ e os tratamentos com 0,0 e 2,0 Mg ha⁻¹. O maior valor obtido foi nas plantas do tratamento com a maior quantidade de cobertura morta de milho (54,5) com incremento de quase 15,0 grãos por planta em relação ao tratamento sem cobertura e bem próximo ao obtido pelas plantas do tratamento com 4,0 Mg ha⁻¹ (53,8). No estágio de florescimento da cultura, a umidade do solo nesse último foi bem próximo ao encontrado no tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹, e maior que nos demais tratamentos, o que pode ter favorecido o consumo de água pelas plantas nesse estágio, considerado crítico para a cultura caso ocorra o estresse hídrico. Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos com 0,0 e 2,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho com relação ao NGP, da mesma maneira que para o NV.

Para o componente PG, observa-se que os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si. O maior valor encontrado foi no tratamento com a maior quantidade de cobertura morta, com valor de 14,1 e o menor no tratamento sem cobertura, cujo valor foi de 10,5. Em se tratando do componente M100, observa-se que o maior valor encontrado foi nas plantas do tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ (28,5 g), nesse caso, apresentando diferença estatística com relação às plantas dos demais tratamentos. As plantas dos tratamentos com 6,0 e 8,0 Mg ha⁻¹ não apresentaram diferença estatística significativa entre si, com valores em torno de 27,0 g, porém diferiram estatisticamente das plantas dos tratamentos com 0,0; 2,0 e 4,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho. O menor valor encontrado foi obtido pelas plantas do tratamento com 2,0 Mg ha⁻¹ (23,6 g). BIZARI (2007) encontrou valores de M100 variando de 26,7 a 28,7 e ANDRADE et al. (2002) valores de 28,7 e 28,4, ambos em SPD. PEREIRA et al. (2004) observaram valores em torno de 28,5, no sistema de manejo de solo convencional. Esses resultados estão bem próximos aos obtidos no presente ensaio, considerando os tratamentos

com quantidades de cobertura morta acima de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$. Em trabalho realizado por SÁENZ et al. (2008) os autores encontraram valores variando de 21,2 a 22,7g para todas as coberturas avaliadas, sendo inferiores aos obtidos no presente ensaio para todos os tratamentos avaliados e em torno de 23 % inferior ao encontrado no tratamento com a maior quantidade de cobertura. A produtividade de grãos de uma cultura e de seus componentes de produção é específica para cada local de cultivo, pois os valores obtidos podem variar em função das características locais do ensaio, variedades estudadas, sistemas de preparo do solo, manejo da irrigação, lâmina de água aplicada, tratos culturais, ocorrências de pragas e doenças, etc., além da variabilidade do solo que influencia diretamente nos componentes avaliados.

Nesse ensaio foi possível observar que mesmo com o excesso de chuva, o tratamento com a maior quantidade de cobertura morta do solo apresentou os menores valores de decomposição, o que resultou em maior quantidade de material vegetal na superfície do solo, menor evaporação e conseqüentemente, maior quantidade de água armazenada para as plantas, praticamente, durante todo o seu ciclo de desenvolvimento. Contribuindo para o incremento de produtividade das plantas nesse tratamento. A presença da quantidade de $12,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cobertura morta de milho foi essencial, pois além dos benefícios apresentados durante a safra de inverno, a quantidade elevada que restou na superfície do solo após a colheita do feijoeiro poderá ser aproveitada na cultura subsequente, plantada na época do verão, principalmente no controle de erosão e também no maior armazenamento de água para as plantas.

CONCLUSÃO

Para as condições em que foi realizado esse ensaio, conclui-se que:

1. Quanto maior a quantidade de cobertura morta de milho na superfície do solo menor a taxa de decomposição dessa cobertura durante o ciclo da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto.
2. Os tratamentos com 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho apresentaram os menores valores médios de temperatura e maiores de umidade do solo, no ciclo da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, quando comparado aos demais tratamentos.
3. As plantas no tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ apresentaram o maior valor médio de produtividade de grãos e de seus componentes, com exceção do número de grãos por vagem, que é característico da própria variedade.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.25-36, 2001.

AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996, 11p. (Boletim 100).

ANDRADE, A.P.; WOLFE, D.W.; FERERES, E. Sistemas de preparo do solo: I. Efeito sobre o conteúdo de água e temperatura do solo na cultura da soja. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 10, 1994, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.184-185. 1994.

ANDRADE, R. da S.; MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.; CARVALHO, J. de A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p. 35-38, 2002.

BERTOL, L.; LEITE, D.; ZOLDAN, JR.W.A. Decomposição dos resíduos de milho e variáveis relacionadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.369-375, 2004.

BIZARI, D.R. **Diferentes sistemas de cultivo na economia de água e produtividade do feijão de inverno irrigado**. 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

BIZARI, D.R.; MATSURA, E.E.; ROQUE, M.W.; SOUZA, A.L. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v.39, n.7, p. 2073-2079, 2009.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; FILHO, A.C.; PIRES, F.R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.843-851, 2008.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNIKZUK, L. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, p.369-374, 1990.

CALEGARI, A.; MONRADO, A.; BULISANI, E.A.; da COSTA, M.B.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. 1993. Aspectos gerais da adubação verde. In COSTA, M.B.B., da (Coord.). Adubação verde no Sul do Brasil. 2 ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, p.1-56.

CALVACHE, A.M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O.O.S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso da água em uma cultura de feijão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.54, n.3, p. 232-240, 1997.

CASER, D.V.; CAMARGO, A.M.M.P. de; BUENO, C.R.F.; CAMARGO, F.P. de; ÂNGELO, J.A.; OLIVETTE, M.P.de A.; FRANCISCO, V.L.F. dos S. Previsões e estimativas das safras agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2010/11, Intenção de Plantio, e Levantamento Final, Ano Agrícola 2009/10. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.40, n.11, 2010.

CERETTA, A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLLETO, N.; SILVEIRA, M.J. da. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de coberturas de solo e milho sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.49-54, 2002.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, V. Controle de erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: Dt. Ges. Für Techn. Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Fundação IAPAR, 1991. 292p.

DOOREMBOS, J.; KASSAN, A.H. **Field response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Europa, 1997, 212p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1999, 412p.

ESPÍNDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. de, TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.2, p.321-328, 2006.

FRANCISCO, E.A.B.; CÂMARA, G.M.S.; SEGATELLI, C.R. Estado nutricional e produção do capim pé-de-galinha e da soja cultivada em sucessão em sistema antecipado de adubação. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.2, p.259-266, 2007.

FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C.; COSTA, L.C. Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 85-91, 2004.

GASPARIM, E.; RICIERI, R.P.; SILVA, S.L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.27, p.107-115, 2005.

JUNQUEIRA, A.M.; ANDRE, R.G.B.; PINHEIRO, F.M.A. Consumo de água pelo feijoeiro comum, cv. Carioca. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.12, n.1, p.51-56, 2004.

KLIEMANN, H.J.; BRAZ, A.J.P.B.; SILVEIRA, P.M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies vegetais de cobertura em Latossolo Vermelho distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.36, n.1, p.21-28, 2006.

KNIES, A.E. C.M.S. Temperatura e umidade de um solo franco arenoso cultivado com milho, Santa Maria, 103p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

MELO FILHO, J.F.; SILVA, J.R.C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um Podzólico Vermelho-Amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, p.291-297, 1993.

MURAISHI, C.T.; LEAL, A.J.F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L.R.; GOMES JUNIOR, F.G.G. Manejo de espécies vegetais de cobertura de solo e produtividade do milho e da soja em semeadura direta. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.2, p.199-207, 2005.

OLIVEIRA, M. L. de; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M. da; SCHAEFER, C.E.G.R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.535-539, 2005.

OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J.; MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1079-1087, 2002.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia. Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Agropecuária. 2002. 107p.

PEREIRA, J.C.R., RODRIGUES, R.A.F., ARF, O., ALVAREZ, A.C.C. Influência do manejo do solo, lâminas de irrigação e doses de nitrogênio na produtividade do feijoeiro. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.26, n.1, p.13-19, 2004.

ROQUE, M.W.; MATSURA, E.E.; BIZARI, D.R. Uniformidade de distribuição da água e variação da umidade do solo durante o ciclo da cultura do feijoeiro irrigado e de sequeiro, sob plantio direto e convencional. In: Taller Internacional- Red Riegos Cyted, 2008, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Colibri, p. 243-254, 2008.

SÁENZ, C.M.S.; SOUZA, Z.M.; MATSURA, E.E.; CAMPOS, M.C.C. Decomposição do resíduo de milho e produtividade do feijão irrigado. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campinas Grande, v.8, n.2, p.207-213, 2008.

SATURNINO, H.M.; LANDERS, J.N. O meio ambiente o plantio direto. Goiânia: APDC, 1997, 18p.

SCHAEFER, M.J.; REICHERT, J.M., REINERT, D.J.; CASSOL, E.A. Erosão em entressulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.431-441, 2001.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 391-399, 2006.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Irrigação. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: UFV, 1998, p.181-220.

STONE, L.F. Irrigação do feijoeiro e do arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo fundo, v.14, n.86, p. 31-34, 2005.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos do sistema de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p. 835-841, 2000.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.83-91, 1999.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C.; FABIAN, A.J.
Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um
solo do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.4, p.609-618, 2005.

Publicação V

EQUIPAMENTO PORTÁTIL PARA SONDA DE TDR NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO E REDISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SOLO NA CULTURA DO FEIJOEIRO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

RESUMO

A Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) tem contribuído em pesquisas na agricultura irrigada, pela facilidade de obtenção, aquisição e armazenamento de dados para a estimativa da umidade do solo e condutividade elétrica. Porém, é pouco utilizada em pesquisas de campo, devido principalmente, ao seu alto custo e pelas dificuldades de operação. O aprimoramento das técnicas de monitoramento de água no solo visando à implantação do manejo da irrigação nas culturas irrigadas, associadas às técnicas conservacionistas, como o sistema plantio direto (SPD), pode vir a contribuir com a preservação dos recursos hídricos na agricultura. O objetivo desse trabalho foi verificar o desempenho de um equipamento portátil para sondas de TDR, desenvolvido na FEAGRI-UNICAMP em parceria com CCA/UFSCar, no manejo da irrigação e redistribuição da água no interior do solo, na cultura do feijoeiro em SPD sob diferentes quantidades de cobertura morta de milho. A construção do equipamento portátil e a forma de aquisição dos dados foram baseadas no *GPS Portable Water Content Sensor*, da Universidade Estadual de Utah, EUA. Os resultados indicaram que o equipamento apresentou bom desempenho no campo, podendo ser utilizado no manejo de irrigação e avaliação da redistribuição da água no interior do solo. Os coeficientes de uniformidade de redistribuição da água no perfil do solo foram maiores que os obtidos na superfície para todos os tratamentos avaliados, sendo que as maiores quantidades de cobertura morta de milho apresentaram um incremento nos coeficientes de uniformidade de redistribuição da água no interior do solo após as irrigações.

Palavras-chave: culturas irrigadas; reflectometria no domínio do tempo; monitoramento da umidade do solo; coeficientes de uniformidade.

PORTABLE EQUIPMENT FOR TDR PROBE FOR IRRIGATION MANAGEMENT AND SOIL
WATER REDISTRIBUTION IN THE DRY BEAN CROP UNDER NO-TILLAGE SYSTEM

ABSTRACT

The Reflectometry Time Domain (TDR) has contributed to research in irrigated agriculture due to easy production, acquisition and storage of data for soil water content and electrical conductivity estimation. However, it's not very used in field research, mainly due to its high cost and operation difficulties. It's necessary to improve the technique for soil water monitoring aiming at the implementation of the irrigation management in irrigated crops, which associated with conservation techniques, such as no-tillage system, may contribute to the preservation of the water resources in agriculture. Therefore, the objective of this work was to evaluate the performance of portable equipment for TDR probes, developed in FEAGRI-UNICAMP in partnership with CCA/UFSCar for irrigation management and soil water redistribution, in the irrigated bean crop under no-tillage system with different amounts of maize mulch. The portable equipment building wad basead on the *GPS Portable Water Content Sensor* equipment developed at Utah State University. The results indicated that the portable equipment for TDR probe presented operation good performance and can be used for irrigation management and evaluation of soil water redistribution. The uniformity coefficient values of soil water redistribution were higher than those obtained on the soil surface for all treatments evaluated, and the highest amounts of maize mulch showed a small increase in the uniformity coefficient values of soil water redistribution after the irrigations.

Key words: irrigated crops; time domain reflectometry; soil moisture monitoring; uniformity coefficients.

INTRODUÇÃO

A prática da irrigação nos dias atuais não deve ser vista apenas como uma técnica utilizada para eliminar os riscos de perdas ocasionadas por estiagens ou secas prolongadas, mas também como uma tecnologia de alto nível, capaz de acelerar a modernização da agricultura, por meio de ganhos elevados de produtividade com uma maior eficiência no uso da água. Por outro lado, a irrigação tem sido apontada, ao longo das últimas décadas, como a grande consumidora de água e segundo FRIZZONE (1992) com o seu aumento esse recurso tende a se tornar cada vez mais limitante, sendo necessária a implantação do manejo correto da irrigação, técnicas conservacionistas de manejo de solo e da água e instalação de sistemas que operem com altos níveis de uniformidade e eficiência, de forma a otimizar o seu uso na agricultura irrigada.

Dessa forma, torna-se imprescindível a conscientização do produtor rural com relação ao manejo racional da água e ao uso de técnicas conservacionistas que mantenham a umidade do solo, como por exemplo, o sistema plantio direto (SPD). Esse sistema tem seu fundamento na mínima mobilização do solo, na manutenção de cobertura morta que permanece sobre ele e na rotação de culturas. É a forma de manejo que envolve todas as técnicas recomendadas para aumentar a produtividade conservando ou melhorando continuamente o ambiente (CURY, 2000). Diversos trabalhos (SILVEIRA e STONE, 1994; STONE et al., 2006; BIZARI et al., 2009) têm mostrado que a prática do manejo racional da irrigação associada ao SPD leva o agricultor a uma produção igual ou superior, em relação ao sistema convencional (PC), com menor consumo de água, evitando assim, o desperdício desse recurso, além de contribuir para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

Também se deve considerar o desempenho do sistema de irrigação, sendo a uniformidade de distribuição de água um dos principais parâmetros utilizado na sua avaliação. O coeficiente de uniformidade exprime a variabilidade da lâmina de água aplicada na superfície do solo, sendo influenciada, principalmente, pelo espaçamento entre os emissores, velocidade do vento e pressão de serviço. REZENDE et al. (2000), avaliando a uniformidade de distribuição da lâmina aplicada na irrigação por aspersão utilizando os mesmos modelos de aspersores concluíram que a uniformidade diminui com o aumento do espaçamento entre eles. Resultados semelhantes foram obtidos por FRIZZONE et al. (2007).

Para MATEOS et al. (1997) esse tipo de avaliação é insuficiente para quantificar o efeito da desuniformidade da irrigação na produtividade da cultura, pois não considera as características do solo. FRIZZONE et al. (2007) trabalhando com a cultura do feijoeiro irrigado não encontraram relação da uniformidade máxima de aplicação de água na superfície do solo com o rendimento de grãos. Porém, a distribuição dos aspersores no ensaio interferiu na uniformidade da umidade do solo e nas variáveis de produção da cultura.

A distribuição da água no interior do solo é tão importante quanto a que ocorre na sua superfície, pois ao se desconsiderar o movimento da água no interior do solo em função dos gradientes de potenciais, pode-se estar subestimando a eficiência de funcionamento do sistema de irrigação. Aumento dos coeficientes de uniformidade abaixo da superfície do solo foi observado por LI e KAWANO (1996), ROCHA et al. (1999) e ROQUE et al. (2008). No entanto, poucos são os trabalhos que utilizam a técnica da TDR para esse tipo de avaliação.

Isso faz com que seja necessário o desenvolvimento de equipamentos portáteis para otimizar as leituras de umidade no campo, que poderão ser utilizadas tanto para manejo de irrigação quanto para avaliação da redistribuição da água no interior do solo. Para o monitoramento da umidade, a técnica da TDR vem se destacando em relação às demais, principalmente, pelas vantagens inerentes a esse método, como, a precisão, ser um método não destrutivo, a não utilização de radiação ionizante, possibilidade de automação e acoplamento a dispositivos multiplicadores de leituras, pouca influência da textura, densidade e salinidade. Esses fatores são justificativas fortes para a adoção cada vez maior da técnica, em substituição de outros métodos (SOUZA et al., 2006).

Por outro lado, sua utilização em campo para manejo de irrigação e estimativa da redistribuição da água no interior do solo ainda é limitada, principalmente, pelo alto custo de aquisição e pelas dificuldades operacionais, como o manuseio dos equipamentos no campo, inserção das sondas em solos muito argilosos e ainda, quando há a necessidade de multiplexação do sinal, grandes quantidade de cabos coaxiais e sondas distribuídas na superfície do solo expostas às intempéries. Considerando o potencial da utilização da técnica da TDR na agricultura irrigada e a importância da adoção do SPD na conservação da umidade do solo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar um equipamento portátil para sonda de TDR, desenvolvida na FEAGRI-UNICAMP, para manejo de irrigação e redistribuição da água no interior do solo sob SPD.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi desenvolvido em um Latossolo Vermelho distroférico típico argiloso (EMBRAPA, 1999), na região de Campinas, Estado de São Paulo, Brasil, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22° 48' 57" sul, longitude 47° 03' 33" oeste e altitude média de 640 m.

O clima pela classificação climática de Köppen é uma transição entre os tipos Cwa e Cfa, o que indica clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido. A temperatura do mês mais quente (fevereiro) é superior a 22°C e a do mês mais frio (junho) é inferior a 18°C. A precipitação média anual é de 1.382 mm, com o período chuvoso ocorrendo entre outubro a março (1.048 mm), o que representa 75 % do total de chuva anual. O período mais seco normalmente ocorre de junho a setembro.

As análises químicas e físicas do solo foram determinadas conforme metodologia proposta por EMBRAPA (1997) e apresentaram os seguintes resultados: pH (CaCl₂), 5,3; Ca²⁺, 49,6 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺, 11,7 mmol_c dm⁻³; P, 32,7 mg dm⁻³; K, 6,54 mmol_c; M.O., 3,4 %; dm⁻³; F₂O₃, 21,3 %; H+Al, 3,0 mmol_c; CTC, 96,8 %, V(%), 69,0, areia, 310,0 g kg⁻¹; silte, 158,0 g kg⁻¹ e argila, 532,0 g kg⁻¹. Os valores de densidade média do solo foram: 1,27 g cm⁻³ na camada de 0 a 0,20 m e de 1,25 g cm⁻³ na camada de 0,20 a 0,40 m.

Para a realização do experimento foi utilizada uma área experimental sob SPD no quinto ano de implantação. No ano agrícola de 2005 foi instalada a cultura de verão (milho) em sistema plantio direto sobre cobertura morta de nabo forrageiro, cultivado no ano agrícola anterior no período de inverno, iniciando-se as pesquisas com esse sistema de manejo na área estudada. No ano de 2006, foi cultivada a cultura do feijoeiro no inverno nos restos culturais do milho da safra 2005/2006. Após a colheita desse feijão foi cultivado o milho novamente na safra de verão (ano 2006/2007) e assim, sucessivamente, até o ano agrícola 2008/2009, na qual foi instalado esse ensaio na época do inverno com a cultura do feijão safra de 2009.

A adubação de plantio foi realizada com base nas informações contidas na análise de solo, usando-se 300 kg ha⁻¹ da formulação 4-14-8. Aplicou-se a quantidade de 120,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio na adubação de cobertura, parcelado aos 30 e 60 dias após a emergência das plantas, segundo recomendação de AMBROSANO et al. (1996). O controle das plantas infestantes para implantação do ensaio foi realizada em 05/05/2009 com a aplicação Roundup na dose de 4,0 l ha⁻¹. Durante a condução do ensaio foram realizadas duas aplicações do

fungicida Amistar na dose de 120,0 g ha⁻¹ e uma do herbicida Robust a 0,5 l ha⁻¹, em pós-emergência da cultura do feijão.

O ensaio foi constituído por 6 parcelas experimentais que corresponderam as quantidades de cobertura morta de milho: 0,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹, com 144 m² cada uma. A variedade de feijão estudada foi a Pérola, semeada no dia 20/05/2009, com espaçamento de 0,5 m entre linhas. A densidade de plantio foi de 10 a 12 plantas por metro e a irrigação foi a aspersão convencional, constituída de quatro aspersores em cada parcela, do tipo 427 AG e vazão de 0,45 m³ h⁻¹ e pressão de serviço de 196 kPa. O espaçamento utilizado entre os aspersores foi de 12 m x 12 m, proporcionando uma precipitação média de 6,8 mm h⁻¹, determinada pela quantificação dos volumes de água em cada coletor pertencente a uma malha regular de 2 m x 2 m utilizada na avaliação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), com valor médio de 78 %.

O manejo da irrigação foi realizado por meio da técnica da TDR, previamente calibrada, acoplada a uma haste portátil desenvolvida no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da FEAGRI-UNICAMP. Esse protótipo foi desenvolvido com o intuito de facilitar a inserção da sonda no solo e servir de suporte para a conexão dessa com os demais componentes que possibilitam a estimativa da umidade do solo por essa técnica, tais como, a bateria de 12 volts, o datalogger CR1000 e o TDR 100, ambos da marca Campbell Scientific. Esses componentes ficam conectados entre si dentro de uma “mochila” apoiada nas costas do operador no momento da leitura. Na parte superior da haste portátil é alocado um display com ligação direta ao datalogger, que transmite para o seu visor os valores dos dados armazenados de: constante dielétrica (Ka), a umidade volumétrica, a condutividade elétrica (CE) e a voltagem da Bateria.

Para a obtenção, armazenamento e visualização dos dados foi utilizado um programa específico para o datalogger CR 1000, sendo que o programa e o display foram desenvolvidos na Universidade Estadual de Utah, EUA. Os valores das leituras de umidade no solo foram obtidos por meio da equação de calibração, obtida na área experimental por (ROQUE, 2007) conforme equação 1:

$$\theta = 20,03 + (0,548 * Ka) , R^2=0,75 \quad (1)$$

em que:

θ é a umidade volumétrica (%) e K_a é a constante dielétrica aparente do solo (adimensional).

A lâmina líquida de água aplicada em cada evento de irrigação foi determinada segundo a equação 2.

$$LL = (\theta_{cc} - \theta_a) * Z \quad (2)$$

em que:

LL-lâmina líquida de irrigação, mm;

θ_{cc} - umidade volumétrica na capacidade de campo estimada pela técnica da TDR, $m^3 m^{-3}$,

θ_a - umidade volumétrica atual no solo, estimada pela técnica da TDR, $m^3 m^{-3}$;

z - profundidade efetiva do sistema radicular, mm;

Considerou-se como umidade crítica para a cultura (θ_a) e umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) os valores de 33 e 36 %, baseado na curva de retenção de água no solo para as tensões de 33 e 10 kPa, respectivamente, segundo recomendação de SILVEIRA e STONE (2002).

Para a avaliação da Uniformidade de distribuição da água proveniente dos eventos de irrigação foram coletadas as lâminas precipitadas em 36 pluviômetros instalados em cada parcela (malha de 2 m x 2 m) e a umidade do solo, na profundidade de 0,20 m, antes e 24 horas após a irrigação e ao lado de cada pluviômetro, utilizando-se a técnica da TDR. Posteriormente, determinaram-se os Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) na superfície do solo e também no seu interior, com o intuito de verificar a influência da cobertura morta na uniformidade de redistribuição da água, conforme equação 3.

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum Z_i - \bar{Z}}{\bar{Z} N} \right] \quad (3)$$

em que:

CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

Z_i - lâmina coletada no pluviômetro i (mm);

\bar{Z} - lâmina média (mm);

N - número de coletores.

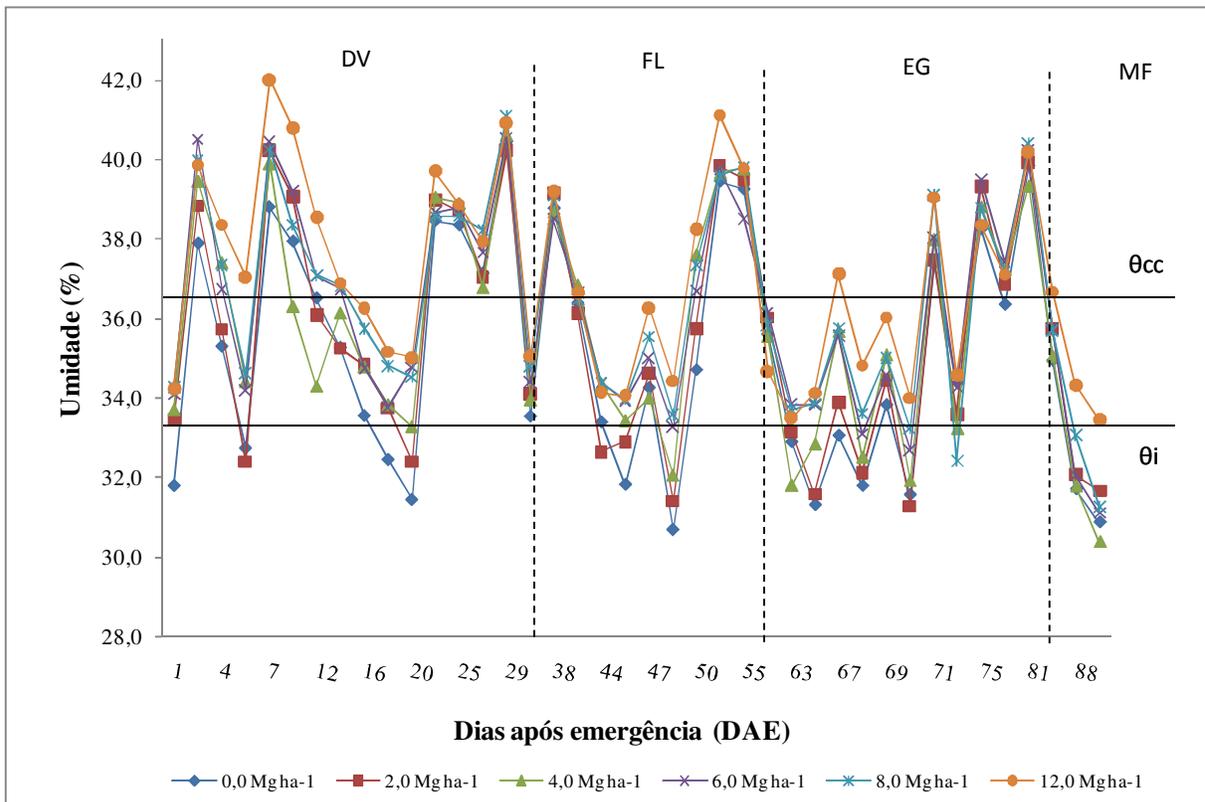
Para a determinação da produção de grãos e seus componentes foram coletadas 21 plantas por repetição, nas quais foram avaliados: o número de vagens por planta (NV), o número de grãos por vagem (NG), número de grãos por planta (NGP), peso de grãos (PG) e massa de 100 grãos (M100). Os resultados obtidos na avaliação dos componentes da produção foram interpretados por meio da análise de variância. Para os efeitos significativos, compararam-se as médias pelo teste de Scott-Knott a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aporte total de precipitação durante todo o período do ensaio (04/06/2009 a 12/09/2009) foi de aproximadamente 352,0 mm, quase três vezes mais que no ano de 2008 para o mesmo período (130,0 mm). Isto limitou o número de irrigações comprometendo de certa forma, um efeito mais expressivo da cobertura morta na conservação da umidade do solo. Mesmo assim, foi possível realizar quatro eventos de irrigação, dois no final do estágio de florescimento e dois no início do estágio de enchimento de grãos, com valor total das lâminas aplicadas de 50,0; 48,0; 46,0; 40,0; 37,0 e 35,0 mm para os tratamentos com 0,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹, respectivamente.

O aporte de água total fornecido à cultura atendeu à exigência hídrica das plantas. DOORENBOS e KASSAN (1979) relataram que a necessidade de água do feijoeiro com ciclo de 60 a 120 dias varia entre 300 a 500 mm, mas cabe ressaltar que o consumo de água pelas plantas, pode variar com as condições de clima do local, época de semeadura e cultivares (SILVEIRA e STONE, 1998) e também em diferentes sistemas de preparo, como, por exemplo, no SPD e estádios de desenvolvimento da planta (BIZARI et al., 2009). STONE (2005) e BIZARI et al. (2009) trabalhando com a cultura do feijoeiro irrigado em SPD, encontraram valores de consumo de água pelas plantas de 224,0 e 254,0 mm, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por JUNQUEIRA et al. (2004) que observaram para o consumo de água da cultivar Carioquinha, valores em torno de 274,01 mm.

A Figura 1 apresenta os valores médios de umidade do solo monitorados pela técnica da TDR, na profundidade de 0,20 m, em todo o período de desenvolvimento da cultura do feijoeiro em SPD. Observa-se que todos os tratamentos apresentaram na maior parte do ciclo de desenvolvimento das plantas, valores de umidade acima da considerada crítica para o feijoeiro (33%), evidenciando que as lâminas fornecidas pelas precipitações e irrigações foram adequadas para suprir a demanda pelas plantas. Cabe ressaltar que somente o tratamento com a maior quantidade de cobertura morta manteve valores de umidade acima da umidade crítica, evitando que as plantas nesse sistema entrassem em períodos de déficit hídrico.



DV: Desenvolvimento vegetativo; FL: Florescimento; EG: Enchimento de grãos; MF: Maturação Fisiológica.

θcc: Umidade na capacidade de campo; θi: Umidade crítica para a cultura.

Figura 1. Valores médios de umidade do solo, na profundidade de 0,20 m, na cultura do feijoeiro irrigado sob sistema plantio direto com diferentes quantidades de cobertura morta.

Isso mostra a importância dessa quantidade de cobertura morta na superfície do solo na conservação de umidade, pois mesmo com a precipitação tendendo a igualar a umidade no solo para todos os tratamentos avaliados, após isso, as maiores quantidades de cobertura morta contribuíram para uma diminuição da evaporação da água, mantendo-a por mais tempo disponível para as plantas. Salienta-se que muitos valores de umidade ficaram acima de 36% (capacidade de campo) ultrapassando em alguns momentos valores acima de 40%, principalmente, pela alta frequência de precipitações que ocorreram atipicamente no período de inverno no local onde foi realizado o ensaio.

A Tabela 1 apresenta os valores médios de umidade do solo, na profundidade de 0,20 m, em cada estágio de desenvolvimento da cultura e para todas as quantidades de cobertura morta avaliadas.

Tabela 1. Valores médios de umidade, na profundidade de 0,20 m nos estádios de desenvolvimento do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, com diferentes quantidades de cobertura morta.

Estádios da cultura	Umidade (%)					
	Cobertura morta de milho (Mg ha ⁻¹)					
	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	12,0
DV	35,9 (8,1)	36,5 (7,6)	36,6 (6,9)	37,2 (6,6)	37,4 (5,9)	38,1 (6,1)
FL	35,2 (8,9)	35,6 (8,5)	36,0 (7,8)	36,0 (6,2)	36,5 (6,5)	37,0 (6,9)
EG	34,7 (8,1)	35,0 (8,4)	35,2 (7,8)	35,8 (6,2)	35,8 (7,3)	36,1 (6,1)
MF	32,5 (6,6)	33,2 (6,8)	32,4 (7,4)	33,0 (7,4)	33,4 (6,7)	34,8 (4,8)
Média	35,1 (8,3)	35,6 (8,2)	35,7 (7,8)	36,2 (7,1)	36,3 (7,0)	37,0 (6,7)

DV: Desenvolvimento vegetativo; FL: Florescimento; EG: Enchimento de grãos; MF: Maturação fisiológica. Os números entre parênteses correspondem aos valores de coeficiente de variação.

Nota-se pela Tabela 1 que o tratamento com a maior quantidade de cobertura morta apresentou os maiores valores de umidade em todos os estádios de desenvolvimento da cultura, seguido pelo tratamento com 8,0 Mg ha⁻¹. No estágio de DV todos os tratamentos apresentaram os maiores valores de umidade dentre todos os estádios da cultura e próximo ou acima da umidade na capacidade de campo, devido à ocorrência de precipitações ao longo de todo o DV, que foi em torno de 98,0 mm, não havendo a necessidade da prática da irrigação.

O valor de umidade obtido no tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ foi de 38,1%, superior em 7,9% em relação ao tratamento sem cobertura. O mesmo ocorrendo no estágio de FL, porém, com uma menor diferença entre o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ e o sem cobertura, cujo valor foi de 4,8%. Os demais tratamentos apresentaram valores próximos e em torno de 36%.

A maior diferença foi obtida no estágio de DV, pois, a evaporação na superfície do solo tende a ser maior no início do desenvolvimento das plantas do que quando o índice de área foliar atinge os valores máximos, propiciando uma maior interceptação de energia pelo dossel (BERGAMASCHI et al., 2004). Nesse caso, o menor porte das plantas e, portanto, uma

maior exposição da cobertura morta na superfície do solo, resultou em uma maior influência dessa na diminuição da evaporação da água.

