



**APLICAÇÃO DA TRIFLURALINA NO
CONTROLE DA INTRUSÃO RADICULAR DE
TUBOGOTEJADORES ENTERRADOS SOB
LAVOURA CAFEIEIRA**

**LAVRAS – MG
2011**

PEDRO LUIZ TERRA LIMA

**APLICAÇÃO DA TRIFLURALINA NO CONTROLE DA INTRUSÃO
RADICULAR DE TUBOGOTEJADORES ENTERRADOS SOB
LAVOURA CAFEIEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Alberto Colombo

Coorientador

Dr. Manoel Alves de Faria

**LAVRAS - MG
2011**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Lima, Pedro Luiz Terra.

Aplicação da trifluralina no controle da intrusão radicular de tubogotejadores enterrados sob lavoura cafeeira / Pedro Luiz Terra Lima. – Lavras : UFLA, 2011.

73 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Alberto Colombo.

Bibliografia.

1. Gotejamento subsuperficial. 2. Quimigação por gotejamento. 3. Irrigação por gotejamento. 4. *Coffea arabica* L. 5. Herbicida. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.587

PEDRO LUIZ TERRA LIMA

**APLICAÇÃO DA TRIFLURALINA NO CONTROLE DA INTRUSÃO
RADICULAR DE TUBOGOTEJADORES ENTERRADOS SOB
LAVOURA CAFEIEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 02 de Agosto de 2011.

Dr. Fábio Henrique de Souza Faria UNIMONTES

Dra. Myriane Stella Scalco UFLA

Dr. Alberto Colombo

Orientador

**LAVRAS - MG
2011**

DEDICO

Dedico esta monografía a Deus.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Luiz Antônio Lima e Mariana Monteiro Terra Lima, a minha irmã Júlia Lima, e a minha namorada Priscilla Magalhães de Lima pelo apoio, compreensão e pelo auxílio nas análises e atividades de campo. Agradeço também aos meus avôs Antônio Pereira Lima e Clarice Ribeiro de Lima, e Francisco Terra e Teresinha Monteiro Terra.

Agradeço ao Prof. Alberto Colombo pelos conhecimentos transmitidos, tornando possível a realização deste trabalho.

Aos Professores Manoel Alves de Faria, Myriane Stella Scalco, Fábio Henrique de Souza Faria, Luis Gonzaga e demais professores pela orientação e ensinamento passados.

Gostaria de agradecer ao apoio dos amigos Alberto “Betão”, Ana Carla, Anderson “Robinho”, Antonio “Carlim”, Bruno Caetano, Douglas “Bossa”, Flávio Castro, Guilherme Lima, Iraci Fidélis, João José, Leandro Campos, Lessandro “Gaúcho”, Márcio Adalberto, Marcelo “Rambão”, Marcelo “Zaza”, Mateus “Juruaia”, Matheus Colares “Narizinho”, Michael Thebaldi, Millena Mirella, Murilo Machado, Rafael Frees Gatto, Rafael Pombo “Baiano” e Renato “Baratão”.

Aos amigos e colegas Camila Alvarenga, Camila Silva, Daniel Coelho, Eduardo Carvalho “Meta”, Gabriel Araujo, Henrique Oliveira, José Antonio “Zinho”, Léo “Brown”, Lidiane Aparecida, Lucas Alves “Peão”, Lucas de Paula, Marcelo Viola, Maria José, Maurício César, Rosângela Marques, Waina Junqueira, Wellington G. da Silva, Willian Almeida, Ulisses Vilela, Osvaldo “Neném”, José Luiz, Marli, Gilson Maia e demais colegas do Departamento que muito me ajudaram nesta monografia.

Agradeço ao pessoal das repúblicas Engenho (in memoriam), Vila Velha e Prega Sarrafo.

José Antônio, Reginaldo Faria e todos da Lavras Irrigação, pelo apoio.

Luiz Carlos Alvarenga e toda a equipe do Photo Wildes, pelo excelente serviço prestado.

Agradeço ao órgão de fomento a pesquisa FAPEMIG.

Agradeço também a todos os meus familiares que de certa maneira contribuíram para esta conquista.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses e frequências de aplicação do herbicida Trifluralina na intrusão radicular em tubogotejadores enterrados sob lavoura cafeeira, durante seu crescimento inicial (6 a 18 meses). O espaçamento de plantio utilizado foi de 2,5 metros entre linhas e 0,50 metros entre plantas de café na linha. Um experimento inteiramente casualizado foi realizado com delineamento estatístico de quatro doses (0,00; 0,05; 0,15 ou 0,25 mL i.a. de Trifluralina por gotejador) e três frequências (3, 6 e 12 meses de intervalo) com quatro repetições cada. Um tubogotejador de 15 m de comprimento, com emissores com vazão de 1,0 L h⁻¹ espaçados a cada 0,45 m, foi instalado a 0,20 m à direita da linha de plantio, localizado 0,20 m de profundidade. Foram avaliados o crescimento vegetativo da planta, a variação da carga hidráulica em função do tempo, a tolerância do cafeeiro a doses mais elevadas (0,06; 0,11; 0,23; 0,46 ou 0,68 mL i.a. do herbicida Trifluralina por gotejador) após 18 meses, assim como a capacidade de retenção de Trifluralina no solo. Resultados permitiram concluir que até 18 meses após o plantio, a lavoura cafeeira não sofreu qualquer influência no crescimento vegetativo com a aplicação da Trifluralina, mesmo na dose mais elevada (0,25 mL do ingrediente ativo por planta). A variação da carga hidráulica dos segmentos de tubogotejadores não sofreu alteração devido à intrusão de radículas após 18 meses de plantio. O cafeeiro (18 meses) também não sofreu influência quando submetido a doses mais elevadas. Foi possível verificar que o solo retém mais Trifluralina do que água.

Palavras-chave: Gotejamento subsuperficial. *Coffea arabica* L. Herbicida.

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate effects of different doses and frequency of application of the herbicide Trifluralin to avoid root intrusion in subsurface drip irrigation in a coffee field during its initial development (6 to 18 months). While the space between rows was 2.5 meters, space between plants was 0.5 meters. A completely randomized experimental design was used, with four doses (0.00, 0.05, 0.15 or 0.25 mL of active ingredient per dripper) and three frequencies (3, 6 and 12 months) with four replicates. A drip tubing 15 meters long with 1.0 L h⁻¹ drippers at every 0.45 meters was installed 20 cm at right side of plants and 20 cm deep. Variables measured included plant growth, dripper flow rate with small hydraulic pressure (2.5 to 3.0 meters of water column), coffee tolerance to high doses of Trifluralin (0.06, 0.11, 0.23, 0.46 or 0.68 mL of active ingredient) when plants were 18 months old, as well as soil holding capacity of Trifluralin solutions. Results allowed to conclude that 18 months after planting, coffee plants didn't suffer any negative effect of Trifluralin application, even at high dose (0.25 ml a.i.) done three times. The dripper flow rate of drip tubing was not reduced due to possible root intrusion till 18 months old. At this age, even 0.68 mL of a.i. didn't affect the plants. It was possible to verify that Trifluralin is more retained by the soil than water.

Keywords: Subsurface drip. *Coffea arabica* L. Herbicide.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Exemplo de relação entre condutividade hidráulica versus umidade do solo	25
Figura 2	Estrutura Molecular da Trifluralina.....	29
Figura 3	Vista parcial do experimento (15 de Setembro de 2010 – 8 meses após plantio)	33
Figura 4	Leiaute dos tubogotejadores para café	34
Figura 5	Temperatura máxima, média e mínima diárias, obtidas pela estação de Lavras, Minas Gerais	35
Figura 6	Umidade Relativa do ar média diária (%), obtida pela estação de Lavras, Minas Gerais.....	35
Figura 7	Lâmina de precipitação (mm), obtida pela estação de Lavras, Minas Gerais	36
Figura 8	Leiaute do plantio de café (2,5 metros entre linhas)	39
Figura 9	Aplicação de Trifluralina em zona radicular do cafeeiro	41
Figura 10	Curva de retenção de umidade, ajustada pelo SWRC, para solo submetido a diferentes doses de Trifluralina.....	43
Figura 11	Distribuição de tamanho de poros para solo submetido a diferentes doses de Trifluralina	44
Figura 12	Condutividade hidráulica relativa ($K_s = 1,0$ m/dia) versus umidade para solo submetido a diferentes doses de Trifluralina	46
Figura 13	Cafeeiro submetido a 0,68 mL do ingrediente ativo por gotejador (a) antes da aplicação; (b) 1 dia após aplicação; (c) 3 dias após aplicação; (d) 6 dias após aplicação; (e) 9 dias após aplicação; (f) 15 dias após aplicação de Trifluralina.....	52
Figura 14	Detalhe de emissor sem obstrução por radículas.....	55

Figura 15	Presença de raízes de plantas daninhas na parte externa do tubogotejador.....	56
-----------	---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Potencial risco de obstrução em irrigação localizada devido à qualidade da água.....	22
Tabela 2	Parâmetros de ajuste das equações de retenção de umidade do solo com diferentes doses de Trifluralina, obtidos com aplicativo SWRC 3.0 (DOURADO NETO et al., 2001).....	43
Tabela 3	Diâmetro médio de poros com 50% drenado e 50% saturados para diferentes doses de Trifluralina	45
Tabela 4	Diâmetro do caule (cm) de plantas de café submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 29/01/2011	47
Tabela 5	Diâmetro do caule (cm) de plantas de café submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 28/02/2011	47
Tabela 6	Diâmetro do caule (cm) de plantas de café submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 28/03/2011	48
Tabela 7	Diâmetro do caule (cm) de plantas de café submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 28/04/2011	48
Tabela 8	Diâmetro do caule (cm) de plantas de café submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 30/05/2011	48
Tabela 9	Altura de plantas de café (cm) submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 29/01/2011	49

Tabela 10	Altura de plantas de café (cm) submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 28/02/2011	50
Tabela 11	Altura de plantas de café (cm) submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 28/03/2011	50
Tabela 12	Altura de plantas de café (cm) submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 28/04/2011	50
Tabela 13	Altura de plantas de café (cm) submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 30/05/2011	51
Tabela 14	Resultado da análise da água de irrigação.....	53
Tabela 15	Valores médios de variação da carga hidráulica ($L h^{-1}$) para linhas de tubogotejadores com 15,0 m e 33 gotejadores espaçados em 0,45 m cada em lavoura de cafeeiro	54

LISTA DE SÍMBOLOS

ISL	Índice de saturação de Langelier
pH_a	pH da amostra de água de irrigação
pH_e	pH de equilíbrio para $CaCO_3$
q	Densidade do fluxo de água ($m \text{ dia}^{-1}$)
∇H	Gradiente de potencial hidráulico ($m^1 m^{-1}$)
K	Condutividade hidráulica do solo ($m \text{ dia}^{-1}$)
θ	Teor volumétrico de água no solo ($cm^3 cm^{-3}$)
θ_r	Teor de água residual no solo ($cm^3 cm^{-3}$)
θ_s	Teor de água para o solo saturado ($cm^3 cm^{-3}$)
α	Parâmetro α de ajuste de modelo de van Genuchten ($1/kPa$)
m	Parâmetro m de ajuste de modelo de van Genuchten
n	Parâmetro n de ajuste de modelo de van Genuchten
h	Potencial matricial da água no solo (kPa)
$K(\theta)$	Condutividade hidráulica do solo em função do teor volumétrico de água no solo ($m \text{ dia}^{-1}$)
K_s	Condutividade hidráulica do solo de saturação ($m \text{ dia}^{-1}$)
ΔP	Diferença de pressão através do menisco formado entre água e ar no solo (Pascal)
σ	Tensão superficial da água ($J m^{-2}$)
r_c	Raio de curvatura do menisco (m)
θ_a	Ângulo de contato da água com a parede de sólidos (graus)
r_p	Raio do tubo capilar (m)
r_{poro}	Raio equivalente do poro (m)

