

EDSON DE OLIVEIRA VIEIRA

**EFEITO DA IRRIGAÇÃO NA MOVIMENTAÇÃO NO SOLO DE INSETICIDAS
DE TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO (*Zea mays* L.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL

1996

EDSON OLIVEIRA VIEIRA

**EFEITO DA IRRIGAÇÃO NA MOVIMENTAÇÃO NO SOLO DE INSETICIDAS
DE TRATAMENTO DE SEMENTES DE MILHO (*Zea mays* L.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 15 fevereiro de 1996.

Dr. Ivan Cruz
(Conselheiro)

Prof. Helio Teixeira Prates
(Conselheiro)

Prof. Fernando Falco Pruski

Prof. Everardo Chartuni Mantovani

Prof. Márcio Mota Ramos
(Orientador)

Aos meus pais e irmãos.

À minha esposa Cidinha, a quem amo muito
e que se dispôs a caminhar comigo o resto de nossas vidas.
Ao meu filho Matheus, motivo maior de estar hoje caminhando
sempre em frente em busca dos meus objetivos de vida.

AGRADECIMENTO

Primeiramente a Deus, pela eterna presença que sempre auxiliou-me e ainda auxilia-me a superar obstáculos e enfrentar a caminhada do dia-a-dia com paz e perseverança.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (EMBRAPA/CNPMS), pela estrutura e pelos recursos que possibilitaram a execução deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, pela oportunidade de realização deste curso.

À FAPEMIG, pela contribuição decisiva na conclusão deste trabalho.

Aos professores Márcio Mota, Mauro Martinez e aos conselheiros, pela orientação.

Aos pesquisadores Hélio Prates e Ivan Cruz, pela orientação e pelos esforços na obtenção de recursos necessários à realização deste trabalho.

A Mauro Paulinelli, Geraldo Santana, Murilo, Ismael e Nem, do setor de entomologia do CNPMS, pela implantação e condução do experimento em campo, o qual, sem a ajuda, seria impossível.

Aos amigos Maria José e Nilson, do laboratório de Agroquímica do CNPMS, que contribuíram, e muito, na condução das análises de resíduo.

Aos amigos do Lacri que acompanharam todos os meus dias, dividindo dificuldades e alegrias durante a minha estada em Sete Lagoas.

A todos do alojamento da EMBRAPA que fizeram parte do meu dia-a-dia durante a execução deste trabalho.

Aos amigos da pós-graduação Bonga, Flávio, Mauro, Silvana, Vera, Tania, Zé Roberto, Socorro, João Pedro, Olívio e Lili, pela amizade, pelo apoio e pelo companheirismo durante todo o curso.

Aos professores e funcionários do DEA, UFV, pela amizade e pelo apoio.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente nos maus e bons momentos durante todo o curso de pós-graduação.

BIOGRAFIA

Edson de Oliveira Vieira, filho de Gesner Henriques de Araújo Vieira e Maria Nilce de Oliveira Vieira, nasceu em Belo Horizonte, MG, em 28 de abril de 1967.

Em março de 1986, iniciou o curso técnico em Hidrologia no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRS, Porto Alegre, RS, concluindo-o em dezembro do mesmo ano.

Em janeiro de 1987, foi contratado pelo Centro Tecnológico de Minas Gerais (Cetec), onde desenvolveu trabalhos de regionalização de vazões mínimas de diversos rios dos Estados de Minas Gerais e Goiás até janeiro de 1988.

Em fevereiro de 1988, iniciou o curso de Engenharia Agrônômica, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em dezembro de 1992.

Em fevereiro de 1993, iniciou o curso de mestrado em Engenharia Agrícola, concentração em Irrigação e Drenagem, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, concluindo-o em fevereiro de 1996.