Segundo ANDRADE (2008), a presença da cobertura morta na superfície do solo pode ocasionar uma redução nas perdas de água por evaporação na camada de 0 - 0,1 m de 19 a 42%, respectivamente, com a utilização de 3,0 e 6,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de aveia em comparação com o solo sem cobertura. ALLEN et al. (1998) afirmam que para cada 10% da superfície do solo com presença de cobertura morta ocorre redução em torno de 5% na evaporação de água. E que, para uma condição de 50 % de cobertura morta presente no solo a evapotranspiração pode ser reduzida em 25 % no estágio inicial da cultura e entre 5 a 10% nos demais estádios. FREITAS et al. (2004) trabalhando em laboratório com colunas de solo de 0,20 m de diâmetro e 0,45 m de altura, os autores afirmaram que pode ocorrer uma redução da evaporação da água de aproximadamente 20% com 100 % de cobertura vegetal, pois a evaporação é o maior componente do balanço da água para áreas com culturas irrigadas

No estágio de EG, possivelmente em função do maior porte das plantas, que cobria totalmente a superfície do solo, a cobertura morta teve seu efeito reduzido, diminuindo a diferença dos valores de umidade entre os tratamentos com 0,0 e 12,0 Mg ha⁻¹ (3,9%). O valor de umidade encontrado no tratamento sem cobertura foi semelhante aos encontrados nos tratamentos com 2,0 e 4,0 Mg ha⁻¹. Situação semelhante foi constatada no tratamento com a maior cobertura em relação aos tratamentos com 6,0 e 8,0 Mg ha⁻¹. No último estágio de desenvolvimento das plantas (MF) houve uma diminuição dos valores de umidade em todos os tratamentos, pelo fato da prática da irrigação ter sido cessada para a aceleração da maturação das plantas e secagem dos grãos. Mesmo assim, o tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ apresentou o maior valor de umidade em relação aos demais tratamentos, sendo superior em 6,6 % em relação ao tratamento sem cobertura. Essa maior diferença entre os dois tratamentos se deve ao fato que as plantas nesse estágio apresentaram cobertura vegetal reduzida em função do processo de senescência, expondo novamente a cobertura morta remanescente na superfície do solo, ainda atuante na conservação da umidade. A Tabela 2 apresenta os valores médios de lâmina coletada, umidade do solo e coeficiente de uniformidade de Christiansen antes e após 24 horas os eventos de irrigação na cultura do feijoeiro irrigado em SPD.

Tabela 2. Valores médios de lâmina coletada, umidade do solo e coeficiente de uniformidade de Christiansen na superfície do solo ($CUC_{sup.}$); antes (CUC_{antes}) e após 24 horas (CUC_{depois}) aos eventos de irrigação na cultura do feijoeiro em SPD.

Componentes avaliados	Cobertura morta de milho ($Mg\ ha^{-1}$)					
	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	12,0
Lâmina (mm)						
Lâmina aplicada	9,1 (10,2)	8,3 (16,1)	7,0 (19,3)	5,3 (19,6)	4,7 (12,4)	3,4 (19,2)
Umidade do solo (%)						
Lâmina coletada	9,5 (11,2)	8,9 (15,5)	8,1 (13,0)	6,5 (11,2)	6,1 (5,6)	5,3 (13,8)
Umidade antes	31,3 (1,6)	32,3 (2,7)	32,9 (2,0)	33,6 (1,3)	33,9 (0,8)	34,3 (0,9)
Umidade depois	34,7 (5,4)	35,5 (5,5)	36,4 (6,0)	36,5 (6,6)	36,7 (5,5)	37,5 (4,2)
Uniformidade de distribuição (%)						
CUC_{antes}	96,2 (0,5)	95,6 (1,2)	96,0 (0,4)	95,9 (0,2)	95,1 (1,3)	94,9 (1,2)
$CUC_{sup.}$	80,6 (3,4)	80,8 (5,5)	81,2 (3,2)	76,9 (4,7)	81,1 (2,4)	82,7 (3,1)
CUC_{depois}	96,1 (0,7)	94,9 (2,6)	96,2 (1,4)	96,8 (0,7)	96,1 (0,9)	96,7 (1,0)

Os números entre parênteses correspondem aos valores de coeficiente de variação.

As condições climáticas durante as irrigações foram relativamente estáveis, não sendo possível detectar seus efeitos sobre os coeficientes de uniformidade obtidos. O valor médio da velocidade do vento foi de $1,1\ m\ s^{-1}$, com CV de 19 % durante todo o período do ensaio. A umidade média relativa do ar foi de 55% com CV de 18,4% e a temperatura média do ar foi de 21 °C com CV de 9,9 %. Nota-se que a lâmina aplicada via irrigação foi inversamente proporcional a quantidade de cobertura morta presente na superfície do solo, ou seja, quanto maior a proteção da superfície do solo menor a quantidade de água aplicada pela irrigação. A lâmina média de água aplicada no tratamento com $12,0\ Mg\ ha^{-1}$ foi inferior às obtidas nos demais tratamentos, propiciando uma economia de água de 63 %; 59 %; 51 %; 36 % e de 28

% quando comparado às lâminas aplicadas nos tratamentos com 0,0; 2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta, respectivamente.

STONE e MOREIRA (2000) constataram economia de 14 % a 30% no consumo de água pelas plantas do feijoeiro nesse mesmo sistema. Próximo da área do presente ensaio e na mesma época de avaliação, trabalhando com a cultura do feijoeiro irrigado em SPD, com aproximadamente 8,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, BIZARI et al. (2009) constataram que a economia de água foi de 12 % em relação ao tratamento sem cobertura. Maior economia de água decorrente da utilização da cobertura morta no solo no SPD também foi verificada por MELO FILHO e SILVA (1993) em milho; ANDRADE et al. (1994) em soja; STONE e SILVEIRA (1999), ANDRADE et al. (2002), STONE (2005) e ROQUE et al. (2008) no feijoeiro.

Para a umidade média do solo antes das irrigações, observa-se que os tratamentos com 0,0 e 2,0 Mg ha⁻¹ apresentaram valores um pouco abaixo da umidade crítica para a cultura, causando um pequeno déficit de umidade para as plantas nesses tratamentos, levando a uma maior quantidade de água aplicada via irrigação. Porém, 24 horas após as irrigações, os valores encontrados de umidade do solo ficaram mais próximos ou até mesmo acima da umidade correspondente à capacidade de campo, com exceção do tratamento sem cobertura morta cujo valor foi de 34,7 %. O maior valor foi encontrado no tratamento com a maior cobertura morta na superfície do solo.

Além do fornecimento adequado de água para as plantas do feijoeiro, o conhecimento da uniformidade de aplicação de água é fundamental, pois apresenta relação com o rendimento das culturas. No entanto, a aplicação desuniforme de água no solo cria gradientes de potencial que provocam o movimento da água de pontos de maior potencial para pontos de menor potencial, resultando em uma intensa redistribuição no interior do solo e em uma consequente uniformização da umidade na área.

Na avaliação da uniformidade de distribuição da água na superfície e sua redistribuição no interior do solo, nota-se ainda pela Tabela 2, que todos os tratamentos apresentam valores de CUC, antes das irrigações, próximos a 95 %, evidenciando uma boa redistribuição da água no tipo de solo onde foi conduzido o ensaio, independente do valor da umidade do solo. E que a variação dos CUCs entre as irrigações nos diferentes tratamentos é pequena, conforme expresso por valores de coeficientes de variação (CV) inferiores a 6 %.

Isto mostra que o padrão de aplicação de água pouco se alterou no desenvolvimento da cultura. Nas avaliações realizadas 24 horas após as irrigações foi verificado um pequeno incremento na redistribuição da água no interior do solo nos tratamentos com as maiores quantidades de cobertura, em relação às obtidas nas avaliações antes das irrigações. Nesse caso, essas quantidades podem ter favorecido a distribuição da água antes mesmo de sua infiltração. O mesmo não ocorrendo em trabalho realizado por ROQUE et al. (2008) na qual constatou-se que a cobertura morta de milho não foi a variável de maior influência na redistribuição da água no solo mas sim, as características físicas apresentadas pelo solo sob SPD.

Observa-se também que os coeficientes de uniformidade obtidos no interior do solo foram superiores em relação aos obtidos na superfície para todos os tratamentos avaliados, sendo constatado nesses últimos valores em torno de 80%, com exceção do tratamento com $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ que apresentou o valor de 77%. Porém, GOMES (1994) considera aceitável valor de CUC na superfície menor que 80 % se a área a ser irrigada recebe chuvas durante o período de irrigação, ou se a planta possui sistema radicular profundo ou, ainda, se a economia obtida no custo da instalação, com maiores espaçamentos entre aspersores e entre linhas laterais, compensar a redução do rendimento da cultura irrigada.

FRIZONNE et al. (2007) trabalhando com a cultura do feijoeiro, variedade IAPAR-57, os autores concluíram que o rendimento da cultura foi influenciado pela qualidade da irrigação e que a maior uniformidade de aplicação não implicou em máximo rendimento das plantas. Para os autores, a maior produtividade da cultura deve estar pelo menos em parte, associada ao uso mais eficiente da água. E considerando ainda o fato de que uniformidade elevada está associada ao maior custo do sistema de irrigação, fica caracterizada a importância de se identificar um nível de uniformidade adequado para as condições nas quais se faz a irrigação.

No entanto, a busca elevada da uniformidade em campo está associada ao aumento nos custos de operação para o produtor, nesse caso, a uniformidade da umidade abaixo da superfície do solo torna-se um aspecto importante a ser considerado no planejamento e instalação do sistema de irrigação. ROQUE et al. (2008) analisando o efeito da uniformidade de distribuição da água na superfície do solo sobre a redistribuição dessa no perfil na cultura do feijoeiro SPD verificaram aumento dos coeficientes de uniformidade ao longo do tempo,

com valores em torno de 90%, sendo esse valor em torno de 20 % superior ao obtido na superfície. Avaliando o CUC na superfície e perfil do solo em irrigação por aspersão, PEREIRA et al. (2009) encontraram nesse último os maiores valores, sendo 86,3 e 73,9 % nas camadas de 0-0,10 m e 0,10 a 0,20 m, respectivamente. Esses valores estão abaixo dos obtidos no presente ensaio. No entanto, cabe ressaltar que segundo os autores, o estudo foi desenvolvido em uma área de pastagem, em solo compactado, o que de certa forma, poderia influenciar a redistribuição de água no interior do solo.

OLIVEIRA et al. (2003) avaliando o SPD e sistema convencional irrigados por pivô central, os autores verificaram que o coeficiente de uniformidade de redistribuição da água no interior do solo foi superior em relação ao obtido na superfície, com valores de 95,88 e 96,38 %, respectivamente, no período de 24 horas após a irrigação. E que até esse período, a redistribuição da água foi mais rápida no SPD devido aos incrementos nos valores de CUC em relação ao preparo convencional. Observaram também que o SPD apresentou maior desempenho no que se refere à distribuição da água no solo na camada de 0-0,20 m, considerada a de maior interesse para esse sistema de manejo do solo. Resultados com maiores valores de CUC no interior do solo em relação à superfície foram obtidos por DRUMOND et al. (2006) na avaliação da irrigação em malha com aplicação de água residuária, com o monitoramento da umidade do solo realizado pelo método da gravimetria.

Utilizando a técnica da TDR, RODRIGUES et al. (2001), na avaliação do CUC em irrigação por pivô central, obtiveram valores no interior do solo (89,19%) maiores que os obtidos na superfície (77,97 %) e constataram que os valores de umidade do solo tiveram a mesma tendência que os valores de lâmina coletada, concluindo que essa técnica pode ser utilizada em trabalhos de campo dessa natureza sugerindo como trabalhos futuros, o acompanhamento da redistribuição da água no solo para um manejo mais correto da irrigação.

Em alguns trabalhos procurou-se relacionar o rendimento da cultura irrigada com a uniformidade de aplicação de água sobre a superfície do solo (FRIZZONE, 1998; FRIZZONE et., 2007). No entanto, a uniformidade da umidade no interior do solo, usualmente, é maior que aquela obtida na sua superfície e que a planta pode responder favoravelmente a esse fato (GOHRING e WALLENDER, 1987).

A Tabela 3 apresenta a produtividade média de grãos e seus componentes na cultura do feijoeiro em SPD com diferentes quantidades de cobertura morta.

Tabela 3. Valores médios* de produtividade de grãos, número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagem (NG), número de grãos por planta (NGP), peso de grãos (PG) e massa de 100 grãos (M100) na cultura do feijoeiro em sistemas plantio direto.

Cobertura (Mg ha ⁻¹)	Produtividade (t ha ⁻¹)	Componentes de produtividade				
		NV	NGV	NGP	PG (g)	M100 (g)
0,0	1,05	8,5a	4,7a	40,0a	10,5a	24,4a
2,0	1,15	9,2a	4,7a	42,8a	11,5a	23,6a
4,0	1,33	11,4b	4,7a	53,8b	13,3a	24,9a
6,0	1,26	10,4b	4,7a	48,9b	12,6a	26,8b
8,0	1,38	10,7b	4,7a	50,6b	13,8a	27,4b
12,0	1,41	11,7b	4,6a	54,5b	14,1a	28,5c

* Médias, na mesma coluna, seguidas de letra igual, não diferem em nível de 5%, pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Nota-se pela Tabela 3 que a maior produtividade estimada foi obtida pelas plantas no tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹, 1,41 t ha⁻¹, bem próximo ao obtido pelas plantas do tratamento com 8,0 Mg ha⁻¹ e superior em 25,5; 18,4 e 8,7% em relação ao encontrado nas plantas dos tratamentos com 0,0; 4,0 e 6,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho. Considerando todos os tratamentos avaliados, observa-se que os valores estão abaixo da estimativa para a produção de grãos do feijoeiro de inverno no Estado de São Paulo, que está em torno de 2,0 t ha⁻¹, segundo CASER et al. (2010) e também da produtividade esperada para a variedade Pérola (2,5 t ha⁻¹). Provavelmente, esse fato se deve ao excesso de chuvas durante o ensaio, resultando em uma maior incidência de doenças fúngicas, o que afetou diretamente a produção de grãos da cultura.

BIZARI et al. (2009) trabalhando na mesma área de estudo e com a mesma variedade em SPD com a quantidade de 8,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, encontraram resultado superior em quase 40 % ao obtido pelas plantas do tratamento com a maior quantidade de cobertura do presente ensaio. Situação semelhante ocorreu no trabalho realizado por STONE e MOREIRA (2000) que encontraram para a produtividade do feijoeiro em SPD com aproximadamente 6,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, valor quase 46,0 % maior que o maior valor encontrado no presente ensaio.

Avaliando a produtividade da cultura do feijoeiro, variedade pérola, ANDRADE et al (2002) encontraram valores de 2,7 t ha⁻¹ a 2,9 t ha⁻¹, com o maior valor obtido no sistema

convencional. Esses valores também ficaram bem acima aos obtidos pelas plantas de todos os tratamentos estudados. Próximo a área do presente estudo SÁENZ et al. (2008) constataram que o tratamento com a maior quantidade de resíduo de milho ($10,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) e a maior quantidade de nitrogênio na superfície do solo ($120,0 \text{ kg ha}^{-1}$) proporcionou a maior produtividade do feijoeiro, com valor de $3,3 \text{ t ha}^{-1}$, sendo $57,2 \%$ superior ao obtido no presente ensaio para o tratamento com $12,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cobertura morta.

ROQUE et al. (2008) trabalhando com a cultura do feijoeiro observaram que as plantas no tratamento SPD irrigado obtiveram produtividade média superior em 17% quando comparadas às plantas do tratamento sem cobertura, com valor de $3,4 \text{ Mg ha}^{-1}$. Por outro, nas parcelas não irrigadas, com a lâmina de água proveniente somente da precipitação, os mesmos autores constataram uma maior produtividade nas plantas no SPD, enfatizando que o não revolvimento do solo e a manutenção da cobertura morta na sua superfície propiciaram maior disponibilidade de água para as plantas, aumentando sua produtividade. O mesmo ocorrendo no presente ensaio, que apesar das baixas produtividades encontradas nos tratamentos avaliados e o excesso de chuva, observou-se que as maiores quantidades de cobertura morta na superfície do solo por atuarem mais intensamente na redução da evaporação, disponibilizando maiores quantidades de água para as plantas, apresentaram os maiores valores de produtividade em relação ao tratamento sem cobertura, cujo valor foi de $1,05 \text{ t ha}^{-1}$, que representa $360,0 \text{ kg}$ ou $6,0$ sacos de $60,0 \text{ kg}$ de feijão produzido a menos que as plantas do tratamento com $12,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, considerando que a maior parte da lâmina de água aplicada também foi proveniente da precipitação.

Na avaliação dos componentes da produtividade, observa-se que houve diferença estatística significativa entre os tratamentos para o NV. O maior valor de NV foi obtido pelas plantas do tratamento com a maior quantidade de cobertura morta ($11,7$), porém não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, com exceção daqueles com $0,0$ e $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$. Nesse caso, apresentando em torno de $3,0$ vagens a mais que as plantas desses dois últimos tratamentos. Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos com $4,0$; $6,0$ e $8,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, cujos valores ficaram em torno de $11,0$ vagens por planta. O NV nas plantas do tratamento $12,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cobertura morta foi bem próximo ao obtido por BIZARI et al. (2009), que encontraram valor de $12,08$ para a cultura do feijoeiro irrigado em SPD. E também bem próximo aos obtidos por ANDRADE et al. (2002), com valores variando de $9,6$ a $13,2$.

Por outro lado, CALVACHE et al. (1997) encontraram na cultura do feijoeiro, variedade Imbabello “INIAP 404”, em tratamento sem cobertura morta, valores de NV entre 15,5 a 24,1. Porém, nesse caso, os autores além de trabalhar com outra variedade também verificaram o efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação e níveis de fertilização, que podem ser fatores tão importantes quanto às diferentes quantidades de cobertura estudadas no presente ensaio na produção de grãos e nos componentes de produtividade.

O número de grãos por vagem (NGV) foi praticamente igual entre as plantas de todos os tratamentos avaliados, não sendo encontrada diferença estatística significativa para esse componente de produtividade, com valores obtidos em torno de 4,7 grãos por vagem. Esse tipo de resultado já era esperado, pois se trata de uma característica da própria variedade, produzir em torno de 5,0 grãos por vagem, independentemente do sistema de cultivo que as plantas essem submetidas. Esse valores estão entre os encontrados por BIZARI et al. (2009) e ANDRADE et al. (2002) que trabalharam com a mesma variedade em estudo. E um pouco superior aos obtidos por CALVACHE et al. (1997), o que pode ser explicado pelo fato desses últimos autores terem trabalhado com uma outra variedade de feijão.

Ainda com relação aos componentes NV e NGV, SÁENZ et al. (2008) não encontraram diferença estatística entre os tratamentos com cobertura morta de milho, com o maior valor obtido de 13,3 vagens por planta e de 5,2 grãos por vagem. O primeiro valor representa quase 2,0 vagens a mais que o obtido no tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ do presente ensaio. Para o NGV, o valor está bem próximo ao obtido no presente ensaio para todos os tratamentos avaliados. No caso de NGP, foi constatada diferença estatística significativa entre os tratamentos com 4,0; 6,0; 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹ e os tratamentos com 0,0 e 2,0 Mg ha⁻¹. O maior valor obtido foi nas plantas do tratamento com a maior quantidade de cobertura morta de milho (54,5) com incremento de quase 15,0 grãos por planta em relação ao tratamento sem cobertura e bem próximo ao obtido pelas plantas do tratamento com 4,0 Mg ha⁻¹ (53,8). No estágio de florescimento da cultura, a umidade do solo nesse último foi bem próximo ao encontrado no tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹, e maior que nos demais tratamentos, o que pode ter favorecido o consumo de água pelas plantas nesse estágio, considerado crítico para a cultura caso ocorra estresse hídrico. Não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos com 0,0 e 2,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho com relação ao NGP, da mesma maneira que no NV.

Para o componente PG, observa-se que os tratamentos não diferiram estatisticamente. O maior valor encontrado foi no tratamento com a maior quantidade de cobertura morta, com valor de 14,1 e o menor no tratamento sem cobertura, cujo valor foi de 10,5 g. Em se tratando do componente M100, observa-se que o maior valor encontrado foi nas plantas do tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ (28,5 g) diferindo-se estatisticamente dos valores encontrados nas plantas dos demais tratamentos, sendo 14 % superior em relação ao valor obtido no tratamento sem cobertura. As plantas dos tratamentos com 6,0 e 8,0 Mg ha⁻¹ não apresentaram diferença estatística significativa entre si, com valores em torno de 27 g, porém diferiram estatisticamente das plantas dos tratamentos com 0,0; 2,0 e 4,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho. O menor valor encontrado foi obtido pelas plantas do tratamento com 2,0 Mg ha⁻¹ (23,6 g). BIZARI (2007) encontrou valores de M100 variando de 26,7 a 28,7 g e ANDRADE et al. (2002) valores de 28,7 e 28,4 g, ambos em SPD. PEREIRA et al. (2004) observaram valores em torno de 28,5 g, no sistema convencional. Esses resultados estão bem próximos aos obtidos no presente ensaio, considerando os tratamentos com quantidades de cobertura morta acima de 4,0 Mg ha⁻¹. SÁENZ et al. (2008) encontraram valores variando de 21,2 a 22,7g para todas as coberturas avaliadas, sendo inferiores aos obtidos no presente ensaio para todos os tratamentos avaliados e em torno de 23 % inferior ao encontrado no tratamento com a maior quantidade de cobertura.

A produtividade de grãos de uma cultura e de seus componentes de produção é específica para cada local de cultivo, pois os valores obtidos podem variar em função das características locais do ensaio, variedades estudadas, sistemas de preparo do solo, manejo da irrigação, lâmina de água aplicada, tratos culturais, ocorrências de pragas e doenças, etc., além da variabilidade do solo que influencia diretamente nos componentes avaliados.

Nesse ensaio foi possível observar que mesmo com o excesso de chuva e número reduzido de irrigações, os tratamentos a partir de 6,0 Mg ha⁻¹ propiciaram um aumento dos coeficientes de uniformidade no interior do solo após as irrigações quando comparado a esses mesmos coeficientes obtidos antes das irrigações, melhorando a redistribuição da água no interior do solo. Nota-se também que a maior quantidade de cobertura morta do solo apresentou os maiores valores de umidade antes e após as irrigações, sendo necessária menor lâmina de água aplicada em relação aos demais tratamentos. Esse maior armazenamento de água no solo pode ter contribuído para um incremento de produtividade das plantas nesse

tratamento. Pelos resultados obtidos no presente ensaio constata-se que o equipamento para sonda de TDR apresentou bom desempenho em campo com relação ao monitoramento da umidade do solo para manejo da irrigação. E por ser portátil e de fácil manuseio, possibilitou também a avaliação da uniformidade de redistribuição de água no interior do solo antes e após as irrigações, podendo vir a contribuir tanto para a economia de água na agricultura irrigada quanto para o dimensionamento mais econômico dos sistemas de irrigação.

CONCLUSÕES

Para as condições em que foi realizado esse ensaio, conclui-se que:

1. O equipamento portátil para sonda de TDR pode ser utilizado para manejo de irrigação e avaliação da redistribuição da água no interior do solo, desde que se tenha uma calibração prévia do solo em estudo.
2. O tratamento com $12,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ apresentou os maiores valores de umidade ao longo do ciclo da cultura do feijoeiro irrigado e as plantas nesse tratamento os maiores valores de produtividade de grãos e de seus componentes.
3. Os valores dos coeficientes de uniformidade de redistribuição da água no interior do solo foram maiores que os obtidos na superfície para todos os tratamentos avaliados.
4. As maiores quantidades de cobertura morta apresentaram um pequeno incremento nos valores dos coeficientes de uniformidade de redistribuição da água no interior do solo após as irrigações.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos.

Ao Departamento de Plantas, Solos e Clima da Universidade Estadual de Utah.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 328p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996, 11p. (Boletim 100).
- ANDRADE, A.P.; WOLFE, D.W.; FERERES, E. Sistemas de preparo do solo: I. Efeito sobre o conteúdo de água e temperatura do solo na cultura da soja. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 10, 1994, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.184-185. 1994.
- ANDRADE, J.G. **Perdas de água por evaporação de um solo cultivado com milho nos sistemas de plantio direto e convencional**. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)– Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2008.
- ANDRADE, R. da S.; MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.; CARVALHO, J. de A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p. 35-38, 2002.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MULLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 831-839, 2004.
- BIZARI, D.R. **Diferentes sistemas de cultivo na economia de água e produtividade do feijão de inverno irrigado**. 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2007.
- BIZARI, D.R.; MATSURA, E.E.; ROQUE, M.W.; SOUZA, A.L. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciencia Rural**, v.39, n.7, p. 2073-2079, out., 2009.

CALVACHE, A.M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O.O.S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso da água em uma cultura de feijão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.54, n.3, p. 232-240,1997.

CASER, D.V.; CAMARGO, A.M.M.P. de; BUENO, C.R.F.; CAMARGO, F.P. de; ÂNGELO, J.A.; OLIVETTE, M.P.de A.; FRANCISCO, V.L.F. dos S. Previsões e estimativas das safras agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2010/11, Intenção de Plantio, e Levantamento Final, Ano Agrícola 2009/10. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.40, n.11, nov., 2010.

CURY, B. **Por que fazer plantio direto**. Grupo Plantio Direto, 2000. p. 9-15. (Guia para Plantio Direto).

DOOREMBOS, J.; KASSAN, A.H. **Field response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Europa, 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1999.

FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C.; COSTA, L.C. Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n.1, p.85-91, 2004.

FRIZZONE, J.A., Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência. Piracicaba: ESALQ, 1992, 53p. (série didática).

FRIZZONE, J.A. Uniformidade e eficiência da irrigação. Piracicaba: ESALQ, 1998. 40p. (série didática).

FRIZZONE, J.A.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A.C.A.; JÚNIOR, C.H. Produtividade do feijoeiro sob diferentes uniformidades de distribuição de água na superfície e na subsuperfície do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.414-425, 2007.

GOHRING, R.T.; WALLENDER, W.W. Economics of sprinkler irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.4, p.1083-1089, 1987.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**. João Pessoa: Ed. Universitária/UFPB, 1994.

LI, J.; KAWANO, H. The areal distribution of soil moisture under sprinkler irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.32, n.1, p.29-36, 1996.

JUNQUEIRA, A.M.; ANDRE, R.G.B.; PINHEIRO, F.M.A. Consumo de água pelo feijoeiro comum, cv. Carioca. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.12, n.1, p.51-56, 2004.

MATEOS, L.; MANTOVANI, E.C.; VILLALOBOS, F.J. FARIA, M.A. Cotton response to non-uniformity of conventional sprinkler irrigation. **Irrigation Science**, Berlim, v.17, n.1, p.47-52, 1997.

MELO FILHO, J.F.; SILVA, J.R.C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um Podzólico Vermelho-Amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, p.291-297, 1993.

OLIVEIRA, L.F.C. de; ALVES FILHO, A.S.; SILVEIRA, P.M da. Distribuição de água no solo aplicada por pivô central. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.19, n.2, p.79-87, 2003.

PEREIRA, F.F.S.; MOUSINHO, F.E.P.; MATSURA, E.E.; BIZARI, D.R. Uniformidade de distribuição da água acima e abaixo da superfície do solo em um sistema de irrigação por aspersão convencional. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 10, 200. Juazeiro/Petrolina-**Resumos...** Juazeiro/Petrolina: SBEA, 2009. Cd Rom.

PEREIRA, J.C.R., RODRIGUES, R.A.F., ARF, O., ALVAREZ, A.C.C. Influência do manejo do solo, lâminas de irrigação e doses de nitrogênio na produtividade do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.26, n.1, p.13-19, 2004.

REZENDE, R., GONÇALVES, A.C.A., FRIZZONE, J.A., FARIA, M.A. Resposta da cultura do feijoeiro à uniformidade da irrigação por aspersão convencional. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.22, n.3, 520-531, 2000.

ROCHA, E.M. de M. COSTA, R.N.T.; MAPURUNGA, S.M.da S.; de CATRO, P.T.; Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.154-160, 1999.

RODRIGUES, T. R., BATISTA, H.S., CARVALHO, J.M., GONÇALVES, A.O., MATSURA, E. E., 2001. Uniformidade de distribuição de água em pivô central, com a utilização da técnica TDR na superfície e no interior do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, 187-191.

ROQUE, M.W. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo cultivado com feijão irrigado submetido a diferentes sistemas de preparo**. Campinas, 198 p. Tese

(Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

ROQUE, M.W.; MATSURA, E.E.; BIZARI, D.R. Uniformidade de distribuição da água e variação da umidade do solo durante o ciclo da cultura do feijoeiro irrigado e de sequeiro, sob plantio direto e convencional. In: Taller Internacional- Red Riegos Cyted, 2008, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Colibri, p. 243-254, 2008.

SÁENZ, C.M.S.; SOUZA, Z.M.; MATSURA, E.E.; CAMPOS, M.C.C. Decomposição do resíduo de milho e produtividade do feijão irrigado. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campinas Grande, v.8, n.2, p.207-213, 2008.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. **Manejo da irrigação do feijoeiro**: Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002, 4p. (Circular técnica, 38).

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Irrigação. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: UFV, 1998, p.181-220.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro**: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 1994, 46 p. (Circular Técnica, 27).

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO, E.F.; OR D. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo. **Irriga**. Botucatu, v.11, n.1, p.12-25, 2006.

STONE, L.F. Irrigação do feijoeiro e do arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo fundo, v.14, n.86, p. 31-34, 2005.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos do sistema de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p. 835-841, 2000.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.83-91, 1999.

STONE, L.F., SILVEIRA, P.M., MOREIRA, J.A. BRAZ, A.J. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p.577-582, 2006.

6. DISCUSSÃO GERAL

As publicações científicas apresentadas possuem contribuições importantes no desenvolvimento do projeto de pesquisa que resultou no presente trabalho. A Publicação I, “Profundidade efetiva de raízes e sua relação com a parte aérea da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto”, na safra de 2007, forneceu informações básicas sobre o conhecimento do sistema radicular e da profundidade efetiva de raízes ao longo do ciclo da cultura, para as condições em que o ensaio foi realizado.

Essas informações geradas contribuíram para a realização do manejo da irrigação mais racional, não sendo necessária a utilização de dados sobre profundidade efetiva de raízes do feijoeiro disponível na literatura, e obtido em condições diferenciadas. Esse tipo de estimativa deve ser feito sempre no local onde a cultura será instalada e também ao longo de todo o seu ciclo desenvolvimento e não somente em um estágio específico, que pode resultar em lâminas aplicadas em excesso ou vice-versa.

Na literatura, recomenda-se como profundidade efetiva de raízes do feijoeiro no estado de São Paulo, a camada entre 0,0-0,35 ou 0,0-0,40m WUTKE (2000), sendo que no presente ensaio, o maior valor encontrado foi de 0,0-0,25 m. Além disso, em função da dificuldade para avaliação de raízes no campo, o segundo passo foi relacionar tanto a densidade radicular quanto a profundidade efetiva de raízes com os parâmetros da parte aérea da cultura. Os resultados mostraram que para esse estudo em específico, seria possível estimar a profundidade específica de raízes pela altura de plantas, índice de área foliar ou até mesmo pela massa seca da parte aérea.

Os dados obtidos na publicação I com relação à profundidade efetiva de raízes foram utilizados no ensaio de 2008 para precisar o cálculo da lâmina de água a ser aplicada. Essa safra de 2008 gerou a publicação II “Cobertura morta de milho no déficit de armazenamento de água no solo e produtividade da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto” na qual foi possível verificar a influência de diferentes quantidades de cobertura morta de milho na disponibilidade de água para as plantas e seu efeito na produtividade da cultura. São poucos os trabalhos realizados com sistema plantio direto no Estado de São Paulo, principalmente pela predominância de culturas perenes com alto valor econômico, como o citros e a cana-de-açúcar, dentre outras.

Normalmente a cultura do milho fornece como cobertura morta em condições naturais, a quantidade de 6,0 Mg ha⁻¹, mas o trabalho mostrou que quanto maior a cobertura diposta no solo, maior a disponibilidade de água para as plantas, nesse caso, não havendo qualquer tipo de retenção de água pela mesma. Sendo assim, novos estudos devem ser conduzidos sobre a viabilidade ou não de se obter uma maior quantidade de matéria seca da cultura de verão, para que essa possa ser aproveitada na cultura subsequente, no que se refere a economia de água aplicada via irrigação e acréscimo de produtividade.

Seguindo essa mesma linha e com o objetivo de avançar na utilização da técnica da TDR em condições de campo, e aproveitar as vantagens que esse método apresenta foi desenvolvido um equipamento portátil para uma única sonda de TDR, que pudesse ser utilizada de forma prática e de fácil manuseio, com a finalidade de monitorar a umidade no solo para manejo da irrigação, substituindo-se assim, os tensiômetros utilizados anteriormente. Com isso, gerou-se a publicação III “Desenvolvimento de um equipamento portátil para utilização de sondas de TDR em ensaios de campo”, com o objetivo de facilitar o monitoramento da umidade e da condutividade elétrica no campo, por meio de uma técnica que vem tendo uma aceitação cada vez maior pelas vantagens que apresenta.

Na Publicação IV, “Decomposição da cobertura morta de milho na umidade e temperatura do solo na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto”, desenvolveu-se um trabalho com o objetivo de verificar a decomposição da cobertura morta de milho ao longo de todo o desenvolvimento da cultura, pois havia algumas incertezas sobre a influência da lâmina aplicada na sua decomposição, e a quantidade remanescente na superfície do solo a ser aproveitada na cultura subsequente. Constatou-se que quanto maior a quantidade de cobertura morta no solo menor é a sua decomposição, ocasionando menores valores de temperatura e maior disponibilidade de água para as plantas. Nesse caso, a maior quantidade de cobertura avaliada apresentou a quantidade remanescente no final do ciclo em torno de 50 % da quantidade inicial, e que poderia ser utilizada tanto para proteção do solo quanto para a conservação da umidade na cultura de verão. Cabe ressaltar, que a precipitação na safra de 2009 foi quase 3 vezes maior que a ocorrida na safra anterior, o que pode ter influenciado os dados obtidos.