I_h	Transporte do soluto por dispersão hidrodinâmica ($\text{g}/\text{cm}^2/\text{h}$)
D	Coefficiente de dispersão hidrodinâmica (cm^2/h)
$\frac{\partial C}{\partial x}$	Gradiente de concentração
I_{mD}	Transporte convectivo ($\text{g}/\text{cm}^2/\text{h}$)
q_v	Fluxo volumétrico ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
C	Concentração do pesticida em fase líquida do solo (g cm^{-3})
PT	Porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
ρ_a	Densidade aparente do solo (g cm^{-3})
ρ_r	Densidade real do solo (g cm^{-3})

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Cafeicultura	18
2.2	Gotejamento subsuperficial	20
2.3	Retenção e movimento de água em solo parcialmente saturado	24
2.4	Retenção e adsorção de Trifluralina no solo	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1	Procedimento experimental	32
3.2	Curva característica de retenção de água e Trifluralina no solo	36
3.3	Desenvolvimento do cafeeiro sob diferentes doses e frequências de aplicação da Trifluralina	38
3.4	Tolerância de plantas de cafeeiro à Trifluralina	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	Retenção e movimento de Trifluralina em solo parcialmente saturado	42
4.1.1	Ajuste da curva característica de retenção	42
4.1.2	Condutividade hidráulica parcialmente saturada	45
4.2	Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro tratado com diferentes doses e frequências de aplicação de Trifluralina	46
4.2.1	Diâmetro do caule	46
4.2.2	Altura da planta	49
4.2.3	Tolerância de plantas em desenvolvimento inicial	51
4.3	Comportamento hidráulico do tubogotejador exposto a diferentes doses e frequências de Trifluralina	53
4.3.1	Qualidade da água de irrigação	53
4.3.2	Variação da carga hidráulica em função do tempo	54

4.3.3	Avaliação visual do entupimento por raízes	55
5	CONCLUSÕES	57
	REFERÊNCIAS	58
	ANEXOS	68

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura representa uma importante atividade econômica brasileira e o uso de tecnologias que aumenta a produtividade tornando-a mais lucrativa. Entre várias tecnologias, a irrigação se destaca, sendo os sistemas mais empregados a aspersão e o gotejamento.

O sistema do gotejamento apresenta desvantagens, como cuidados nos tratos culturais que podem danificar os tubogotejadores, por exemplo, a capina manual da fase inicial. Já a aspersão, de maior consumo de água, também requer cuidados especiais no manejo, pois os frutos em maturação podem fermentar-se, reduzindo sua qualidade na composição da bebida.

Assim, uma alternativa é o emprego do gotejamento enterrado. Este procedimento vem sendo testado há mais de uma década, porém sem a adoção de procedimentos de proteção contra obstruções externas no tubogotejador por vácuo ou por raízes em crescimento. Enquanto a ocorrência de vácuo pode ser eliminada com a instalação de válvulas antivácuo na rede hidráulica, a intrusão radicular ainda requer a avaliação de possíveis medidas de controle. Em outras culturas como a cana de açúcar, a intrusão radicular tem sido evitada com emprego de herbicidas seletivos para gramíneas, como a Trifluralina, um herbicida de mobilidade muito restrita no solo, em função de sua alta adsorção à fração argila ou à fração orgânica do solo. Sua eficácia como inibidor de intrusão radicular do cafeeiro ainda precisa ser avaliada, assim como os possíveis riscos de toxidez excessiva. Os trabalhos de pesquisa similares existentes referem-se ao cultivo do cafeeiro em vasos e, por essa razão, decidiu-se pesquisar em campo a possível intrusão radicular e o efeito de diferentes doses e frequências de aplicação da Trifluralina em gotejamento enterrado de uma lavoura cafeeira na fase de desenvolvimento inicial.

Especificamente, buscou-se avaliar a capacidade de retenção de solução de Trifluralina no solo, sob diferentes concentrações. Estimou-se ainda sua condutividade hidráulica em solo parcialmente saturado e a variação de carga hidráulica de tubogotejadores enterrados submetidos a diferentes doses e frequências de aplicação. Por fim, doses maiores foram testadas para identificar possíveis limites para aplicação em cafeeiros em seu desenvolvimento inicial.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cafeicultura

O Brasil é atualmente o maior produtor de café mundial, representando cerca de 30% do mercado. De maneira a aumentar seus lucros, a cafeicultura brasileira vem investindo em novas tecnologias, como por exemplo, no setor de qualidade do fruto e irrigação (CHALFOUN; REIS, 2010; FERNANDES; SANTINATO; FERNANDES, 2008).

O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) apresenta bom desenvolvimento vegetativo e produtividades consideráveis em variadas regiões, sendo cultivado nacionalmente. Esta fácil adequação está diretamente relacionada à fisiologia da planta, constituída de: parte aérea, formada por ramos definidos por ortotrópicos e plagiotrópicos; e pelas raízes, fundamentais para absorção de água e fixação da planta no solo.

O padrão de crescimento vegetativo da parte aérea do cafeeiro depende de fatores edafoclimáticos e internos. Há um crescimento vegetativo mais intenso durante períodos chuvosos e com temperaturas mais elevadas, sendo que fatores climáticos como geadas, secas e veranicos podem proporcionar limitações no desenvolvimento vegetativo, flores e frutos novos. O crescimento em altura é mais rápido durante os primeiros anos da planta (FERNANDES; SANTINATO; FERNANDES, 2008; GOMIDE; MAENO, 2008; LIVRAMENTO, 2010; MANTOVANI, 2003; RENA; MAESTRI, 1986; REICHARDT; TIMM, 2004; TAIZ; ZIEGER, 2004).

O sistema radicular do cafeeiro, assim como o de diversas culturas, é dotado de coifa, zona meristemática, zona de alongamento celular e da zona de maturação. A coifa protege as células meristemáticas enquanto as raízes da planta vão penetrando no solo. A zona meristemática tem atividade de rápida e

intensa divisão e seu é alongamento celular. A zona de maturação é a região onde se encontram os pelos radiculares, importante na absorção de água e sais minerais para a parte aérea (TAIZ; ZIEGER, 2004). De acordo com Livramento (2010), o desenvolvimento radicular da planta depende de diversos fatores, como espécie, cultivar, da fisiologia, ataque de pragas e doenças, espaçamento de plantio, podas, das condições químicas, físicas e biológicas do solo, além da umidade do solo.

A profundidade efetiva do sistema radicular corresponde à camada de solo onde se concentra a maior parte das raízes absorventes. Pode ser identificada como sendo a região onde estão presentes cerca de 80% do total das raízes absorventes da cultura (FRANÇA JÚNIOR, 2003; KOBAYASHI, 2007). Na estação experimental do Instituto Agrônômico de Campinas, Inforzato e Reis (1974) concluíram que ao atingir os três anos de idade, o sistema radicular apresentou 76% de suas raízes até 30 cm de profundidade.

O sucesso da lavoura cafeeira depende também, do correto preparo na instalação seguindo recomendações técnicas (BOTELHO et al., 2010). Sedyama et al. (2001) estabeleceram faixas térmicas entre 18°C a 23,5 °C como ideais para o cultivo do café arábica no estado de Minas Gerais. Em temperaturas acima deste valor, a perda de potencial produtivo pode ser compensada com o uso da irrigação. Solos deficitários de macro e micronutrientes requerem fertilização, fazendo-se necessário a prática da adubação, de maneira que uma nutrição equilibrada irá gerar boas produtividades e longevidades da lavoura cafeeira (GUIMARÃES et al., 2011; GUIMARÃES; REIS, 2010; MATIELLO; GARCIA; ALMEIDA, 2006).

2.2 Gotejamento subsuperficial

A irrigação deve ser utilizada sempre que o déficit hídrico for uma limitação para o desenvolvimento e a produção da cultura, de modo que tem como objetivo aumentar a produtividade, garantir a qualidade na colheita, reduzir custos unitários de produção, melhorar a qualidade final do produto, dentre outros (ALBUQUERQUE, 2010; ANDRADE; JÚNIOR, 2008; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2005; COSTA et al., 2010a).

Os sistemas de irrigação se dividem em pressurizados (pressão maior que a pressão atmosférica) e não pressurizados, sendo que no primeiro a água é conduzida em tubulações sob pressão. Dentre as várias classificações, há o sistema de gotejamento, dividindo-se em superficial ou subsuperficial. Estes sistemas se caracterizam por manter a umidade do solo na zona radicular próxima da capacidade de campo, uma vez que há aplicação de lâminas de água com pequena intensidade e alta frequência (PIZZARO CABELLO, 1996). Este tipo de irrigação é considerado o que melhor se adapta à cultura do café, sendo que chega a apresentar maior desenvolvimento da planta em seu estágio inicial e níveis de produtividade superiores ao dobro das condições de cultivo em sequeiro (COSTA et al., 2010b; FARIA; COELHO; RESENDE, 2004; SCALCO et al., 2001).

O gotejamento “enterrado” ou subsuperficial (GSS) vem se destacando na agricultura irrigada. Neste sistema toda a rede é enterrada, inclusive as laterais. O GSS se caracteriza positivamente por apresentar, comparativamente aos demais sistemas, uma menor evaporação da água pela superfície do solo, menor incidência de plantas daninhas, menor incidência de doenças justificadas por uma menor umidade na superfície, grande potencial para automatização, possibilidade de aplicação de produtos químicos em solução na água de irrigação, flexibilidade no uso de maquinário agrícola, dentre outros

(ANDRADE JÚNIOR, 2008; AZEVEDO, 1986; CAMP et al., 2000; COELHO et al., 2010; ENCISO-MEDINA et al., 2007; LAMM et al., 2009; LIMA et al., 2010; MARTINS et al., 2007; ORON et al., 1991; ROMERO; BOTIA; GARCIA, 2004; SCALOPPI, 1986; PIZARRO CABELLO, 1996).

O sistema apresenta, entretanto, possibilidade de formação de vácuo no interior dos tubos e gotejadores, tornando possível a sucção de partículas de solo pelos emissores, além de intrusão radicular da cultura no orifício dos gotejadores, causando obstrução dos mesmos, sendo estes os principais problemas a serem resolvidos (COELHO; FARIA, 2003; COELHO; FARIA; MELO, 2007; FARIA, 2002; JIUSHENG et al., 2008; LAMM, 2009; LIMA, 2009; SUAREZ-REY et al., 2006; PIZARRO CABELLO, 1996).

A uniformidade de emissão é um parâmetro importante para o adequado manejo da aplicação de água na cultura. Solomon (1985) indica que essa uniformidade pode ser afetada por uma possível obstrução, pelo coeficiente de variação de fabricação, pela sensibilidade do emissor à temperatura, variações de pressão, dentre outros.

Um fator imprescindível na busca por um alto índice de uniformidade no sistema é a qualidade da água. A avaliação da qualidade da água deve ser feita periodicamente com o intuito de prever o potencial risco de entupimento de emissores (Tabela 1), de modo que as causas da obstrução podem ser separadas de acordo com a natureza, seja ela física, química ou biológica (AMORIM et al., 2010; AYERS; WESTCOT, 1994; NAKAYAMA; BUCKS, 1981).