ÍNDICE

	Página
EXTRATO	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Aspectos gerais	03
2.2. Adsorção e persistência dos pesticidas no solo	04
2.3. Movimento dos pesticidas no solo	07
2.4. Atividade microbiológica na degradação dos pesticidas no solo	12
2.5. Predição da lixiviação de pesticidas no solo	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Características gerais da área	16
3.2. Caracterização físico-hídrica e química do solo	16
3.3. Instalação do experimento no campo	17
3.4. Manejo de irrigação	18
3.5. Monitoramento da umidade no perfil do solo	21
3.6. Descrição dos inseticidas estudados	22
3.6.1. Thiodicarb	22
3.6.2. Carbofuran	23
3.7. Cromatografia líquida	24

	Página
3.8. Preparo das amostras para análise de resíduo dos inseticidas	25
3.9. Calibração do HPLC para os inseticidas estudados	25
3.10. Extração dos resíduos dos inseticidas no solo	27
3.10.1. Metodologia de extração do Thiodicarb no solo	27
3.10.1.1. Extração	28
3.10.1.2. Quantificação	28
3.10.2. Metodologia de extração do Carbofuran no solo	29
3.10.2.1. Extração	29
3.10.2.2. Quantificação	29
3.11. Análise estatística	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1. Composição química do solo	31
4.2. Características físico-hídricas e granulométricas do solo	33
4.3. Manejo da Irrigação	33
4.4. Curvas de calibração do HPLC para o Thiodicarb e Carbofuran no solo	38
4.5. Avanço da umidade no solo	40
4.6. Análise de resíduo	40
4.6.1. Resíduo do Thiodicarb no solo	40
4.6.2. Resíduo do Carbofuran no solo	43
4.7. Análise Estatística	46
5. RESUMO E CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
APÊNDICE A	64
APÊNDICE B	66

EXTRATO

VIEIRA, EDSON DE OLIVEIRA. M.S. Universidade Federal de Viçosa, Outubro de 1996. **Efeito da irrigação na movimentação no solo de inseticidas de tratamento de sementes.** Professor Orientador: Márcio Mota Ramos, Conselheiros: Dr. Ivan Cruz, Dr. Hélio Teixeira Prates e Prof. Mauro Aparecido Martinez.

Este trabalho foi desenvolvido no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, EMBRAPA, Sete Lagoas, MG, e teve como objetivo avaliar o movimento de inseticidas de tratamento de sementes de milho no perfil do solo em áreas irrigadas. Foram utilizadas três lâminas de irrigação: deficiente (50% da adequada), adequada e excessiva (100% da adequada), e dois inseticidas de tratamento de semente de milho: Semevin 350 RA (Thiodicarb) e Furadan 350 TS (Carbofuran), nas doses recomendadas pelos fabricantes. O monitoramento da lixiviação desses inseticidas no solo foi feito em camadas de 5 cm e em intervalos de 10 dias, a partir do plantio da semente tratada. A análise de resíduo foi feita, utilizando-se cromatografia líquida de alta performance (HPLC). Nas condições em que foi realizado o experimento obtiveram-se as seguintes conclusões: os altos teores de matéria orgânica do solo estudado pode ter contribuído para a redução da lixiviação de ambos inseticidas; não foram detectados resíduos de inseticidas nos tratamentos submetidos à lâmina deficiente após a segunda amostragem para ambos inseticidas; o Thiodicarb apresentou-se mais instável no solo com baixo risco

de contaminação do lençol freático; o Carbofuran apresentou-se mais resistente à degradação e com um potencial maior de lixiviação no perfil do solo, porém com baixo risco de contaminação do lençol freático para as condições apresentadas; e para todos os tratamentos, houve maior retenção do princípio ativo dos inseticidas nas camadas mais superficiais do solo.

ABSTRACT

VIEIRA, EDSON DE OLIVEIRA. M.S. University Federal of Viçosa, October 1996. **Effect of irrigation on the movement of insecticides in soil.** Adviser Márcio Mota Ramos, Committee Members: Dr. Ivan Cruz, Dr. Hélio Teixeira Prates and Prof. Mauro Aparecido Martinez.