Como nessa mesma safra foi utilizada a haste portátil para o monitoramento da umidade do solo e manejo da irrigação, foi elaborada a publicação V “Equipamento portátil

para sonda de TDR no manejo de irrigação e redistribuição da água no solo na cultura do feijoeiro em sistema plantio direto”, na qual foi constatado que é perfeitamente possível utilizar esse equipamento para manejo de irrigação e também para avaliação da redistribuição da água no interior do solo no início e durante qualquer estágio da cultura, consolidando-se como mais uma ferramenta apta para ser utilizada em experimentos irrigados. Pelo fato de ser de fácil manuseio e operação, não se restringindo a um número limitado de pontos monitorados, como no caso dos tensiômetros, poderia ser recomendado para utilização em trabalhos que envolvam a geoestatística.

Sugere-se como trabalhos futuros, seleções de diferentes espécies de cobertura do solo para a cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, que apresentassem boa produção de fitomassa, para se verificar sua influência na lâmina de água aplicada e no manejo da irrigação, nas condições climáticas da região de Campinas, SP. Outros estudos seriam voltados para a avaliação de diferentes cenários de espaçamento entre aspersores e quantidades e espécies de cobertura morta, na redistribuição de água no perfil do solo em todo o ciclo da cultura do feijoeiro, utilizando o equipamento para sonda de TDR, com o objetivo de verificar a influência desses diferentes cenários no rendimento da cultura.

7. CONCLUSÕES GERAIS

O estudo sobre a cobertura morta de milho forneceu informações importantes sobre sua influência nos valores de temperatura e umidade do solo e rendimento das culturas. Embora tenha ocorrido um número elevado de precipitações na safra de 2009, pôde-se observar que é possível realizar um manejo de irrigação diferenciado na cultura do feijoeiro em sistema plantio direto, principalmente em relação à lâmina de água aplicada, quando se tem grandes quantidades de cobertura morta na superfície do solo. Por outro lado, há poucos estudos sobre formação e permanência da cobertura morta em sistema plantio direto irrigado no Estado de São Paulo, na qual a maioria dos trabalhos se restringe à avaliação de espécies de plantas para formação de cobertura morta na época de verão. Com relação ao equipamento portátil para sondas de TDR, esse teve bom desempenho de operação, facilitando as leituras de umidade do solo e condutividade elétrica em ensaios de campo.

Dessa forma, os resultados apresentados possibilitaram concluir que:

Quanto à caracterização do sistema radicular da cultura do feijoeiro.

1. A profundidade efetiva do sistema radicular, em cada estágio de desenvolvimento da variedade Pérola, se encontra nas camadas: de 0 a 0,15 m para o desenvolvimento vegetativo, de 0 a 0,20 m para o florescimento/enchimento de grãos e de 0 a 0,25 m no início da maturação fisiológica
2. A relação entre os parâmetros de crescimento da variedade Pérola, altura, índice de área foliar e massa seca da parte aérea pode ser considerada um instrumento adequado para estimar a profundidade efetiva do sistema radicular para manejo de irrigação no local do ensaio.
3. A densidade radicular relacionou-se linearmente com a altura de plantas, índice de área foliar e massa seca da parte aérea. Os valores máximos de densidade radicular e parâmetros de desenvolvimento da parte aérea foram obtidos no estágio de enchimento de grãos.

Quanto à avaliação das diferentes quantidades de cobertura morta de milho na umidade do solo e produtividade da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto.

4. O tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ apresentou os menores valores de taxa de decomposição e perda de massa em todos os estádios da cultura do feijoeiro.
5. As plantas no tratamento com 12,0 Mg ha⁻¹ apresentaram as maiores produtividades de grãos e de seus componentes, em relação às plantas dos demais tratamentos.
6. As maiores quantidades de cobertura morta propiciaram os maiores valores de umidade e temperatura do solo praticamente durante todo o ciclo da cultura do feijoeiro.

Quanto ao desenvolvimento do equipamento para uso da sonda de TDR

7. O equipamento portátil para sonda TDR convencional apresentou bom desempenho de operação em campo, podendo substituir grande quantidade de cabos coaxiais e sondas TDR na superfície do solo.
8. O equipamento portátil para sonda de TDR pode ser utilizado para facilitar o manejo de irrigação e avaliação da redistribuição da água no interior do solo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 328p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.25-36, 2001.
- AMADO, T.J.C.; ELTZ, F.L.F. Plantio direto na palha: rumo à sustentabilidade agrícola nos trópicos. **Revista Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v.27, n.3, p. 49-66, 2003.
- ANDRADE, R.S.; MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F.; CARVALHO, J.A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.35-38, 2002.
- BARROS, A.C.; FOLEGATTI, M.V., SOUZA, C.F.; SANTORO, B.L. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.6, p.700-707, 2009.
- BARROS, L.C.G.; HANKS, R.J. Evapotranspiration and productivity of beans as affected by mulch and irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.3, p.692-697, 1993.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6ed. Viçosa: Imprensa universitária, 1995.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.S.; LEITE, D.; AMARAL, A.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.1, p. 155-163, 2004.
- BIZARI, D.R.; MATSURA, E.E.; ROQUE, M.W.; SOUZA, A.L. de. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39. n.7, p.2073-2079, 2009.
- CERETTA, A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLLETO, N.; da SILVEIRA, M.J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de coberturas de solo e milho sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.49-54, 2002.

CHIEPPE JÚNIOR, J.B. **Métodos de controle de irrigação na cultura do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) sob três tensões de água do solo**. Botucatu: UNESP, 1998.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira. Grãos safra 09/10 <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/3graos_09.12.pdf, 08/11/2010.

COELHO, E.F.; OR, D. Flow and uptake patterns affecting soil water sensor placement for drip irrigation management. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.39, n.6, p.2007-2016, 1996.

CURY, B. **Por que fazer plantio direto**. Grupo Plantio Direto, 2000. p.9-15. (Guia para Plantio Direto).

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, V. **Controle de erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: Dt. Ges. Fur Techn. Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Fundação IAPAR, 1991. 292p.

DOOREMBOS, J.; KASSAN, A.H. **Field response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultivo do feijoeiro comum. <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.html>>, 08/11/2010.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Área de plantio direto no Brasil. <http://www.febrapdp.org.br/area_PD_Brasil_2002.htm>, 20/04/2007.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Evolução da área de plantio direto no Brasil. <http://www.febrapdp.org.br/download/ev_plantio_brasil.pdf>, 08/11/2010.

FIGUEIREDO, C.C. de; SANTOS, G.G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J.L. do; JÚNIOR, J.A. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.2, p.146–151, 2009.

FRANCISCO, E.A.B.; CÂMARA, G.M.S.; SEGATELLI, C.R. Estado nutricional e produção do capim pé-de-galinha e da soja cultivada em sucessão em sistema antecipado de adubação. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.2, p.259-266, 2007.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Série Informações Estatísticas da Agricultura. Anuário IEA 2009. < http://www.ftp.sp.gov.br/ftpiea/publicar/anuario2009/area_prod09.pdf> 7/11/2010.

LI, J. KAWANO, H. The areal distribution of soil moisture under sprinkler irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.32, n.1, p.29-36, 1996.

MMOLAWA, K.; OR, D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.222, n.1-2, p.163-190, 2000.

MOREIRA, J.A.A, STONE, L.F., PEREIRA, A.L. **Manejo da irrigação do feijoeiro em plantio direto: cobertura do solo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999b. 2p. (Pesquisa em foco, 26).

MOREIRA, J.A.A, STONE, L.F., SILVA, S.C., SILVEIRA, P.M. **Irrigação do feijoeiro no Sistema Plantio Direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999a. 31p. (Circular técnica, 33).

MURAISHI, C.T.; LEAL, A.J.F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L.R.; GOMES JUNIOR, F.G.G. Manejo de espécies vegetais de cobertura de solo e produtividade do milho e da soja em semeadura direta. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.2, p.199-207, 2005.

NADLER, A.; DASBERG, S.; LAPID, I. Time domain reflectometry measurements of water content and electrical conductivity of layered soil columns. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 938-943, 1991.

NOBORIO, K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, Washington, v.31, n.3, p. 213-237, 2001.

PEREIRA, G. M. **Irrigação por aspersão convencional**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.E.P. **Métodos e estratégias de manejo de irrigação**: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 10p. (Circular técnica, 19).

ROCHA, E.M. de M. COSTA, R.N.T.; MAPURUNGA, S.M.da S.; de CATRO, P.T.; Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.154-160, 1999.

RODRIGUES, T. R. I.; BATISTA, H. S.; CARVALHO, J. M.; GONÇALVES, A. O.; MATSURA, E. E. Uniformidade de distribuição de água em pivô central, com a utilização da

técnica TDR na superfície e no interior do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.187-191, 2001.

ROQUE, M.W.; MATSURA, E.E.; BIZARI, D.R. Uniformidade de distribuição da água e variação da umidade do solo durante o ciclo da cultura do feijoeiro irrigado e de sequeiro, sob plantio direto e convencional. In: Taller Internacional- Red Riegos Cyted, 2008, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Colibri, p. 243-254, 2008.

SÁENZ, C.M.S.; SOUZA, Z.M.; MATSURA, E.E.; CAMPOS, M.C.C. Decomposição do resíduo de milho e produtividade do feijão irrigado. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campinas Grande, v.8, n.2, p.207-213, 2008.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, n.2, p.313-319, 1995.

SATURNINO, H.M.; LANDERS, J.N. O meio ambiente o plantio direto. Goiânia: APDC, 1997, 18p.

SCHAEFER, M.J.; REICHERT, J.M., REINERT, D.J.; CASSOL, E.A. Erosão em entressulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.431-441, 2001.

SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J.C.; DERPSCH, R. Comparison of three different tillage systems with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and the yields of soybean and wheat on oxisol. In: International Soil Tillage Research Organization, 9, 1982, Osijek. **Conference...** Osijek: IAPAR, p. 537-574, 1982.

SILVA, O.F., FARIA, L.C., MELO, L.C., DEL PELOSO, M.J. **Sistemas e custos de produção do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em diferentes épocas e regiões de cultivo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 40p. (Documentos).

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. **Manejo da irrigação do feijoeiro**: Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002, 4p. (Circular técnica, 38).

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Irrigação. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: UFV, 1998, p.181-220.

SOUZA, C.F.; FOLEGATTI, M.V. Spatial and temporal characterization of water and solute distribution patterns, **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.67, n.1, p.9-15, 2010.

SOUZA, C.F.; FOLEGATTI, M.V.; OR, D. Distribution and storage characterization of soil solution for drip irrigation. **Irrigation Science**, New York, v.27, n.4, p.277-288, 2009.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. Avaliação de sondas de TDR multi haste segmentadas para estimativa da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.63-68, 2002.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO, E.F.; OR D. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo. **Irriga**. Botucatu, v.11, n.1, p.12-25, 2006.

STONE, L.F. Irrigação do feijoeiro e do arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo fundo, v.14, n.86, p. 31-34, 2005.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M. **Influência de sistemas de rotação de culturas nos atributos físicos do solo**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2005. 15p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos do sistema de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p. 835-841, 2000.

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**, Maringá, v.25, n.2, p.395-401, 2001.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.1, p.83-91, 1999.

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, Washington, v.16, n.3, p.574-582, 1980.

VIEIRA, M.J. O preparo do solo e o comportamento da planta. **Revista Plantio Direto**, Ponta Grossa, v.1, n.5, p.4-5, 1984.

WARD, A.L.; KACHANOSKI, R.G. ELRICK, D.E. Analysis of water and solute transport away from a point source. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.59, n.3, p.699-706, 1995.

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A. SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. Propriedades do solo e o sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.621-633, 2000.

APÊNDICE

APÊNDICE A – “SAFRA 2007”

Tabela 1. Valores de densidade radicular na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, ano 2007

DAE	Profundidade cm	Densidade radicular (mg cm ⁻³) - safra 2007											
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	média	DP	CV (%)
7	10	0.359	0.936	0.858	0.834	0.614	1.419	0.699	0.452	1.152	0.814	0.33	40.96
		0.405	0.702	0.501	0.759	0.567	0.763	0.814	0.608	0.452	0.619	0.15	23.93
		0.506	0.491	0.645	0.721	0.832	0.503	0.928	0.663	0.645	0.659	0.15	22.91
15	10	0.530	0.440	0.671	0.688	0.733	0.851	0.419	0.429	0.134	0.544	0.22	39.83
	15	0.025	0.059	0.243	0.151	0.117	0.131	0.107	0.192	0.070	0.122	0.07	55.73
	20	0.108	0.036	0.147	0.083	0.083	0.087	0.060	0.088	0.010	0.078	0.04	50.83
22	10	0.231	1.118	0.470	0.887	0.234	0.666	0.387	0.429	0.465	0.543	0.30	54.68
	15	0.093	0.057	0.143	0.520	0.164	0.079	0.078	0.036	0.112	0.142	0.15	103.30
	20	0.032	0.018	0.010	0.075	0.075	0.051	0.044	0.088	0.022	0.046	0.03	61.24
	25	0.002	0.051	0.016	0.125	0.044	0.030	0.073	0.114	0.009	0.051	0.04	86.58
29	10	0.002	0.060	0.011	0.036	0.008	0.023	0.047	0.036	0.002	0.025	0.02	84.03
	15	0.597	0.408	1.040	0.452	0.842	0.290	0.224	0.499	0.336	0.521	0.27	51.35
	20	0.205	0.131	0.022	0.078	0.140	0.131	0.042	0.153	0.258	0.129	0.07	58.09
	25	0.026	0.077	0.021	0.055	0.023	0.095	0.029	0.130	0.057	0.057	0.04	66.20
	30	0.005	0.058	0.006	0.042	0.083	0.029	0.029	0.052	0.038	0.038	0.02	65.53
36	10	0.030	0.026	0.008	0.044	0.020	0.016	0.039	0.010	0.011	0.023	0.01	56.60
	15	0.553	0.415	0.660	0.523	0.486	0.497	0.307	0.450	0.239	0.459	0.13	27.67
	20	0.103	0.126	0.093	0.161	0.244	0.125	0.151	0.101	0.504	0.179	0.13	72.88
	25	0.094	0.043	0.037	0.031	0.078	0.072	0.075	0.082	0.043	0.120	0.02	19.10
	30	0.044	0.127	0.030	0.005	0.042	0.016	0.062	0.016	0.034	0.090	0.04	40.39
50	10	0.025	0.040	0.047	0.008	0.004	0.045	0.029	0.003	0.005	0.023	0.02	81.25
	15	1.055	0.919	0.888	1.131	0.694	0.359	0.772	0.452	0.667	0.771	0.26	33.50
	20	0.186	0.243	0.146	0.367	0.088	0.072	0.117	0.213	0.106	0.171	0.09	54.68
	25	0.091	0.112	0.088	0.052	0.101	0.171	0.166	0.091	0.095	0.108	0.04	35.56
	30	0.129	0.142	0.048	0.182	0.005	0.178	0.083	0.078	0.036	0.098	0.06	64.58
64	10	0.107	0.075	0.083	0.117	0.010	0.045	0.062	0.075	0.025	0.067	0.04	52.65
	15	1.816	1.365	0.976	0.606	1.131	0.448	0.845	0.463	0.212	0.874	0.51	58.17
	20	0.294	0.368	0.157	0.213	0.372	0.070	0.408	0.107	0.194	0.243	0.12	50.74
	25	0.622	0.064	0.097	0.057	0.075	0.212	0.049	0.068	0.074	0.147	0.19	126.19
	30	0.285	0.089	0.087	0.044	0.088	0.137	0.068	0.044	0.088	0.103	0.07	71.11
	35	0.103	0.081	0.073	0.008	0.049	0.023	0.060	0.023	0.061	0.054	0.03	57.55
78	10	0.348	0.112	0.196	0.026	0.112	0.036	0.000	0.070	0.125	0.114	0.11	93.25
	15	0.982	0.649	0.613	0.152	0.608	0.430	0.588	0.354	0.053	0.492	0.28	57.18
	20	0.676	0.318	0.362	0.146	0.179	0.278	0.112	0.109	0.035	0.246	0.19	78.70
	25	0.059	0.239	0.102	0.071	0.068	0.056	0.104	0.034	0.037	0.085	0.06	73.15
	30	0.229	0.155	0.311	0.172	0.042	0.089	0.088	0.047	0.044	0.131	0.09	71.70
	35	0.119	0.050	0.110	0.057	0.169	0.198	0.083	0.107	0.106	0.111	0.05	43.27
92	10	0.101	0.073	0.073	0.067	0.078	0.029	0.094	0.013	0.043	0.063	0.03	46.26
	15	0.085	0.019	0.022	0.006	0.010	0.013	0.099	0.086	0.042	0.042	0.04	87.78
	20	0.965	0.825	0.773	0.437	0.250	0.433	0.172	0.333	0.125	0.479	0.30	63.49
	25	0.092	0.147	0.487	0.114	0.068	0.323	0.073	0.278	0.221	0.200	0.14	70.51
	30	0.093	0.094	0.382	0.096	0.213	0.073	0.081	0.143	0.048	0.136	0.10	76.53
	35	0.080	0.180	0.329	0.052	0.198	0.066	0.130	0.088	0.007	0.126	0.10	77.62
	40	0.156	0.033	0.006	0.044	0.169	0.095	0.057	0.062	0.038	0.073	0.06	76.33
92	10	0.231	0.073	0.003	0.231	0.070	0.060	0.104	0.127	0.062	0.107	0.08	72.98
	15	0.028	0.019	0.002	0.005	0.010	0.008	0.049	0.031	0.027	0.020	0.02	76.84
	20	0.028	0.019	0.002	0.005	0.010	0.008	0.049	0.031	0.027	0.020	0.02	76.84

Tabela 2. Densidade radicular (DR) e profundidade efetiva do sistema radicular na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, ano 2007.

Profundidade efetiva do sistema radicular (%) -safra 2007				
7 DAE	Prof. (cm)	DR (mg cm ⁻³)	%	Prof. Efetiva (%)
	10	0.737	100	80
15 DAE	10.00	0.5439	73.15	73.15
	15.00	0.1216	16.36	89.50
	20.00	0.0780	10.50	100.00
	Total	0.7436	100.00	
22 DAE	10.00	0.5430	67.20	67.20
	15.00	0.1424	17.62	84.82
	20.00	0.0462	5.72	90.54
	25.00	0.0515	6.37	96.91
	30.00	0.0250	3.09	100.00
	Total	0.8081	100.00	
29 DAE	10	0.5209	67.87	67.87
	15	0.1290	16.81	84.68
	20	0.0569	7.41	92.10
	25	0.0379	4.94	97.03
	30	0.0228	2.97	100.00
	Total	0.7676	100.00	
36 DAE	10	0.459	52.73	52.73
	15	0.179	20.54	73.27
	20	0.120	13.79	87.05
	25	0.090	10.34	97.39
	30	0.023	2.61	100.00
	Total	0.8703	100.00	
50 DAE	10	0.771	63.49	63.49
	15	0.171	14.08	77.57
	20	0.108	8.86	86.43
	25	0.098	8.07	94.50
	30	0.067	5.50	100.00
	Total	1.2142	100.00	
64 DAE	10	0.874	56.95	56.95
	15	0.243	15.82	72.77
	20	0.147	9.56	82.33
	25	0.103	6.75	89.08
	30	0.054	3.49	92.56
	35	0.114	7.44	100.00
	Total	1.5339	100.00	
78 DAE	10	0.492	42.01	42.01
	15	0.246	21.02	63.02
	20	0.085	7.29	70.32
	25	0.131	11.17	81.49
	30	0.111	9.47	90.96
	35	0.063	5.42	96.38
	40	0.042	3.62	100.00
	Total	1.1715	100.00	
92 DAE	10	0.479	41.97	41.97
	15	0.200	17.55	59.53
	20	0.136	11.92	71.44
	25	0.126	11.00	82.45
	30	0.073	6.43	88.87
	35	0.107	9.37	98.25
	40	0.020	1.75	100.00
Total	1.1412	100.00		

Legenda: DAE: dias após emergência das plantas.

Tabela 3. Componentes da parte aérea da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, ano 2007.

Parte aérea da cultura do feijoeiro irrigado - safra 2007												
Altura de plantas												
DAE	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	Média	Dp	CV(%)
7	10.00	12.00	11.50	11.00	10.50	9.50	9.50	7.50	8.00	9.94	1.51	15.18
14	16.00	15.00	14.00	16.50	13.00	14.50	14.00	12.00	10.50	13.94	1.89	13.59
22	24.00	22.50	20.50	23.70	18.00	19.00	22.00	17.50	17.70	20.54	2.60	12.65
29	24.00	21.00	28.00	27.00	26.50	17.00	33.00	10.00	24.50	23.44	6.74	28.76
36	31.30	27.50	29.00	34.50	39.50	43.00	38.50	40.00	29.50	34.76	5.67	16.32
50	65.00	69.00	49.00	42.00	71.50	58.50	55.50	78.00	61.50	61.11	11.30	18.49
64	64.50	92.00	65.50	44.00	76.00	83.50	64.50	84.00	69.50	71.50	14.30	19.99
78	42.00	64.50	60.00	65.00	55.00	59.00	65.00	60.00	57.00	58.61	7.18	12.24
92	42.50	65.00	73.00	50.00	51.50	57.50	55.00	41.00	49.00	53.83	10.27	19.07
Missa seca (g planta ⁻¹)												
DAE	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	Média	Dp	CV(%)
7	0.65	0.94	1.01	1.12	0.90	1.23	0.81	0.77	1.59	1.00	0.28	28.23
14	1.12	1.02	1.45	1.25	1.33	1.98	1.01	0.62	2.15	1.33	0.48	36.40
22	2.41	2.74	3.24	2.44	1.99	1.98	2.44	1.50	3.03	2.42	0.54	22.51
29	3.40	3.20	5.22	2.84	4.12	2.69	5.43	0.73	2.12	3.31	1.48	44.74
36	10.12	8.77	6.88	7.43	6.24	5.45	9.43	14.36	9.43	8.68	2.66	30.66
50	25.43	8.25	12.34	10.44	14.95	9.66	17.43	14.97	5.29	13.20	5.93	44.96
64	30.54	28.45	33.28	33.90	40.24	45.78	39.11	42.83	50.74	38.32	7.39	19.30
78	19.07	24.34	58.63	38.80	37.55	23.79	9.38	36.05	18.13	29.53	14.77	50.02
92	15.38	20.31	47.15	39.49	21.50	12.00	30.47	35.11	27.32	27.64	11.57	41.87
Área foliar cm ²												
DAE	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	Média	Dp	CV(%)
7	112.43	145.12	186.15	223.10	127.89	258.24	198.43	111.21	207.74	174.48	52.54	30.11
14	259.45	198.09	268.43	215.12	114.25	305.13	278.12	221.79	249.15	234.39	56.13	23.95
22	352.75	287.09	489.19	378.30	210.86	286.61	319.06	184.00	415.69	324.84	96.60	29.74
29	615.78	587.35	799.35	482.22	629.96	492.48	897.00	102.47	378.60	553.91	232.41	41.96
36	1118.67	914.09	404.66	781.42	1229.52	1238.65	1033.17	986.67	1311.77	1002.07	281.01	28.04
50	2652.72	1125.74	1343.68	1065.48	1811.02	980.32	2364.92	1766.52	571.22	1520.18	682.55	44.90
64	2049.70	2942.42	1709.27	841.32	2705.96	2427.91	1213.97	1798.57	1386.57	1897.30	701.69	36.98
78	89.06	67.64	231.83	145.00	198.00	256.00	365.00	123.15	302.00	197.52	100.30	50.78
92	5.36	6.30	5.80	10.40	12.60	14.50	22.00	18.40	13.30	12.07	5.77	47.83
Índice de área foliar m ⁻²												
DAE	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	Média	Dp	CV(%)
7	0.22	0.29	0.37	0.45	0.26	0.52	0.40	0.22	0.42	0.35	0.11	30.11
14	0.52	0.40	0.54	0.43	0.23	0.61	0.56	0.44	0.50	0.47	0.11	23.95
22	0.71	0.57	0.98	0.76	0.42	0.57	0.64	0.37	0.83	0.65	0.19	29.74
29	1.23	1.17	1.60	0.96	1.26	0.98	1.79	0.20	0.76	1.11	0.46	41.96
36	2.24	1.83	0.81	1.56	2.46	2.48	2.07	1.97	2.62	2.00	0.56	28.04
50	5.31	2.25	2.69	2.13	3.62	1.96	4.73	3.53	1.14	3.04	1.37	44.90
64	4.10	5.88	3.42	1.68	5.41	4.86	2.43	3.60	2.77	3.79	1.40	36.98
78	0.18	0.14	0.46	0.29	0.40	0.51	0.73	0.25	0.60	0.40	0.20	50.78
92	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	47.83

Legenda: DAE: dias após emergência das plantas; R: repetição da amostragem.

APENDICE B: - “SAFRA 2008”

Tabela 1: Manejo da irrigação na cultura do feijoeiro em sistema plantio direto, ano 2008.

Estádio	DAE	Tmax	T min	UR max	UR min	Eto	Kc	Ete	P	A início	Afinal	I	Z
		°C	°C	%	%	mm		mm	mm	mm	mm	mm	mm
DV	1	27.0	12.8	93.7	41.1	1.8	0.35	0.6	0.0				
	2	24.9	13.6	93.6	59.6	1.8	0.35	0.6	0.0				
	3	21.7	15.2	94.0	60.9	1.7	0.35	0.6	0.0				
	4	19.4	14.3	90.9	69.4	1.5	0.35	0.5	0.5				
	5	18.1	13.2	89.8	74.7	1.4	0.35	0.5	1.0				
	6	21.1	13.3	92.9	63.0	1.6	0.45	0.7	2.3				
	7	24.4	12.7	90.1	43.7	1.7	0.45	0.8	0.0	54.0	53.2	5	150
	8	24.3	12.2	91.6	46.6	1.7	0.45	0.8	0.0	53.2	52.5		
	9	25.2	11.6	94.8	38.2	1.7	0.45	0.8	0.0	52.5	51.7		
	10	25.7	11.6	94.7	38.8	1.7	0.45	0.8	0.0	51.7	50.9		
	11	25.6	11.7	93.7	37.2	1.7	0.45	0.8	0.0	50.9	50.2		
	12	26.1	12.2	92.0	32.7	1.8	0.55	1.0	0.0	50.2	49.2	4.81	150
	13	24.6	12.3	92.0	38.1	1.8	0.55	1.0	0.0	54.0	53.0		
	14	25.8	15.5	87.1	24.2	2.0	0.55	1.1	0.0	53.0	51.9		
	15	23.3	13.0	94.2	40.8	1.7	0.55	0.9	0.0	51.9	51.0		
	16	24.4	11.9	94.3	25.2	1.7	0.55	0.9	0.0	51.0	50.0		
	17	25.8	10.8	91.6	28.5	1.8	0.55	1.0	0.0	50.0	49.0	4.95	150
	18	25.2	10.6	92.8	26.8	1.7	0.65	1.1	0.0	54.0	52.9		
	19	28.8	9.7	90.4	24.6	1.8	0.65	1.2	0.0	52.9	51.7		
	20	24.9	10.5	86.1	27.0	1.7	0.65	1.1	0.0	51.7	50.6		
	21	23.2	11.7	87.0	37.2	1.7	0.65	1.1	0.0	50.6	49.5	4.5	150
	22	22.3	13.1	87.9	44.5	1.7	0.65	1.1	0.0	54.0	52.9		
	23	25.6	12.6	87.5	30.6	1.8	0.65	1.2	0.0	52.9	51.7		
	24	24.5	12.2	85.9	30.4	1.8	0.65	1.2	0.0	51.7	50.6		
	25	23.8	9.4	95.3	29.2	1.6	0.75	1.2	0.0	50.6	49.4		
	26	25.7	9.3	96.3	23.8	1.7	0.75	1.3	0.0	49.4	48.1	5.92	150
	27	25.2	8.7	91.1	21.7	1.6	0.75	1.2	0.0	54.0	52.8		
	28	25.1	7.8	89.3	30.3	1.6	0.75	1.2	0.0	52.8	51.6		
	29	26.0	8.0	91.4	29.6	1.6	0.75	1.2	0.0	51.6	50.4		
	30	25.8	9.0	91.1	28.9	1.4	0.75	1.1	0.0	50.4	49.4	4.87	150
	31	26.2	10.0	90.0	23.5	1.4	0.75	1.1	0.0	54.2	53.2		
	32	27.4	10.0	90.5	24.7	1.8	0.75	1.4	0.0	53.2	51.8		
	33	28.2	12.0	87.2	25.0	1.9	0.75	1.4	0.0	51.8	50.4		
34	28.6	12.0	86.3	26.4	1.9	0.75	1.4	0.0	50.4	49.0			
FL	35	24.5	13.2	86.9	43.6	1.8	0.75	1.4	0.0	49.0	47.6		
	36	24.8	11.9	92.1	49.0	1.8	0.85	1.5	0.0	47.6	46.1	9.41	200
	37	23.0	11.4	91.6	32.8	1.7	0.85	1.4	0.0	72.0	70.6		
	38	27.5	11.1	90.2	29.5	1.9	0.85	1.6	0.0	70.6	68.9		
	39	28.5	11.3	89.5	28.5	1.9	0.85	1.6	0.0	68.9	67.3		
	40	27.8	14.1	83.6	26.1	2.0	0.85	1.7	0.0	68.9	67.3	8	200
	41	27.3	11.9	81.3	23.5	1.9	0.85	1.6	0.0	65.7	64.0		
	42	27.9	12.0	82.0	24.0	1.9	0.85	1.6	0.0	72.0	70.4		
	43	29.0	12.9	81.4	26.4	2.3	0.85	2.0	0.0	70.4	68.8		
	44	25.0	14.2	80.5	40.6	2.2	0.85	1.9	0.0	68.8	66.8		
	45	19.5	14.3	96.2	82.5	1.9	0.85	1.6	13.7	66.8	65.0	7.04	200
	46	27.4	11.7	98.7	46.6	2.0	0.95	1.9	8.6	72.0	78.7		
	47	28.1	15.8	98.0	44.5	2.2	0.95	2.1	0.3	72.0	70.2		
	48	27.7	15.4	94.8	39.9	2.4	0.95	2.3	0.5	70.2	68.4		
	49	30.1	15.2	95.5	39.2	2.1	0.95	2.0	0.0	68.4	66.4		
	50	18.7	16.6	98.2	86.1	1.8	0.95	1.7	24.6	66.4	69.3		
	51	22.2	15.7	98.8	70.3	2.1	0.95	2.0	8.6	72.0	78.6		
	52	22.0	14.3	95.0	60.8	2.0	0.95	1.9	15.0	72.0	85.1		
	53	27.8	13.8	89.0	46.5	2.3	0.95	2.2	0.3	72.0	70.1		
	54	28.8	13.9	95.0	36.3	2.4	0.95	2.3	0.0	70.1	67.8		
55	25.3	14.2	95.6	48.2	2.2	1.15	2.5	0.0	67.8	65.3	6.7	200	
56	24.4	16.1	86.9	40.7	2.4	1.15	2.8	0.0	72.0	69.2			
57	25.9	15.5	89.9	45.2	2.3	1.15	2.6	0.0	69.2	66.6			
58	29.0	14.9	88.8	29.2	2.4	1.15	2.8	0.0	66.6	63.8	8.16	200	
59	29.5	14.5	82.6	24.8	2.3	1.15	2.6	0.0	72.0	69.4			
60	29.2	13.8	88.4	26.6	2.3	1.15	2.6	0.0	69.4	66.7			
61	28.9	14.5	83.8	28.2	2.2	1.15	2.5	6.0	66.7	70.2			
62	28.4	14.3	77.4	30.1	2.5	1.15	2.9	0.0	70.2	67.3			
63	28.0	14.0	88.5	26.4	2.3	1.15	2.6	0.0	67.3	64.7			
64	28.2	14.3	86.2	28.4	2.1	1.15	2.4	0.0	64.7	62.2	9.75	200	
65	26.7	17.8	86.8	50.7	2.4	1.15	2.8	0.0	72.0	69.2			
66	27.8	16.6	87.3	34.4	2.3	1.15	2.6	0.0	69.2	66.6			
67	28.4	15.7	89.4	23.2	2.4	1.15	2.8	0.0	66.6	63.8			
68	28.6	13.8	87.2	24.1	2.3	1.15	2.6	0.0	63.8	61.2	10.81	200	
69	31.8	13.4	90.1	15.2	2.1	1.15	2.4	0.0	72.0	69.6			
70	30.5	15.2	88.9	17.3	2.2	1.15	2.5	0.0	69.6	67.1			
71	29.2	14.8	89.9	28.8	2.0	1.15	2.3	0.0	67.1	64.8			
72	21.0	14.3	78.4	54.8	2.0	1.15	2.3	0.0	64.8	62.5	9.54	200	
73	24.2	12.8	83.0	30.6	2.1	1.15	2.4	0.0	72.0	69.6			
74	29.8	12.8	87.5	20.0	2.3	1.15	2.6	0.0	69.6	66.9			
75	29.8	12.2	88.9	19.2	2.7	0.95	2.6	0.0	66.9	64.4	7.63	200	
EG	76	32.4	14.2	77.7	20.9	2.3	0.95	2.2	0.0	54.0	51.8		
	77	33.6	14.4	78.2	16.6	2.6	0.95	2.5	0.0	51.8	49.3		
	78	34.0	16.8	84.8	15.1	2.6	0.95	2.5	0.0	49.3	46.9		
	79	30.0	15.8	83.8	30.8	3.0	0.85	2.6	0.0	46.9	44.3		
	80	22.2	16.7	91.6	67.6	2.5	0.85	2.1	0.5	44.3	42.2	11.8	150
	81	25.3	15.9	95.9	53.2	2.7	0.85	2.3	0.8	54.0	52.5		
	82	28.8	15.8	88.5	47.6	2.4	0.85	2.0	0.0	52.5	50.5		
	83	34.2	17.6	85.8	29.0	2.4	0.85	2.0	0.0	50.5	48.4		
	84	35.6	17.4	84.0	19.6	2.7	0.85	2.3	0.0	48.4	46.1		
	85	34.2	18.2	79.9	19.4	2.5	0.85	2.1	0.0	46.1	44.0		
	86	22.6	18.6	82.8	57.4	2.7	0.75	2.0	0.0	44.0	42.0		
	87	25.0	15.7	95.6	56.5	2.7	0.75	2.0	10.7	42.0	50.7		
	88	24.1	14.3	95.6	58.0	2.5	0.75	1.9	0.0	50.7	48.8		
	89	25.6	14.2	90.1	50.7	2.3	0.75	1.7	0.1	48.8	47.1		
	90	22.8	13.3	83.9	49.3	2.4	0.75	1.8	0.2	47.1	45.3		
	91	23.2	12.7	83.4	31.2	2.3	0.70	1.6	0.3	45.3	43.6		
	92	26.2	12.4	81.2	32.0	2.5	0.70	1.8	0.4	43.6	42.3		
	93	19.6	13.4	83.9	59.2	2.4	0.70	1.7	0.5	42.3	41.1		Colheita

Legenda: DAE: dias após emergência das plantas; T: temperatura; UR: umidade relativa do ar; Eto: evapotranspiração de referência; P: precipitação; A: armazenamento de água no solo; I: irrigação; Z: profundidade efetiva do sistema radicular.