O parâmetro ácido sulfídrico é encontrado principalmente em águas subterrâneas e de mineração, não sendo muito comum em águas pluviais.

Tabela 1 Potencial risco de obstrução em irrigação localizada devido à qualidade da água

Natureza	Tipo de Problema	Risco		
		Nenhum	Moderado	Severo
Física	Sólidos em Suspensão (mg L^{-1})	< 50	50 a 100	> 100
	pH	< 7,0	7,0 a 8,0	> 8,0
	Sólidos Diss. Totais (mg L^{-1})	< 500	500 a 2.000	> 2.000
Química	Manganês (mg L^{-1})	< 0,1	0,1 a 1,5	> 1,5
	Ferro Total (mg L^{-1})	< 0,2	0,2 a 1,5	> 1,5
	Ácido Sulfídrico (mg L^{-1})	< 0,2	0,2 a 2,0	> 2,0
Biológica	Pop. Bacteriana (NMP mL^{-1})	< 10.000	10.000 a 50.000	> 50.000

Fonte: Nakayama; Bucks, 1981.

Outro problema frequente que ocasiona a obstrução em sistemas de irrigação localizada está relacionado à precipitação do carbonato de cálcio (CaCO_3), estimado segundo índice de saturação de Langelier (LANGELIER, 1936).

$$ISL = pH_a - pH_c \quad (3)$$

em que:

ISL = Índice de saturação de Langelier

pH_a = pH da amostra de água

pH_c = pH de equilíbrio para CaCO_3

O cálculo de pH_c é realizado obtendo-se as concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e pela soma das concentrações de CO_3^{2-} e HCO_3^- (LANGELIER, 1936). Quando o índice de Langelier for positivo há uma tendência de ocorrer a precipitação de CaCO_3 ocasionando obstrução nos emissores. Da mesma forma, valores negativos do índice indicam que o CaCO_3 se dissolverá na água de irrigação (AMORIM et al., 2008; AYERS; WESTCOT, 1994).

A água utilizada para irrigação necessita então de tratamento, seja ele feito por processos físicos e/ou químicos, com objetivo de eliminar os resíduos ou elementos indesejados encontrados. Em tratamentos físicos, o mais comum é o uso da filtração, destacando-se os filtros de areia, os filtros hidrociclone, de disco e de tela, empregados conforme a quantidade e natureza de contaminantes presentes (ALVES, 2008; ; FARIA; COELHO; RESENDE, 2004; FARIA et al., 2002). Dentre os diversos tratamentos químicos, se destacam a acidificação e a cloração (AIROLDI, 2003).

Um dos principais desafios na eficiência do uso de GSS, é a obstrução dos emissores devido à intrusão por raízes. Diversas alternativas ao combate de intrusão das raízes nos emissores já foram sugeridas e testadas, principalmente em outras culturas. Ruskin e Ferguson (2011) apresentaram quatro soluções para tal problema: emissores dotados de barreiras mecânicas, adição do herbicida Trifluralina na água de irrigação, incorporação da Trifluralina no plástico do emissor ou ainda a incorporação da Trifluralina no filtro de discos. Essas medidas de controle já foram testadas em culturas diferentes ao cafeeiro (DALRI, 2004; DALRI et al., 2002; LIMA et al., 2010; NYAT, 2004; YINGDUO et al., 2010).

Dalri et al. (2002) testaram diferentes dosagens de Trifluralina (TFN) para a cultura da cana de açúcar aplicando doses do produto comercial de 0,25 e 0,05 mL/gotejador, em ensaios subsequentes, obtendo sucesso na prevenção à intrusão em todas as doses. Pizarro Cabello (1996) cita que a dose de TFN aplicada por emissor no combate à intrusão radicular deve variar entre 0,20 a 0,25 cm³ com frequência variando entre 5 e 6 meses.

2.3 Retenção e movimento de água em solo parcialmente saturado

O movimento de água no solo, em sua fase líquida, se dá pela diferença de potencial hidráulico total, valor esse igual ao somatório dos componentes de pressão, gravitacional e matricial. O fluxo se dá de pontos de maior potencial para pontos de menor potencial hidráulico. Esse fenômeno natural pode ser descrito pela equação de Darcy-Buckingham, proposta por Darcy (1856) e adaptada para solos não saturados por Buckingham (1907):

$$q = -K \times \nabla H \quad (4)$$

em que:

q = densidade do fluxo de água (m dia^{-1})

∇H = gradiente de potencial hidráulico ($\text{m}^1 \text{m}^{-1}$)

K = condutividade hidráulica do solo (m dia^{-1})

Percebe-se, na equação 4, que o fluxo é diretamente proporcional à condutividade hidráulica, de modo que a mesma depende diretamente das propriedades do fluido (solução do solo) e do material poroso (solo). A dependência da condutividade hidráulica pode ser expressa pela Figura 1, representativa de um solo típico de várzea, de boa permeabilidade.

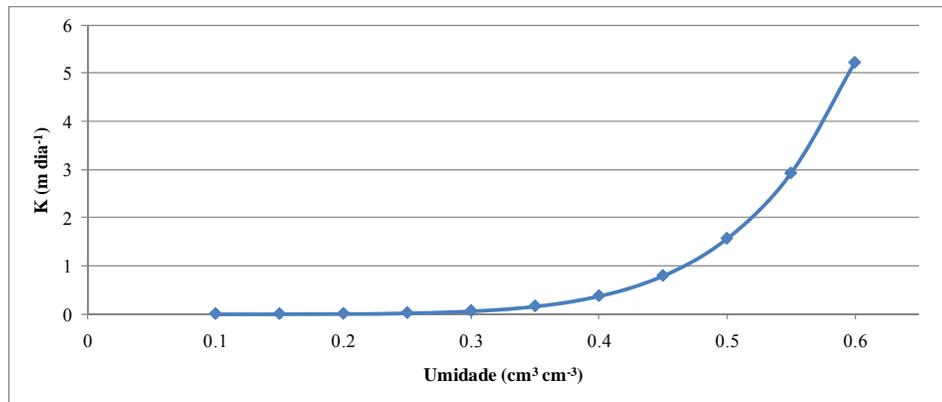


Figura 1 Exemplo de relação entre condutividade hidráulica versus umidade do solo

Também denominado de tensão da água do solo, o componente do potencial matricial é resultado de forças de adsorção e capilares resultantes da interação água e solo, variando para diferentes tipos de solo. A descrição do componente matricial é de difícil determinação, sendo que a mesma é feita normalmente de forma experimental (REICHARDT; TIMM, 2004). Através da curva característica da água no solo é possível relacionar valores de tensão da água com teores de umidade de água para um determinado solo. Essa relação se dá por vários modelos, sendo o de Van Genuchten (1980), um dos mais utilizados:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|h|^n)]^m} \quad (5)$$

onde pode ser empregada a restrição de Mualem (1976):

$$m = 1 - \frac{1}{n}, \quad n > 1 \quad (6)$$

em que:

θ = teor volumétrico de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

θ_r = teor de água residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

θ_s = teor de água para o solo saturado ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

α (1kPa^{-1}), m, n = parâmetros de ajuste de modelo

h = potencial matricial da água no solo (kPa)

Várias funções analíticas representantes da curva de condutividade hidráulica do solo também foram desenvolvidas, como o modelo proposto por van Genuchten (1980), sendo que o mesmo é baseado no modelo de distribuição estatística de poros de Mualem (1976).

$$K(\theta) = K_s \times w^{1/2} \left[1 - \left(1 - w^{1/m} \right)^m \right]^2 \quad (7)$$

em que:

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo (m dia^{-1})

K_s = condutividade hidráulica do solo de saturação (m dia^{-1})

w = grau de saturação efetiva

m = parâmetro de ajuste de modelo

$$w = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (8)$$

em que:

w = grau de saturação efetiva

θ = teor volumétrico de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

θ_r = teor de água residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

θ_s = teor de água para o solo saturado ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

A distribuição de tamanho de poros no solo é possível de ser estimada a partir do volume de água retirado de uma amostra previamente saturada, com a imposição de sucessivas tensões de sucção. O volume de água perdido pode ser igualado ao volume de poros drenados. Os poros maiores são drenados primeiramente, seguido dos poros menores.

A diferença de pressão através do menisco formado entre água e ar num tubo capilar pode ser expressa pela equação 8:

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{r_c} = \frac{2\sigma \cos \theta_a}{r_p} \quad (8)$$

em que:

ΔP = diferença de pressão (Pascal)

σ = tensão superficial da água (J m^{-2})

r_c = raio de curvatura do menisco (m)

θ_a = ângulo de contato da água com a parede de sólidos (graus)

r_p = raio do tubo capilar (m)

Se o ângulo de contato é igual a zero e o raio de curvatura do menisco for igual ao raio de um tubo capilar, a equação 8 pode ser escrita como sendo:

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{r_{\text{pore}}} \quad (9)$$

em que:

ΔP = diferença de pressão (Pascal)

σ = tensão superficial da água (J m^{-2})

r_{poro} = raio equivalente do poro (m)

À medida que a água é removida, o raio de curvatura da interface ar/água diminui gradativamente até atingir o valor do raio do poro fazendo com que o poro seja drenado. Segundo Danielson e Sutherland (1986), a equação 9 pode ser utilizada para estimar o tamanho que divide poros preenchidos com água e poros drenados de uma amostra submetida a uma determinada sucção (ΔP) sobre uma placa porosa.

A tensão superficial da TFN é de $71,4 \text{ mN m}^{-1}$ quando submetido a uma temperatura de $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$, sendo praticamente igual a da água, de $72,4 \text{ mN m}^{-1}$ (UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, 2011). Considerando os dois líquidos avaliados nesta pesquisa, água e TFN, espera-se, por exemplo, que o DP_{50} (diâmetro de poros com 50% drenado e 50% saturados) seja ligeiramente menor para TFN em comparação à água.

2.4 Retenção e adsorção de Trifluralina no solo

A TFN é o ingrediente ativo de alguns herbicidas, de modo que ela age nas plantas inibindo a divisão celular nos tecidos meristemáticos, diminuindo assim a germinação das sementes e a formação de novas células na radícula e caulículo.

A TFN pertence ao grupo químico das dinitroanilinas (BYRD; MARKHAM; EMMERSON, 1995). Seu nome químico é *a, a, a-trifluro-2,6-dinitro-N-N-dipropil-p-toluidina*, sendo que sua estrutura molecular pode ser observada na figura 2. A TFN possui solubilidade em água de $0,221 \text{ ppm}$,

indicando um produto altamente lipofílico e densidade igual a $1,36 \text{ g cm}^{-3}$ (UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, 2011).