This work was conducted at the Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, EMBRAPA, in Sete Lagoas, MG, to evaluate the movement of insecticides used in corn seeds in soils of irrigated areas. Three types of irrigation treatments were used: deficient, adequate and excessive and two insecticides used in corn seeds treatment: Semevin 350 RA (Thiocarb) e Furadan 350 TS (Carbofuran) at the recommended doses. Monitoring of insecticide leaching was done in layers of 5 cm and at intervals of 10 days, starting from date of planting. Residue analysis was determined by using high performance liquid chromatography (HPLC). It was concluded that the presence of greater organic matter in soil may have contributed to a reduction in the leaching of both insecticides. No insecticides residue was detected in soil subject to deficient irrigation after the second sampling of both insecticides; Thiocarb was the most unstable with a low risk of groundwater contamination; Carbofuran was more resistant to degradation and had a higher leaching potential in soil but a low risk of groundwater contamination under the existing conditions; all irrigation treatments showed a higher retention of the insecticide active component in the surface layers of the soil.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura moderna vem utilizando novas tecnologias e novos insumos que têm contribuído decisivamente para o seu desenvolvimento. A irrigação e o controle de pragas e doenças são técnicas imprescindíveis para se obter uma produção rentável e de qualidade. Entretanto, conflitos com o macro e microambiente têm sido gerados em consequência dessa tecnificação. O uso dessas técnicas pelos agricultores vem ocorrendo, muitas vezes, de forma indiscriminada, provocando danos ao meio ambiente, e só recentemente, em função da nova consciência ecológica, tem despertado real interesse das autoridades governamentais e da comunidade científica.

A quantidade de água que percola no solo pode afetar o movimento de pesticidas mais solúveis. Propriedades rurais que utilizam a irrigação de forma inadequada ou até mesmo regiões sujeitas a altos índices pluviométricos podem representar áreas com alto potencial de contaminação do solo e do lençol freático por pesticidas que, na maioria das vezes, são utilizados de forma inescrupulosa.

Nos últimos anos, a utilização de defensivos agrícolas por produtores rurais vem aumentando vertiginosamente, principalmente aqueles utilizados no tratamento de sementes. Esse aumento deve-se a altos investimentos em pesquisas de novos grupos químicos para utilização como defensivos agrícolas após a proibição dos clorados, seguidos de uma boa estratégia de vendas. Segundo dados do SINDAG (Sindicato Nacional da Indústria de Defensivos

Agrícolas), a comercialização de produtos para tratamento de sementes de milho (inseticidas e fungicidas) aumentou em torno de 267% de 1993 para 1994, o que correspondeu a um custo, em 1994, de U\$19,573,000, considerando apenas aos gastos com inseticidas o equivalente a 2.000.000 de hectares plantados com sementes de milho tratadas. Desse valor, 90% correspondem à utilização dos princípios ativos Carbofuran e Thiodicarb.

A ampliação da área de cultivo do milho, o aumento da área irrigada, o não cumprimento das recomendações contidas nos rótulos dos inseticidas e o excesso de aplicação de água, conseqüência da falta de um manejo adequado, vêm causando alguns problemas referentes à contaminação do solo e do lençol freático por resíduos de inseticidas acima do nível máximo permitido. Os inseticidas de tratamento de semente, bem como aqueles aplicados diretamente no solo, estão potencialmente sujeitos à degradação por microrganismos, podendo permanecer no solo em razão do seu poder de adsorção na forma de metabólitos mais resistentes ou serem lixiviados no perfil do solo via precipitações naturais ou irrigações excessivas.

Com base no risco de contaminação do ambiente por esses produtos aplicados diretamente no solo, este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento (movimentação e adsorção) no solo de dois inseticidas de tratamento de milho, submetidos a três lâminas de irrigação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais

Experimentos têm sido realizados em diferentes países, visando estudar o impacto da aplicação de pesticidas no solo, e alguns resultados revelaram sérios problemas de contaminação do meio ambiente, principalmente das águas superficiais e subterrâneas.