Tabela 2. Valores médios diários de tensão de água no solo na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, ano 2008.

Valores médios de tensão de água no solo (kPa)										
DAE	0 Mg ha ⁻¹		4,0 Mg ha ⁻¹		6,0 Mg ha ⁻¹		8,0 Mg ha ⁻¹		12,0 Mg ha ⁻¹	
	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm	20 cm	40 cm
13	12.67	11.67	13.3	12.3	11.7	11.7	10.7	14.7	6.0	11.0
14	15.33	12.00	18.0	14.0	15.0	12.7	12.7	15.7	9.3	11.7
15	22.33	13.33	23.7	15.3	22.3	14.3	17.3	12.0	11.7	12.7
16	28.33	16.33	27.3	15.0	27.0	15.3	22.7	12.7	13.0	11.3
17	36.00	13.00	38.7	11.3	37.0	12.7	28.3	11.0	18.7	10.7
18	21.00	12.33	17.7	10.3	17.3	11.0	14.7	7.7	11.3	6.7
19	22.67	12.33	28.7	13.0	26.3	13.0	25.3	9.7	16.3	9.0
20	34.67	14.00	37.3	15.3	35.3	13.3	33.0	11.3	22.3	9.7
21	47.33	20.67	43.3	17.3	43.0	14.7	37.0	12.7	26.0	11.3
22	21.00	14.33	20.0	11.3	18.3	13.7	19.0	16.3	11.0	11.3
24	30.00	15.67	34.7	14.3	33.0	15.3	30.3	12.3	18.3	10.7
25	40.33	15.33	43.7	15.7	37.3	10.0	32.0	12.7	21.3	12.3
26	47.67	17.67	47.7	17.3	42.7	15.0	40.0	15.3	25.7	14.7
27	29.00	18.33	26.7	19.3	23.7	15.3	22.0	15.7	10.0	13.3
28	44.67	17.33	37.3	18.7	34.7	12.7	31.3	17.7	15.0	12.7
29	47.00	20.33	41.3	20.7	40.3	14.7	35.7	16.7	16.3	13.7
30	51.67	20.33	48.0	19.3	46.3	15.3	42.3	11.7	20.7	13.7
31	26.33	18.33	18.3	16.3	18.3	16.7	16.0	13.3	6.7	14.0
32	29.33	20.33	25.0	18.7	26.3	18.3	21.0	17.0	14.3	14.0
33	39.67	24.00	35.3	21.0	33.0	19.7	29.0	17.7	18.7	15.7
34	41.00	25.67	42.0	22.3	38.0	16.7	34.3	18.3	28.0	17.3
35	51.67	24.33	47.0	27.3	45.0	19.7	41.7	17.0	31.3	18.0
36	57.33	25.00	52.0	28.0	50.3	22.0	46.3	18.7	34.3	12.7
37	23.67	12.33	16.0	13.7	14.7	13.3	13.7	11.7	11.3	10.0
38	31.33	19.33	26.7	18.3	25.3	20.3	23.0	19.7	20.0	16.7
39	35.67	22.00	34.7	24.0	33.0	21.7	30.0	22.0	26.3	19.0
40	41.33	26.00	40.3	23.0	37.3	20.7	34.3	20.7	32.7	19.7
41	17.33	18.33	15.7	15.3	15.3	13.7	14.3	15.7	11.7	16.0
42	24.33	19.33	24.0	16.0	23.7	15.3	21.3	16.3	19.3	12.7
43	37.67	19.67	36.7	18.0	36.3	17.3	27.7	16.3	21.3	15.3
44	43.00	21.33	43.7	20.3	43.7	19.3	35.0	19.3	28.7	15.7
45	2.33	6.00	2.7	4.0	2.7	3.7	2.7	3.0	2.3	3.7
46	7.67	11.00	8.0	9.7	6.3	6.3	5.0	7.3	4.0	5.0
47	13.33	13.33	11.7	14.3	12.0	13.3	11.3	15.0	10.0	10.0
48	21.33	12.67	25.7	16.7	23.7	19.3	21.7	19.7	18.0	16.7
49	32.00	19.67	32.3	22.7	31.7	25.0	28.7	26.0	25.7	23.0
50	3.67	7.67	3.7	3.7	4.0	5.7	2.3	3.0	2.0	2.0
51	6.67	6.67	5.0	3.3	4.7	4.0	1.3	4.3	2.7	4.3
52	14.67	12.00	16.3	11.7	12.3	11.7	9.0	10.3	8.3	9.7
53	29.00	15.33	28.0	12.7	25.7	16.7	22.3	13.3	20.0	12.0
54	36.00	18.67	38.0	18.7	31.0	20.7	28.7	18.0	26.3	17.3
55	44.33	17.33	44.3	19.3	40.0	21.7	35.3	21.3	31.7	20.0
56	22.33	19.33	19.7	18.7	18.0	20.3	15.0	18.7	11.3	21.7
57	35.67	18.33	34.0	18.0	33.0	20.3	32.0	18.3	22.3	17.7
58	45.33	21.00	42.0	18.7	40.0	18.7	39.0	22.7	29.7	18.7
59	24.00	18.33	28.7	19.3	22.0	22.3	19.0	23.7	14.0	21.3
60	38.67	19.33	42.3	21.3	36.3	24.0	34.0	26.7	31.3	22.3
61	19.67	17.67	15.3	17.3	16.3	15.7	13.0	18.7	9.3	15.7
62	29.00	21.33	25.0	20.3	23.3	19.7	20.3	18.0	20.0	23.0
63	36.67	31.67	35.7	36.0	42.0	30.0	35.7	37.0	34.0	32.7
64	48.00	42.33	45.0	48.3	48.7	39.7	44.7	49.3	41.3	43.0
65	18.00	21.67	21.7	25.0	27.0	19.3	23.3	21.3	22.0	15.0
66	31.33	25.00	30.3	24.7	38.3	22.7	34.0	24.7	29.7	20.0
67	42.00	30.00	38.7	26.7	44.7	21.7	45.3	31.3	37.3	26.0
68	40.00	26.00	44.3	24.7	48.7	25.3	50.7	26.0	45.3	24.0
69	17.67	22.00	18.7	18.7	19.0	17.7	18.7	19.3	15.7	13.7
70	26.00	17.67	26.7	16.0	24.0	23.0	25.0	25.3	23.0	19.3
71	39.00	23.00	34.7	22.0	32.3	21.7	33.3	23.0	35.0	23.3
72	42.33	23.67	40.0	23.3	38.0	22.7	41.3	24.7	43.7	22.3
73	16.67	16.00	15.3	15.7	14.7	11.0	17.7	14.3	16.3	18.3
74	24.67	15.00	26.7	15.7	24.3	17.3	24.7	21.7	24.3	20.7
75	31.67	16.00	30.3	14.0	31.0	17.7	31.0	19.7	28.7	19.0
76	12.33	12.67	11.3	11.7	11.3	13.3	10.7	14.0	9.3	12.3
77	20.67	15.00	17.7	12.7	17.0	11.3	17.3	11.3	16.0	12.3
78	28.33	16.67	25.0	15.7	23.0	13.0	22.7	13.7	20.7	14.3
79	31.00	16.67	31.7	16.3	28.0	15.3	29.0	18.0	25.3	16.3
80	31.67	20.00	34.0	24.0	32.7	17.7	31.7	19.7	29.7	18.3
81	9.67	10.67	12.0	12.7	11.0	14.0	10.3	15.0	9.3	12.3
82	13.00	15.33	15.7	16.7	15.7	20.0	14.3	16.3	14.3	13.7
83	23.00	16.00	22.3	15.7	20.7	23.0	20.7	16.0	19.0	15.7

Legenda: DAE: dias após emergência das plantas.

Tabela 3. Valores médios de umidade do solo, nas profundidades de 0,20 e 0,40 m, na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, ano 2008.

Estádio	Valores médios da Umidade do solo (%) na profundidade de 20 cm.						Valores médios da Umidade do solo (%) na profundidade de 40 cm.						
	DAE	0 Mg ha ⁻¹	4,0 Mg ha ⁻¹	6,0 Mg ha ⁻¹	8,0 Mg ha ⁻¹	12,0 Mg ha ⁻¹	DAE	0 Mg ha ⁻¹	4,0 Mg ha ⁻¹	6,0 Mg ha ⁻¹	8,0 Mg ha ⁻¹	12,0 Mg ha ⁻¹	
DV	13	35,4	35,3	35,7	35,9	37,7	13	35,7	35,5	35,7	35,0	35,8	
	14	34,9	34,5	35,0	35,4	36,3	14	35,6	35,1	35,4	34,8	35,7	
	15	33,9	33,8	33,9	34,6	35,7	15	35,3	34,9	35,1	35,6	35,4	
	16	33,4	33,4	33,5	33,9	35,3	16	34,7	35,0	34,9	35,4	35,7	
	17	32,8	32,7	32,7	33,4	34,4	17	35,3	35,7	35,4	35,8	35,9	
	18	34,1	34,5	34,6	35,0	35,7	18	35,5	36,0	35,8	36,9	37,4	
	19	33,9	33,3	33,5	33,6	34,7	19	35,5	35,3	35,3	36,2	36,4	
	20	32,9	32,7	32,9	33,0	33,9	20	35,1	34,9	35,3	35,7	36,2	
	21	32,2	32,4	32,4	32,7	33,6	21	34,1	34,6	35,0	35,4	35,7	
	22	34,1	34,2	34,4	34,3	35,8	22	35,1	35,7	35,2	34,7	35,7	
	23	33,5	33,6	33,5	33,9	34,9	23	35,0	36,0	35,4	36,5	36,7	
	24	33,2	32,9	33,0	33,2	34,4	24	34,8	35,1	34,9	35,5	35,9	
	25	32,6	32,4	32,7	33,1	34,0	25	34,9	34,8	36,1	35,4	35,5	
	26	32,2	32,2	32,4	32,6	33,6	26	34,5	34,6	35,0	34,9	35,0	
	27	33,3	33,5	33,8	34,0	36,1	27	34,4	34,3	34,9	34,8	35,3	
	28	32,3	32,7	32,9	33,1	35,0	28	34,6	34,4	35,4	34,5	35,4	
	29	32,2	32,5	32,6	32,8	34,7	29	34,2	34,1	35,0	34,7	35,2	
	30	32,0	32,2	32,3	32,5	34,1	30	34,2	34,3	34,9	35,7	35,2	
	31	33,5	34,4	34,4	34,8	37,4	31	34,4	34,7	34,7	35,3	35,1	
	32	33,3	33,7	33,5	34,1	35,1	32	34,2	34,4	34,4	34,6	35,1	
	33	32,6	32,9	33,0	33,3	34,4	33	33,7	34,1	34,2	34,5	34,8	
	Média	33,3	33,3	33,5	33,8	35,1	Média	34,8	34,9	35,1	35,3	35,7	
	dp	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	dp	0,6	0,6	0,4	0,7	0,6	
	CV(%)	2,7	2,6	2,8	2,8	3,2	CV(%)	1,6	1,7	1,3	1,9	1,7	
	FL	34	32,5	32,5	32,7	32,9	33,4	34	33,6	33,9	34,7	34,4	34,6
		35	32,0	32,2	32,3	32,5	33,1	35	33,7	33,4	34,2	34,6	34,5
		36	31,8	32,0	32,1	32,3	32,9	36	33,7	33,4	34,0	34,4	35,4
		37	33,8	34,8	35,0	35,2	35,7	37	35,5	35,2	35,3	35,7	36,1
		38	33,1	33,5	33,6	33,9	34,2	38	34,3	34,4	34,2	34,2	34,7
		39	32,8	32,9	33,0	33,2	33,5	39	34,0	33,7	34,0	34,0	34,3
		40	32,5	32,6	32,7	32,9	33,0	40	33,6	33,9	34,1	34,1	34,2
		41	34,6	34,8	34,9	35,1	35,7	41	34,4	34,9	35,2	34,8	34,8
		42	33,7	33,7	33,8	34,0	34,3	42	34,3	34,8	34,9	34,7	35,4
43		32,7	32,8	32,8	33,4	34,0	43	34,2	34,5	34,6	34,7	34,9	
44		32,4	32,4	32,4	32,9	33,3	44	34,0	34,2	34,3	34,3	34,8	
45		41,2	40,7	40,7	40,7	41,2	45	37,7	39,1	39,5	40,2	39,5	
46		36,9	36,8	37,5	38,3	39,1	46	35,8	36,2	37,5	37,1	38,3	
47		35,3	35,7	35,6	35,7	36,1	47	35,3	35,1	35,3	35,0	36,1	
48		34,0	33,6	33,8	34,0	34,5	48	35,4	34,7	34,3	34,2	34,7	
49		33,1	33,1	33,1	33,3	33,6	49	34,2	33,9	33,7	33,6	33,9	
50		39,5	39,5	39,1	39,1	41,9	50	36,9	39,5	37,9	40,2	41,9	
51		37,4	38,3	38,6	38,3	40,7	51	37,4	39,8	39,1	38,8	38,8	
52		35,0	34,7	35,5	36,4	36,7	52	35,6	35,7	35,7	36,0	36,2	
53		33,3	33,4	33,6	33,9	34,2	53	34,9	35,4	34,7	35,3	35,6	
Média		34,4	34,5	34,6	34,9	35,6	Média	34,9	35,3	35,3	35,5	35,9	
dp		2,5	2,5	2,5	2,4	2,9	dp	1,3	2,0	1,7	2,0	2,1	
CV(%)		7,4	7,3	7,2	7,0	8,1	CV(%)	3,6	5,5	4,9	5,6	5,8	
EG		54	32,8	32,7	33,1	33,3	33,5	54	34,4	34,4	34,1	34,5	34,6
		55	32,4	32,4	32,6	32,9	33,1	55	34,6	34,3	34,0	34,0	34,2
		56	33,9	34,2	34,5	35,0	35,7	56	34,3	34,4	34,2	34,4	34,0
		57	32,8	32,9	33,0	33,1	33,9	57	34,4	34,5	34,2	34,4	34,5
		58	32,3	32,5	32,6	32,6	33,2	58	34,1	34,4	34,4	33,9	34,4
		59	33,7	33,3	34,0	34,3	35,1	59	34,4	34,3	33,9	33,8	34,0
		60	32,7	32,5	32,8	32,9	33,1	60	34,3	34,0	33,7	33,5	33,9
		61	34,2	34,9	34,7	35,3	36,3	61	34,5	34,6	34,8	34,4	34,8
		62	33,3	33,7	33,8	34,2	34,2	62	34,0	34,2	34,2	34,5	33,9
		63	32,8	32,8	32,5	32,8	32,9	63	33,1	32,8	33,2	32,7	33,0
	64	32,2	32,3	32,2	32,3	32,5	64	32,5	32,2	32,6	32,1	32,4	
	65	34,5	34,0	33,5	33,8	34,0	65	34,0	33,7	34,3	34,0	35,0	
	66	33,1	33,2	32,7	32,9	33,2	66	33,7	33,7	33,9	33,7	34,2	
	67	32,5	32,7	32,3	32,3	32,7	67	33,2	33,5	34,0	33,1	33,6	
	68	32,6	32,4	32,2	32,1	32,3	68	33,6	33,7	33,6	33,6	33,7	
	69	34,5	34,4	34,3	34,4	34,8	69	34,0	34,4	34,5	34,3	35,2	
	70	33,6	33,5	33,7	33,7	33,9	70	34,5	34,8	33,9	33,6	34,3	
	71	32,6	32,9	33,1	33,0	32,9	71	33,9	34,0	34,0	33,9	33,8	
	72	32,5	32,6	32,7	32,5	32,4	72	33,8	33,8	33,9	33,7	33,9	
	73	34,7	34,9	35,0	34,5	34,7	73	34,8	34,8	35,8	35,1	34,4	
	74	33,7	33,5	33,7	33,7	33,7	74	35,0	34,8	34,6	34,0	34,1	
	75	33,1	33,2	33,1	33,1	33,3	75	34,8	35,1	34,5	34,2	34,3	
	Média	33,2	33,2	33,3	33,4	33,7	Média	34,1	34,1	34,1	33,9	34,1	
	dp	0,8	0,8	0,8	0,9	1,1	dp	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	
	CV(%)	2,4	2,4	2,5	2,7	3,2	CV(%)	1,8	2,0	1,8	1,9	1,8	
	MF	76	35,5	35,7	35,7	35,9	36,3	76	35,4	35,7	35,3	35,1	35,5
		77	34,1	34,5	34,6	34,6	34,8	77	35,0	35,4	35,7	35,7	35,5
		78	33,4	33,7	33,9	33,9	34,1	78	34,7	34,8	35,3	35,2	35,1
		79	33,1	33,1	33,4	33,3	33,6	79	34,7	34,7	34,9	34,5	34,7
		80	33,1	32,9	33,0	33,1	33,2	80	34,2	33,7	34,5	34,2	34,4
		81	36,2	35,6	35,8	36,0	36,3	81	35,9	35,4	35,1	35,0	35,5
		82	35,3	34,8	34,8	35,1	35,1	82	34,9	34,7	34,2	34,7	35,2
		83	33,9	33,9	34,1	34,1	34,3	83	34,8	34,8	33,9	34,8	34,8
Média		34,3	34,3	34,4	34,5	34,7	Média	34,9	34,9	34,9	34,9	35,1	
dp		1,2	1,1	1,0	1,1	1,1	dp	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	
CV(%)		3,5	3,1	3,0	3,2	3,3	CV(%)	1,5	1,7	1,8	1,3	1,2	

Legenda: CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Tabela 4. Valores médios dos componentes do balanço hídrico de campo na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, ano 2008.

Tratamento 0,0 Mg ha ⁻¹											
DAE	Dias	Estádio	P (mm)	I (mm)	AA (mm)	Etc (mm)	± D (mm)	Etc _m (mm)	Etc _{ac} (mm)	Eto (mm)	Kc
13 a 19	7	DV	0.0	10.0	2.3	7.7	-2.62E-06	1.1	0.0	12.5	0.62
20 a 26	7	DV	0.0	11.0	2.5	8.5	-4.80E-07	1.2	16.2	12	0.71
27 a 33	7	DV	0.0	5.0	-0.6	5.6	-2.40E-07	0.8	21.8	11.3	0.49
34 a 40	7	FL	0.0	18.0	1.9	16.1	-2.94E-07	2.3	37.9	13	1.24
41 a 47	7	FL	17.0	8.0	-5.5	30.5	4.22E-03	4.4	68.4	14.4	2.12
48 a 53	6	FL	30.5	0.0	4.0	26.5	4.54E-04	4.4	94.9	12.7	2.09
54 a 60	7	EG	0.0	16.0	1.3	14.7	-3.04E-07	2.1	109.6	16.3	0.90
61 a 67	7	EG	4.5	10.0	0.4	14.1	-1.45E-07	2.0	123.7	16.2	0.87
68 a 75	6	EG	0.0	29.0	-1.2	30.2	-4.00E-07	5.0	154.0	15.4	1.96
76 a 83	8	MF	0.0	12.0	-2.6	14.6	-2.62E-06	1.8	168.5	18.2	0.80

Tratamento 4,0 Mg ha ⁻¹											
DAE	Dias	Estádio	P (mm)	I (mm)	AA (mm)	Etc (mm)	± D (mm)	Etc _m (mm)	Etc _{ac} (mm)	Eto (mm)	Kc
13 a 19	7	DV	0.0	10.0	2.9	7.1	-2.24E-06	1.0	0.0	12.5	0.57
20 a 26	7	DV	0.0	11.0	1.7	9.3	-6.53E-07	1.3	16.4	12	0.78
27 a 33	7	DV	0.0	5.0	-1.0	6.0	-4.69E-07	0.9	22.4	11.3	0.53
34 a 40	7	FL	0.0	18.0	2.2	15.8	-6.40E-07	2.3	38.2	13	1.22
41 a 47	7	FL	17.0	8.0	-6.2	31.1	-8.77E-04	4.4	69.3	14.4	2.16
48 a 53	6	FL	30.5	0.0	4.5	25.9	-6.78E-04	4.3	95.2	12.7	2.04
54 a 60	7	EG	0.0	16.0	1.8	14.2	-2.89E-07	2.0	109.4	16.3	0.87
61 a 67	7	EG	4.5	10.0	-0.4	14.9	-9.01E-08	2.1	124.3	16.2	0.92
68 a 75	6	EG	0.0	29.0	-1.1	30.1	-6.64E-07	5.0	154.4	15.4	1.95
76 a 83	8	MF	0.0	12.0	-2.5	14.5	-2.78E-06	1.8	168.9	18.2	0.80

Tratamento 6,0 Mg ha ⁻¹											
DAE	Dias	Estádio	P (mm)	I (mm)	AA (mm)	Etc (mm)	± D (mm)	Etc _m (mm)	Etc _{ac} (mm)	Eto (mm)	Kc
13 a 19	7	DV	0.0	10.0	3.2	6.8	-3.02E-07	1.0	0.0	12.5	0.54
20 a 26	7	DV	0.0	11.0	1.6	9.4	-5.23E-08	1.3	16.2	12	0.78
27 a 33	7	DV	0.0	5.0	-0.8	5.8	-4.29E-08	0.8	22.0	11.3	0.52
34 a 40	7	FL	0.0	18.0	2.0	16.0	-7.28E-08	2.3	38.0	13	1.23
41 a 47	7	FL	17.0	8.0	-5.7	30.6	-4.11E-04	4.4	68.6	14.4	2.13
48 a 53	6	FL	36.8	0.0	4.0	32.8	-5.33E-05	5.5	101.4	12.7	2.58
54 a 60	7	EG	0.0	16.0	1.6	14.4	-9.64E-09	2.1	115.8	16.3	0.88
61 a 67	7	EG	4.5	10.0	0.9	13.6	-4.04E-08	1.9	129.4	16.2	0.84
68 a 75	6	EG	0.0	29.0	-1.6	30.6	-1.37E-07	5.1	160.0	15.4	1.99
76 a 83	8	MF	1.0	12.0	-2.9	15.9	4.54E-08	2.0	175.9	18.2	0.87

Tratamento 8,0 Mg ha ⁻¹											
DAE	Dias	Estádio	P (mm)	I (mm)	AA (mm)	Etc (mm)	± D (mm)	Etc _m (mm)	Etc _{ac} (mm)	Eto (mm)	Kc
13 a 19	7	DV	0.0	10.0	3.4	6.6	1.43E-08	0.9	0.0	12.5	0.52
20 a 26	7	DV	0.0	11.0	1.6	9.4	-2.91E-08	1.3	16.0	12	0.79
27 a 33	7	DV	0.0	5.0	-1.1	6.1	-4.64E-08	0.9	22.1	11.3	0.54
34 a 40	7	FL	0.0	18.0	2.1	15.9	-6.53E-08	2.3	38.0	13	1.22
41 a 47	7	FL	17.0	8.0	-5.6	30.6	-3.46E-04	4.4	68.6	14.4	2.12
48 a 53	6	FL	36.8	0.0	3.6	33.1	-7.20E-05	5.5	101.7	12.7	2.61
54 a 60	7	EG	0.0	16.0	2.0	14.0	1.34E-08	2.0	115.7	16.3	0.86
61 a 67	7	EG	4.5	10.0	1.2	13.3	-9.47E-09	1.9	129.0	16.2	0.82
68 a 75	6	EG	0.0	29.0	-1.7	30.7	-2.60E-08	5.1	159.6	15.4	1.99
76 a 83	8	MF	1.0	12.0	-2.9	15.9	2.30E-07	2.0	175.5	18.2	0.87

Tratamento 12,0 Mg ha ⁻¹											
DAE	Dias	Estádio	P (mm)	I (mm)	AA (mm)	Etc (mm)	± D (mm)	Etc _m (mm)	Etc _{ac} (mm)	Eto (mm)	Kc
13 a 19	7	DV	0.0	10.0	4.5	5.5	4.31E-05	0.8	0.0	12.5	0.44
20 a 26	7	DV	0.0	11.0	1.7	9.3	-2.40E-07	1.3	14.8	12	0.77
27 a 33	7	DV	0.0	5.0	-1.2	6.2	5.93E-06	0.9	21.0	11.3	0.55
34 a 40	7	FL	0.0	18.0	3.5	14.5	-1.85E-07	2.1	35.5	13	1.11
41 a 47	7	FL	17.0	8.0	-6.2	31.1	-3.72E-04	4.4	66.6	14.4	2.16
48 a 53	6	FL	36.8	0.0	3.8	32.9	-2.67E-03	5.5	99.5	12.7	2.59
54 a 60	7	EG	0.0	16.0	2.2	13.8	4.72E-07	2.0	113.4	16.3	0.85
61 a 67	7	EG	4.5	10.0	0.8	13.7	6.58E-07	2.0	127.1	16.2	0.85
68 a 75	6	EG	0.0	29.0	-1.2	30.2	-4.12E-08	5.0	157.3	15.4	1.96
76 a 83	8	MF	1.0	12.0	-2.8	15.8	2.06E-07	2.0	173.1	18.2	0.87

Legenda: DAE: dias após emergência; P: precipitação; I: irrigação; AA: variação do armazenamento de água no solo; Etc: evapotranspiração da cultura; D: drenagem; Ac: ascensão capilar; Etc_m: evapotranspiração média no período; Etc_{ac}: evapotranspiração acumulada; Eto: evapotranspiração de referência; Kc: coeficiente de cultura.

Tabela 5. Componentes de produtividade, número de vagens (NV); número de grãos por vagem (NGV); número de grãos por planta (NGP) e peso de grãos (PG) da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 0,0 e 4,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2008.

Tratamento	Repetição	Componentes de produtividade				Tratamento	Repetição	Componentes de produtividade			
		NV	NGV	NGP	PG (g)			NV	NGV	NGP	PG (g)
0 Mg/ha	R1	7.0	4.4	31.0	9.3	4 Mg/ha	R1	10.0	4.3	43.0	12.0
0 Mg/ha	R1	11.0	4.9	54.0	16.9	4 Mg/ha	R1	6.0	4.0	24.0	6.8
0 Mg/ha	R1	5.0	6.2	31.0	9.9	4 Mg/ha	R1	17.0	4.6	79.0	23.9
0 Mg/ha	R1	16.0	3.8	61.0	18.3	4 Mg/ha	R1	10.0	3.2	32.0	8.8
0 Mg/ha	R1	8.0	3.4	27.0	11.0	4 Mg/ha	R1	10.0	3.4	34.0	9.7
0 Mg/ha	R1	17.0	4.8	82.0	26.4	4 Mg/ha	R1	1.0	2.0	2.0	0.8
0 Mg/ha	R1	15.0	5.4	81.0	24.7	4 Mg/ha	R1	11.0	3.1	34.0	8.0
0 Mg/ha	R1	19.0	3.1	59.0	14.8	4 Mg/ha	R1	3.0	4.7	14.0	3.3
0 Mg/ha	R1	15.0	5.1	77.0	24.2	4 Mg/ha	R1	19.0	3.8	72.0	20.3
0 Mg/ha	R1	14.0	5.3	74.0	22.8	4 Mg/ha	R1	18.0	4.3	78.0	21.0
0 Mg/ha	R1	11.0	3.7	41.0	13.8	4 Mg/ha	R1	19.0	4.4	83.0	24.2
0 Mg/ha	R1	15.0	3.5	52.0	15.3	4 Mg/ha	R1	16.0	4.7	75.0	23.4
0 Mg/ha	R1	12.0	4.1	49.0	16.9	4 Mg/ha	R1	13.0	4.2	55.0	16.5
0 Mg/ha	R1	8.0	3.5	28.0	10.9	4 Mg/ha	R1	8.0	4.1	33.0	10.3
0 Mg/ha	R1	10.0	4.7	47.0	15.8	4 Mg/ha	R1	15.0	4.5	67.0	20.5
0 Mg/ha	R1	4.0	5.0	20.0	8.0	4 Mg/ha	R1	13.0	4.8	62.0	19.1
0 Mg/ha	R1	5.0	4.4	22.0	6.1	4 Mg/ha	R1	19.0	4.6	87.0	22.4
0 Mg/ha	R1	10.0	3.4	34.0	12.0	4 Mg/ha	R1	29.0	3.4	100.0	30.1
0 Mg/ha	R1	17.0	4.8	81.0	24.9	4 Mg/ha	R1	17.0	5.2	89.0	25.5
0 Mg/ha	R1	16.0	3.9	62.0	21.7	4 Mg/ha	R1	18.0	4.5	81.0	23.5
0 Mg/ha	R1	17.0	5.2	88.0	25.9	4 Mg/ha	R1	14.0	5.0	70.0	19.7
0 Mg/ha	R1	15.0	5.1	76.0	23.3	4 Mg/ha	R1	19.0	4.3	82.0	22.1
0 Mg/ha	R1	8.0	4.1	33.0	13.3	4 Mg/ha	R1	18.0	3.9	70.0	21.7
0 Mg/ha	R1	16.0	4.3	68.0	22.2	4 Mg/ha	R1	11.0	5.5	61.0	16.4
0 Mg/ha	R1	16.0	4.4	70.0	23.0	4 Mg/ha	R1	12.0	5.3	63.0	14.1
0 Mg/ha	R2	18.0	4.2	76.0	24.9	4 Mg/ha	R2	6.0	3.8	23.0	5.7
0 Mg/ha	R2	10.0	4.2	42.0	14.5	4 Mg/ha	R2	5.0	4.6	23.0	5.9
0 Mg/ha	R2	17.0	4.2	72.0	20.8	4 Mg/ha	R2	9.0	4.3	39.0	9.5
0 Mg/ha	R2	12.0	4.1	49.0	17.5	4 Mg/ha	R2	5.0	3.6	18.0	4.4
0 Mg/ha	R2	5.0	6.0	30.0	9.8	4 Mg/ha	R2	12.0	4.6	55.0	15.2
0 Mg/ha	R2	7.0	5.1	36.0	10.6	4 Mg/ha	R2	6.0	5.3	32.0	9.7
0 Mg/ha	R2	9.0	5.0	45.0	12.0	4 Mg/ha	R2	2.0	3.5	7.0	2.1
0 Mg/ha	R2	9.0	4.7	42.0	12.1	4 Mg/ha	R2	15.0	5.3	79.0	22.3
0 Mg/ha	R2	9.0	5.0	45.0	12.8	4 Mg/ha	R2	18.0	4.2	76.0	20.5
0 Mg/ha	R2	14.0	4.2	59.0	16.9	4 Mg/ha	R2	11.0	4.2	46.0	10.1
0 Mg/ha	R2	7.0	4.6	32.0	8.1	4 Mg/ha	R2	37.0	4.4	163.0	46.1
0 Mg/ha	R2	16.0	4.9	79.0	20.5	4 Mg/ha	R2	14.0	5.1	72.0	19.1
0 Mg/ha	R2	12.0	4.2	50.0	15.9	4 Mg/ha	R2	13.0	5.0	65.0	16.7
0 Mg/ha	R2	15.0	3.5	52.0	14.8	4 Mg/ha	R2	12.0	4.2	50.0	13.8
0 Mg/ha	R2	11.0	4.8	53.0	15.7	4 Mg/ha	R2	25.0	3.1	78.0	21.3
0 Mg/ha	R2	24.0	4.5	108.0	33.0	4 Mg/ha	R2	20.0	4.3	86.0	22.9
0 Mg/ha	R2	11.0	4.6	51.0	14.7	4 Mg/ha	R2	18.0	3.7	66.0	21.5
0 Mg/ha	R2	17.0	4.9	83.0	22.0	4 Mg/ha	R2	20.0	4.6	92.0	28.3
0 Mg/ha	R2	17.0	4.7	80.0	21.5	4 Mg/ha	R2	22.0	4.6	102.0	30.7
0 Mg/ha	R2	20.0	5.2	104.0	30.2	4 Mg/ha	R2	18.0	4.7	84.0	24.0
0 Mg/ha	R2	9.0	5.2	47.0	14.4	4 Mg/ha	R2	12.0	3.5	42.0	14.5
0 Mg/ha	R2	16.0	5.6	90.0	26.1	4 Mg/ha	R2	20.0	4.3	85.0	22.5
0 Mg/ha	R2	26.0	5.2	134.0	30.4	4 Mg/ha	R2	35.0	4.5	159.0	43.0
0 Mg/ha	R2	7.0	4.6	32.0	6.6	4 Mg/ha	R2	20.0	3.2	64.0	19.4
0 Mg/ha	R2	18.0	2.6	47.0	15.9	4 Mg/ha	R2	15.0	4.7	71.0	20.0
0 Mg/ha	R3	19.0	4.5	85.0	18.3	4 Mg/ha	R3	19.0	4.7	89.0	21.7
0 Mg/ha	R3	14.0	3.8	53.0	14.1	4 Mg/ha	R3	8.0	3.9	31.0	6.9
0 Mg/ha	R3	21.0	3.7	78.0	24.0	4 Mg/ha	R3	29.0	3.9	113.0	29.6
0 Mg/ha	R3	27.0	3.3	88.0	27.0	4 Mg/ha	R3	19.0	3.8	73.0	22.3
0 Mg/ha	R3	12.0	2.9	35.0	9.5	4 Mg/ha	R3	27.0	3.9	106.0	28.5
0 Mg/ha	R3	14.0	4.7	66.0	18.6	4 Mg/ha	R3	13.0	4.1	53.0	16.2
0 Mg/ha	R3	11.0	4.3	47.0	10.9	4 Mg/ha	R3	6.0	2.8	17.0	5.6
0 Mg/ha	R3	15.0	4.2	63.0	17.9	4 Mg/ha	R3	9.0	2.9	26.0	5.5
0 Mg/ha	R3	9.0	5.1	46.0	12.1	4 Mg/ha	R3	14.0	3.9	55.0	14.3
0 Mg/ha	R3	6.0	4.5	27.0	5.6	4 Mg/ha	R3	15.0	4.8	72.0	21.8
0 Mg/ha	R3	6.0	4.2	25.0	6.1	4 Mg/ha	R3	6.0	4.8	29.0	8.5
0 Mg/ha	R3	5.0	5.0	25.0	5.4	4 Mg/ha	R3	15.0	3.7	56.0	18.2
0 Mg/ha	R3	14.0	3.6	50.0	13.6	4 Mg/ha	R3	18.0	3.6	65.0	18.4
0 Mg/ha	R3	13.0	4.8	63.0	15.4	4 Mg/ha	R3	14.0	1.9	27.0	9.1
0 Mg/ha	R3	9.0	4.4	40.0	11.5	4 Mg/ha	R3	13.0	3.0	39.0	12.4
0 Mg/ha	R3	9.0	3.7	33.0	9.3	4 Mg/ha	R3	15.0	4.2	63.0	20.6
0 Mg/ha	R3	7.0	3.4	24.0	6.1	4 Mg/ha	R3	5.0	4.8	24.0	7.6
0 Mg/ha	R3	10.0	4.7	47.0	9.2	4 Mg/ha	R3	19.0	4.4	84.0	26.5
0 Mg/ha	R3	21.0	4.8	100.0	28.5	4 Mg/ha	R3	12.0	3.7	44.0	13.1
0 Mg/ha	R3	23.0	4.6	105.0	29.2	4 Mg/ha	R3	19.0	4.7	89.0	26.3
0 Mg/ha	R3	19.0	4.6	87.0	22.4	4 Mg/ha	R3	8.0	2.1	17.0	5.5
0 Mg/ha	R3	12.0	4.2	50.0	12.4	4 Mg/ha	R3	18.0	4.3	77.0	22.6
0 Mg/ha	R3	13.0	4.2	55.0	17.5	4 Mg/ha	R3	19.0	4.0	76.0	21.8
0 Mg/ha	R3	11.0	3.5	38.0	11.4	4 Mg/ha	R3	15.0	3.9	58.0	17.4
0 Mg/ha	R3	14.0	5.3	74.0	22.8	4 Mg/ha	R3	23.0	4.3	100.0	28.3
	média	13.0	4.4	57.2	16.7		média	14.9	4.1	62.0	17.6
	dp	5.2	0.7	24.1	6.9		dp	7.0	0.7	30.9	8.8
	CV (%)	39.6	15.9	42.1	41.0		CV (%)	46.8	18.0	49.8	49.9

Legenda: CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Tabela 6. Componentes de produtividade, número de vagens (NV); número de grãos por vagem (NGV); número de grãos por planta (NGP) e peso de grãos (PG) da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 6,0 e 8,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2008.