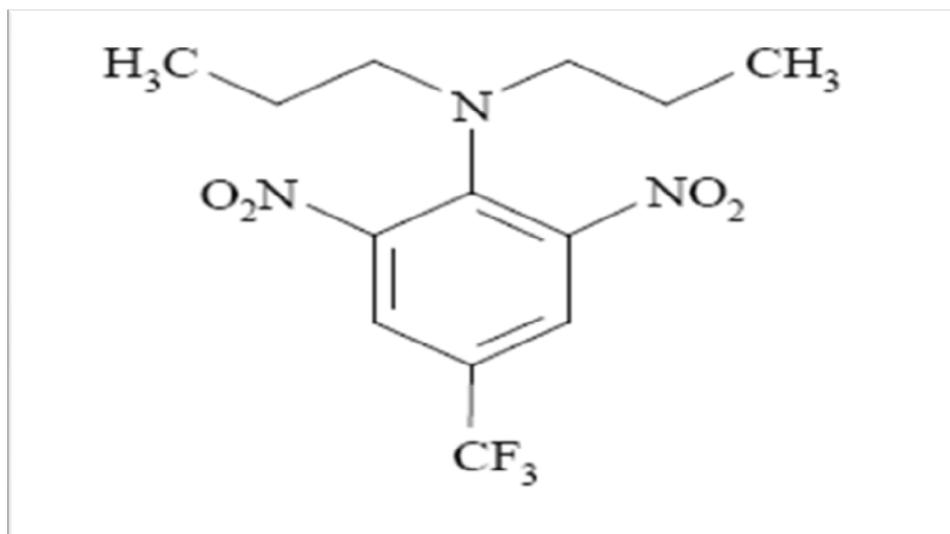


Figura 2 Estrutura Molecular da Trifluralina
Fonte: (Estados Unidos, 1996)

Como outros defensivos agrícolas, a TFN pode degradar-se, volatilizar-se ou pode ser adsorvida ao solo. Referindo-se a degradação, a metade da vida da TFN é de aproximadamente 180 dias. Sua capacidade de volatilização é alta, pois a pressão de vapor é $9,5 \text{ mPa}$ a uma temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, comparativamente maior do que a maioria dos herbicidas. Em relação à sua adsorção ao solo, a TFN é altamente adsorvida, uma vez que apresenta alto valor de K_{oc} , valor este de aproximadamente 8765 mL g^{-1} (UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE, 2011), sendo então a quantidade de TFN presente na fração orgânica do solo, consideravelmente maior do que a remanescente na solução. A sorção elevada e a baixa solubilidade em água são características representativas de baixa mobilidade em solos (CHRISTOFFOLETI; OVEJERO, 2009).

Apesar disso, sua movimentação pode ser tanto por processos de dispersão hidrodinâmica, que inclui a dispersão mecânica causada por diferenças

de velocidades na frente de avanço, bem como pela difusão molecular, causada por gradientes de concentração, ou ainda por convecção, a qual se refere ao movimento passivo do soluto com a água (VAN GENUCHTEN; WIERENGA, 1986). O transporte por dispersão hidrodinâmica pode ser descrito pela equação 10:

$$I_h = -\theta D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (10)$$

em que:

I_h = transporte do soluto por dispersão hidrodinâmica (g/cm²/h)

θ = umidade volumétrica do solo (cm³ cm⁻³)

D = coeficiente de dispersão hidrodinâmica (cm²/h)

$\frac{\partial C}{\partial x}$ = gradiente de concentração

Já a movimentação da TFN por processos de convecção, auxiliada pelo fluxo, pode ser prevista pela equação 11:

$$I_{mc} = q_v C \quad (11)$$

em que:

I_{mc} = transporte convectivo (g/cm²/h)

q_v = fluxo volumétrico (cm³ cm⁻² dia⁻¹)

C = concentração do pesticida na fase líquida do solo (g cm⁻³)

Desse modo, o transporte total é a soma do transporte por dispersão hidrodinâmica e do transporte por convecção. É de se esperar que em solos com

alta condutividade hidráulica e altos gradientes de potencial total, o transporte convectivo predomine.

De fato, Faria (2011) avaliou o coeficiente de dispersão hidrodinâmica de soluções de TFN em um solo argiloso e outro arenoso da região norte de Minas Gerais e observou coeficientes de 2 a 10 vezes superior para o solo arenoso quando comparados ao solo argiloso. O autor também observou maior retenção do herbicida em poros do solo, em comparação à solução do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Procedimento experimental

O experimento foi realizado em uma lavoura de café localizada na Universidade Federal de Lavras (UFLA), município de Lavras, Minas Gerais, com latitude sul de 21°13'33" e longitude oeste de 44°58'13", a 945 metros de altitude. A mesma foi implantada em janeiro de 2010. O solo foi classificado como Latossolo vermelho-escuro Distroférico, com textura argilosa a muito argilosa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1999). O clima é classificado como Cwa (Classificação Koppen), apresentando verões brandos e chuvosos, precipitação pluviométrica média anual de aproximadamente 1530 mm, temperatura média de 19,4 °C e umidade relativa média de 76% (BRASIL, 1992).

A cultivar plantada foi Topázio MG 1190 (*Coffea arabica* L.), característica por ser de porte baixo, com excelente produtividade e elevado vigor vegetativo. Apresenta folhagem exuberante, de coloração verde intensa e brilhante, e frutos amarelos (PEREIRA et al., 2010). O espaçamento foi de 2,5 metros entre linhas e 0,50 metros entre plantas de café na linha. O manejo da cultura foi o mesmo das lavouras tradicionais, ou seja, foram realizadas desbrotas, capinas manuais e inspeções manuais para controle de doenças e pragas.



Figura 3 Vista parcial do experimento (15 de Setembro de 2010 – 8 meses após plantio)

O sistema de irrigação foi implantado 5 meses após o plantio (01/07/2010). O tubogotejador utilizado foi da marca Plastro, modelo Hidrolite, foi instalado a 0,20 m de profundidade, localizado 0,20 m à direita da linha de plantio, conforme ilustrado na figura 4. O diâmetro do tubogotejador é de 22 mm, parede de 0,32 mm, vazão de $1,0 \text{ L h}^{-1}$, com saídas espaçadas a cada 0,45 m.

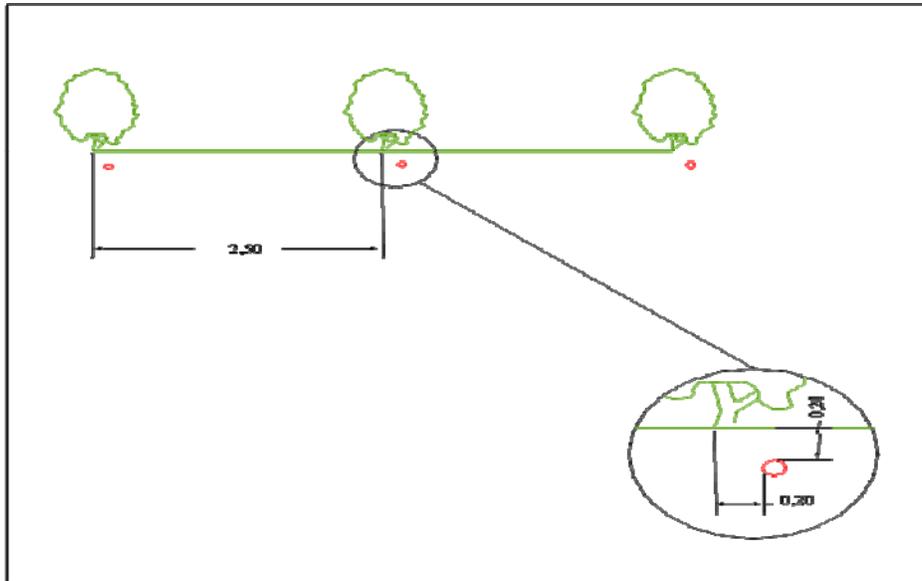


Figura 4 Leiaute dos tubogotejadores para café

A água, provida da represa localizada na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – Unidade Sul de Minas (EPAMIG), foi bombeada até um reservatório de 30 mil litros instalado ao lado do experimento e depois pressurizada por um conjunto motobomba com potência de 0,85 cv. À jusante do conjunto motobomba foi instalado um filtro de discos (120 mesh), de modo a garantir a qualidade da água. Foram realizadas análises da qualidade da água. A irrigação teve frequência a cada dois dias, com lâmina determinada a partir da leitura de sensores Watermark[®] (profundidade de 0,20 e 0,40 m), mantendo as leituras em valores de tensões superiores a -50 kPa. A irrigação foi aplicada de modo a trazer para capacidade de campo (-10 kPa) a tensão da água no solo. O sistema de irrigação foi composto também por válvula antivácuo, válvula reguladora de pressão, manômetro, registro de gaveta, registro de esfera, controlador eletrônico e acessórios.

As Figuras 5, 6 e 7 se referem respectivamente à temperatura (máxima, média e mínima), à umidade relativa do ar e à precipitação ocorrida no período

de 01/06/2010 a 06/06/2011, durante a realização do experimento (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET, 2011).

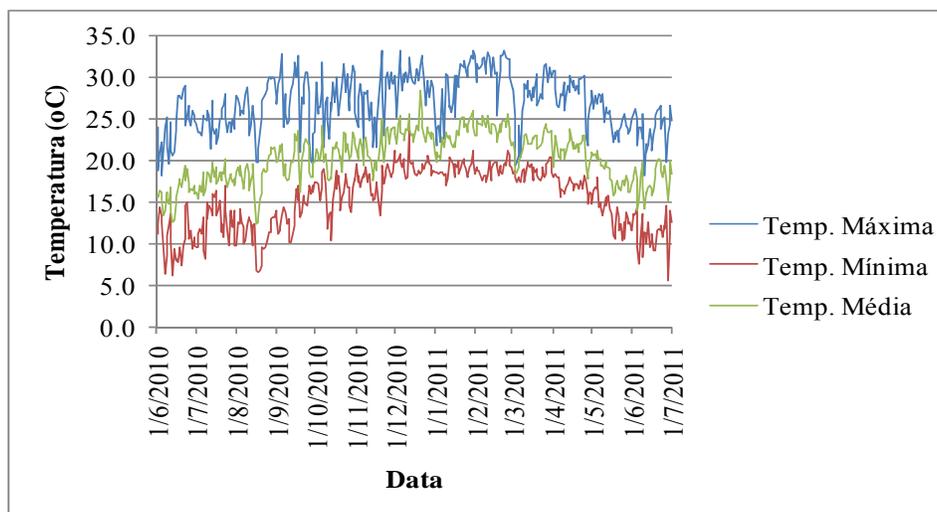


Figura 5 Temperatura máxima, média e mínima diárias, obtidas pela estação de Lavras, Minas Gerais

Fonte: INMET, 2011

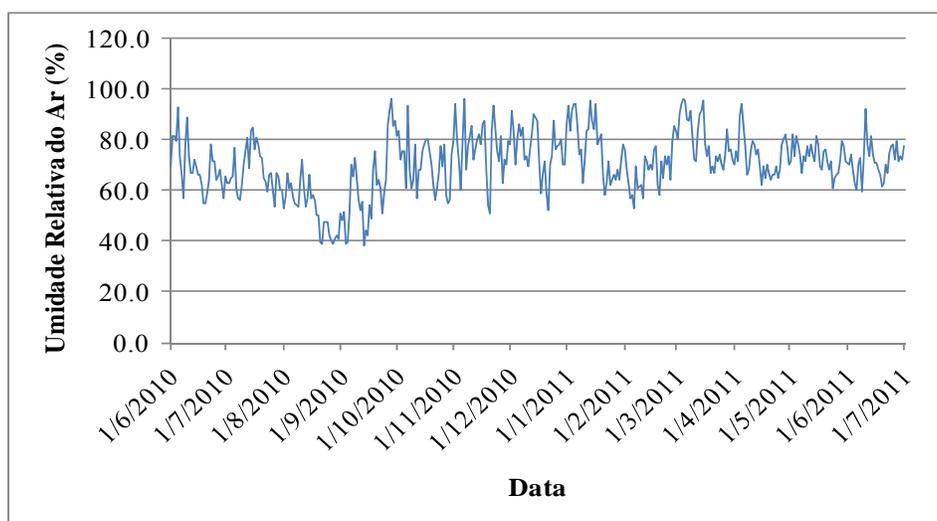


Figura 6 Umidade Relativa do ar média diária (%), obtida pela estação de Lavras, Minas Gerais