Tratamento	Repetição	Componentes de produtividade			
		NV	NGV	NGP	PG (g)
6 Mg/ha	R1	2.0	3.0	6.0	3.9
6 Mg/ha	R1	6.0	2.2	13.0	5.6
6 Mg/ha	R1	17.0	2.8	48.0	16.4
6 Mg/ha	R1	19.0	4.2	80.0	26.7
6 Mg/ha	R1	10.0	4.2	42.0	14.7
6 Mg/ha	R1	20.0	5.6	111.0	38.0
6 Mg/ha	R1	25.0	5.1	128.0	37.7
6 Mg/ha	R1	21.0	4.5	95.0	29.5
6 Mg/ha	R1	14.0	5.4	76.0	20.9
6 Mg/ha	R1	23.0	4.3	100.0	28.3
6 Mg/ha	R1	11.0	4.1	45.0	16.2
6 Mg/ha	R1	9.0	5.7	51.0	10.8
6 Mg/ha	R1	8.0	4.9	39.0	10.9
6 Mg/ha	R1	13.0	3.8	50.0	14.2
6 Mg/ha	R1	14.0	4.4	62.0	18.5
6 Mg/ha	R1	14.0	5.4	75.0	20.5
6 Mg/ha	R1	7.0	2.9	20.0	6.1
6 Mg/ha	R1	17.0	3.6	61.0	18.6
6 Mg/ha	R1	20.0	3.3	66.0	26.3
6 Mg/ha	R1	15.0	4.6	69.0	23.6
6 Mg/ha	R1	35.0	4.7	166.0	48.3
6 Mg/ha	R1	10.0	5.4	54.0	19.3
6 Mg/ha	R1	25.0	5.0	124.0	38.8
6 Mg/ha	R1	30.0	5.2	157.0	46.1
6 Mg/ha	R1	13.0	4.2	55.0	20.4
6 Mg/ha	R2	9.0	4.7	42.0	14.5
6 Mg/ha	R2	16.0	3.8	61.0	18.7
6 Mg/ha	R2	7.0	3.1	22.0	8.5
6 Mg/ha	R2	22.0	5.0	111.0	27.8
6 Mg/ha	R2	11.0	4.4	48.0	13.2
6 Mg/ha	R2	4.0	4.0	16.0	6.1
6 Mg/ha	R2	12.0	5.1	61.0	18.9
6 Mg/ha	R2	13.0	4.5	59.0	19.4
6 Mg/ha	R2	6.0	5.2	31.0	10.8
6 Mg/ha	R2	12.0	3.7	44.0	14.7
6 Mg/ha	R2	20.0	5.1	101.0	34.6
6 Mg/ha	R2	25.0	4.6	115.0	26.8
6 Mg/ha	R2	14.0	4.9	69.0	24.3
6 Mg/ha	R2	12.0	4.2	50.0	17.8
6 Mg/ha	R2	22.0	4.0	89.0	30.7
6 Mg/ha	R2	15.0	4.7	70.0	19.9
6 Mg/ha	R2	12.0	4.1	49.0	17.5
6 Mg/ha	R2	10.0	3.7	37.0	12.4
6 Mg/ha	R2	20.0	4.6	91.0	22.1
6 Mg/ha	R2	12.0	3.5	42.0	8.5
6 Mg/ha	R2	13.0	3.4	44.0	15.4
6 Mg/ha	R2	13.0	4.2	54.0	17.6
6 Mg/ha	R2	12.0	2.8	33.0	12.1
6 Mg/ha	R2	18.0	5.0	90.0	27.3
6 Mg/ha	R2	16.0	3.1	49.0	14.1
6 Mg/ha	R3	12.0	5.3	63.0	22.8
6 Mg/ha	R3	28.0	4.5	126.0	37.9
6 Mg/ha	R3	15.0	3.9	58.0	20.0
6 Mg/ha	R3	15.0	3.3	50.0	16.9
6 Mg/ha	R3	12.0	2.4	29.0	10.9
6 Mg/ha	R3	18.0	3.6	65.0	23.8
6 Mg/ha	R3	7.0	4.3	30.0	10.0
6 Mg/ha	R3	6.0	3.2	19.0	7.5
6 Mg/ha	R3	9.0	4.8	43.0	12.9
6 Mg/ha	R3	12.0	3.8	45.0	14.3
6 Mg/ha	R3	9.0	3.4	31.0	13.0
6 Mg/ha	R3	10.0	3.9	39.0	10.8
6 Mg/ha	R3	9.0	2.8	25.0	28.3
6 Mg/ha	R3	9.0	3.0	27.0	10.1
6 Mg/ha	R3	10.0	3.8	38.0	12.6
6 Mg/ha	R3	33.0	4.2	137.0	37.5
6 Mg/ha	R3	12.0	4.1	49.0	14.6
6 Mg/ha	R3	25.0	5.1	127.0	38.8
6 Mg/ha	R3	20.0	4.8	96.0	32.0
6 Mg/ha	R3	18.0	3.6	65.0	21.3
6 Mg/ha	R3	17.0	4.4	75.0	23.9
6 Mg/ha	R3	18.0	4.5	81.0	21.8
6 Mg/ha	R3	19.0	4.7	90.0	30.2
6 Mg/ha	R3	15.0	4.1	61.0	18.9
6 Mg/ha	R3	18.0	4.3	78.0	21.0
	média	14.9	4.2	64.2	20.3
	dp	6.6	0.8	34.1	9.8
	CV (%)	44.0	19.2	53.2	48.1

Tratamento	Repetição	Componentes de produtividade			
		NV	NGV	NGP	PG (g)
8 Mg/ha	R1	10.0	4.8	48.0	13.0
8 Mg/ha	R1	25.0	3.9	98.0	27.2
8 Mg/ha	R1	15.0	4.2	63.0	19.8
8 Mg/ha	R1	18.0	5.4	97.0	25.1
8 Mg/ha	R1	23.0	4.8	110.0	30.6
8 Mg/ha	R1	25.0	5.7	143.0	35.3
8 Mg/ha	R1	20.0	4.5	89.0	22.5
8 Mg/ha	R1	22.0	4.7	104.0	23.0
8 Mg/ha	R1	18.0	4.7	85.0	21.5
8 Mg/ha	R1	11.0	4.8	53.0	14.2
8 Mg/ha	R1	12.0	5.3	63.0	21.1
8 Mg/ha	R1	18.0	5.4	97.0	27.7
8 Mg/ha	R1	19.0	5.2	98.0	26.3
8 Mg/ha	R1	22.0	4.3	94.0	29.8
8 Mg/ha	R1	14.0	5.6	79.0	30.0
8 Mg/ha	R1	17.0	5.6	96.0	27.9
8 Mg/ha	R1	19.0	5.4	102.0	30.8
8 Mg/ha	R1	19.0	5.7	109.0	27.8
8 Mg/ha	R1	25.0	4.9	122.0	33.4
8 Mg/ha	R1	10.0	5.5	55.0	14.6
8 Mg/ha	R1	16.0	5.0	80.0	19.3
8 Mg/ha	R1	23.0	4.5	104.0	30.1
8 Mg/ha	R1	14.0	4.9	69.0	18.5
8 Mg/ha	R1	19.0	5.3	100.0	26.5
8 Mg/ha	R1	23.0	4.7	109.0	30.2
8 Mg/ha	R2	15.0	4.5	67.0	20.2
8 Mg/ha	R2	17.0	4.9	84.0	21.6
8 Mg/ha	R2	26.0	6.0	155.0	46.3
8 Mg/ha	R2	19.0	5.4	103.0	30.2
8 Mg/ha	R2	19.0	4.5	85.0	26.6
8 Mg/ha	R2	26.0	3.5	90.0	27.9
8 Mg/ha	R2	17.0	4.9	84.0	23.5
8 Mg/ha	R2	32.0	5.6	178.0	49.9
8 Mg/ha	R2	25.0	5.4	134.0	35.9
8 Mg/ha	R2	19.0	5.2	98.0	29.8
8 Mg/ha	R2	26.0	5.0	129.0	33.9
8 Mg/ha	R2	35.0	4.4	155.0	44.8
8 Mg/ha	R2	13.0	2.3	30.0	8.7
8 Mg/ha	R2	33.0	4.4	144.0	69.4
8 Mg/ha	R2	31.0	4.5	138.0	42.4
8 Mg/ha	R2	22.0	4.5	100.0	29.3
8 Mg/ha	R2	34.0	4.3	145.0	37.4
8 Mg/ha	R2	13.0	5.3	69.0	15.9
8 Mg/ha	R2	18.0	4.8	87.0	20.5
8 Mg/ha	R2	13.0	4.2	54.0	16.9
8 Mg/ha	R2	6.0	4.8	29.0	8.9
8 Mg/ha	R2	8.0	5.1	41.0	13.7
8 Mg/ha	R2	26.0	4.2	110.0	33.7
8 Mg/ha	R2	11.0	4.5	50.0	12.8
8 Mg/ha	R2	27.0	4.4	118.0	37.6
8 Mg/ha	R3	10.0	4.7	47.0	11.5
8 Mg/ha	R3	22.0	4.0	87.0	24.5
8 Mg/ha	R3	9.0	4.0	36.0	16.1
8 Mg/ha	R3	15.0	4.1	61.0	13.2
8 Mg/ha	R3	16.0	4.4	71.0	16.7
8 Mg/ha	R3	33.0	4.1	136.0	36.3
8 Mg/ha	R3	3.0	3.3	10.0	2.6
8 Mg/ha	R3	20.0	4.4	88.0	21.5
8 Mg/ha	R3	7.0	4.9	34.0	8.0
8 Mg/ha	R3	4.0	5.3	21.0	4.8
8 Mg/ha	R3	4.0	5.0	20.0	4.1
8 Mg/ha	R3	6.0	2.2	13.0	2.8
8 Mg/ha	R3	11.0	2.1	23.0	7.9
8 Mg/ha	R3	4.0	4.3	17.0	3.5
8 Mg/ha	R3	7.0	4.1	29.0	7.8
8 Mg/ha	R3	20.0	3.4	68.0	17.5
8 Mg/ha	R3	10.0	2.0	20.0	6.5
8 Mg/ha	R3	8.0	4.9	39.0	9.8
8 Mg/ha	R3	14.0	4.0	56.0	12.1
8 Mg/ha	R3	10.0	3.5	35.0	6.6
8 Mg/ha	R3	7.0	2.0	14.0	4.5
8 Mg/ha	R3	13.0	3.6	47.0	10.8
8 Mg/ha	R3	19.0	3.9	75.0	17.4
8 Mg/ha	R3	11.0	5.4	59.0	15.4
8 Mg/ha	R3	11.0	4.8	53.0	14.2
	média	17.1	4.5	78.7	22.1
	dp	7.8	0.9	39.4	12.5
	CV (%)	45.7	19.4	50.1	56.3

Legenda: CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Tabela 7. Componentes de produtividade, número de vagens (NV); número de grãos por vagem (NGV); número de grãos por planta (NGP) e peso de grãos (PG) da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho ano 2008.

Tratamento	Repetição	Componentes de produtividade			
		NV	NGV	NGP	PG (g)
12 Mg/ha	R1	15.0	5.5	83.0	25.1
12 Mg/ha	R1	10.0	3.9	39.0	12.5
12 Mg/ha	R1	14.0	5.0	70.0	19.6
12 Mg/ha	R1	15.0	3.9	59.0	18.0
12 Mg/ha	R1	22.0	4.0	89.0	22.9
12 Mg/ha	R1	20.0	5.5	110.0	33.3
12 Mg/ha	R1	7.0	5.9	41.0	12.2
12 Mg/ha	R1	17.0	4.9	83.0	25.2
12 Mg/ha	R1	21.0	5.9	124.0	35.7
12 Mg/ha	R1	11.0	4.7	52.0	16.5
12 Mg/ha	R1	24.0	4.7	113.0	31.5
12 Mg/ha	R1	24.0	4.3	102.0	32.4
12 Mg/ha	R1	23.0	5.3	123.0	35.3
12 Mg/ha	R1	31.0	5.9	184.0	53.5
12 Mg/ha	R1	6.0	4.0	24.0	6.9
12 Mg/ha	R1	18.0	5.0	90.0	28.7
12 Mg/ha	R1	16.0	4.6	74.0	23.3
12 Mg/ha	R1	14.0	5.0	70.0	24.0
12 Mg/ha	R1	13.0	6.6	86.0	28.0
12 Mg/ha	R1	37.0	5.1	190.0	52.0
12 Mg/ha	R1	19.0	4.5	86.0	26.9
12 Mg/ha	R1	35.0	4.8	169.0	53.5
12 Mg/ha	R1	19.0	4.8	92.0	23.5
12 Mg/ha	R1	24.0	4.5	109.0	34.0
12 Mg/ha	R1	27.0	4.8	130.0	37.3
12 Mg/ha	R2	18.0	6.1	110.0	32.6
12 Mg/ha	R2	33.0	4.6	151.0	64.2
12 Mg/ha	R2	16.0	5.6	89.0	27.0
12 Mg/ha	R2	30.0	5.2	155.0	48.6
12 Mg/ha	R2	20.0	5.8	115.0	35.8
12 Mg/ha	R2	19.0	3.9	75.0	22.7
12 Mg/ha	R2	14.0	4.2	59.0	17.2
12 Mg/ha	R2	17.0	4.9	84.0	29.3
12 Mg/ha	R2	21.0	6.0	126.0	35.4
12 Mg/ha	R2	16.0	5.2	83.0	23.4
12 Mg/ha	R2	26.0	5.5	144.0	42.8
12 Mg/ha	R2	21.0	5.2	110.0	33.4
12 Mg/ha	R2	15.0	4.9	74.0	22.2
12 Mg/ha	R2	20.0	5.5	109.0	32.5
12 Mg/ha	R2	12.0	5.1	61.0	18.4
12 Mg/ha	R2	15.0	5.1	76.0	22.5
12 Mg/ha	R2	10.0	5.4	54.0	16.6
12 Mg/ha	R2	10.0	4.5	45.0	14.9
12 Mg/ha	R2	17.0	4.8	81.0	24.7
12 Mg/ha	R2	12.0	5.3	63.0	19.4
12 Mg/ha	R2	22.0	4.6	102.0	33.2
12 Mg/ha	R2	13.0	5.0	65.0	22.5
12 Mg/ha	R2	11.0	5.1	56.0	13.3
12 Mg/ha	R2	17.0	5.9	100.0	28.4
12 Mg/ha	R2	23.0	5.1	118.0	31.8
12 Mg/ha	R3	19.0	5.6	107.0	35.1
12 Mg/ha	R3	13.0	5.2	67.0	20.7
12 Mg/ha	R3	20.0	5.4	108.0	31.4
12 Mg/ha	R3	34.0	5.4	184.0	53.7
12 Mg/ha	R3	19.0	5.2	99.0	24.7
12 Mg/ha	R3	23.0	4.9	112.0	35.0
12 Mg/ha	R3	14.0	5.5	77.0	21.6
12 Mg/ha	R3	8.0	4.3	34.0	10.2
12 Mg/ha	R3	10.0	5.3	53.0	10.6
12 Mg/ha	R3	22.0	4.7	104.0	27.1
12 Mg/ha	R3	16.0	5.2	83.0	25.8
12 Mg/ha	R3	5.0	5.6	28.0	8.2
12 Mg/ha	R3	11.0	5.0	55.0	14.4
12 Mg/ha	R3	25.0	5.6	141.0	43.5
12 Mg/ha	R3	31.0	5.4	167.0	49.1
12 Mg/ha	R3	25.0	6.2	156.0	46.7
12 Mg/ha	R3	28.0	5.7	160.0	47.2
12 Mg/ha	R3	18.0	4.8	87.0	26.1
12 Mg/ha	R3	15.0	5.4	81.0	22.9
12 Mg/ha	R3	25.0	6.0	150.0	37.4
12 Mg/ha	R3	18.0	6.1	110.0	34.0
12 Mg/ha	R3	29.0	4.6	133.0	42.0
12 Mg/ha	R3	16.0	5.1	81.0	26.1
12 Mg/ha	R3	18.0	6.1	110.0	33.8
12 Mg/ha	R3	16.0	5.1	81.0	24.7
	média	18.8	5.1	96.9	29.0
	dp	7.0	0.6	38.2	11.9
	CV (%)	37.1	11.5	39.4	41.0

Legenda: CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão

APÊNDICE C: - “SAFRA 2009”

Tabela 1. Valores de Uniformidade de aplicação de água na superfície e sua redistribuição no interior do solo, no início da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 0,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Tratamento 0,0 Mg ha ⁻¹														
X	Y	Superfície do solo				Interior do solo								
		V (ml)	Vcorr (ml)	V (L)	A (m ²)	L (mm)	Li - Média	Modulo	U (%)	Ui - Média	Modulo	EC (dS/m)	ECi - Média	Modulo
1	6	27.0	31.5	0.0315	0.00503	6.27	-0.19	0.19	35.55	0.84	0.84	0.217	0.072	0.072
1	5	25.0	29.5	0.0295	0.00503	5.87	-0.59	0.59	36.02	1.31	1.31	0.220	0.075	0.075
1	4	19.0	23.5	0.0235	0.00503	4.68	-1.78	1.78	35.07	0.36	0.36	0.145	0.000	0.000
1	3	16.0	20.5	0.0205	0.00503	4.08	-2.38	2.38	36.10	1.39	1.39	0.142	-0.002	0.002
1	2	27.0	31.5	0.0315	0.00503	6.27	-0.19	0.19	34.41	-0.30	0.30	0.114	-0.031	0.031
1	1	38.0	42.5	0.0425	0.00503	8.46	2.00	2.00	20.87	-13.84	13.84	0.155	0.010	0.010
2	1	27.0	31.5	0.0315	0.00503	6.27	-0.19	0.19	35.76	1.05	1.05	0.220	0.075	0.075
2	2	26.0	30.5	0.0305	0.00503	6.07	-0.39	0.39	35.16	0.45	0.45	0.138	-0.006	0.006
2	3	22.0	26.5	0.0265	0.00503	5.27	-1.19	1.19	35.04	0.33	0.33	0.146	0.002	0.002
2	4	20.0	24.5	0.0245	0.00503	4.87	-1.59	1.59	34.72	0.01	0.01	0.115	-0.029	0.029
2	5	23.0	27.5	0.0275	0.00503	5.47	-0.99	0.99	32.80	-1.91	1.91	0.115	-0.029	0.029
2	6	22.0	26.5	0.0265	0.00503	5.27	-1.19	1.19	34.37	-0.33	0.33	0.130	-0.015	0.015
3	6	20.0	24.5	0.0245	0.00503	4.87	-1.59	1.59	35.05	0.35	0.35	0.139	-0.006	0.006
3	5	26.0	30.5	0.0305	0.00503	6.07	-0.39	0.39	34.86	0.15	0.15	0.142	-0.003	0.003
3	4	28.0	32.5	0.0325	0.00503	6.47	0.01	0.01	30.85	-3.85	3.85	0.090	-0.054	0.054
3	3	27.0	31.5	0.0315	0.00503	6.27	-0.19	0.19	35.07	0.37	0.37	0.111	-0.033	0.033
3	2	27.0	31.5	0.0315	0.00503	6.27	-0.19	0.19	35.12	0.41	0.41	0.145	0.000	0.000
3	1	26.0	30.5	0.0305	0.00503	6.07	-0.39	0.39	35.10	0.40	0.40	0.156	0.012	0.012
4	1	22.0	26.5	0.0265	0.00503	5.27	-1.19	1.19	34.10	-0.61	0.61	0.148	0.004	0.004
4	2	34.0	38.5	0.0385	0.00503	7.66	1.20	1.20	35.85	1.14	1.14	0.250	0.106	0.106
4	3	38.0	42.5	0.0425	0.00503	8.46	2.00	2.00	34.84	0.14	0.14	0.113	-0.031	0.031
4	4	29.0	33.5	0.0335	0.00503	6.66	0.21	0.21	36.20	1.49	1.49	0.150	0.005	0.005
4	5	21.0	25.5	0.0255	0.00503	5.07	-1.39	1.39	34.84	0.13	0.13	0.139	-0.005	0.005
4	6	15.0	19.5	0.0195	0.00503	3.88	-2.58	2.58	35.99	1.28	1.28	0.157	0.013	0.013
5	6	25.0	29.5	0.0295	0.00503	5.87	-0.59	0.59	35.11	0.40	0.40	0.117	-0.028	0.028
5	5	27.0	31.5	0.0315	0.00503	6.27	-0.19	0.19	35.48	0.77	0.77	0.110	-0.035	0.035
5	4	30.0	34.5	0.0345	0.00503	6.86	0.40	0.40	34.94	0.23	0.23	0.124	-0.021	0.021
5	3	37.0	41.5	0.0415	0.00503	8.26	1.80	1.80	35.05	0.35	0.35	0.107	-0.038	0.038
5	2	36.0	40.5	0.0405	0.00503	8.06	1.60	1.60	35.01	0.30	0.30	0.127	-0.017	0.017
5	1	29.0	33.5	0.0335	0.00503	6.66	0.21	0.21	34.40	-0.30	0.30	0.116	-0.029	0.029
6	1	48.0	52.5	0.0525	0.00503	10.44	3.99	3.99	34.93	0.22	0.22	0.103	-0.041	0.041
6	2	32.0	36.5	0.0365	0.00503	7.26	0.80	0.80	34.03	-0.68	0.68	0.108	-0.037	0.037
6	3	25.0	29.5	0.0295	0.00503	5.87	-0.59	0.59	37.49	2.79	2.79	0.170	0.025	0.025
6	4	25.0	29.5	0.0295	0.00503	5.87	-0.59	0.59	35.25	0.54	0.54	0.150	0.005	0.005
6	5	24.0	28.5	0.0285	0.00503	5.67	-0.79	0.79	35.70	0.99	0.99	0.155	0.011	0.011
6	6	30.0	34.5	0.0345	0.00503	6.86	0.40	0.40	38.34	3.63	3.63	0.218	0.073	0.073
					média	6.3		35.9	34.7		43.6	0.144		0.977
					dp	1.3			2.7			0.038		
					CV (%)	21.1	CUC (%)	84.1	7.6	CUC (%)	96.5	26.2	CUC (%)	81.2

Legenda: V: volume de água; Vcorr: volume de água corrigido em função da evaporação; A: área do coletor; L: lâmina coletada; U: umidade do solo; EC: condutividade elétrica.

Tabela 2. Valores de Uniformidade de aplicação de água na superfície e sua redistribuição no interior do solo, no início da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 2,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Tratamento 2,0 Mg ha ⁻¹														
X	Y	V (ml)	Vcorr (ml)	V (L)	A (m ²)	Superfície do solo			Interior do solo					
						L (mm)	Li - Média	Modulo	U (%)	Ui - Média	Modulo	EC (dS/m)	ECi - Média	Modulo
1	6	32.0	36.5	0.0365	0.00503	7.3	0.2	0.2	36.34	0.59	0.59	0.1556	0.004	0.004
1	5	27.0	31.5	0.0315	0.00503	6.3	-0.8	0.8	35.59	-0.16	0.16	0.1491	-0.003	0.003
1	4	20.0	24.5	0.0245	0.00503	4.9	-2.2	2.2	34.86	-0.89	0.89	0.1310	-0.021	0.021
1	3	18.0	22.5	0.0225	0.00503	4.5	-2.6	2.6	36.98	1.23	1.23	0.1475	-0.004	0.004
1	2	29.0	33.5	0.0335	0.00503	6.7	-0.4	0.4	34.78	-0.98	0.98	0.1615	0.010	0.010
1	1	44.0	48.5	0.0485	0.00503	9.6	2.6	2.6	34.17	-1.59	1.59	0.1523	0.000	0.000
2	1	33.0	37.5	0.0375	0.00503	7.5	0.4	0.4	35.16	-0.60	0.60	0.1354	-0.017	0.017
2	2	27.0	31.5	0.0315	0.00503	6.3	-0.8	0.8	36.14	0.38	0.38	0.1848	0.033	0.033
2	3	19.0	23.5	0.0235	0.00503	4.7	-2.4	2.4	35.09	-0.67	0.67	0.1335	-0.018	0.018
2	4	20.0	24.5	0.0245	0.00503	4.9	-2.2	2.2	32.86	-2.89	2.89	0.1598	0.008	0.008
2	5	22.0	26.5	0.0265	0.00503	5.3	-1.8	1.8	34.54	-1.22	1.22	0.1243	-0.028	0.028
2	6	19.0	23.5	0.0235	0.00503	4.7	-2.4	2.4	35.43	-0.33	0.33	0.1489	-0.003	0.003
3	6	17.0	21.5	0.0215	0.00503	4.3	-2.8	2.8	36.49	0.74	0.74	0.1737	0.022	0.022
3	5	27.0	31.5	0.0315	0.00503	6.3	-0.8	0.8	34.14	-1.61	1.61	0.1167	-0.035	0.035
3	4	26.0	30.5	0.0305	0.00503	6.1	-1.0	1.0	36.44	0.69	0.69	0.1714	0.019	0.019
3	3	27.0	31.5	0.0315	0.00503	6.3	-0.8	0.8	35.22	-0.53	0.53	0.1478	-0.004	0.004
3	2	31.0	35.5	0.0355	0.00503	7.1	0.0	0.0	35.43	-0.32	0.32	0.1548	0.003	0.003
3	1	32.0	36.5	0.0365	0.00503	7.3	0.2	0.2	38.25	2.49	2.49	0.1792	0.027	0.027
4	1	27.0	31.5	0.0315	0.00503	6.3	-0.8	0.8	35.85	0.10	0.10	0.1471	-0.005	0.005
4	2	38.0	42.5	0.0425	0.00503	8.5	1.4	1.4	37.40	1.65	1.65	0.1672	0.015	0.015
4	3	51.0	55.5	0.0555	0.00503	11.0	4.0	4.0	35.34	-0.41	0.41	0.1207	-0.031	0.031
4	4	37.0	41.5	0.0415	0.00503	8.3	1.2	1.2	38.06	2.31	2.31	0.1648	0.013	0.013
4	5	29.0	33.5	0.0335	0.00503	6.7	-0.4	0.4	35.40	-0.35	0.35	0.1436	-0.008	0.008
4	6	15.0	19.5	0.0195	0.00503	3.9	-3.2	3.2	36.50	0.74	0.74	0.1468	-0.005	0.005
5	6	26.0	30.5	0.0305	0.00503	6.1	-1.0	1.0	37.53	1.78	1.78	0.1776	0.026	0.026
5	5	33.0	37.5	0.0375	0.00503	7.5	0.4	0.4	36.79	1.04	1.04	0.1744	0.023	0.023
5	4	56.0	60.5	0.0605	0.00503	12.0	5.0	5.0	35.06	-0.69	0.69	0.1261	-0.026	0.026
5	3	46.0	50.5	0.0505	0.00503	10.0	3.0	3.0	35.12	-0.63	0.63	0.1373	-0.015	0.015
5	2	37.0	41.5	0.0415	0.00503	8.3	1.2	1.2	35.49	-0.27	0.27	0.1509	-0.001	0.001
5	1	35.0	39.5	0.0395	0.00503	7.9	0.8	0.8	36.06	0.30	0.30	0.1432	-0.009	0.009
6	1	49.0	53.5	0.0535	0.00503	10.6	3.6	3.6	36.00	0.24	0.24	0.1264	-0.025	0.025
6	2	35.0	39.5	0.0395	0.00503	7.9	0.8	0.8	35.56	-0.19	0.19	0.1199	-0.032	0.032
6	3	31.0	35.5	0.0355	0.00503	7.1	0.0	0.0	35.74	-0.01	0.01	0.1872	0.035	0.035
6	4	30.0	34.5	0.0345	0.00503	6.9	-0.2	0.2	36.08	0.33	0.33	0.1815	0.030	0.030
6	5	35.0	39.5	0.0395	0.00503	7.9	0.8	0.8	36.01	0.26	0.26	0.1876	0.036	0.036
6	6	34.0	38.5	0.0385	0.00503	7.7	0.6	0.6	35.22	-0.54	0.54	0.1398	-0.012	0.012
					média	7.1		52.5	35.8		29.7	0.152		0.605
					dp	1.9			1.1			0.021		
					CV (%)	27.4	CUC (%)	79.3	3.1	CUC (%)	97.7	13.5	CUC (%)	88.9

Legenda: V: volume de água; Vcorr: volume de água corrigido em função da evaporação; A: área do coletor; L: lâmina coletada; U: umidade do solo; EC: condutividade elétrica.

Tabela 3. Valores de Uniformidade de aplicação de água na superfície e sua redistribuição no interior do solo, no início da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 4,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Tratamento 4,0 Mg ha ⁻¹														
X	Y	V (ml)	Vcorr (ml)	V (L)	A (m ²)	Superfície do solo			Interior do solo					
						L (mm)	Li - Média	Modulo	U (%)	Ui - Média	Modulo	EC (dS/m)	ECi - Média	Modulo
1	6	26	32	0.032	0.00503	6.37	-0.20	0.20	38.25	0.64	0.64	0.1317	-0.019	0.019
1	5	23	29	0.029	0.00503	5.77	-0.80	0.80	39.13	1.52	1.52	0.1441	-0.007	0.007
1	4	17	23	0.023	0.00503	4.58	-1.99	1.99	38.52	0.92	0.92	0.1852	0.034	0.034
1	3	18	24	0.024	0.00503	4.77	-1.79	1.79	38.51	0.90	0.90	0.1814	0.030	0.030
1	2	27	33	0.033	0.00503	6.57	0.00	0.00	38.08	0.47	0.47	0.1331	-0.018	0.018
1	1	40	46	0.046	0.00503	9.15	2.59	2.59	38.22	0.61	0.61	0.1861	0.035	0.035
2	1	33	39	0.039	0.00503	7.76	1.19	1.19	38.29	0.69	0.69	0.1605	0.010	0.010
2	2	21	27	0.027	0.00503	5.37	-1.19	1.19	38.23	0.62	0.62	0.1578	0.007	0.007
2	3	20	26	0.026	0.00503	5.17	-1.39	1.39	38.46	0.85	0.85	0.1474	-0.004	0.004
2	4	20	26	0.026	0.00503	5.17	-1.39	1.39	37.70	0.10	0.10	0.1224	-0.029	0.029
2	5	23	29	0.029	0.00503	5.77	-0.80	0.80	36.19	-1.42	1.42	0.1626	0.012	0.012
2	6	20	26	0.026	0.00503	5.17	-1.39	1.39	37.21	-0.39	0.39	0.1626	0.012	0.012
3	6	21	27	0.027	0.00503	5.37	-1.19	1.19	36.41	-1.19	1.19	0.1302	-0.021	0.021
3	5	28	34	0.034	0.00503	6.76	0.20	0.20	38.02	0.41	0.41	0.1820	0.031	0.031
3	4	27	33	0.033	0.00503	6.57	0.00	0.00	36.51	-1.09	1.09	0.1150	-0.036	0.036
3	3	31	37	0.037	0.00503	7.36	0.80	0.80	37.48	-0.12	0.12	0.1601	0.009	0.009
3	2	40	46	0.046	0.00503	9.15	2.59	2.59	37.57	-0.04	0.04	0.1233	-0.028	0.028
3	1	34	40	0.04	0.00503	7.96	1.39	1.39	36.72	-0.88	0.88	0.1695	0.019	0.019
4	1	30	36	0.036	0.00503	7.16	0.60	0.60	36.46	-1.15	1.15	0.1067	-0.044	0.044
4	2	37	43	0.043	0.00503	8.55	1.99	1.99	40.75	3.14	3.14	0.1854	0.034	0.034
4	3	31	37	0.037	0.00503	7.36	0.80	0.80	39.03	1.43	1.43	0.1654	0.014	0.014
4	4	26	32	0.032	0.00503	6.37	-0.20	0.20	37.25	-0.36	0.36	0.1150	-0.036	0.036
4	5	18	24	0.024	0.00503	4.77	-1.79	1.79	37.34	-0.27	0.27	0.1798	0.029	0.029
4	6	11	17	0.017	0.00503	3.38	-3.18	3.18	37.49	-0.12	0.12	0.1592	0.008	0.008
5	6	24	30	0.03	0.00503	5.97	-0.60	0.60	37.35	-0.26	0.26	0.1830	0.032	0.032
5	5	19	25	0.025	0.00503	4.97	-1.59	1.59	37.40	-0.20	0.20	0.1599	0.009	0.009
5	4	24	30	0.03	0.00503	5.97	-0.60	0.60	36.61	-1.00	1.00	0.1239	-0.027	0.027
5	3	28	34	0.034	0.00503	6.76	0.20	0.20	37.69	0.08	0.08	0.1138	-0.037	0.037
5	2	32	38	0.038	0.00503	7.56	0.99	0.99	39.26	1.65	1.65	0.1657	0.015	0.015
5	1	36	42	0.042	0.00503	8.36	1.79	1.79	33.19	-4.42	4.42	0.1162	-0.035	0.035
6	1	51	57	0.057	0.00503	11.34	4.77	4.77	37.25	-0.36	0.36	0.1461	-0.005	0.005
6	2	31	37	0.037	0.00503	7.36	0.80	0.80	36.28	-1.33	1.33	0.1414	-0.010	0.010
6	3	24	30	0.03	0.00503	5.97	-0.60	0.60	38.79	1.18	1.18	0.1784	0.027	0.027
6	4	22	28	0.028	0.00503	5.57	-0.99	0.99	37.72	0.11	0.11	0.1654	0.014	0.014
6	5	27	33	0.033	0.00503	6.57	0.00	0.00	36.78	-0.82	0.82	0.1188	-0.032	0.032
6	6	32	38	0.038	0.00503	7.56	0.99	0.99	37.74	0.13	0.13	0.1552	0.004	0.004
					média	6.6		43.4	37.6		30.9	0.151		0.772
					dp	1.6			1.2			0.025		
					CV (%)	23.9	CUC (%)	81.6	3.3	CUC (%)	97.7	16.4	CUC (%)	85.8

Legenda: V: volume de água; Vcorr: volume de água corrigido em função da evaporação; A: área do coletor; L: lâmina coletada; U: umidade do solo; EC: condutividade elétrica.

Tabela 4. Valores de Uniformidade de aplicação de água na superfície e sua redistribuição no interior do solo, no início da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Tratamento 6,0 Mg há ⁻¹														
X	Y	V (ml)	Vcorr (ml)	V (L)	A (m ²)	Superfície do solo			Interior do solo					
						L (mm)	Li - Média	Modulo	U (%)	Ui - Média	Modulo	EC (dS/m)	ECi - Média	Modulo
1	6	26.0	29.5	0.0295	0.00503	5.87	-1.35	1.35	35.13	-1.57	1.57	0.0088	-0.151	0.151
1	5	23.0	26.5	0.0265	0.00503	5.27	-1.95	1.95	37.54	0.83	0.83	0.1476	-0.012	0.012
1	4	23.0	26.5	0.0265	0.00503	5.27	-1.95	1.95	38.21	1.50	1.50	0.2076	0.048	0.048
1	3	43.5	47	0.047	0.00503	9.35	2.13	2.13	38.48	1.78	1.78	0.2207	0.061	0.061
1	2	46.0	49.5	0.0495	0.00503	9.85	2.63	2.63	36.45	-0.26	0.26	0.1421	-0.018	0.018
1	1	48.0	51.5	0.0515	0.00503	10.25	3.03	3.03	38.60	1.89	1.89	0.2318	0.072	0.072
2	1	30.0	33.5	0.0335	0.00503	6.66	-0.56	0.56	37.91	1.21	1.21	0.2044	0.044	0.044
2	2	27.0	30.5	0.0305	0.00503	6.07	-1.15	1.15	35.98	-0.73	0.73	0.1397	-0.020	0.020
2	3	19.0	22.5	0.0225	0.00503	4.48	-2.74	2.74	35.43	-1.28	1.28	0.1774	0.017	0.017
2	4	20.0	23.5	0.0235	0.00503	4.68	-2.54	2.54	38.08	1.37	1.37	0.2230	0.063	0.063
2	5	25.0	28.5	0.0285	0.00503	5.67	-1.55	1.55	36.42	-0.29	0.29	0.1518	-0.008	0.008
2	6	26.0	29.5	0.0295	0.00503	5.87	-1.35	1.35	33.31	-3.40	3.40	0.1519	-0.008	0.008
3	6	24.0	27.5	0.0275	0.00503	5.47	-1.75	1.75	37.02	0.32	0.32	0.1961	0.036	0.036
3	5	30.0	33.5	0.0335	0.00503	6.66	-0.56	0.56	37.13	0.42	0.42	0.1223	-0.038	0.038
3	4	32.0	35.5	0.0355	0.00503	7.06	-0.16	0.16	37.00	0.30	0.30	0.1272	-0.033	0.033
3	3	34.0	37.5	0.0375	0.00503	7.46	0.24	0.24	36.21	-0.50	0.50	0.1520	-0.008	0.008
3	2	32.0	35.5	0.0355	0.00503	7.06	-0.16	0.16	37.39	0.68	0.68	0.1796	0.020	0.020
3	1	28.0	31.5	0.0315	0.00503	6.27	-0.95	0.95	35.17	-1.53	1.53	0.1240	-0.036	0.036
4	1	24.0	27.5	0.0275	0.00503	5.47	-1.75	1.75	38.12	1.41	1.41	0.2074	0.047	0.047
4	2	40.0	43.5	0.0435	0.00503	8.65	1.43	1.43	38.34	1.63	1.63	0.2011	0.041	0.041
4	3	45.0	48.5	0.0485	0.00503	9.65	2.43	2.43	37.78	1.07	1.07	0.1289	-0.031	0.031
4	4	35.0	38.5	0.0385	0.00503	7.66	0.44	0.44	34.90	-1.81	1.81	0.1395	-0.021	0.021
4	5	29.0	32.5	0.0325	0.00503	6.47	-0.75	0.75	37.49	0.78	0.78	0.1210	-0.039	0.039
4	6	24.0	27.5	0.0275	0.00503	5.47	-1.75	1.75	38.09	1.38	1.38	0.1666	0.007	0.007
5	6	36.0	39.5	0.0395	0.00503	7.86	0.64	0.64	36.02	-0.68	0.68	0.1589	-0.001	0.001
5	5	36.0	39.5	0.0395	0.00503	7.86	0.64	0.64	36.56	-0.15	0.15	0.1333	-0.027	0.027
5	4	37.0	40.5	0.0405	0.00503	8.06	0.84	0.84	38.14	1.43	1.43	0.1689	0.009	0.009
5	3	42.0	45.5	0.0455	0.00503	9.05	1.83	1.83	37.18	0.47	0.47	0.1603	0.000	0.000
5	2	40.0	43.5	0.0435	0.00503	8.65	1.43	1.43	35.06	-1.65	1.65	0.1289	-0.031	0.031
5	1	35.0	38.5	0.0385	0.00503	7.66	0.44	0.44	35.80	-0.91	0.91	0.1237	-0.036	0.036
6	1	46.0	49.5	0.0495	0.00503	9.85	2.63	2.63	37.87	1.16	1.16	0.1857	0.026	0.026
6	2	34.0	37.5	0.0375	0.00503	7.46	0.24	0.24	34.88	-1.83	1.83	0.1251	-0.035	0.035
6	3	26.0	29.5	0.0295	0.00503	5.87	-1.35	1.35	36.88	0.17	0.17	0.1937	0.034	0.034
6	4	26.0	29.5	0.0295	0.00503	5.87	-1.35	1.35	36.16	-0.55	0.55	0.1720	0.012	0.012
6	5	35.0	38.5	0.0385	0.00503	7.66	0.44	0.44	34.90	-1.81	1.81	0.1637	0.004	0.004
6	6	54.0	57.5	0.0575	0.00503	11.44	4.22	4.22	35.88	-0.83	0.83	0.1726	0.013	0.013
					média	7.2		51.3	36.7		39.6	0.160		1.106
					dp	1.7			1.3			0.041		
					CV (%)	24.0	CUC (%)	80.2	3.6	CUC (%)	97.0	25.9	CUC (%)	80.8

Legenda: V: volume de água; Vcorr: volume de água corrigido em função da evaporação; A: área do coletor; L: lâmina coletada; U: umidade do solo; EC: condutividade elétrica.

Tabela 5. Valores de Uniformidade de aplicação de água na superfície e sua redistribuição no interior do solo, no início da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 8,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Tratamento 8,0 Mg ha ⁻¹														
X	Y	V (ml)	Vcorr (ml)	V (L)	A (m ²)	Superfície do solo			Interior do solo					
						L (mm)	Li - Média	Modulo	U (%)	Ui - Média	Modulo	EC (dS/m)	ECi - Média	Modulo
1	6	30.0	35	0.035	0.00503	6.96	0.27	0.27	39.17	1.84	1.84	0.2882	0.139	0.139
1	5	28.0	33	0.033	0.00503	6.57	-0.13	0.13	38.41	1.07	1.07	0.1451	-0.005	0.005
1	4	20.0	25	0.025	0.00503	4.97	-1.72	1.72	37.80	0.47	0.47	0.1334	-0.016	0.016
1	3	19.0	24	0.024	0.00503	4.77	-1.92	1.92	38.01	0.68	0.68	0.2049	0.055	0.055
1	2	28.0	33	0.033	0.00503	6.57	-0.13	0.13	38.22	0.89	0.89	0.1855	0.036	0.036
1	1	39.0	44	0.044	0.00503	8.75	2.06	2.06	37.88	0.54	0.54	0.1225	-0.027	0.027
2	1	33.0	38	0.038	0.00503	7.56	0.87	0.87	34.53	-2.81	2.81	0.1701	0.020	0.020
2	2	24.0	29	0.029	0.00503	5.77	-0.92	0.92	35.95	-1.39	1.39	0.1439	-0.006	0.006
2	3	19.0	24	0.024	0.00503	4.77	-1.92	1.92	38.79	1.45	1.45	0.1557	0.006	0.006
2	4	19.0	24	0.024	0.00503	4.77	-1.92	1.92	36.48	-0.86	0.86	0.1238	-0.026	0.026
2	5	24.0	29	0.029	0.00503	5.77	-0.92	0.92	36.12	-1.21	1.21	0.1216	-0.028	0.028
2	6	16.0	21	0.021	0.00503	4.18	-2.51	2.51	37.96	0.62	0.62	0.1283	-0.021	0.021
3	6	17.0	22	0.022	0.00503	4.38	-2.32	2.32	35.06	-2.27	2.27	0.1284	-0.021	0.021
3	5	28.0	33	0.033	0.00503	6.57	-0.13	0.13	39.06	1.72	1.72	0.1620	0.012	0.012
3	4	28.0	33	0.033	0.00503	6.57	-0.13	0.13	38.54	1.20	1.20	0.1297	-0.020	0.020
3	3	28.0	33	0.033	0.00503	6.57	-0.13	0.13	36.14	-1.20	1.20	0.1450	-0.005	0.005
3	2	29.0	34	0.034	0.00503	6.76	0.07	0.07	36.99	-0.35	0.35	0.1551	0.005	0.005
3	1	25.0	30	0.03	0.00503	5.97	-0.72	0.72	37.12	-0.22	0.22	0.1394	-0.010	0.010
4	1	29.0	34	0.034	0.00503	6.76	0.07	0.07	35.50	-1.84	1.84	0.0996	-0.050	0.050
4	2	36.0	41	0.041	0.00503	8.16	1.46	1.46	36.70	-0.64	0.64	0.1327	-0.017	0.017
4	3	39.0	44	0.044	0.00503	8.75	2.06	2.06	38.34	1.00	1.00	0.1850	0.035	0.035
4	4	32.0	37	0.037	0.00503	7.36	0.67	0.67	36.85	-0.48	0.48	0.1658	0.016	0.016
4	5	27.0	32	0.032	0.00503	6.37	-0.33	0.33	37.75	0.42	0.42	0.1696	0.020	0.020
4	6	11.0	16	0.016	0.00503	3.18	-3.51	3.51	36.44	-0.90	0.90	0.1631	0.013	0.013
5	6	21.0	26	0.026	0.00503	5.17	-1.52	1.52	38.41	1.07	1.07	0.1687	0.019	0.019
5	5	33.0	38	0.038	0.00503	7.56	0.87	0.87	36.42	-0.92	0.92	0.1351	-0.015	0.015
5	4	32.0	37	0.037	0.00503	7.36	0.67	0.67	36.75	-0.59	0.59	0.1122	-0.037	0.037
5	3	38.0	43	0.043	0.00503	8.55	1.86	1.86	37.89	0.56	0.56	0.1621	0.012	0.012
5	2	40.0	45	0.045	0.00503	8.95	2.26	2.26	37.55	0.22	0.22	0.1080	-0.042	0.042
5	1	32.0	37	0.037	0.00503	7.36	0.67	0.67	37.37	0.03	0.03	0.1534	0.004	0.004
6	1	44.0	49	0.049	0.00503	9.75	3.06	3.06	37.51	0.17	0.17	0.1447	-0.005	0.005
6	2	35.0	40	0.04	0.00503	7.96	1.27	1.27	35.83	-1.51	1.51	0.1118	-0.038	0.038
6	3	29.0	34	0.034	0.00503	6.76	0.07	0.07	38.36	1.03	1.03	0.1430	-0.007	0.007
6	4	29.0	34	0.034	0.00503	6.76	0.07	0.07	38.22	0.88	0.88	0.1628	0.013	0.013
6	5	33.0	38	0.038	0.00503	7.56	0.87	0.87	40.07	2.74	2.74	0.1757	0.026	0.026
6	6	37.0	42	0.042	0.00503	8.36	1.66	1.66	35.92	-1.42	1.42	0.1122	-0.037	0.037
					média	6.7		41.7	37.34		37.2	0.150		0.866
					dp	1.5			1.2			0.034		
					CV (%)	22.5	CUC (%)	82.7	3.3	CUC (%)	97.2	22.8	CUC (%)	83.9

Legenda: V: volume de água; Vcorr: volume de água corrigido em função da evaporação; A: área do coletor; L: lâmina coletada; U: umidade do solo; EC: condutividade elétrica.

Tabela 6. Valores de Uniformidade de aplicação de água na superfície e sua redistribuição no interior do solo, no início da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Tratamento 12,0 Mg ha ⁻¹														
X	Y	V (ml)	Vcorr (ml)	V (L)	A (m ²)	Superfície do solo			Interior do solo					
						L (mm)	Li - Média	Modulo	U (%)	Ui - Média	Modulo	EC (dS/m)	ECi - Média	Modulo
1	6	31.0	37	0.037	0.00503	7.36	0.60	0.60	37.96	-0.29	0.29	0.1604	-0.012	0.012
1	5	25.0	31	0.031	0.00503	6.17	-0.60	0.60	32.43	-5.82	5.82	0.1133	-0.060	0.060
1	4	18.0	24	0.024	0.00503	4.77	-1.99	1.99	34.68	-3.57	3.57	0.1129	-0.060	0.060
1	3	16.0	22	0.022	0.00503	4.38	-2.39	2.39	38.39	0.14	0.14	0.1624	-0.010	0.010
1	2	26.0	32	0.032	0.00503	6.37	-0.40	0.40	39.36	1.11	1.11	0.1517	-0.021	0.021
1	1	43.0	49	0.049	0.00503	9.75	2.98	2.98	39.59	1.34	1.34	0.1751	0.002	0.002
2	1	30.0	36	0.036	0.00503	7.16	0.40	0.40	39.87	1.62	1.62	0.1713	-0.001	0.001
2	2	25.0	31	0.031	0.00503	6.17	-0.60	0.60	40.09	1.84	1.84	0.1594	-0.013	0.013
2	3	20.0	26	0.026	0.00503	5.17	-1.59	1.59	37.25	-1.00	1.00	0.1609	-0.012	0.012
2	4	19.0	25	0.025	0.00503	4.97	-1.79	1.79	38.27	0.02	0.02	0.1698	-0.003	0.003
2	5	21.0	27	0.027	0.00503	5.37	-1.39	1.39	35.70	-2.55	2.55	0.1296	-0.043	0.043
2	6	24.0	30	0.03	0.00503	5.97	-0.80	0.80	37.59	-0.66	0.66	0.1816	0.009	0.009
3	6	18.0	24	0.024	0.00503	4.77	-1.99	1.99	40.09	1.83	1.83	0.1825	0.010	0.010
3	5	25.0	31	0.031	0.00503	6.17	-0.60	0.60	38.56	0.31	0.31	0.1731	0.000	0.000
3	4	29.0	35	0.035	0.00503	6.96	0.20	0.20	39.73	1.48	1.48	0.1903	0.017	0.017
3	3	31.0	37	0.037	0.00503	7.36	0.60	0.60	39.74	1.49	1.49	0.1713	-0.002	0.002
3	2	30.0	36	0.036	0.00503	7.16	0.40	0.40	39.18	0.93	0.93	0.1694	-0.003	0.003
3	1	25.0	31	0.031	0.00503	6.17	-0.60	0.60	40.33	2.07	2.07	0.2137	0.041	0.041
4	1	28.0	34	0.034	0.00503	6.76	0.00	0.00	40.28	2.03	2.03	0.1839	0.011	0.011
4	2	36.0	42	0.042	0.00503	8.36	1.59	1.59	39.45	1.20	1.20	0.1831	0.010	0.010
4	3	32.0	38	0.038	0.00503	7.56	0.80	0.80	38.47	0.22	0.22	0.1720	-0.001	0.001
4	4	31.0	37	0.037	0.00503	7.36	0.60	0.60	38.19	-0.06	0.06	0.1282	-0.045	0.045
4	5	25.0	31	0.031	0.00503	6.17	-0.60	0.60	38.60	0.35	0.35	0.1918	0.019	0.019
4	6	15.0	21	0.021	0.00503	4.18	-2.59	2.59	38.69	0.44	0.44	0.2087	0.036	0.036
5	6	26.0	32	0.032	0.00503	6.37	-0.40	0.40	36.72	-1.54	1.54	0.1909	0.018	0.018
5	5	30.0	36	0.036	0.00503	7.16	0.40	0.40	38.15	-0.10	0.10	0.1929	0.020	0.020
5	4	29.0	35	0.035	0.00503	6.96	0.20	0.20	38.51	0.26	0.26	0.1968	0.024	0.024
5	3	33.0	39	0.039	0.00503	7.76	0.99	0.99	40.45	2.19	2.19	0.2008	0.028	0.028
5	2	36.0	42	0.042	0.00503	8.36	1.59	1.59	38.37	0.12	0.12	0.2158	0.043	0.043
5	1	36.0	42	0.042	0.00503	8.36	1.59	1.59	37.31	-0.94	0.94	0.2037	0.031	0.031
6	1	43.0	49	0.049	0.00503	9.75	2.98	2.98	38.48	0.23	0.23	0.2226	0.050	0.050
6	2	33.0	39	0.039	0.00503	7.76	0.99	0.99	37.22	-1.03	1.03	0.1580	-0.015	0.015
6	3	32.0	38	0.038	0.00503	7.56	0.80	0.80	38.05	-0.20	0.20	0.1568	-0.016	0.016
6	4	23.0	29	0.029	0.00503	5.77	-0.99	0.99	37.15	-1.10	1.10	0.1970	0.024	0.024
6	5	29.0	35	0.035	0.00503	6.96	0.20	0.20	38.01	-0.24	0.24	0.1426	-0.030	0.030
6	6	35.0	41	0.041	0.00503	8.16	1.39	1.39	36.14	-2.11	2.11	0.1278	-0.045	0.045
					média	6.8		38.6	38.25		42.4	0.173		0.787
					dp	1.35			1.67			0.028		
					CV (%)	19.99	CUC (%)	84.2	4.37	CUC (%)	96.9	16.20	CUC (%)	87.4

Legenda: V: volume de água; Vcorr: volume de água corrigido em função da evaporação; A: área do coletor; L: lâmina coletada; U: umidade do solo; EC: condutividade elétrica.

Tabela 7. Perda de massa da cobertura morta de milho no ciclo da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, ano 2009.

Estádio		Desenvolvimento vegetativo (DV)					Florescimento (FL)		Enchimento de grãos (EG)				Maturação fisiológica (MF)			
Tratamento	D.A.E	2	17		32		47		62		77		92		107	
Mg ha ⁻¹	repetição	Mi (g)	M15	PM (%)	M30	PM (%)	M45	PM (%)	M60	PM (%)	M75	PM (%)	M90	PM (%)	M105	PM (%)
2,0	r1	18	12.7	29.2	9.2	49.0	8.7	51.4	7.8	56.9	5.6	69.0	5.7	68.3	4.5	75.0
	r2	18	12.3	31.7	9.6	46.9	9.0	49.9	8.3	53.8	6.9	61.5	5.9	67.4	5.1	71.8
	r3	18	12.8	28.8	9.6	46.5	9.2	48.9	7.2	60.3	6.1	66.4	4.8	73.1	4.7	74.0
	média	18	12.6	29.9	9.5	47.5	9.0	50.1	7.7	57.0	6.2	65.6	5.5	69.6	4.8	73.6
	dp		0.3	1.6	0.2	1.4	0.2	1.3	0.6	3.3	0.7	3.8	0.6	3.1	0.3	1.6
	CV (%)		2.3	5.3	2.6	2.9	2.6	2.6	7.6	5.7	11.1	5.8	10.2	4.5	6.2	2.2
4,0	r1	36	27.9	22.6	22.5	37.5	20.3	43.7	17.2	52.3	13.4	62.8	12.3	65.9	10.0	72.1
	r2	36	27.3	24.0	23.4	35.1	19.5	45.9	17.6	51.0	14.2	60.5	14.3	60.3	11.2	68.8
	r3	36	26.2	27.2	23.3	35.4	20.4	43.2	19.6	45.6	13.8	61.7	13.6	62.1	11.0	69.6
	média	36	27.1	24.6	23.1	36.0	20.1	44.3	18.1	49.7	13.8	61.7	13.4	62.8	10.7	70.2
	dp		0.9	2.4	0.5	1.3	0.5	1.4	1.3	3.5	0.4	1.2	1.0	2.9	0.6	1.7
	CV (%)		3.2	9.7	2.1	3.7	2.6	3.2	7.0	7.1	3.1	1.9	7.7	4.6	5.8	2.5
6,0	r1	54	44.8	17.0	43.6	19.3	31.4	41.9	29.4	45.6	24.8	54.1	21.8	59.6	15.5	71.3
	r2	54	43.1	20.2	39.0	27.8	31.1	42.5	30.0	44.5	24.9	53.9	22.0	59.3	21.9	59.5
	r3	54	44.5	17.6	39.0	27.7	32.3	40.2	28.3	47.6	23.6	56.4	26.5	50.9	17.6	67.3
	média	54	44.1	18.3	40.5	24.9	31.6	41.5	29.2	45.9	24.4	54.8	23.4	56.6	18.3	66.1
	dp		0.9	1.7	2.6	4.8	0.6	1.2	0.9	1.6	0.7	1.4	2.6	4.9	3.2	6.0
	CV (%)		2.1	9.4	6.5	19.4	2.0	2.8	2.9	3.5	3.0	2.5	11.3	8.7	17.7	9.1
8,0	r1	72	60.7	15.7	56.8	21.1	46.6	35.3	41.1	42.9	32.3	55.2	34.4	52.3	31.1	56.8
	r2	72	62.2	13.6	57.6	20.1	45.9	36.3	40.5	43.7	33.9	52.9	33.7	53.1	32.4	55.0
	r3	72	61.7	14.3	57.0	20.8	45.1	37.4	41.0	43.0	41.4	42.5	33.8	53.0	32.9	54.4
	média	72	61.5	14.5	57.1	20.7	45.9	36.3	40.9	43.2	35.9	50.2	34.0	52.8	32.1	55.4
	dp		0.8	1.1	0.4	0.5	0.8	1.0	0.3	0.4	4.9	6.8	0.3	0.5	0.9	1.3
	CV (%)		1.2	7.3	0.7	2.5	1.6	2.9	0.8	1.0	13.6	13.5	1.0	0.9	2.8	2.3
12,0	r1	108	96.1	11.0	88.0	18.5	75.0	30.5	65.0	39.8	62.7	41.9	60.3	44.1	53.1	50.8
	r2	108	95.8	11.3	88.5	18.1	73.6	31.9	64.4	40.3	62.2	42.4	60.7	43.8	54.4	49.6
	r3	108	95.9	11.2	88.1	18.5	74.4	31.2	66.1	38.8	61.4	43.2	58.6	45.8	55.0	49.0
	média	108	95.9	11.2	88.2	18.4	74.3	31.2	65.2	39.6	62.1	42.5	59.9	44.6	54.2	49.8
	dp		0.2	0.1	0.3	0.3	0.7	0.7	0.9	0.8	0.7	0.6	1.1	1.1	1.0	0.9
	CV (%)		0.2	1.3	0.3	1.4	1.0	2.1	1.3	2.0	1.1	1.5	1.9	2.4	1.8	1.8

Legenda: PM: perda de massa (%); M: massa (g)

Tabela 8. Taxas de decomposição (k) de diferentes quantidades de cobertura morta de milho na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, ano 2009.

Tratamentos	2,0 Mg ha ⁻¹			4,0 Mg ha ⁻¹			6,0 Mg ha ⁻¹			8,0 Mg ha ⁻¹			12,0 Mg ha ⁻¹		
	X (g)	Xo (g)	k (g dia ⁻¹)	X (g)	Xo (g)	k (g dia ⁻¹)	X (g)	Xo (g)	k (g dia ⁻¹)	X (g)	Xo (g)	k (g dia ⁻¹)	X (g)	Xo (g)	k (g dia ⁻¹)
0	18.00	18.00	0.00000	36.00	36.00	0.00000	54.00	54.00	0.00000	72.00	72.00	0.00000	108.00	108.00	0.00000
0	18.00	18.00	0.00000	36.00	36.00	0.00000	54.00	54.00	0.00000	72.00	72.00	0.00000	108.00	108.00	0.00000
0	18.00	18.00	0.00000	36.00	36.00	0.00000	54.00	54.00	0.00000	72.00	72.00	0.00000	108.00	108.00	0.00000
15	12.74	18.00	0.02302	27.87	36.00	0.01706	44.81	54.00	0.01243	60.71	72.00	0.01137	96.07	108.00	0.00780
15	12.29	18.00	0.02542	27.34	36.00	0.01834	43.07	54.00	0.01507	62.21	72.00	0.00975	95.76	108.00	0.00802
15	12.82	18.00	0.02261	26.19	36.00	0.02120	44.48	54.00	0.01292	61.69	72.00	0.01030	95.89	108.00	0.00793
Média			0.024	27.14		0.01886	44.12		0.01348	61.54		0.01047	95.91		0.00791
dp			0.0015	0.8589		0.0021	0.9242		0.0014	0.7623		0.0008	0.1557		0.0001
CV (%)			6.41	3.16		11.25	2.09		10.42	1.24		7.90	0.16		1.37
30	9.17	18.00	0.02247	22.50	36.00	0.01566	43.55	54.00	0.00717	56.83	72.00	0.00788	87.97	108.00	0.00684
30	9.55	18.00	0.02112	23.37	36.00	0.01440	39.00	54.00	0.01084	57.55	72.00	0.00747	88.49	108.00	0.00664
30	9.63	18.00	0.02084	23.27	36.00	0.01454	39.04	54.00	0.01081	57.00	72.00	0.00779	88.06	108.00	0.00680
Média			0.02147	23.05		0.01487	40.53		0.00961	57.13		0.00771	88.18		0.00676
dp			0.00087	0.47606		0.00069	2.61547		0.00211	0.37634		0.00022	0.27791		0.00010
CV (%)			4.1	2.1		4.7	6.5		22.0	0.7		2.8	0.3		1.6
45	8.74	18.00	0.01605	20.25	36.00	0.01278	31.39	54.00	0.01205	46.60	72.00	0.00967	75.03	108.00	0.00809
45	9.01	18.00	0.01537	19.46	36.00	0.01367	31.06	54.00	0.01229	45.89	72.00	0.01001	73.59	108.00	0.00852
45	9.20	18.00	0.01491	20.43	36.00	0.01259	32.29	54.00	0.01142	45.10	72.00	0.01039	74.35	108.00	0.00830
Média			0.01544	20.05		0.01301	31.58		0.01192	45.87		0.01002	74.33		0.00830
dp			0.00057	0.52		0.00058	0.64		0.00045	0.75		0.00036	0.72		0.00022
CV (%)			3.7	2.6		4.4	2.0		3.7	1.6		3.6	1.0		2.6
60	7.75	18.00	0.01404	17.17	36.00	0.01234	29.39	54.00	0.01014	41.08	72.00	0.00935	65.01	108.00	0.00846
60	8.32	18.00	0.01286	17.62	36.00	0.01190	29.99	54.00	0.00980	40.51	72.00	0.00958	64.43	108.00	0.00861
60	7.15	18.00	0.01538	19.57	36.00	0.01016	28.29	54.00	0.01077	41.04	72.00	0.00937	66.12	108.00	0.00818
Média			0.01409	18.12		0.01147	29.23		0.01024	40.88		0.00943	65.19		0.00841
dp			0.00126	1.28		0.00115	0.86		0.00049	0.32		0.00013	0.86		0.00022
CV (%)			9.0	7.0		10.1	2.9		4.8	0.8		1.4	1.3		2.6
75	5.57	18.00	0.01563	13.38	36.00	0.01319	24.78	54.00	0.01038	32.27	72.00	0.01070	62.71	108.00	0.00725
75	6.93	18.00	0.01272	14.23	36.00	0.01237	24.87	54.00	0.01034	33.91	72.00	0.01004	62.18	108.00	0.00736
75	6.05	18.00	0.01453	13.79	36.00	0.01279	23.56	54.00	0.01106	41.39	72.00	0.00738	61.35	108.00	0.00754
Média			0.01429	13.80		0.01279	24.41		0.01059	35.86		0.00937	62.08		0.00738
dp			0.00147	0.43		0.00041	0.73		0.00040	4.86		0.00176	0.69		0.00015
CV (%)			10.3	3.1		3.2	3.0		3.8	13.6		18.7	1.1		2.0
90	5.71	18.00	0.01275	12.27	36.00	0.01196	21.83	54.00	0.01006	34.37	72.00	0.00822	60.32	108.00	0.00647
90	5.87	18.00	0.01244	14.29	36.00	0.01026	21.99	54.00	0.00998	33.73	72.00	0.00842	60.67	108.00	0.00641
90	4.83	18.00	0.01461	13.64	36.00	0.01078	26.49	54.00	0.00791	33.84	72.00	0.00839	58.55	108.00	0.00680
Média			0.01327	13.40		0.01100	23.44		0.00932	33.98		0.00834	59.85		0.00656
dp			0.00117	1.03		0.00087	2.65		0.00122	0.34		0.00011	1.14		0.00021
CV (%)			8.8	7.7		7.9	11.3		13.1	1.0		1.3	1.9		3.2
105	4.49	18.00	0.01322	10.03	36.00	0.01217	15.47	54.00	0.01190	31.09	72.00	0.00800	53.12	108.00	0.00676
105	5.07	18.00	0.01206	11.23	36.00	0.01109	21.86	54.00	0.00861	32.38	72.00	0.00761	54.39	108.00	0.00653
105	4.68	18.00	0.01282	10.95	36.00	0.01133	17.64	54.00	0.01065	32.85	72.00	0.00747	55.04	108.00	0.00642
Média			0.01270	10.74		0.01153	18.33		0.01039	32.11		0.00769	54.19		0.00657
dp			0.00059	0.63		0.00056	3.25		0.00166	0.91		0.00027	0.98		0.00017
CV (%)			4.6	5.8		4.9	17.7		16.0	2.8		3.5	1.8		2.6

Legenda: X é a quantidade de massa seca no tempo t; Xo é a matéria seca inicial avaliada; CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Tabela 9. Valores médios de temperatura do ar (Tar) e do solo (Tsolo), e da umidade do solo (Usolo) na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, aos 0, 15, 30 e 45 dias após a instalação dos sacos de decomposição, ano 2009.