Fonte: INMET, 2011

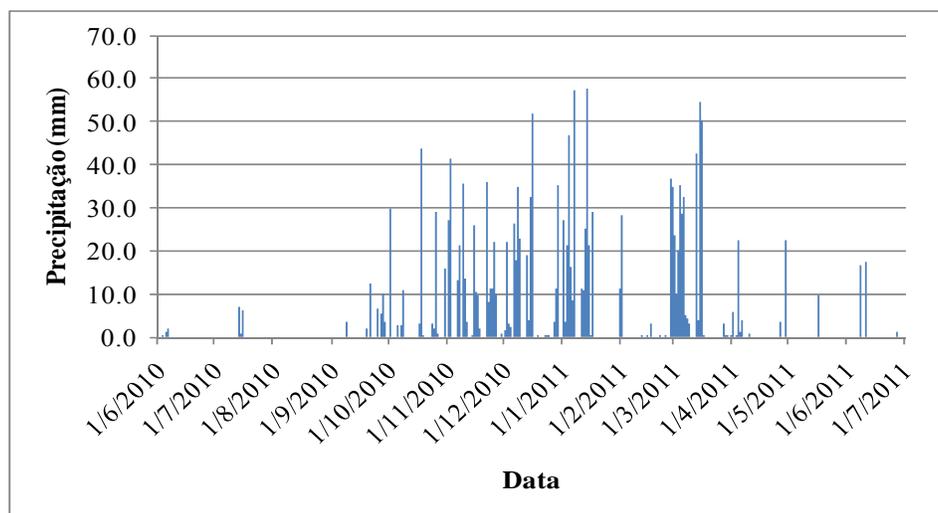


Figura 7 Lâmina de precipitação (mm), obtida pela estação de Lavras, Minas Gerais

Fonte: INMET, 2011

As variações dos dados meteorológicos representadas nas figuras 5, 6 e 7 foram contornadas com o uso da irrigação a cada dois dias, assim, como sugerido por Bernardo, Soares e Mantovani (2005) e Matiello (2008). Segundo estes autores, esta prática reduz um possível dano no desenvolvimento inicial da cultura do cafeeiro.

3.2 Curva característica de retenção de água e Trifluralina no solo

Para a determinação da curva de retenção da água no solo, amostras de solo em triplicata foram coletadas à profundidade de 0,10 m e levadas ao Laboratório de Hidráulica para análise. As amostras de solo com estrutura indeformada foram retiradas com auxílio de cilindros metálicos de 25 mm de altura e 28 mm de diâmetro e foram saturadas conforme diferentes níveis de tratamento: 0 (água destilada), 0,45; 1,35 e 2,26 mL L⁻¹ de TFN (i.a.), valores respectivamente equivalentes a doses de 0,05; 0,15 ou 0,25 mL de TFN (produto

comercial) por gotejador, conforme sugerido por Dalri et al. (2002) e Pizarro Cabello (1996).

As amostras foram levadas para uma bancada dotada de funil de placa porosa para determinação dos pontos de baixa tensão (0, 4, 6 e 10 kPa) e, em seguida, para o extrator ou câmara de pressão de Richards para os pontos de maior tensão (20, 50, 100 e 200 kPa).

Com a utilização do programa computacional SWRC, desenvolvido por Dourado Neto et al. (2001), foi gerada a equação, ajustada segundo modelo proposto por van Genuchten (1980), que descreve o comportamento da umidade do solo em função da tensão da água no solo. Com base nessa equação e nos valores observados, foi gerada a curva de retenção da água no solo para os diferentes níveis de concentração de TFN e suas respectivas curvas de condutividade hidráulicas do solo.

Para determinação da umidade de saturação, considerou-se que todo o espaço poroso da amostra foi preenchido com água ou solução de TFN. A porosidade total foi calculada com base na equação 12.

$$\theta_s = PT = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (12)$$

em que:

θ_s = teor de água para o solo saturado ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

PT = porosidade total ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

ρ_a = densidade aparente do solo (g cm^{-3})

ρ_r = densidade real do solo (g cm^{-3})

A densidade aparente foi determinada dividindo-se a massa de sólidos pelo volume das amostras indeformadas. A densidade real foi determinada pelo

método do picnômetro, com emprego de álcool absoluto (BLAKE; HARTGE, 1986).

3.3 Desenvolvimento do cafeeiro sob diferentes doses e frequências de aplicação da Trifluralina

O experimento foi realizado em três tratamentos com níveis de 0,05; 0,15 e 0,25 mL de produto comercial de TFN por gotejador. Cada nível teve quatro repetições. Cada tubogotejador teve 45 metros de comprimento, divididos em três segmentos de 15 metros, com registro de esfera e medidor volumétrico no início de cada segmento (Figura 8). Cada um dos segmentos teve uma frequência de aplicação de TFN (0, 3, 6 e 12 meses de intervalo), consistindo a frequência 0 (testemunha) da não aplicação do herbicida.

O *design* estatístico foi um fatorial de 3 doses por 4 frequências e 4 repetições cada, inteiramente casualizado.

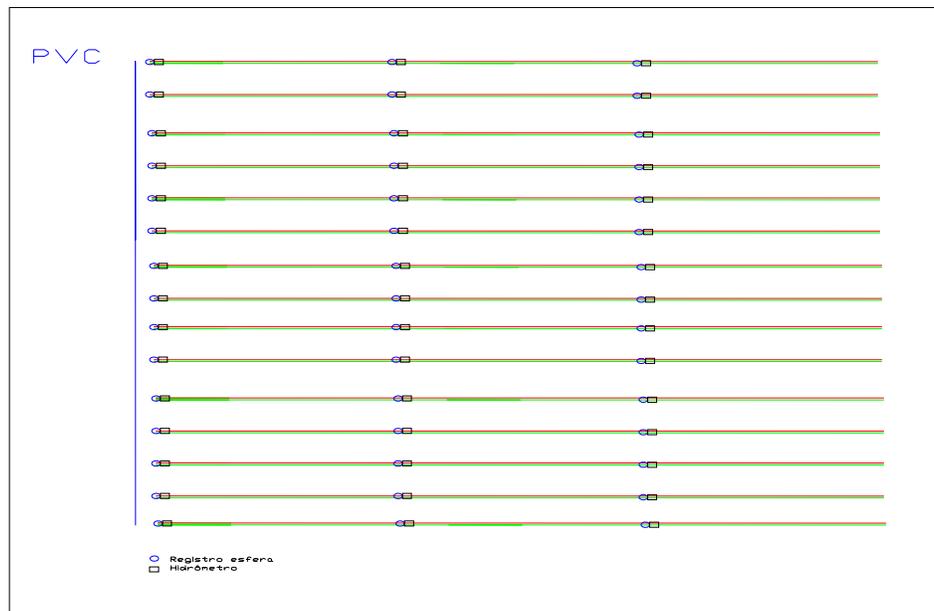


Figura 8 Leiaute do plantio de café (2,5 metros entre linhas)

A aplicação do herbicida foi feita com soluções contendo 0,45; 1,35 e 2,26 mL L⁻¹ de ingrediente ativo. Considerando a vazão de 1,0 L h⁻¹ por gotejador, operando com a bomba injetora e o tempo de injeção de 6,5 minutos, foram aplicados 110 mL de solução por gotejador que resultaram nas doses de 0,05; 0,15 ou 0,25 mL de TFN por gotejador. A solução foi injetada através de bomba acionada por bateria 12 V (bomba de aplicação de água em para-brisas), diretamente conectada no tubogotejador de cada tratamento, logo após o registro de esfera que permitiu o fechamento ou abertura para controle da aplicação de TFN. A aplicação das doses foi realizada quando a tensão de água no solo estava variando entre -45 e -50 kPa.

Como o volume de água de irrigação e de TFN podem afetar o desenvolvimento das plantas, foram realizadas 5 medições mensais (de janeiro a maio de 2011) do diâmetro do caule e a altura de 3 plantas em cada segmento de tubogotejador. Para a determinação da altura foi utilizada uma mira

estadimétrica, medindo-se do colo da planta até o ponto de inserção da gema apical. O diâmetro do caule foi medido com o uso de um paquímetro rente ao solo. Foi realizada análise estatística dos dados dos tratamentos referentes ao desenvolvimento do cafeeiro, pelo teste de Scott e Knot (1974), ao nível de 5%. Foi utilizado o programa estatístico SISVAR[®], desenvolvido por Ferreira (2000).

Logo após o registro de esfera de cada parcela foi instalado um medidor volumétrico para quantificar o volume de água aplicado e, com isto, medir a variação da carga hidráulica de cada segmento. Cada valor médio de variação da carga hidráulica foi mensurado por meio de uma mangueira transparente de 16 mm de diâmetro interno, instalada no sistema de irrigação, com a finalidade de promover uma pressão equivalente a 3 metros de coluna de água. Este monitoramento foi realizado em cada parcela, correspondente a uma linha de tubogotejadores com 15,0 m e 33 gotejadores espaçados em 0,45 m cada. As medições foram realizadas em 02 de julho de 2011, após 12 meses de uso. O mesmo experimento de variação de carga hidráulica foi realizado em laboratório com tubogotejadores novos a fim de comparar uma possível variação.

Após doze meses de uso do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, foi realizada a retirada dos tubogotejadores, sendo os mesmos levados ao Laboratório de Hidráulica da UFLA para análise visual da possível intrusão radicular ocorrida.

3.4 Tolerância de plantas de cafeeiro à Trifluralina

Paralelamente ao experimento anterior, doses diferentes do herbicida foram aplicadas com três repetições cada: 0,125; 0,25; 0,50; 1,00 ou 1,50 mL de TFN (produto comercial) por gotejador, equivalentes, respectivamente a 0,06; 0,11; 0,23; 0,46 ou 0,68 mL do ingrediente ativo por gotejador. Esses volumes

representaram respectivamente 0,075; 0,15; 0,30; 0,60 e 0,90 mL de ingrediente ativo por planta. Tal experimento teve por objetivo verificar a tolerância das plantas de café a doses elevadas do herbicida.

A solução foi previamente diluída em recipientes de 0,5 litros de solução e injetada a 0,20 m de profundidade, localizado 0,20 m à direita da linha de plantio, simulando a aplicação via gotejo enterrado (Figura 9). A injeção de solução de TFN teve duração de aproximadamente 0,5 minutos.



Figura 9 Aplicação de Trifluralina em zona radicular do cafeeiro

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Retenção e movimento de Trifluralina em solo parcialmente saturado

A retenção e movimento de soluções de TFN no solo podem ser descritas pela curva característica de retenção de umidade e condutividade hidráulica do solo não saturado. Enquanto a curva característica pode ser determinada em laboratório e ajustada a um modelo matemático, como por exemplo, o proposto van Genuchten (1980), a condutividade hidráulica pode ser prevista com base nos parâmetros gerados no ajuste da curva considerando como válido o modelo matemático de Mualem (1976).