Época (dias)	Tratamento	Bloco	Tsolo (°C)	Tar (°C)	Usolo (%)
0	0.0	1	23.70	17.70	37.26
0	0.0	2	23.20	17.70	38.86
0	0.0	3	23.40	17.70	37.60
0	2.0	1	23.30	17.70	38.04
0	2.0	2	22.87	17.70	39.41
0	2.0	3	22.17	17.70	38.23
0	4.0	1	22.53	17.70	39.24
0	4.0	2	21.60	17.70	38.34
0	4.0	3	21.53	17.70	39.15
0	6.0	1	21.87	17.70	39.76
0	6.0	2	22.60	17.70	38.33
0	6.0	3	21.70	17.70	38.72
0	8.0	1	21.70	17.70	39.74
0	8.0	2	21.90	17.70	39.14
0	8.0	3	21.50	17.70	40.54
0	12.0	1	20.90	17.70	41.25
0	12.0	2	21.17	17.70	40.89
0	12.0	3	21.60	17.70	41.67

Época (dias)	Tratamento	Bloco	Tsolo (°C)	Tar (°C)	Usolo (%)
15	0.0	1	22.70	17.00	33.93
15	0.0	2	22.80	17.00	32.68
15	0.0	3	22.50	17.00	33.05
15	2.0	1	21.40	17.00	35.17
15	2.0	2	21.30	17.00	34.47
15	2.0	3	21.20	17.00	35.40
15	4.0	1	21.20	17.00	35.44
15	4.0	2	20.70	17.00	35.60
15	4.0	3	21.10	17.00	32.71
15	6.0	1	20.20	17.00	36.46
15	6.0	2	20.20	17.00	35.14
15	6.0	3	20.50	17.00	32.96
15	8.0	1	19.90	17.00	34.06
15	8.0	2	20.10	17.00	35.60
15	8.0	3	20.60	17.00	34.48
15	12.0	1	20.30	17.00	37.54
15	12.0	2	20.40	17.00	38.96
15	12.0	3	20.60	17.00	36.13

Época (dias)	Tratamento	Bloco	Tsolo (°C)	Tar (°C)	Usolo (%)
30	0.0	1	21.90	18.80	39.05
30	0.0	2	21.80	18.80	37.82
30	0.0	3	22.00	18.80	38.51
30	2.0	1	21.20	18.80	40.65
30	2.0	2	21.40	18.80	38.56
30	2.0	3	21.30	18.80	39.00
30	4.0	1	20.30	18.80	41.32
30	4.0	2	20.90	18.80	40.00
30	4.0	3	20.70	18.80	39.36
30	6.0	1	21.20	18.80	38.84
30	6.0	2	21.30	18.80	39.40
30	6.0	3	20.60	18.80	39.56
30	8.0	1	19.60	18.80	40.27
30	8.0	2	19.40	18.80	40.67
30	8.0	3	20.20	18.80	41.36
30	12.0	1	19.80	18.80	42.00
30	12.0	2	19.40	18.80	41.08
30	12.0	3	19.80	18.80	41.97

Época (dias)	Tratamento	Bloco	Tsolo (°C)	Tar (°C)	Usolo (%)
45	0.0	1	17.30	14.90	32.55
45	0.0	2	17.10	14.90	32.94
45	0.0	3	17.60	14.90	31.61
45	2.0	1	16.10	14.90	34.91
45	2.0	2	16.40	14.90	34.32
45	2.0	3	16.30	14.90	34.36
45	4.0	1	17.00	14.90	35.56
45	4.0	2	16.70	14.90	34.23
45	4.0	3	16.30	14.90	35.47
45	6.0	1	16.40	14.90	34.01
45	6.0	2	16.90	14.90	33.30
45	6.0	3	15.70	14.90	32.70
45	8.0	1	16.10	14.90	33.23
45	8.0	2	16.00	14.90	33.44
45	8.0	3	16.20	14.90	32.82
45	12.0	1	16.10	14.90	34.97
45	12.0	2	16.60	14.90	33.65
45	12.0	3	16.10	14.90	34.74

Tabela 10. Valores médios de temperatura do ar (Tar) e do solo (Tsolo), e da umidade do solo (Usolo) na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, aos 60, 75, 90 e 105 dias após a instalação dos sacos de decomposição, ano 2009.

Época (dias)	Tratamento	Bloco	Tsolo (°C)	Tar (°C)	Usolo (%)
60	0.0	1	19.90	20.90	37.10
60	0.0	2	19.50	20.90	36.00
60	0.0	3	19.50	20.90	34.93
60	2.0	1	18.20	20.90	35.17
60	2.0	2	18.20	20.90	36.64
60	2.0	3	18.40	20.90	35.24
60	4.0	1	19.00	20.90	35.47
60	4.0	2	18.90	20.90	35.64
60	4.0	3	18.20	20.90	36.40
60	6.0	1	18.80	20.90	36.82
60	6.0	2	19.80	20.90	38.14
60	6.0	3	19.70	20.90	37.16
60	8.0	1	17.30	20.90	37.59
60	8.0	2	17.10	20.90	37.98
60	8.0	3	17.30	20.90	36.64
60	12.0	1	17.20	20.90	37.88
60	12.0	2	17.40	20.90	38.58
60	12.0	3	16.90	20.90	37.12

Época (dias)	Tratamento	Bloco	Tsolo (°C)	Tar (°C)	Usolo (%)
75	0.0	1	18.80	18.30	39.01
75	0.0	2	19.10	18.30	38.20
75	0.0	3	19.10	18.30	37.77
75	2.0	1	17.30	18.30	39.84
75	2.0	2	17.50	18.30	39.75
75	2.0	3	18.30	18.30	39.69
75	4.0	1	18.00	18.30	38.84
75	4.0	2	17.40	18.30	40.55
75	4.0	3	18.20	18.30	38.69
75	6.0	1	18.00	18.30	40.97
75	6.0	2	18.20	18.30	39.85
75	6.0	3	18.20	18.30	40.10
75	8.0	1	17.50	18.30	41.42
75	8.0	2	17.10	18.30	39.68
75	8.0	3	17.00	18.30	40.03
75	12.0	1	16.90	18.30	40.37
75	12.0	2	16.60	18.30	40.64
75	12.0	3	16.60	18.30	42.77

Época (dias)	Tratamento	Bloco	Tsolo (°C)	Tar (°C)	Usolo (%)
90	0.0	1	20.80	24.40	32.89
90	0.0	2	20.00	24.40	31.87
90	0.0	3	20.60	24.40	33.05
90	2.0	1	21.20	24.40	32.21
90	2.0	2	20.90	24.40	30.52
90	2.0	3	20.80	24.40	30.57
90	4.0	1	20.40	24.40	32.95
90	4.0	2	20.20	24.40	31.20
90	4.0	3	20.10	24.40	30.40
90	6.0	1	18.50	24.40	31.92
90	6.0	2	18.20	24.40	31.23
90	6.0	3	17.30	24.40	34.31
90	8.0	1	17.30	24.40	34.46
90	8.0	2	17.40	24.40	34.95
90	8.0	3	18.30	24.40	33.43
90	12.0	1	17.90	24.40	34.56
90	12.0	2	17.40	24.40	35.53
90	12.0	3	17.90	24.40	33.21

Época (dias)	Tratamento	Bloco	Tsolo (°C)	Tar (°C)	Usolo (%)
105	0.0	1	20.90	24.30	33.65
105	0.0	2	21.10	24.30	32.45
105	0.0	3	21.30	24.30	33.23
105	2.0	1	21.10	24.30	34.61
105	2.0	2	20.90	24.30	33.41
105	2.0	3	20.80	24.30	32.53
105	4.0	1	20.40	24.30	34.04
105	4.0	2	20.20	24.30	32.98
105	4.0	3	20.10	24.30	33.54
105	6.0	1	19.40	24.30	33.53
105	6.0	2	19.90	24.30	33.67
105	6.0	3	19.60	24.30	34.65
105	8.0	1	18.50	24.30	35.55
105	8.0	2	18.20	24.30	34.36
105	8.0	3	17.80	24.30	34.78
105	12.0	1	18.10	24.30	34.12
105	12.0	2	18.40	24.30	34.67
105	12.0	3	18.40	24.30	35.65

Tabela 11. Valores médios de umidade do solo na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com diferentes quantidades de cobertura morta de milho, ano 2009.

Estádios	Tratamentos (Mg ha ⁻¹)							
	DAE	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	12,0	
		Umidade (%)						
DV	1	31.8	33.5	33.7	34.1	34.3	34.2	
	2	37.9	38.8	39.5	40.5	40.0	39.9	
	4	35.3	35.7	37.4	36.7	37.3	38.4	
	6	32.7	32.4	34.4	34.2	34.6	37.1	
	7	38.8	40.2	39.9	40.4	40.3	42.0	
	9	37.9	39.1	36.3	39.2	38.4	40.8	
	12	36.5	36.1	34.3	37.1	37.1	38.5	
	14	35.3	35.2	36.1	36.7	36.8	36.9	
	16	33.6	34.8	34.8	34.8	35.8	36.3	
	18	32.4	33.7	33.8	33.8	34.8	35.2	
	20	31.4	32.4	33.3	34.8	34.5	35.0	
	22	38.5	39.0	39.1	38.7	38.6	39.7	
	25	38.3	38.7	38.9	38.8	38.6	38.9	
	27	37.1	37.1	36.8	37.7	38.2	37.9	
	29	40.4	40.2	40.6	40.5	41.1	40.9	
	média	35.9	36.5	36.6	37.2	37.4	38.1	
	dp	2.9	2.8	2.5	2.5	2.2	2.3	
	CV (%)	8.1	7.6	6.9	6.6	5.9	6.1	
FL	35	33.5	34.1	34.0	34.4	34.8	35.1	
	38	38.8	39.1	38.7	38.5	39.1	39.2	
	41	36.4	36.1	36.9	36.7	36.5	36.6	
	44	33.4	32.6	34.3	34.4	34.4	34.1	
	46	31.8	32.9	33.4	33.9	34.0	34.1	
	47	34.3	34.6	34.0	35.0	35.6	36.3	
	49	30.7	31.4	32.1	33.3	33.6	34.4	
	50	34.7	35.8	37.6	36.7	37.3	38.3	
	53	39.5	39.8	39.7	39.7	39.6	41.1	
	55	39.3	39.5	39.8	38.5	39.8	39.8	
		média	35.2	35.6	36.0	36.1	36.5	36.9
		dp	3.1	3.0	2.8	2.2	2.4	2.6
		CV (%)	8.9	8.5	7.8	6.2	6.5	6.9
EG	60	35.6	36.0	35.6	36.1	35.8	34.7	
	63	32.9	33.1	31.8	33.8	33.7	33.5	
	66	31.3	31.6	32.9	33.8	33.9	34.1	
	67	33.1	33.9	35.7	35.6	35.8	37.1	
	68	31.8	32.1	32.5	33.1	33.6	34.8	
	69	33.8	34.5	35.1	34.6	35.0	36.0	
	70	31.6	31.3	31.9	32.7	33.2	34.0	
	71	37.4	37.5	38.0	38.0	39.1	39.1	
	72	34.4	33.6	33.2	34.3	32.4	34.6	
	75	38.3	39.3	38.8	39.5	38.8	38.4	
	77	36.4	36.9	37.2	37.4	37.2	37.1	
	81	39.8	39.9	39.3	40.3	40.4	40.2	
		média	34.7	35.0	35.2	35.8	35.7	36.1
	dp	2.8	2.9	2.7	2.5	2.6	2.2	
	CV (%)	8.1	8.4	7.7	7.0	7.3	6.1	
MF	83	34.9	35.7	35.1	35.7	35.7	36.7	
	88	31.7	32.1	31.8	32.1	33.1	34.3	
	90	30.9	31.7	30.4	31.1	31.3	33.5	
		média	32.5	33.2	32.4	33.0	33.3	34.8
		dp	2.1	2.2	2.4	2.4	2.2	1.7
	CV (%)	6.6	6.8	7.4	7.4	6.7	4.8	

Legenda: DAE: dias após a emergência das plantas; DV: desenvolvimento vegetativo; FL: florescimento; EG: enchimento de grãos e MF: maturação fisiológica; CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Tabela 12. Valores médios de umidade do solo (U) e uniformidade de redistribuição de água no seu interior (CUC) antes e depois da irrigação ou precipitação e lâmina de água coletada (LC) na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 0,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Evento	0,0 Mg ha ⁻¹					
	U antes (%)	CUC antes (%)	LC (mm)	CUC sup (%)	U depois (%)	CUC depois (%)
1 ^a Irrigação	30.91	86.92	12.04	85.32	37.89	96.11
1 ^a Precipitação	32.74	92.09	31.36	98.80	38.81	97.38
2 ^a Precipitação	31.44	95.81	18.93	99.17	38.46	96.30
3 ^a Precipitação	33.53	97.58	14.48	98.39	38.77	97.68
2 ^a Irrigação	31.82	95.93	10.07	79.31	34.25	96.87
3 ^a Irrigação	30.68	96.83	8.94	80.80	34.71	96.51
4 ^a Irrigação	31.31	96.17	8.34	84.32	33.05	95.57
5 ^a Irrigação	31.79	95.78	10.69	77.86	33.83	95.39
4 ^a Precipitação	31.56	95.00	10.84	78.59	37.36	97.75
5 ^a Precipitação	34.36	96.44	22.02	96.20	38.25	96.55
6 ^a Precipitação	36.35	97.45	25.81	98.55	39.84	97.19
Média Irrigação	31.30	94.33	50.08	81.52	34.74	96.09
dp	0.5	4.2	1.5	3.2	1.9	0.6
CV (%)	1.6	4.4	2.9	3.9	5.4	0.6
Média Precipitação	33.33	95.73	123.44	94.95	38.58	97.14
dp	1.9	2.0	7.5	8.1	0.8	0.6
CV (%)	5.6	2.1	6.1	8.5	2.1	0.6

Legenda: CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Tabela 13. Valores médios de umidade do solo (U) e uniformidade de redistribuição de água no seu interior (CUC) antes e depois da irrigação ou precipitação e lâmina de água coletada (LC) na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 2,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Evento	2,0 Mg ha ⁻¹					
	U antes (%)	CUC antes (%)	LC (mm)	CUC sup (%)	U depois (%)	CUC depois (%)
1 ^a Irrigação	33.47	95.08	12.65	83.84	38.83	95.62
1 ^a Precipitação	32.41	92.37	30.85	98.76	40.22	98.04
2 ^a Precipitação	32.41	96.01	18.76	99.23	38.99	96.85
3 ^a Precipitação	34.12	97.80	14.56	98.10	39.14	97.49
2 ^a Irrigação	32.91	96.20	8.34	83.18	34.69	92.42
3 ^a Irrigação	31.41	96.97	10.79	84.15	35.75	97.69
4 ^a Irrigação	31.59	94.56	7.57	81.37	33.90	96.20
5 ^a Irrigação	32.13	94.79	8.78	74.28	34.46	93.40
4 ^a Precipitação	31.29	94.77	10.42	75.78	37.48	97.67
5 ^a Precipitação	33.60	95.29	21.97	96.60	39.33	97.20
6 ^a Precipitação	36.88	96.56	25.86	98.60	39.94	96.33
Média Irrigação	32.30	95.52	48.13	81.37	35.53	95.07
dp	0.9	1.0	2.1	4.1	2.0	2.1
CV (%)	2.7	1.1	4.3	5.0	5.5	2.2
Média Precipitação	33.45	95.47	122.43	94.51	39.18	97.26
dp	2.0	1.8	7.5	9.2	1.0	0.6
CV (%)	5.8	1.9	6.1	9.8	2.5	0.6

Legenda: CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Tabela 14. Valores médios de umidade do solo (U) e uniformidade de redistribuição de água no seu interior (CUC) antes e depois da irrigação ou precipitação e lâmina de água coletada (LC) na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 4,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Evento	4,0 Mg ha ⁻¹					
	U antes (%)	CUC antes (%)	LC (mm)	CUC sup (%)	U depois (%)	CUC depois (%)
1 ^a Irrigação	33.71	91.42	13.50	83.74	39.47	96.58
1 ^a Precipitação	34.42	96.43	30.84	99.03	40.44	96.30
2 ^a Precipitação	33.28	96.54	19.30	99.14	39.06	96.79
3 ^a Precipitação	33.95	97.52	14.84	98.16	38.70	96.66
2 ^a Irrigação	33.43	96.36	7.61	85.04	34.00	94.70
3 ^a Irrigação	32.06	95.99	9.62	80.42	37.61	97.72
4 ^a Irrigação	32.85	96.21	7.19	79.53	35.68	96.96
5 ^a Irrigação	32.51	95.51	8.10	79.67	35.09	95.52
4 ^a Precipitação	31.92	94.29	9.11	78.42	38.00	97.43
5 ^a Precipitação	33.23	95.66	22.46	97.16	38.82	96.78
6 ^a Precipitação	37.25	98.17	25.79	98.62	39.35	96.53
Média Irrigação	32.91	95.10	46.01	81.68	36.37	96.30
dp	0.7	2.1	2.6	2.5	2.2	1.2
CV (%)	2.0	2.2	5.6	3.1	6.0	1.2
Média Precipitação	34.01	96.44	122.34	95.09	39.06	96.75
dp	1.8	1.4	7.8	8.2	0.8	0.4
CV (%)	5.3	1.4	6.3	8.6	2.1	0.4

Legenda: CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Tabela 15. Valores médios de umidade do solo (U) e uniformidade de redistribuição de água no seu interior (CUC) antes e depois da irrigação ou precipitação e lâmina de água coletada (LC) na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Evento	6,0 Mg ha ⁻¹					
	U antes (%)	CUC antes (%)	LC (mm)	CUC sup (%)	U depois (%)	CUC depois (%)
Irrigação	34.09	93.76	13.64	86.32	40.52	95.08
Precipitação	34.21	94.84	30.97	98.86	40.44	96.30
Precipitação	34.78	95.26	18.71	99.33	38.67	97.29
Precipitação	34.40	96.41	14.23	97.86	38.47	96.42
Irrigação	33.93	96.02	6.11	77.63	35.01	96.66
Irrigação	33.28	95.99	7.59	75.37	36.71	97.00
Irrigação	33.83	95.95	5.97	81.59	35.58	97.54
Irrigação	33.10	95.57	6.50	73.13	34.58	95.97
Precipitação	32.69	95.46	8.17	70.49	38.05	97.06
Precipitação	34.28	96.28	22.23	98.22	39.51	96.64
Precipitação	37.42	97.19	25.86	98.82	40.25	94.89
Média Irrigação	33.64	95.46	39.82	78.81	36.48	96.45
dp	0.4	1.0	3.2	5.2	2.4	1.0
CV (%)	1.3	1.0	8.1	6.6	6.6	1.0
Média Precipitação	34.63	95.91	120.17	93.93	39.23	96.43
dp	1.5	0.9	8.2	11.5	1.0	0.8
CV (%)	4.5	0.9	6.8	12.2	2.5	0.9

Legenda: CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Tabela 16. Valores médios de umidade do solo (U) e uniformidade de redistribuição de água no seu interior (CUC) antes e depois da irrigação ou precipitação e lâmina de água coletada (LC) na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 8,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Evento	8,0 Mg ha ⁻¹					
	U antes (%)	CUC antes (%)	LC (mm)	CUC sup (%)	U depois (%)	CUC depois (%)
1 ^a Irrigação	34.27	91.97	12.67	80.92	39.99	97.18
1 ^a Precipitação	34.62	96.28	31.10	98.94	40.25	97.58
2 ^a Precipitação	34.51	97.15	19.30	98.76	38.58	94.56
3 ^a Precipitação	34.79	97.59	14.62	98.29	39.09	97.47
2 ^a Irrigação	33.96	95.93	5.94	80.16	35.55	96.05
3 ^a Irrigação	33.59	95.81	6.62	83.73	37.34	97.23
4 ^a Irrigação	33.87	95.47	5.87	81.26	35.77	95.71
5 ^a Irrigação	33.61	93.24	6.00	79.31	35.03	95.34
4 ^a Precipitação	33.22	94.21	6.87	71.76	39.12	96.75
5 ^a Precipitação	32.43	95.07	21.44	89.21	38.79	97.19
6 ^a Precipitação	37.18	97.13	25.88	98.58	40.40	96.82
Média Irrigação	33.86	94.48	37.10	81.08	36.74	96.30
dp	0.3	1.8	2.9	1.7	2.0	0.9
CV (%)	0.8	1.9	7.9	2.1	5.5	0.9
Média Precipitação	34.46	96.24	119.22	92.59	39.37	96.73
dp	1.6	1.3	8.5	10.9	0.8	1.1
CV (%)	4.7	1.4	7.1	11.8	1.9	1.2

Legenda: CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Tabela 17. Valores médios de umidade do solo (U) e uniformidade de redistribuição de água no seu interior (CUC) antes e depois da irrigação ou precipitação e lâmina de água coletada (LC) na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto com 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Evento	12,0 Mg ha ⁻¹					
	U antes (%)	CUC antes (%)	LC (mm)	CUC sup (%)	U depois (%)	CUC depois (%)
1 ^a Irrigação	34.24	92.02	13.59	85.85	39.87	97.45
1 ^a Precipitação	37.05	95.46	31.55	98.97	42.01	94.37
2 ^a Precipitação	35.02	96.38	19.56	99.12	39.71	97.01
3 ^a Precipitação	35.06	97.08	14.71	98.53	39.20	97.68
2 ^a Irrigação	34.06	96.12	5.64	84.36	36.27	96.87
3 ^a Irrigação	34.44	95.11	5.89	82.84	38.25	96.92
4 ^a Irrigação	34.13	94.99	5.23	84.48	37.12	97.71
5 ^a Irrigação	34.82	93.31	4.25	79.02	36.03	95.42
4 ^a Precipitação	34.01	94.03	5.27	76.08	39.05	96.64
5 ^a Precipitação	34.58	93.54	22.57	97.53	38.36	96.61
6 ^a Precipitação	37.11	97.43	26.00	98.66	40.21	97.13
Média Irrigação	34.34	94.31	34.61	83.31	37.51	96.88
dp	0.3	1.6	3.8	2.6	1.6	0.9
CV (%)	0.9	1.7	10.9	3.1	4.2	0.9
Média Precipitação	35.47	95.66	119.65	94.82	39.76	96.57
dp	1.3	1.6	9.2	9.2	1.3	1.1
CV (%)	3.7	1.7	7.7	9.7	3.2	1.2

Legenda: CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Tabela 18. Componentes de produtividade, número de vagens (NV); número de grãos por vagem (NGV); número de grãos por planta (NGP) e peso de grãos (PG), em gramas, da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, com 0,0 e 2,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009

Tratamento	Repetição	Componentes de produtividade			
		NV	NG/V	NG/P	PG
0.0 Mg/ha	R1	7	5	37	10.33
0.0 Mg/ha	R2	10	5	51	13.01
0.0 Mg/ha	R3	5	4	18	4.65
0.0 Mg/ha	R1	15	5	68	19.85
0.0 Mg/ha	R2	9	5	42	12.74
0.0 Mg/ha	R3	5	5	25	5.14
0.0 Mg/ha	R1	7	5	32	9.56
0.0 Mg/ha	R2	7	5	35	11.30
0.0 Mg/ha	R3	10	5	50	13.98
0.0 Mg/ha	R1	7	5	36	11.97
0.0 Mg/ha	R2	9	5	43	11.03
0.0 Mg/ha	R3	10	6	55	17.29
0.0 Mg/ha	R1	20	5	98	24.40
0.0 Mg/ha	R2	7	5	36	7.00
0.0 Mg/ha	R3	9	4	37	8.85
0.0 Mg/ha	R1	13	5	67	18.42
0.0 Mg/ha	R2	16	6	94	28.06
0.0 Mg/ha	R3	4	4	16	4.22
0.0 Mg/ha	R1	6	4	25	8.18
0.0 Mg/ha	R2	7	4	29	6.76
0.0 Mg/ha	R3	5	6	29	8.26
0.0 Mg/ha	R1	9	5	42	10.15
0.0 Mg/ha	R2	5	4	19	4.38
0.0 Mg/ha	R3	7	4	28	8.05
0.0 Mg/ha	R1	8	5	38	9.89
0.0 Mg/ha	R2	11	4	46	10.25
0.0 Mg/ha	R3	4	5	18	3.46
0.0 Mg/ha	R1	12	5	62	16.78
0.0 Mg/ha	R2	3	6	17	4.73
0.0 Mg/ha	R3	11	5	50	13.89
0.0 Mg/ha	R1	5	4	19	6.67
0.0 Mg/ha	R2	9	5	42	12.62
0.0 Mg/ha	R3	9	5	47	9.50
0.0 Mg/ha	R1	8	5	37	9.76
0.0 Mg/ha	R2	10	6	55	17.37
0.0 Mg/ha	R3	14	5	69	19.25
0.0 Mg/ha	R1	4	5	21	4.65
0.0 Mg/ha	R2	2	6	12	3.21
0.0 Mg/ha	R3	7	4	26	7.28
0.0 Mg/ha	R1	15	4	57	12.51
0.0 Mg/ha	R2	11	4	46	11.91
0.0 Mg/ha	R3	9	5	45	10.47
0.0 Mg/ha	R1	7	5	32	6.55
0.0 Mg/ha	R2	5	5	23	5.71
0.0 Mg/ha	R3	10	4	42	11.34
0.0 Mg/ha	R1	10	4	43	6.79
0.0 Mg/ha	R2	20	4	79	23.16
0.0 Mg/ha	R3	6	3	19	3.95
0.0 Mg/ha	R1	6	5	27	5.85
0.0 Mg/ha	R2	12	4	51	14.43
0.0 Mg/ha	R3	2	4	7	1.11
0.0 Mg/ha	R1	12	4	53	12.31
0.0 Mg/ha	R2	9	4	40	10.57
0.0 Mg/ha	R3	11	6	63	14.64
0.0 Mg/ha	R1	12	4	50	12.36
0.0 Mg/ha	R2	7	5	38	10.88
0.0 Mg/ha	R3	10	5	52	15.71
0.0 Mg/ha	R1	9	5	48	13.47
0.0 Mg/ha	R2	5	5	24	6.99
0.0 Mg/ha	R3	6	5	29	9.29
0.0 Mg/ha	R1	4	4	16	2.92
0.0 Mg/ha	R2	7	4	28	5.06
0.0 Mg/ha	R3	7	5	34	8.21
	média	8.5	4.7	40.0	10.5
	dp	3.8	0.6	18.6	5.4
	CV (%)	44.2	13.5	46.6	51.8

Tratamento	Repetição	Componentes de produtividade			
		NV	NG/V	NG/P	PG
2.0 Mg/ha	R1	6	3	20	5.61
2.0 Mg/ha	R2	18	4	79	18.32
2.0 Mg/ha	R3	5	4	20	4.53
2.0 Mg/ha	R1	4	5	19	4.95
2.0 Mg/ha	R2	10	5	51	11.75
2.0 Mg/ha	R3	3	4	11	2.65
2.0 Mg/ha	R1	9	6	53	16.31
2.0 Mg/ha	R2	7	4	29	8.97
2.0 Mg/ha	R3	6	5	32	8.75
2.0 Mg/ha	R1	9	5	47	8.74
2.0 Mg/ha	R2	7	5	36	9.74
2.0 Mg/ha	R3	6	5	27	6.05
2.0 Mg/ha	R1	7	4	29	10.35
2.0 Mg/ha	R2	15	4	59	16.91
2.0 Mg/ha	R3	9	5	42	12.59
2.0 Mg/ha	R1	9	5	48	12.30
2.0 Mg/ha	R2	6	5	29	7.74
2.0 Mg/ha	R3	9	5	47	12.22
2.0 Mg/ha	R1	11	5	52	12.60
2.0 Mg/ha	R2	4	5	19	5.58
2.0 Mg/ha	R3	1	5	5	1.75
2.0 Mg/ha	R1	3	5	15	3.36
2.0 Mg/ha	R2	16	5	86	28.50
2.0 Mg/ha	R3	12	4	45	15.53
2.0 Mg/ha	R1	13	5	59	15.17
2.0 Mg/ha	R2	5	6	30	8.82
2.0 Mg/ha	R3	17	5	80	23.85
2.0 Mg/ha	R1	8	4	28	7.49
2.0 Mg/ha	R2	15	5	76	17.78
2.0 Mg/ha	R3	3	5	15	3.88
2.0 Mg/ha	R1	5	5	23	6.77
2.0 Mg/ha	R2	3	5	14	4.07
2.0 Mg/ha	R3	10	5	46	11.55
2.0 Mg/ha	R1	16	4	60	14.92
2.0 Mg/ha	R2	7	5	38	10.22
2.0 Mg/ha	R3	11	5	58	13.82
2.0 Mg/ha	R1	11	5	59	16.67
2.0 Mg/ha	R2	9	6	53	15.65
2.0 Mg/ha	R3	2	4	7	1.96
2.0 Mg/ha	R1	10	6	55	16.47
2.0 Mg/ha	R2	7	5	36	11.21
2.0 Mg/ha	R3	23	5	114	32.51
2.0 Mg/ha	R1	5	5	23	6.86
2.0 Mg/ha	R2	9	5	46	11.06
2.0 Mg/ha	R3	17	5	85	21.90
2.0 Mg/ha	R1	5	6	29	8.40
2.0 Mg/ha	R2	15	4	63	16.16
2.0 Mg/ha	R3	12	4	47	11.87
2.0 Mg/ha	R1	9	4	32	8.41
2.0 Mg/ha	R2	19	5	96	22.83
2.0 Mg/ha	R3	19	5	93	23.83
2.0 Mg/ha	R1	8	4	32	6.08
2.0 Mg/ha	R2	11	3	35	8.88
2.0 Mg/ha	R3	10	5	46	9.11
2.0 Mg/ha	R1	5	4	19	4.57
2.0 Mg/ha	R2	10	4	43	8.75
2.0 Mg/ha	R3	7	5	35	8.51
2.0 Mg/ha	R1	11	5	50	13.96
2.0 Mg/ha	R2	5	5	24	6.16
2.0 Mg/ha	R3	4	5	21	6.26
2.0 Mg/ha	R1	10	5	49	14.55
2.0 Mg/ha	R2	13	4	53	15.96
2.0 Mg/ha	R3	6	5	27	8.98
	média	9.2	4.7	42.8	11.5
	dp	4.8	0.7	23.1	6.4
	CV (%)	51.9	14.2	53.9	55.6

Legenda: CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Tabela 19. Componentes de produtividade, número de vagens (NV); número de grãos por vagem (NGV); número de grãos por planta (NGP) e peso de grãos (PG), em gramas, da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, com 4,0 e 6,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Tratamento	Repetição	Componentes de produtividade			
		NV	NG/V	NG/P	PG
4.0 Mg/ha	R1	10	6	57	16.63
4.0 Mg/ha	R2	12	4	53	13.97
4.0 Mg/ha	R3	16	5	82	21.01
4.0 Mg/ha	R1	14	5	68	17.30
4.0 Mg/ha	R2	6	4	26	5.93
4.0 Mg/ha	R3	15	5	76	18.39
4.0 Mg/ha	R1	14	5	66	17.41
4.0 Mg/ha	R2	11	5	52	10.91
4.0 Mg/ha	R3	15	6	84	22.91
4.0 Mg/ha	R1	14	5	64	14.71
4.0 Mg/ha	R2	18	4	80	22.01
4.0 Mg/ha	R3	4	5	18	3.35
4.0 Mg/ha	R1	11	4	49	10.07
4.0 Mg/ha	R2	17	4	68	15.52
4.0 Mg/ha	R3	5	5	23	3.80
4.0 Mg/ha	R1	8	6	44	9.29
4.0 Mg/ha	R2	11	5	55	14.11
4.0 Mg/ha	R3	15	5	77	21.15
4.0 Mg/ha	R1	15	5	70	16.64
4.0 Mg/ha	R2	13	5	64	17.60
4.0 Mg/ha	R3	8	5	37	8.10
4.0 Mg/ha	R1	13	5	61	15.03
4.0 Mg/ha	R2	11	5	60	15.29
4.0 Mg/ha	R3	11	4	43	12.95
4.0 Mg/ha	R1	12	5	57	12.00
4.0 Mg/ha	R2	10	4	42	11.82
4.0 Mg/ha	R3	8	5	37	8.29
4.0 Mg/ha	R1	17	5	80	15.97
4.0 Mg/ha	R2	15	6	87	19.86
4.0 Mg/ha	R3	26	4	112	24.16
4.0 Mg/ha	R1	25	5	117	30.65
4.0 Mg/ha	R2	5	3	16	1.88
4.0 Mg/ha	R3	10	5	45	11.07
4.0 Mg/ha	R1	12	5	59	14.22
4.0 Mg/ha	R2	4	8	31	7.27
4.0 Mg/ha	R3	16	5	75	15.22
4.0 Mg/ha	R1	12	5	63	17.20
4.0 Mg/ha	R2	8	4	30	7.01
4.0 Mg/ha	R3	19	5	94	26.42
4.0 Mg/ha	R1	12	4	50	15.82
4.0 Mg/ha	R2	15	5	71	18.02
4.0 Mg/ha	R3	7	4	28	7.20
4.0 Mg/ha	R1	12	4	43	10.36
4.0 Mg/ha	R2	9	5	41	10.55
4.0 Mg/ha	R3	9	6	54	14.94
4.0 Mg/ha	R1	9	4	38	8.88
4.0 Mg/ha	R2	10	6	58	14.98
4.0 Mg/ha	R3	9	4	39	9.72
4.0 Mg/ha	R1	16	5	73	20.11
4.0 Mg/ha	R2	3	4	13	2.99
4.0 Mg/ha	R3	10	6	59	14.83
4.0 Mg/ha	R1	15	5	78	20.9
4.0 Mg/ha	R2	9	5	48	12.44
4.0 Mg/ha	R3	6	5	28	5.23
4.0 Mg/ha	R1	17	5	86	24.19
4.0 Mg/ha	R2	9	4	36	7.48
4.0 Mg/ha	R3	3	5	16	4.28
4.0 Mg/ha	R1	6	3	19	4.04
4.0 Mg/ha	R2	6	5	30	6.49
4.0 Mg/ha	R3	3	2	7	1.21
4.0 Mg/ha	R1	15	4	65	14.47
4.0 Mg/ha	R2	15	4	56	14.03
4.0 Mg/ha	R3	9	3	30	7.33
	média	11.4	4.7	53.8	13.3
	dp	4.8	0.8	23.8	6.4
	CV (%)	42.1	16.9	44.2	48.3

Tratamento	Repetição	Componentes de produtividade			
		NV	NG/V	NG/P	PG
6.0 Mg/ha	R1	14	4	59	16.17
6.0 Mg/ha	R2	11	4	44	11.63
6.0 Mg/ha	R3	9	6	52	13.81
6.0 Mg/ha	R1	14	5	67	17.11
6.0 Mg/ha	R2	10	5	54	15.36
6.0 Mg/ha	R3	15	5	73	18.35
6.0 Mg/ha	R1	12	5	56	15.55
6.0 Mg/ha	R2	11	5	50	11.21
6.0 Mg/ha	R3	4	7	26	5.50
6.0 Mg/ha	R1	14	5	66	17.58
6.0 Mg/ha	R2	14	5	63	16.66
6.0 Mg/ha	R3	5	0	2	0.51
6.0 Mg/ha	R1	11	5	53	11.17
6.0 Mg/ha	R2	7	3	22	3.66
6.0 Mg/ha	R3	4	4	14	4.93
6.0 Mg/ha	R1	9	5	43	9.67
6.0 Mg/ha	R2	7	6	41	10.47
6.0 Mg/ha	R3	6	6	36	8.77
6.0 Mg/ha	R1	6	5	32	9.02
6.0 Mg/ha	R2	12	5	59	9.58
6.0 Mg/ha	R3	20	5	97	26.00
6.0 Mg/ha	R1	7	6	41	10.75
6.0 Mg/ha	R2	18	4	68	15.11
6.0 Mg/ha	R3	10	3	28	6.01
6.0 Mg/ha	R1	19	4	84	21.38
6.0 Mg/ha	R2	19	4	81	19.37
6.0 Mg/ha	R3	5	4	21	5.26
6.0 Mg/ha	R1	9	4	35	8.53
6.0 Mg/ha	R2	20	5	93	21.08
6.0 Mg/ha	R3	10	5	50	12.81
6.0 Mg/ha	R1	14	4	61	14.37
6.0 Mg/ha	R2	14	5	63	19.92
6.0 Mg/ha	R3	9	6	52	11.48
6.0 Mg/ha	R1	6	5	30	7.59
6.0 Mg/ha	R2	9	5	42	11.91
6.0 Mg/ha	R3	5	5	27	8.53
6.0 Mg/ha	R1	7	6	39	9.94
6.0 Mg/ha	R2	9	5	41	13.15
6.0 Mg/ha	R3	16	3	55	13.53
6.0 Mg/ha	R1	12	4	50	11.26
6.0 Mg/ha	R2	12	5	60	16.05
6.0 Mg/ha	R3	9	4	37	9.42
6.0 Mg/ha	R1	7	4	30	6.30
6.0 Mg/ha	R2	9	5	45	13.13
6.0 Mg/ha	R3	8	5	37	11.00
6.0 Mg/ha	R1	14	7	92	18.11
6.0 Mg/ha	R2	14	5	67	17.88
6.0 Mg/ha	R3	4	5	20	5.84
6.0 Mg/ha	R1	18	5	91	27.48
6.0 Mg/ha	R2	3	5	14	4.18
6.0 Mg/ha	R3	8	6	50	10.77
6.0 Mg/ha	R1	14	6	78	24.4
6.0 Mg/ha	R2	12	4	53	14.19
6.0 Mg/ha	R3	17	5	82	24.42
6.0 Mg/ha	R1	9	6	50	14.08
6.0 Mg/ha	R2	6	4	24	6.85
6.0 Mg/ha	R3	20	6	111	28.34
6.0 Mg/ha	R1	5	4	22	5.21
6.0 Mg/ha	R2	5	4	19	5.26
6.0 Mg/ha	R3	10	4	41	10.67
6.0 Mg/ha	R1	9	4	37	11.06
6.0 Mg/ha	R2	7	3	22	5.62
6.0 Mg/ha	R3	5	6	31	7.57
	média	10.4	4.7	48.9	12.6
	dp	4.6	1.0	23.0	6.1
	CV (%)	43.8	20.9	47.0	48.8

Legenda: CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Tabela 20. Componentes de produtividade, número de vagens (NV); número de grãos por vagem (NGV); número de grãos por planta (NGP) e peso de grãos (PG), em gramas, da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, com 8,0 e 12,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta de milho, ano 2009.