4.1.1 Ajuste da curva característica de retenção

As curvas de retenção de água ou TFN em amostras de Latossolo vermelho-escuro Distroférrico são representadas na Figura 10. Os valores de umidade volumétrica e tensão para cada curva encontram-se em anexo. Considerando o modelo proposto por van Genuchten (1980), os dados foram ajustados e os parâmetros de ajuste do modelo encontram-se listados na Tabela 2. Todos os ajustes apresentaram excelente representação ($r^2 \geq 0,990$).

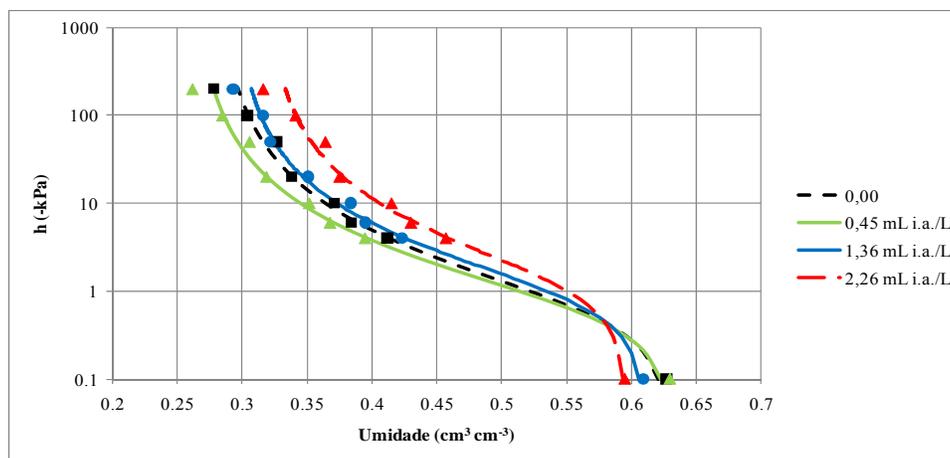


Figura 10 Curva de retenção de umidade, ajustada pelo SWRC, para solo submetido a diferentes doses de Trifluralina

Tabela 2 Parâmetros de ajuste das equações de retenção de umidade do solo com diferentes doses de Trifluralina, obtidos com aplicativo SWRC 3.0 (DOURADO NETO et al., 2001)

Dose Trifluralina (mL i.a. L ⁻¹)	θ_R	θ_S	α	n	m	R ²
0 (Água Destilada)	0,278	0,627	1,5176	1,5140	0,3395	0,993
0,45	0,262	0,630	1,5262	1,5436	0,3521	0,996
1,36	0,293	0,609	1,0447	1,5807	0,3674	0,995
2,26	0,316	0,595	0,7423	1,5561	0,3574	0,990

Pode-se observar que a maior dose de TFN (2,26 mL i.a. L⁻¹) proporcionou uma maior retenção que as demais doses de aplicação, exceto sob saturação, indicando maior presença da solução em solo na faixa de valores de potencial matricial, normalmente encontrados em lavouras irrigadas (-10 a -50 kPa). Da mesma forma, a dose de 1,36 mL i.a. L⁻¹ demonstrou reter mais solução ao solo, independente da tensão, do que a curva característica de retenção do soluto de 0,45 mL do ingrediente ativo por litro.

A curva característica de retenção de água destilada indicou maior capacidade de adsorção que a menor dose de TFN aplicada (0,45 mL i.a. L⁻¹), sendo que tal fenômeno pode ser explicado pela capacidade da água destilada de

penetrar nas partículas de argila na tentativa de equilibrar a concentração no poro com o interior da argila. Este fenômeno é mais evidente em argilas menos intemperizadas (SHAINBERG; LETEY, 1984).

Faria (2011) estudou os parâmetros de curvas características para dois solos distintos da região do norte de Minas Gerais e concluiu que as curvas apenas apresentaram diferenças em tensões relativamente mais baixas (-2 a -10 kPa), também com maior capacidade de retenção para a curva característica de retenção da solução de TFN no solo.

Considerando a metodologia descrita por Danielson e Sutherland (1986) e as equações 8 e 9, foi possível calcular a frequência absoluta de ocorrência de tamanho de poros para as soluções avaliadas. Os resultados obtidos encontram-se plotados na Figura 11.

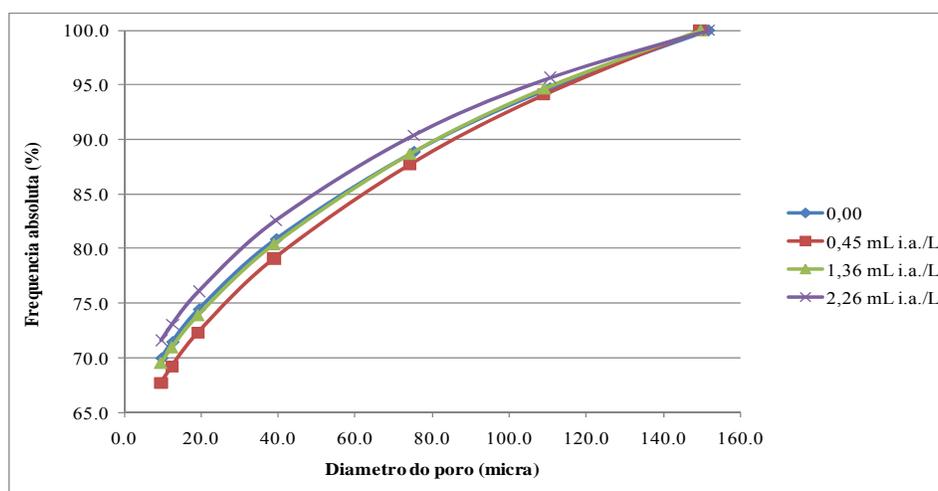


Figura 11 Distribuição de tamanho de poros para solo submetido a diferentes doses de Trifluralina

Tabela 3 Diâmetro médio de poros com 50% drenado e 50% saturados para diferentes doses de Trifluralina

Dose Trifluralina (mL i.a. L ⁻¹)	DP ₅₀ (μm)
0 (Água Destilada)	65,0
0,45	64,9
1,36	64,3
2,26	62,1

Assim, como pode ser observado na figura 10, as curvas representadas na figura 11 e os dados representados na tabela 4 também permitem concluir que para uma mesma frequência absoluta a curva correspondente à dose aplicada de TFN de 2,26 mL i.a. L⁻¹ possui diâmetro de poros menor que as demais doses, apresentando conseqüentemente maior retenção da solução no solo. O mesmo comportamento pode ser observado entre a curva de 1,36 mL i.a. L⁻¹ para a curva de 0,45 mL i.a. L⁻¹. Confirma-se a maior capacidade de retenção da água destilada para com a curva representante da menor dose de TFN aplicada ao solo.

4.1.2 Condutividade hidráulica parcialmente saturada

Considerando o modelo previsto por Mualem (1976), a condutividade hidráulica relativa do solo parcialmente saturado das soluções de TFN e água podem ser previstas como ilustrado na Figura 12.

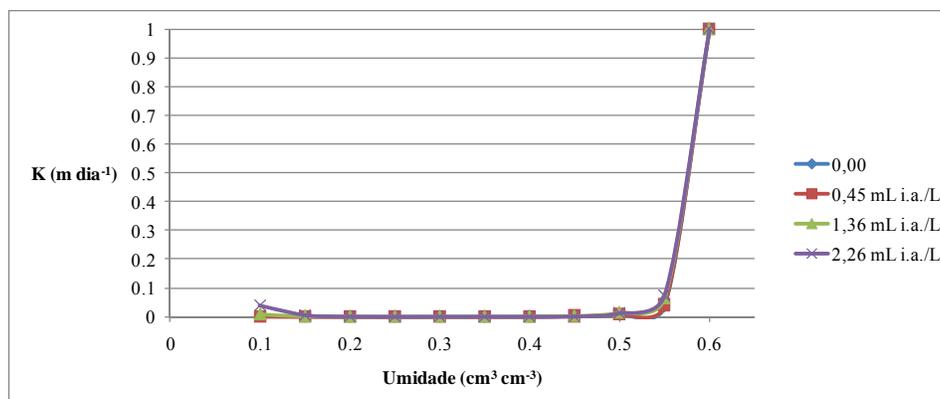


Figura 12 Condutividade hidráulica relativa ($K_s = 1,0$ m/dia) versus umidade para solo submetido a diferentes doses de Trifluralina

Percebe-se que para uma mesma umidade volumétrica há diferentes comportamentos de condutividade hidráulica relativa. Embora seu valor possa parecer superior para soluções de TFN, concluir-se que o herbicida tem maior mobilidade no solo seria errôneo, pois a TFN é altamente adsorvida ao solo pelo seu alto valor de K_{oc} .

4.2 Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro tratado com diferentes doses e frequências de aplicação de Trifluralina

O crescimento das plantas de cafeeiro foi mensurado através das análises de altura (m) e diâmetro do caule (cm), de maneira que a mesma foi feita em cinco diferentes épocas com o objetivo de verificar o efeito da aplicação de diferentes doses e frequências de TFN. A tolerância das plantas de café também foi avaliada.

4.2.1 Diâmetro do caule

Os resultados foram submetidos à análise estatística pelo *software* Sisvar[®] (FERREIRA, 2000) e, aplicando-se o teste de Scott-Knott, chegou-se

aos valores médios de diâmetro do caule para cinco diferentes datas de avaliação.

Tabela 4 Diâmetro do caule (cm) de plantas de café submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 29/01/2011

Frequência (meses)	Doses (mL por gotejador)		
	0,05	0,15	0,25
3	1,61 Aa	1,53 Aa	1,65 Aa
6	1,63 Aa	1,55 Aa	1,50 Aa
12	1,66 Aa	1,44 Aa	1,57 Aa
cv = 10,83%			
Testemunha	1,42		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (1974). Letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha.

*Significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Tabela 5 Diâmetro do caule (cm) de plantas de café submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 28/02/2011

Frequência (meses)	Doses (mL por gotejador)		
	0,05	0,15	0,25
3	2,15 Aa	2,06 Aa	2,18 Aa
6	2,12 Aa	2,02 Aa	2,04 Aa
12	2,28 Aa	2,07 Aa	1,95 Aa
cv = 8,24%			
Testemunha	1,85		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (1974). Letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha.

*Significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Tabela 6 Diâmetro do caule (cm) de plantas de café submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 28/03/2011

Frequência (meses)	Doses (mL por gotejador)		
	0,05	0,15	0,25
3	2,47 Aa	2,36 Aa	2,43 Aa
6	2,35 Aa	2,31 Aa	2,31 Aa
12	2,57 Aa	2,43 Aa	2,23 Aa
cv = 8,08%			
Testemunha	2,21		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (1974). Letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha.

*Significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Tabela 7 Diâmetro do caule (cm) de plantas de café submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 28/04/2011

Frequência (meses)	Doses (mL por gotejador)		
	0,05	0,15	0,25
3	2,62 Aa	2,49 Aa	2,66 Aa
6	2,53 Aa	2,46 Aa	2,42 Aa
12	2,75 Aa	2,64 Aa	2,51 Aa
cv = 7,50%			
Testemunha	2,34		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (1974). Letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha.

*Significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Tabela 8 Diâmetro do caule (cm) de plantas de café submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 30/05/2011

Frequência (meses)	Doses (mL por gotejador)		
	0,05	0,15	0,25
3	2,74 Aa	2,57 Aa	2,77 Aa
6	2,61 Aa	2,52 Aa	2,49 Aa
12	2,85 Aa	2,73 Aa	2,59 Aa
cv = 7,43%			
Testemunha	2,41		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (1974). Letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha.

*Significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Em todas as avaliações, o diâmetro médio do caule entre as diferentes variações dos tratamentos não apresentou diferença significativa pelo teste F de Scott-Knott ($p < 0,05$). Baixos coeficientes de variação em todas as análises de variância ressaltam tal fato. Tais resultados permitem observar a não influência da aplicação do herbicida, independente da dose e frequência aplicada, no desenvolvimento do caule e cafeeiros em seu desenvolvimento inicial (até um ano e meio após plantio).

4.2.2 Altura da planta

Assim, como a análise da variável diâmetro de caule, para a análise da altura de planta, os resultados foram analisados com emprego do *software* Sisvar[®] (FERREIRA, 2000). Também se utilizou o teste Scott-Knott, para alcançar valores médios de altura, em metros, da planta para cinco diferentes épocas de avaliação.

Tabela 9 Altura de plantas de café (cm) submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 29/01/2011

Frequência (meses)	Doses (mL por gotejador)		
	0,05	0,15	0,25
3	57,08 Aa	58,29 Aa	58,88 Aa
6	56,92 Aa	56,84 Aa	55,67 Aa
12	60,01 Aa	53,08 Aa	54,63 Aa
	cv = 8,83%		
Testemunha	53,5		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (1974). Letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha.

*Significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Tabela 10 Altura de plantas de café (cm) submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 28/02/2011

Frequência (meses)	Doses (mL por gotejador)		
	0,05	0,15	0,25
3	70,58 Aa	72,75 Aa	73,58 Aa
6	72,09 Aa	71,75 Aa	68,96 Aa
12	74,08 Aa	69,09 Aa	68,50 Aa
cv = 6,82%			
Testemunha	66,5		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (1974). Letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha.

*Significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Tabela 11 Altura de plantas de café (cm) submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 28/03/2011

Frequência (meses)	Doses (mL por gotejador)		
	0,05	0,15	0,25
3	79,71 Aa	79,79 Aa	81,42 Aa
6	76,83 Aa	78,25 Aa	74,17 Aa
12	81,67 Aa	75,42 Aa	74,13 Aa
cv = 7,27%			
Testemunha	75,7		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (1974). Letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha.

*Significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Tabela 12 Altura de plantas de café (cm) submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 28/04/2011

Frequência (meses)	Doses (mL por gotejador)		
	0,05	0,15	0,25
3	84,21 Aa	84,67 Aa	86,17 Aa
6	81,27 Aa	82,33 Aa	78,38 Aa
12	85,21 Aa	79,42 Aa	81,71 Aa
cv = 7,85%			
Testemunha	79,4		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (1974). Letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha.

*Significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Tabela 13 Altura de plantas de café (cm) submetidas a diferentes aplicações de doses e frequências de Trifluralina. Data de avaliação: 30/05/2011

Frequência (meses)	Doses (mL por gotejador)		
	0,05	0,15	0,25
3	90,38 Aa	92,58 Aa	94,75 Aa
6	87,38 Aa	87,50 Aa	82,38 Aa
12	93,79 Aa	85,75 Aa	90,50 Aa
cv = 8,64%			
Testemunha	85,7		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (1974). Letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha.

*Significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Em todas as avaliações realizadas para a medição da altura da planta não foi observada entre os tratamentos, diferença significativa pelo teste F de Scott-Knott ($p < 0,05$), assim como para o diâmetro do caule. Foram encontrados relativamente baixos coeficientes de variação nas análises de variância ($cv < 10,00$). De modo similar ao observado para o diâmetro do caule, pode-se observar que o herbicida TFN também não influenciou na variável altura da planta do cafeeiro em seu desenvolvimento inicial (até um ano e meio de plantio).

4.2.3 Tolerância de plantas em desenvolvimento inicial

As plantas submetidas às diferentes doses de TFN não sofreram qualquer influência devido à aplicação do herbicida. O mesmo pode ser dito sobre as plantas que receberam maior dosagem do herbicida (0,68 mL do ingrediente ativo por gotejador). Tal resultado pode ser observado na figura 13, correspondente a 1, 3, 6, 9 e 15 dias após aplicação.

Isto permite concluir que o uso de doses de até 0,68 mL i.a. por gotejador parece não produzir alteração no estado vegetativo da planta em seu desenvolvimento inicial, porém sugere-se utilizar doses reduzidas de TFN com o intuito de evitar impactos ambientais e efeitos residuais.



Figura 13 Cafeeiro submetido a 0,68 mL do ingrediente ativo por gotejador (a) antes da aplicação; (b) 1 dia após aplicação; (c) 3 dias após aplicação; (d) 6 dias após aplicação; (e) 9 dias após aplicação; (f) 15 dias após aplicação de Trifluralina

4.3 Comportamento hidráulico do tubogotejador exposto a diferentes doses e frequências de Trifluralina

4.3.1 Qualidade da água de irrigação

A água utilizada para irrigação foi analisada em junho de 2011 no Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia na Universidade Federal de Lavras (LAADEG-UFLA), com o intuito de verificar a possibilidade de entupimentos dos gotejadores. Os parâmetros estão representados na Tabela 15.

Tabela 14 Resultado da análise da água de irrigação

Parâmetro	Unidade	Resultado
Alcalinidade ($2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$)	mg L ⁻¹	43,0
Sólidos em Suspensão	mg L ⁻¹	37,0
pH		7,0
Sólidos Diss. Totais	mg L ⁻¹	168,0
Manganês	mg L ⁻¹	0,0
Ferro Total	mg L ⁻¹	0,9
Cálcio	mg L ⁻¹	52
Magnésio	mg L ⁻¹	0,0
Pop. Bacteriana	NMP mL ⁻¹	4500
Temperatura	°C	23

Relacionando os valores encontrados com os limites propostos por Nakayama e Bucks (1981) é possível afirmar que os parâmetros Sólidos em Suspensão, pH, Sólidos Dissolvidos Totais, Manganês e População Bacteriana não apresentam risco de entupimento dos emissores, enquanto o Ferro Total apresenta moderado risco.

De posse dos resultados das análises da água foi possível calcular o índice de saturação de Langelier, apresentando valor de aproximadamente -1,30. O valor negativo do índice demonstra que o CaCO_3 se dissolverá na água de irrigação, sem causar obstruções nos emissores.

4.3.2 Variação da carga hidráulica em função do tempo

A variação de carga hidráulica, em cada parcela, foi medida com o objetivo de verificar possível intrusão dos tubogotejadores. Os tratamentos correspondentes a dose e/ou frequência igual a zero se referem a análises realizadas em laboratório com fita gotejadora nova com a finalidade de detectar alguma possível variação. Os valores de variação da carga hidráulica (Tabela 16) não indicaram variação da carga em fitas gotejadoras após 12 meses de uso na lavoura cafeeira em relação a fitas gotejadoras novas, permitindo concluir que também não houve alteração da vazão.

Tabela 15 Valores médios de variação da carga hidráulica ($L h^{-1}$) para linhas de tubogotejadores com 15,0 m e 33 gotejadores espaçados em 0,45 m cada em lavoura de cafeeiro

Frequência (meses)	Doses (mL por gotejador)			
	0,00	0,05	0,15	0,25
0	12,23 Aa	12,30 Aa	12,28 Aa	12,16 Aa
3 meses	12,31 Aa	12,90 Aa	11,76 Aa	12,49 Aa
6 meses	12,28 Aa	11,60 Aa	12,28 Aa	12,47 Aa
12 meses	12,16 Aa	12,06 Aa	12,32 Aa	12,60 Aa

cv = 7,61%

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott (1974). Letras maiúsculas na coluna e letras minúsculas na linha.

*Significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Faria (2002) testou diferentes tipos de gotejadores enterrados na cultura do café em vasos de cimento amianto e concluiu que houve variações de vazão de forma acentuada em emissores enterrados a 30 cm de profundidade. O autor justifica a diferença tecnológica entre emissores. A ausência de intrusão radicular passível de provocar redução da vazão neste experimento pode ser explicada pelo fato de que as raízes, em campo (livre), apresentam

comportamento diferenciado de crescimento, se comparado com o que pode ocorrer em vasos (confinamento), conforme verificado por Faria (2002).

4.3.3 Avaliação visual do entupimento por raízes

Não houve obstrução de gotejadores em nenhum tratamento, uma vez que não foi encontrado nenhum material obstrutivo nos emissores, como representado na Figura 14. Observou-se a presença de raízes de plantas daninhas na parte externa do tubogotejador (Figura 15), porém sem afetar a uniformidade do sistema de irrigação.



Figura 14 Detalhe de emissor sem obstrução por radicelas



Figura 15 Presença de raízes de plantas daninhas na parte externa do tubogotejador

5 CONCLUSÕES

- a) Os tubogotejadores enterrados não sofreram redução de variação de carga hidráulica, levando a concluir que também não houve redução da vazão, por intrusão radicular no desenvolvimento inicial (0-18 meses) da lavoura cafeeira, independente da dose e frequência de Trifluralina aplicada.
- b) O cafeeiro não sofreu alterações em seu crescimento inicial quando submetido a doses de Trifluralina de até 0,25 mL (i.a.) por gotejador no período de 6 a 18 meses.
- c) Não ocorreu efeito de fitotoxidez por aplicação de Trifluralina em relação à variação de doses de 0,075 a 0,90 mL de Trifluralina (ingrediente ativo) por planta.
- d) A capacidade do solo de reter água é menor que de Trifluralina, nas condições de campo.

REFERÊNCIAS

AIROLDI, R. P. S. **Eficiência dos meios filtrantes disco e manta sintética não tecida em fertirrigação por gotejamento.** 2003. 204 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ALBUQUERQUE, P. E. P. Manejo da irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 259, p. 17-24, 2010.

ALVES, D. N. B. **Remoção de ferro em água de irrigação através de filtragem de areia e zeólita.** 2008. 116 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

AMORIM, J. R. A. et al. Qualidade da água na agricultura irrigada. In: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo da irrigação.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 255-316.

ANDRADE, C. L. T.; BORGES JÚNIOR, J. C. F. B. Seleção do método de irrigação. In: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo da irrigação.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 317-400.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture.** 3rd ed. Rome: FAO, 1994. 174 p. (Irrigation and Drainage. Paper, 29).

AZEVEDO, H. M. Irrigação localizada. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 40-53, jul. 1986.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 7. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 611 p.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 377-381. Part 1.

BOTELHO, C. E. et al. Preparo do solo e plantio: instalação do cafezal. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. p. 283-341.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília, 1992. 84 p.

BUCKINGHAM, E. **Studies of movement of soil moisture**. Washington: United States Department Agricultural Bureau, 1907.

BYRD, R. A.; MARKHAM, J. K.; EMMERSON, J. L. Developmental toxicity of dinotroaniline herbicides in rats and rabbits. **Fundamental and Applied toxicology**, Orlando, v. 26, p. 181-190, 1995.

CAMP, C. R. et al. Subsurface drip irrigation: past, present and future. In: DECENNIAL IRRIGATION SYMPOSIUM, 14., 2000, St Joseph. **Proceedings...** St Joseph: American Society of Agricultural Engineering, 2000. p. 363-372.

CHALFOUN, S. M.; REIS, P. R. História da cafeicultura no Brasil. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. p. 21-85.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; OVEREJO, R. F. L. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2009. 72 p.

COELHO, E. F. et al. Fertirrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 259, p. 58-70, 2010.