Tratamento	Repetição	Componentes de produtividade			
		NV	NG/V	NG/P	PG
8.0 Mg/ha	R1	22	5	113	29.02
8.0 Mg/ha	R2	17	4	73	17.50
8.0 Mg/ha	R3	7	5	35	8.91
8.0 Mg/ha	R1	8	5	40	11.65
8.0 Mg/ha	R2	19	5	97	28.21
8.0 Mg/ha	R3	8	5	36	7.99
8.0 Mg/ha	R1	9	5	47	14.19
8.0 Mg/ha	R2	21	4	86	21.37
8.0 Mg/ha	R3	10	4	39	10.01
8.0 Mg/ha	R1	23	5	121	31.34
8.0 Mg/ha	R2	12	5	60	19.40
8.0 Mg/ha	R3	9	5	46	14.58
8.0 Mg/ha	R1	9	5	49	15.02
8.0 Mg/ha	R2	11	6	61	19.03
8.0 Mg/ha	R3	5	4	20	5.54
8.0 Mg/ha	R1	12	4	49	13.75
8.0 Mg/ha	R2	9	5	49	12.31
8.0 Mg/ha	R3	11	5	52	15.90
8.0 Mg/ha	R1	16	4	70	16.41
8.0 Mg/ha	R2	8	6	46	13.84
8.0 Mg/ha	R3	6	6	34	7.42
8.0 Mg/ha	R1	13	4	57	17.95
8.0 Mg/ha	R2	8	4	34	10.23
8.0 Mg/ha	R3	9	5	43	13.26
8.0 Mg/ha	R1	9	3	31	5.51
8.0 Mg/ha	R2	10	4	41	7.41
8.0 Mg/ha	R3	13	4	55	15.37
8.0 Mg/ha	R1	11	4	49	13.80
8.0 Mg/ha	R2	9	5	42	12.67
8.0 Mg/ha	R3	5	6	29	8.18
8.0 Mg/ha	R1	8	5	39	11.36
8.0 Mg/ha	R2	11	4	44	10.28
8.0 Mg/ha	R3	13	5	65	19.62
8.0 Mg/ha	R1	11	5	53	16.58
8.0 Mg/ha	R2	10	5	49	15.26
8.0 Mg/ha	R3	5	4	21	7.65
8.0 Mg/ha	R1	12	5	55	15.96
8.0 Mg/ha	R2	10	5	45	12.92
8.0 Mg/ha	R3	7	5	35	9.40
8.0 Mg/ha	R1	9	6	50	14.84
8.0 Mg/ha	R2	6	6	33	7.83
8.0 Mg/ha	R3	5	5	23	5.46
8.0 Mg/ha	R1	13	5	65	15.74
8.0 Mg/ha	R2	9	5	44	12.41
8.0 Mg/ha	R3	7	4	29	8.34
8.0 Mg/ha	R1	12	6	68	13.91
8.0 Mg/ha	R2	9	4	38	9.45
8.0 Mg/ha	R3	14	5	68	18.96
8.0 Mg/ha	R1	14	6	80	24.28
8.0 Mg/ha	R2	16	5	73	21.39
8.0 Mg/ha	R3	8	4	34	10.00
8.0 Mg/ha	R1	7	4	27	7.43
8.0 Mg/ha	R2	9	4	34	8.32
8.0 Mg/ha	R3	13	4	58	15.26
8.0 Mg/ha	R1	10	4	43	11.93
8.0 Mg/ha	R2	11	5	54	15.85
8.0 Mg/ha	R3	9	4	36	9.71
8.0 Mg/ha	R1	9	4	39	8.98
8.0 Mg/ha	R2	11	4	48	11.74
8.0 Mg/ha	R3	8	5	39	9.68
8.0 Mg/ha	R1	9	4	37	9.99
8.0 Mg/ha	R2	17	5	83	23.22
8.0 Mg/ha	R3	14	5	73	18.6
	média	10.7	4.7	50.6	13.8
	dp	4.0	0.6	20.3	5.7
	CV (%)	37.1	12.0	40.2	41.3

Tratamento	Repetição	Componentes de produtividade			
		NV	NG/V	NG/P	PG
12.0 Mg/ha	R1	16	5	80	20.60
12.0 Mg/ha	R2	20	5	105	27.81
12.0 Mg/ha	R3	13	5	70	16.79
12.0 Mg/ha	R1	14	5	64	17.19
12.0 Mg/ha	R2	13	4	58	19.03
12.0 Mg/ha	R3	9	5	46	14.79
12.0 Mg/ha	R1	16	5	75	16.67
12.0 Mg/ha	R2	14	5	65	14.20
12.0 Mg/ha	R3	12	3	32	6.53
12.0 Mg/ha	R1	12	5	57	15.84
12.0 Mg/ha	R2	14	4	62	16.64
12.0 Mg/ha	R3	7	5	37	10.87
12.0 Mg/ha	R1	19	6	106	21.58
12.0 Mg/ha	R2	20	4	87	22.48
12.0 Mg/ha	R3	9	5	42	9.43
12.0 Mg/ha	R1	5	5	26	6.93
12.0 Mg/ha	R2	14	5	69	17.86
12.0 Mg/ha	R3	5	5	23	5.94
12.0 Mg/ha	R1	11	5	50	12.63
12.0 Mg/ha	R2	8	5	41	10.56
12.0 Mg/ha	R3	9	6	55	13.95
12.0 Mg/ha	R1	14	5	64	17.23
12.0 Mg/ha	R2	9	5	49	14.74
12.0 Mg/ha	R3	11	4	42	9.58
12.0 Mg/ha	R1	4	5	18	6.41
12.0 Mg/ha	R2	11	5	51	17.34
12.0 Mg/ha	R3	10	5	48	14.76
12.0 Mg/ha	R1	9	4	39	9.55
12.0 Mg/ha	R2	7	4	25	6.89
12.0 Mg/ha	R3	16	5	82	28.07
12.0 Mg/ha	R1	14	5	73	18.03
12.0 Mg/ha	R2	15	5	80	24.74
12.0 Mg/ha	R3	20	5	100	25.88
12.0 Mg/ha	R1	15	5	71	19.57
12.0 Mg/ha	R2	20	6	110	28.32
12.0 Mg/ha	R3	11	5	57	13.76
12.0 Mg/ha	R1	4	5	19	6.08
12.0 Mg/ha	R2	8	5	43	8.12
12.0 Mg/ha	R3	20	5	102	25.82
12.0 Mg/ha	R1	18	4	74	19.89
12.0 Mg/ha	R2	18	5	93	23.78
12.0 Mg/ha	R3	16	4	57	13.58
12.0 Mg/ha	R1	10	4	40	7.85
12.0 Mg/ha	R2	8	5	42	8.15
12.0 Mg/ha	R3	9	5	45	10.01
12.0 Mg/ha	R1	10	4	43	8.02
12.0 Mg/ha	R2	11	3	38	9.36
12.0 Mg/ha	R3	22	4	81	15.43
12.0 Mg/ha	R1	8	6	44	12.24
12.0 Mg/ha	R2	8	4	35	1.76
12.0 Mg/ha	R3	7	4	30	9.40
12.0 Mg/ha	R1	3	3	10	2.12
12.0 Mg/ha	R2	22	5	102	25.36
12.0 Mg/ha	R3	7	4	28	8.36
12.0 Mg/ha	R1	4	5	21	6.24
12.0 Mg/ha	R2	7	4	29	8.79
12.0 Mg/ha	R3	7	4	30	7.04
12.0 Mg/ha	R1	6	4	26	10.54
12.0 Mg/ha	R2	8	5	36	9.95
12.0 Mg/ha	R3	14	5	67	19.51
12.0 Mg/ha	R1	13	5	63	18.33
12.0 Mg/ha	R2	7	5	34	10.58
12.0 Mg/ha	R3	16	3	44	10.56
	média	11.7	4.6	54.5	14.1
	dp	4.9	0.7	24.9	6.7
	CV (%)	42.2	14.4	45.7	47.2

Legenda: CV: coeficiente de variação; dp: desvio padrão.

Apêndice D: - “Fotos dos ensaios realizados durante as safras de 2007, 2008 e 2009 com a cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto na FEAGRI-UNICAMP”

Safra 2007



1) área experimental onde foi realizado o ensaio; 2) cultura do feijoeiro no início do estágio de desenvolvimento vegetativo; 3) detalhe da planta de feijoeiro em sistema plantio direto; 4) avaliação do ensaio de uniformidade; 5) cultura do feijoeiro no estágio de desenvolvimento vegetativo; 6) cultura do feijoeiro no estágio de florescimento e detalhe dos tensiômetros instalados no campo.



7) extração de raízes do feijoeiro pelo método do trado; 8) coleta das amostras de solo para a quantificação de raízes; 9) peneiramento do material extraído do solo; 10) raízes e outros materiais retidos pela peneira; 11) separação de raízes; 12) amostras de raízes coletadas.

Safra 2008



1) delineamento e preparo das parcelas no campo; 2) germinação da cultura do feijoeiro; 3) irrigação para germinação da cultura; 4) início do desenvolvimento vegetativo; 5) irrigação no estágio de enchimento de grãos; 6) plantas coletadas para análise de produtividade.

Safra 2009



1) detalhe da área experimental com cobertura morta de milho; 2) delineamento das parcelas e limpeza da área; 3) retirada cobertura morta para secagem; 4) cobertura morta para ser distribuída nas parcelas correspondentes a cada tratamento; 5) plantio da cultura do feijão; 6) detalhe do tratamento sem cobertura morta de milho.



7) montagem da malha de pluviômetro no campo; 8) adubação nitrogenada de cobertura no estágio de desenvolvimento vegetativo da cultura; 9) detalhe do saquinho de decomposição “litter bag”; 10) distribuição dos “litter bag” no campo; 11) sistema de irrigação em funcionamento; 12) coleta das plantas para análise de produtividade.



13) detalhe do primeiro protótipo para leitura de umidade no solo pela técnica da TDR; 14) detalhe do segundo protótipo; 15) sonda de TDR acoplada no equipamento portátil; 16) detalhe do display para visualização dos dados de umidade do solo em tempo real; 17) malha de pluviômetros para estimativa da lâmina coletada; 18) monitoramento da umidade do solo próximo a cada pluviômetro pelo técnica da TDR com o auxílio do equipamento portátil.

ANEXOS

ANEXO - A - "Resultados da análise estatística dos valores de déficit de armazenamento de água no solo e componentes de produtividade da cultura do feijoeiro, safra 2008"

Variável analisada: DEFICIT-Desenvolvimento vegetativo (DV)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	14.859600	3.714900	239.439	0.0000
BLOCO	2	0.311613	0.155807	10.042	0.0066
erro	8	0.124120	0.015515		
Total corrigido	14	15.295333			
CV (%) =	3.80				
Média geral:	3.2766667	Número de observações:		15	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.0719143008494601

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	1.346667	a1
8	3.306667	a2
6	3.786667	a3
4	3.946667	a3
0	3.996667	a3

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
Erro padrão: 0.0557045779088218

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	3.076000	a1
3	3.346000	a2
1	3.408000	a2

Variável analisada: DEFICIT - Florescimento (FL)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	14.003133	3.500783	14.412	0.0010
BLOCO	2	2.959773	1.479887	6.092	0.0247
erro	8	1.943227	0.242903		
Total corrigido	14	18.906133			
CV (%) =	24.20				
Média geral:	2.0366667	Número de observações:		15	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.284548375110064

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	0.636667	a1
8	1.133333	a1
6	2.530000	a2
4	2.870000	a2
0	3.013333	a2

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
Erro padrão: 0.220410223598332

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	1.410000	a1
2	2.312000	a2
3	2.388000	a2

Variável analisada: DEFICIT - Enchimento de grãos (EG)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	2.422493	0.605623	6.514	0.0124
BLOCO	2	5.023080	2.511540	27.014	0.0003
erro	8	0.743787	0.092973		
Total corrigido	14	8.189360			
CV (%) =	5.96				
Média geral:	5.1160000	Número de observações:		15	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.176042924058626

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	4.346667	a1
8	5.086667	a2
6	5.363333	a2
4	5.363333	a2
0	5.420000	a2

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
Erro padrão: 0.136362262619343

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	4.300000	a1
3	5.470000	a2
2	5.578000	a2

Variável analisada: DEFICIT - Maturação Fisiológica (MF)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	0.808667	0.202167	3.985	0.0457
BLOCO	2	0.384040	0.192020	3.785	0.0697
erro	8	0.405893	0.050737		
Total corrigido	14	1.598600			
CV (%) =	9.79				
Média geral:	2.3000000	Número de observações:		15	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.130047000050836

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	1.896667	a1
8	2.220000	a1
6	2.343333	a1
0	2.490000	a1
4	2.550000	a1

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
Erro padrão: 0.100733973084225

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	2.090000	a1
2	2.332000	a1
3	2.478000	a1

ANEXO - B - “Resultados da análise estatística dos valores de temperatura e umidade do solo e das taxas de decomposição da cobertura morta de milho na cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto - ano 2009”.

Variável analisada: Temperatura do solo - 0 DIA

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	9.528461	1.905692	10.527	0.0010
BLOCO	2	0.383828	0.191914	1.060	0.3823
erro	10	1.810239	0.181024		
Total corrigido	17	11.722528			
CV (%) =	1.92				
Média geral:	22.1796300	Número de observações:	18		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
 Erro padrão: 0.245644683005534

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	21.222223	a1
8	21.700000	a1
4	21.888887	a1
6	22.055557	a1
2	22.777780	a2
0	23.433333	a2

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
 Erro padrão: 0.173697021115633

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	21.983333	a1
2	22.222223	a1
1	22.333333	a1

Variável analisada: Umidade do Solo - 0 dia.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	20.647749	4.129550	7.760	0.0032
BLOCO	2	0.076333	0.038166	0.072	0.9313
erro	10	5.321884	0.532188		
Total corrigido	17	26.045966			
CV (%) =	1.86				
Média geral:	39.2317306	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.421184210215892

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
0	37.906667	a1
2	38.559833	a1
4	38.910000	a1
6	38.937217	a1
8	39.806667	a2
12	41.270000	a3

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.297822211172358

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	39.161667	a1
1	39.215000	a1
3	39.318525	a1

Variável analisada: Temperatura do solo - 15 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	12.951667	2.590333	53.965	0.0000
BLOCO	2	0.093333	0.046667	0.972	0.4113
erro	10	0.480000	0.048000		
Total corrigido	17	13.525000			
CV (%) =	1.04				
Média geral:	20.9833333	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.126491106406735

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
8	20.200000	a1
6	20.300000	a1
12	20.433333	a1
4	21.000000	a2
2	21.300000	a2
0	22.666667	a3

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.0894427190999917

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	20.916667	a1
1	20.950000	a1
3	21.083333	a1

Variável analisada: Umidade do solo - 15 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	29.701590	5.940318	5.234	0.0128
BLOCO	2	6.769696	3.384848	2.982	0.0964
erro	10	11.350199	1.135020		
Total corrigido	17	47.821485			
CV (%) =	3.04				
Média geral:	34.9886778	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.615093448634403

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
0	33.219743	a1
4	34.586357	a1
8	34.716507	a1
6	34.852533	a1
2	35.015563	a1
12	37.541363	a2

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.434936748592806

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	34.121487	a1
2	35.411048	a1
1	35.433498	a1

Variável analisada: Taxa de decomposição - 15 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	0.000490	0.000122	59.701	0.0000
BLOCO	2	0.000003	0.000001	0.612	0.5659
erro	8	0.000016	0.000002		
Total corrigido	14	0.000509			
CV (%) =	9.62				
Média geral:	0.0148827	Número de observações:		15	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.000826877661245403

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	0.007917	a1
8	0.010473	a1
6	0.013473	a2
4	0.018867	a3
2	0.023683	a4

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
Erro padrão: 0.000640496682270877

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	0.014336	a1
3	0.014992	a1
2	0.015320	a1

Variável analisada: Temperatura do solo - 30 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	11.751111	2.350222	25.121	0.0000
BLOCO	2	0.031111	0.015556	0.166	0.8491
erro	10	0.935556	0.093556		
Total corrigido	17	12.717778			
CV (%) =	1.48				
Média geral:	20.711111	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.176593276160745

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	19.666667	a1
8	19.733333	a1
4	20.633333	a2
6	21.033333	a2
2	21.300000	a2
0	21.900000	a3

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.124870303085211

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	20.666667	a1
2	20.700000	a1
3	20.766667	a1

Variável analisada: Umidade do solo - 30 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	20.181475	4.036295	8.308	0.0025
BLOCO	2	1.765449	0.882724	1.817	0.2123
erro	10	4.858500	0.485850		
Total corrigido	17	26.805424			
CV (%) =	1.74				
Média geral:	39.9675150	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.402430112131286

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
0	38.460000	a1
6	39.266580	a1
2	39.403680	a1
4	40.226667	a2
8	40.765683	a2
12	41.682480	a2

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.284561061241695

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	39.588090	a1
3	39.959368	a1
1	40.355087	a1

Variável analisada: Taxa de decomposição - 30 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	0.000449	0.000112	78.460	0.0000
BLOCO	2	5.841333333E-0008	2.92066667E-0008	0.020	0.9798
erro	8	0.000011	0.000001		
Total corrigido	14	0.000460			
CV (%) =	9.89				
Média geral:	0.0120847	Número de observações:		15	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.000690303475935685

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	0.006760	a1
8	0.007713	a1
6	0.009607	a1
4	0.014867	a2
2	0.021477	a3

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
Erro padrão: 0.0005347067732256

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	0.012004	a1
2	0.012094	a1
3	0.012156	a1

Variável analisada: Temperatura do solo - 45 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	3.056111	0.611222	5.336	0.0120
BLOCO	2	0.187778	0.093889	0.820	0.4682
erro	10	1.145556	0.114556		
Total corrigido	17	4.389444			
CV (%) =	2.05				
Média geral:	16.4944444	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.19541029958829

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
8	16.100000	a1
2	16.266667	a1
12	16.266667	a1
6	16.333333	a1
4	16.666667	a1
0	17.333333	a2

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.138175947952574

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	16.366667	a1
1	16.500000	a1
2	16.616667	a1

Variável analisada: Umidade do Solo - 45 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	15.875038	3.175008	10.564	0.0010
BLOCO	2	1.317290	0.658645	2.192	0.1625
erro	10	3.005445	0.300545		
Total corrigido	17	20.197773			
CV (%) =	1.62				
Média geral:	33.8230211	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.316514617994295

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
0	32.364627	a1
8	33.164800	a1
6	33.337863	a1
12	34.453333	a2
2	34.529907	a2
4	35.087597	a2

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.223809632728435

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	33.616935	a1
2	33.646922	a1
1	34.205207	a1

Variável analisada: Taxa de decomposição- 45 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	0.000090	0.000023	115.057	0.0000
BLOCO	2	5.074533333E-0007	2.53726667E-0007	1.292	0.3264
erro	8	0.000002	1.96376667E-0007		
Total corrigido	14	0.000092			
CV (%) =	3.77				
Média geral:	0.0117407	Número de observações:		15	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.000255849348032956

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	0.008303	a1
8	0.010023	a2
6	0.011920	a3
4	0.013013	a4
2	0.015443	a5

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
Erro padrão: 0.000198180052813933

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	0.011522	a1
1	0.011728	a1
2	0.011972	a1

Variável analisada: Temperatura do solo - 60 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	16.736111	3.347222	27.765	0.0000
BLOCO	2	0.067778	0.033889	0.281	0.7607
erro	10	1.205556	0.120556		
Total corrigido	17	18.009444			
CV (%) =	1.89				
Média geral:	18.4055556	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.200462428362985

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	17.166667	a1
8	17.233333	a1
2	18.266667	a2
4	18.700000	a2
6	19.433333	a3
0	19.633333	a3

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.14174834246859

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	18.333333	a1
1	18.400000	a1
2	18.483333	a1

Variável analisada: Umidade do solo - 60 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	13.628431	2.725686	5.873	0.0087
BLOCO	2	2.521233	1.260617	2.716	0.1142
erro	10	4.640877	0.464088		
Total corrigido	17	20.790541			
CV (%) =	1.86				
Média geral:	36.6952989	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.393313997854792

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	35.686683	a1
4	35.836300	a1
0	36.010917	a1
6	37.374393	a2
8	37.403500	a2
12	37.860000	a2

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.278114995018715

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	36.248695	a1
1	36.672610	a1
2	37.164592	a1

Variável analisada: Taxa de decomposição 60 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	0.000057	0.000014	18.555	0.0004
BLOCO	2	2.6329333333E-0007	1.31646667E-0007	0.170	0.8464
erro	8	0.000006	7.73280000E-0007		
Total corrigido	14	0.000064			
CV (%) =	8.20				
Média geral:	0.0107293	Número de observações:		15	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.000507700699231348

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	0.008417	a1
8	0.009433	a1
6	0.010237	a2
4	0.011467	a2
2	0.014093	a3

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
Erro padrão: 0.000393263270596174

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.010550	a1
3	0.010772	a1
1	0.010866	a1

Variável analisada: Temperatura do solo - 75 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	9.386667	1.877333	18.711	0.0001
BLOCO	2	0.190000	0.095000	0.947	0.4202
erro	10	1.003333	0.100333		
Total corrigido	17	10.580000			
CV (%) =	1.78				
Média geral:	17.7666667	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.182878222991269

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	16.700000	a1
8	17.200000	a1
2	17.700000	a2
4	17.866667	a2
6	18.133333	a2
0	19.000000	a3

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.129314431608472

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	17.650000	a1
1	17.750000	a1
3	17.900000	a1

Variável analisada: Umidade do solo - 75 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	15.086250	3.017250	3.554	0.0417
BLOCO	2	0.292933	0.146467	0.173	0.8440
erro	10	8.488667	0.848867		
Total corrigido	17	23.867850			
CV (%) =	2.31				
Média geral:	39.8983333	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.531935668625028

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
0	38.326667	a1
4	39.360000	a1
2	39.760000	a1
6	40.306667	a1
8	40.376667	a1
12	41.260000	a1

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.376135318439758

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	39.778333	a1
3	39.841667	a1
1	40.075000	a1

Variável analisada: Taxa de decomposição - 75 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	0.000090	0.000022	20.000	0.0003
BLOCO	2	0.000002	0.000001	1.004	0.4084
erro	8	0.000009	0.000001		
Total corrigido	14	0.000101			
CV (%) =	9.72				
Média geral:	0.0108853	Número de observações:		15	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.000610855956834342

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	0.007383	a1
8	0.009373	a2
6	0.010593	a2
4	0.012783	a3
2	0.014293	a3

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
Erro padrão: 0.000473166989550201

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.010566	a1
3	0.010660	a1
1	0.011430	a1

Variável analisada: Temperatura do solo - 90 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	35.197778	7.039556	41.436	0.0000
BLOCO	2	0.334444	0.167222	0.984	0.4072
erro	10	1.698889	0.169889		
Total corrigido	17	37.231111			
CV (%) =	2.15				
Média geral:	19.177778	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.237969808231274

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
8	17.666667	a1
12	17.733333	a1
6	18.000000	a1
4	20.233333	a2
0	20.466667	a2
2	20.966667	a2

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.168270065117996

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	19.016667	a1
3	19.166667	a1
1	19.350000	a1

Variável analisada: Umidade do solo - 90 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	28.552288	5.710458	4.209	0.0255
BLOCO	2	1.651967	0.825983	0.609	0.5630
erro	10	13.565881	1.356588		
Total corrigido	17	43.770136			
CV (%) =	3.56				
Média geral:	32.7363639	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.672455226200283

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	31.096987	a1
4	31.516620	a1
6	32.487253	a1
0	32.603990	a1
8	34.280000	a2
12	34.433333	a2

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.475497650490554

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	32.495993	a1
2	32.549417	a1
1	33.163682	a1

Variável analisada: Taxa de decomposição - 90 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	0.000079	0.000020	22.588	0.0002
BLOCO	2	3.802533333E-0007	1.90126667E-0007	0.218	0.8087
erro	8	0.000007	8.71868333E-0007		
Total corrigido	14	0.000086			
CV (%) =	9.63				
Média geral:	0.0096973	Número de observações:		15	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.000539094405255497

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	0.006560	a1
8	0.008343	a2
6	0.009317	a2
4	0.011000	a3
2	0.013267	a4

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
Erro padrão: 0.000417580730717626

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.009502	a1
3	0.009698	a1
1	0.009892	a1

Variável analisada: Temperatura do solo - 105 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	24.229444	4.845889	85.684	0.0000
BLOCO	2	0.041111	0.020556	0.363	0.7041
erro	10	0.565556	0.056556		
Total corrigido	17	24.836111			
CV (%) =	1.21				
Média geral:	19.727778	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.137302046058505

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
8	18.166667	a1
12	18.300000	a1
6	19.633333	a2
4	20.233333	a3
2	20.933333	a4
0	21.100000	a4

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.0970872078387565

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	19.666667	a1
1	19.733333	a1
2	19.783333	a1

Variável analisada: Umidade do solo - 105 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	8.153711	1.630742	3.419	0.0464
BLOCO	2	1.388978	0.694489	1.456	0.2786
erro	10	4.769822	0.476982		
Total corrigido	17	14.312511			
CV (%) =	2.03				
Média geral:	33.9677778	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.39874061001367

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
0	33.110000	a1
2	33.516667	a1
4	33.520000	a1
6	33.950000	a1
12	34.813333	a2
8	34.896667	a2

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.281952189275127

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	33.590000	a1
3	34.063333	a1
1	34.250000	a1

Variável analisada: Taxa de decomposição - 105 dias

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	4	0.000080	0.000020	48.810	0.0000
BLOCO	2	0.000004	0.000002	4.638	0.0460
erro	8	0.000003	4.08956667E-0007		
Total corrigido	14	0.000087			
CV (%) =	6.54				
Média geral:	0.0097760	Número de observações:		15	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.000369213879599466

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	0.006570	a1
8	0.007693	a1
6	0.010387	a2
4	0.011530	a2
2	0.012700	a3

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 5
Erro padrão: 0.000285991841375472

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	0.009180	a1
3	0.009738	a1
1	0.010410	a1

Variável analisada: Número de vagens por planta - NV

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	23.451867	4.690373	3.968	0.0304
BLOCO	2	4.567135	2.283568	1.932	0.1952
erro	10	11.819858	1.181986		
Total corrigido	17	39.838861			
CV (%) =	10.52				
Média geral:	10.3306878	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.627690433461933

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
0	8.539683	a1
2	9.158730	a1
6	10.444443	a2
8	10.714287	a2
4	11.428570	a2
12	11.698413	a2

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.443844161986856

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	9.619048	a1
2	10.658730	a1
1	10.714285	a1

Variável analisada: Número de grãos por vagem - NGV

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	0.006766	0.001353	0.099	0.9900
BLOCO	2	0.016058	0.008029	0.590	0.5724
erro	10	0.136018	0.013602		
Total corrigido	17	0.158842			
CV (%) =	2.49				
Média geral:	4.6766717	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.0673344669871563

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
12	4.646697	a1
0	4.661607	a1
2	4.678870	a1
6	4.680633	a1
4	4.682817	a1
8	4.709407	a1

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.0476126582141999

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	4.634558	a1
1	4.694898	a1
2	4.700558	a1

Variável analisada: Número de grãos por planta - NGP

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	521.038101	104.207620	3.870	0.0327
BLOCO	2	115.067524	57.533762	2.137	0.1688
erro	10	269.286293	26.928629		
Total corrigido	17	905.391917			
CV (%) =	10.71				
Média geral:	48.4338633		Número de observações:	18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 2.99603233517672

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
0	39.952383	a1
2	42.841270	a1
6	48.936507	a2
8	50.571427	a2
4	53.777780	a2
12	54.523813	a2

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 2.11851478085762

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	44.888890	a1
2	49.801587	a1
1	50.611113	a1

Variável analisada: Peso de grãos - PG

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	29.684457	5.936891	3.182	0.0562
BLOCO	2	7.650137	3.825069	2.050	0.1794
erro	10	18.655250	1.865525		
Total corrigido	17	55.989844			
CV (%) =	10.81				
Média geral:	12.6325128	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.788569374226845

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
0	10.525083	a1
2	11.455553	a1
6	12.579683	a1
4	13.295397	a1
8	13.811427	a1
12	14.127933	a1

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.557602751951835

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	11.711270	a1
2	13.061587	a1
1	13.124682	a1

Variável analisada: Massa de 100 grãos - M100

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	5	55.120650	11.024130	32.997	0.0000
BLOCO	2	0.685233	0.342617	1.026	0.3934
erro	10	3.340967	0.334097		
Total corrigido	17	59.146850			
CV (%) =	2.23				
Média geral:	25.9450000	Número de observações:		18	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMENTO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 0.333714781745663

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	23.620000	a1
0	24.433333	a1
4	24.880000	a1
6	26.783333	a2
8	27.433333	a2
12	28.520000	a3

Teste Scott-Knott (1974) para a FV BLOCO

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 6
Erro padrão: 0.235971985154547

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	25.683333	a1
3	26.000000	a1
2	26.151667	a1