COELHO, R. D.; FARIA, L. F. **Comparing drippers for root intrusion in subsurface drip irrigation applied to citrus and coffee crops**. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2003. 33 p. ASAE Meeting paper n. 032095. Disponível em: <<http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=13777&t=1>>. Acesso em: 23 jan. 2011.

COELHO, R. D.; FARIA, L. F.; MELO, R. F. Obstrução de gotejadores autocompensantes enterrados na irrigação de citrus causada por intrusão radicular. **Irriga**, Botucatu, v. 12, p. 393-408, 2007.

COSTA, É. L. et al. Irrigação. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010b. p. 447-517.

COSTA, É. L. et al. Métodos e sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 259, p. 7-16, 2010a.

DALRI, A. B. **Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos**. 2004. 89 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

DALRI, A. B. et al. Uso da Trifluralina para controle de intrusão em gotejadores enterrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2002. 1 CD ROM.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 443-461. Part 1.

DARCY, H. **Les fontaines publique de la Ville de Dijon**. Paris: V. Dalmont, 1856. 592 p.

DOURADO NETO, D. et al. **Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo van Genuchten. Soil Water Retention Curve, SWRC** (version 3,00 beta). Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412 p.

ENCISO-MEDINA, J. et al. Cotton response to phosphorous fertigation using subsurface drip irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, Los Angeles, v. 23, p. 299-304, 2007.

ESTADOS UNIDOS. **Environmental protection agency**: registration eligibility decision (RED): Trifluralin. Washington: Environmental Protection agency, office of prevention, pesticides and toxic substances, 1996. 240 p.

FARIA, F. H. S. **Sorção e mobilidade do herbicida Trifluralina em duas classes texturais de solo do Norte de Minas Gerais**. 2011. 140 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

FARIA, L. F.; COELHO, R. D.; RESENDE, R. S. Variação de vazão de gotejadores de fluxo normal enterrados na irrigação de café. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, p. 589- 602, 2004.

FARIA, L. F. et al. Entupimento de gotejadores e seu efeito na pressão da rede hidráulica de um sistema de microirrigação. **Revista Brasileira Engenharia de Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 195-198, 2002.

FARIA, L. F. **Variação de vazão de gotejadores enterrados na irrigação de citros e café**. 2002. 87 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura de café**. 2. ed. rev. ampl. Uberaba: [s. n.], 2008. 476 p.

FERREIRA, D. R. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FRANÇA JÚNIOR, A. C. **Análise de métodos simplificados de estimativa da ET_0 e da sensibilidade das variáveis do cálculo da lâmina de irrigação para a cultura do café**. 2003. 87 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

GOMIDE, R. L.; MAENO, P. Requerimento de água pelas culturas. In: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo da irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 225-253.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Nutrição do cafeeiro e sua relação com a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 39-51, 2011.

GUIMARÃES, P. T. G.; REIS, T. H. P. Nutrição e adubação do cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. p. 343-414.

INFORZATO, R.; REIS, A. J. **Desenvolvimento do sistema radicular em diversas fases do crescimento do cafeeiro**. Campinas: IAC, 1974. Circular n° 40.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Consulta dados da estação convencional**: Lavras (MG). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 1 jul. 2011.

JIUSHENG, L. et al. **Field evaluation of emitter clogging in subsurface drip irrigation.** St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2008. 12 p. ASABE Meeting paper n. 083512. Disponível em: <<http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=24588&t=2>>. Acesso em: 11 fev. 2011.

KOBAYASHI, E. S. **Consumo de água e produtividade de cafeeiros arábica na região de Mococa, SP.** 2007. 64 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2007.

LAMM, F. R. et al. **Twenty years of progress with SDI in Kansas.** St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009. 23 p. ASABE paper no. 095923. Disponível em: <<http://www.ksre.ksu.edu/sdi/Reports/2009/FRL20Yr09.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2011.

LAMM, F. R. **Unique challenges with subsurface drip irrigation.** St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009. ASABE paper no. 095927. 25 p. Disponível em: <<http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=27345&t=1>>. Acesso em: 12 jan. 2011.

LANGELIER, W. F. The analytical control of anticorrosion water treatment. **Journal American water works Association**, Denver, v. 28, p. 1500-1521, 1936.

LIMA, L. A. et al. Automação em irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 259, p. 71-79, 2010.

LIMA, P. L. T. **Efeito da Trifluralina como inibidor de intrusão radicular em gotejamento subsuperficial para cana de açúcar e lixiviação do produto em lisímetros.** 2009. 36 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

LIMA, P. L. T. et al. Trifluralina como inibidor de intrusão radicular em gotejamento subsuperficial. In: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 9., 2010, Vitória; CONGRESSO

BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39., 2010, Vitória. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2010. 1 CD ROM.

LIVRAMENTO, D. E. Morfologia e fisiologia do cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. p. 87-161.

MANTOVANI, E. C. Cafeicultura irrigada produtividade, rentabilidade com sustentabilidade. In: MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. R. **Irrigação do cafeeiro: informações técnicas e coletânea de trabalhos**. Viçosa, MG: UFV, 2003. p. 9-45.

MARTINS, C. C. et al. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, abr./jun. 2007.

MATIELLO, J. B. Critérios para escolha da cultivar de café. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed.). **Cultivares de café: origem, característica e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008. p. 33-55.

MATIELLO, J. B.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. **Adubos, corretivos e defensivos para a lavoura cafeeira**. Varginha: Fundação Procafé e Embrapa/Café, 2006.

MUALEM, Y. A new model predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Research**, Urbana, v. 12, p. 513-522, 1976.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. **Transactions of ASAE**, Saint Joseph, v. 24, p. 77-80, 1981.

NYAT, C. T. Cane and ERC yields of ten sugarcane varieties irrigated by subsurface drip at the Zimbabwe sugar association experiment station. **Proceedings of South African Sugar Technologists Association**, Chicago, v. 78, p. 251-252, 2004.

ORON, G. et al. Subsurface microirrigation with effluent. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 117, n. 1, p. 25-37, 1991.

PEREIRA, A. A. et al. Cultivares: origem e suas características. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. p. 163-221.

PIZZARO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación**. 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513 p.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. p. 13-85.

ROMERO, P.; BOTIA, P.; GARCIA, F. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation on vegetative development and yield of mature almond trees. **Plant and Soil**, New York, v. 260, p. 169-181, 2004.

RUSKIN, R.; FERGUNSON, K. R. **Protection of subsurface drip irrigation systems from root intrusion**. Disponível em: <<http://www.geoflow.com/protection.html>>. Acesso em: 16 jun. 2011.

SCALCO, M. S. et al. Desenvolvimento inicial do cafeeiro irrigado e não-irrigado em diferentes densidades de plantio. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos...** Brasília: Embrapa Café, 2001. 181 p.

SCALOPPI, E. D. Características dos principais sistemas de irrigação. **ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 25, p. 22-27, 1986.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Arlington, v. 30, n. 2, p. 507-512, 1974.

SEDIYAMA, G. C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, p. 501-509, 2001.

SHAINBERG, I.; LETEY, J. Response of soils to sodic and saline conditions. **Hilgardia**, Berkeley, v. 52, n. 2, p. 57, 1984.

SOLOMON, K. H. Global uniformity of trickle irrigation system. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 4, p. 1151-1158, 1985.

SUAREZ-REY, E. M. et al. Effects of chemicals on root intrusion into subsurface drip emitters. **Irrigation and Drainage**, Hoboken, v. 55, p. 5001-5009, 2006.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Plant physiology**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

UNIVERSITY OF HERTFORDSHIRE. **PPDB**: Pesticide Properties DataBase. Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/en/>>. Acesso em: 3 jun. 2011.

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, p. 892-898, 1980.

VAN GENUCHTEN, M. T.; WIERENGA, P. J. Solute dispersion coefficients and retardation factors. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 1025-1031. Part 1.

YINGDUO, Y. et al. Effects of Treflan injection on winter wheat growth and root clogging of subsurface drippers. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p. 723-730, 2010.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela 1A Valores de tensão e umidade volumétrica para solo saturado com água saturada (repetição 1)

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
0	0,603
4	0,406
6	0,381
10	0,371
20	0,343
50	0,327
100	0,305
200	0,281

Tabela 2A Valores de tensão e umidade volumétrica para solo saturado com água saturada (repetição 2)

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
0	0,672
4	0,409
6	0,378
10	0,363
20	0,331
50	0,323
100	0,302
200	0,275

Tabela 3A Valores de tensão e umidade volumétrica para solo saturado com água saturada (repetição 3)

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
0	0,605
4	0,420
6	0,388
10	0,375
20	0,336

“continua”

Tabela 3A “conclusão”

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
50	0,327
100	0,303
200	0,278

Tabela 4A Valores de tensão e umidade volumétrica para solo saturado com dose equivalente a 0,45 mL de ingrediente ativo de Trifluralina por litro de solução (repetição 1)

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
0	0,618
4	0,402
6	0,385
10	0,359
20	0,320
50	0,305
100	0,283
200	0,260

Tabela 5A Valores de tensão e umidade volumétrica para solo saturado com dose equivalente a 0,45 mL de ingrediente ativo de Trifluralina por litro de solução (repetição 2)

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
0	0,642
4	0,393
6	0,364
10	0,355
20	0,325
50	0,315
100	0,294
200	0,268

Tabela 6A Valores de tensão e umidade volumétrica para solo saturado com dose equivalente a 0,45 mL de ingrediente ativo de Trifluralina por litro de solução (repetição 3)

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
0	0,641
4	0,396
6	0,360
10	0,349
20	0,318
50	0,304
100	0,283
200	0,262

Tabela 7A Valores de tensão e umidade volumétrica para solo saturado com dose equivalente a 1,36 mL de ingrediente ativo de Trifluralina por litro de solução (repetição 1)

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
0	0,533
4	0,417
6	0,389
10	0,377
20	0,345
50	0,334
100	0,311
200	0,288

Tabela 8A Valores de tensão e umidade volumétrica para solo saturado com dose equivalente a 1,36 mL de ingrediente ativo de Trifluralina por litro de solução (repetição 2)

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
0	0,577
4	0,417
6	0,390
10	0,379
20	0,346

“continua”

Tabela 8A “conclusão”

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
50	0,279
100	0,306
200	0,284

Tabela 9A Valores de tensão e umidade volumétrica para solo saturado com dose equivalente 1,36 mL de ingrediente ativo de Trifluralina por litro de solução (repetição 3)

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
0	0,634
4	0,370
6	0,348
10	0,338
20	0,309
50	0,303
100	0,283
200	0,262

Tabela 10A Valores de tensão e umidade volumétrica para solo saturado com dose equivalente a 2,26 mL de ingrediente ativo de Trifluralina por litro de solução (repetição 1)

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
0	0,535
4	0,438
6	0,411
10	0,397
20	0,360
50	0,349
100	0,327
200	0,304

Tabela 11A Valores de tensão e umidade volumétrica para solo saturado com dose equivalente a 2,26 mL de ingrediente ativo de Trifluralina por litro de solução (repetição 2)

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
0	0,566
4	0,394
6	0,372
10	0,355
20	0,320
50	0,313
100	0,292
200	0,270

Tabela 12. Valores de tensão e umidade volumétrica para solo saturado com dose equivalente a 2,26 mL de ingrediente ativo de Trifluralina por litro de solução (repetição 3)

Tensão (kPa)	Umidade Volumétrica (cm ³ cm ⁻³)
0	0,539
4	0,426
6	0,402
10	0,390
20	0,353
50	0,341
100	0,319
200	0,295