Após três anos de análise de amostra de água em poços artesianos, ISENSEE et al. (1990) detectaram altos níveis de Atrazina, Alachlor, Cyamazina e Carbofuran em poços rasos após chuvas que ocorreram logo após o período de aplicação.

Nos Estados Unidos, BENGTON et al. (1990) detectaram, na água presente em drenos instalados a 1 m de profundidade, princípios ativos dos herbicidas Atrazina e Metolachlor em concentrações de três a quatro vezes maior que o máximo permitido (3 µg/L) pela Agência de Proteção Ambiental daquele país.

SMITH et al. (1990), estudando o movimento de pesticidas em direção ao lençol freático, observaram uma concentração de 350 µg/L de Atrazina em solução de solo retirado a uma profundidade de 0,61 m no 19º dia da aplicação. Também detectaram níveis consideráveis de Atrazina no lençol freático dois meses após a aplicação.

Nos Estados Unidos, GISH et al. (1991), após três anos de estudos, encontraram altas concentrações de pesticidas no lençol freático de áreas vizinhas à área de estudo. Também observaram que as formulações mais suscetíveis ao movimento no solo foram a líquida e o pó molhável. A incorporação desses pesticidas ou a sua aplicação em formulações encapsuladas reduziu a susceptibilidade ao deslocamento no solo.

Pereira e Hostettler (1993), citados por RO e CHUNG (1994), estimaram que no ano de 1991 aproximadamente 160 t de Atrazina, 71 t de Cyanazine, 56 t de Metolachlor e 18 t de Alachlor teriam sido transportadas para o Golfo do México através do rio Mississippi.

No Brasil, PIFFER (1989), estudando o movimento e a degradação do princípio ativo de inseticidas do grupo dos Carbamatos em Latossolo Roxo, estimou que 16% da dose total de Aldicarb aplicado na superfície do solo foi transportado e ultrapassou 50 cm de profundidade, enquanto 2,5% ultrapassou 100 cm.

PIGATTI et al. (1973) constataram a persistência de inseticidas clorados em solos do Estado de São Paulo após um, dois e três anos da aplicação, tendo sido as maiores quantidades encontradas de DDT, Dieldrin e BHC.

Os processos de adsorção, persistência, movimentação e degradação dos pesticidas no solo são regidos por fatores que atuam simultaneamente e com grandes variações espaciais e temporais. Porém, serão aqui separados, para facilitar a exposição e o entendimento dos mesmos.

2.2. Adsorção e persistência dos pesticidas no solo

Segundo PIFFER (1989), o comportamento de um pesticida no solo pode variar amplamente com as condições climáticas locais, com o tipo e a estratificação desse solo e ainda com a cultura.

No que se refere ao solo, a matéria orgânica (MO) e a fração argila são os componentes de maior relevância no processo de movimento de pesticidas, por apresentarem maior capacidade de adsorção.

Segundo MAQUEDA et al. (1990), a adsorção do pesticida pela matéria orgânica ocorre por meio de diversos mecanismos, sendo a troca de cátions o de maior importância. Assim sendo, o estudo da interação da matéria orgânica com o pesticida catiônico apresenta grande interesse.

A matéria orgânica (MO) é constituída, principalmente, pela fração húmica e por ácidos fúlvicos. A diferença de comportamento entre esses dois componentes é decorrente da estrutura molecular e da quantidade de grupos funcionais presentes. Esses grupos são os principais responsáveis pela adsorção dos pesticidas catiônicos.

Harris e Hitchon (1982), citados por ANDRÉA (1986), relataram que a persistência da atividade biológica de pesticidas é fortemente influenciada pela umidade do solo, sendo eles pouco persistentes em solos secos. A permanência desses compostos no solo está relacionada com a competitividade com a água pelos sítios ativos das partículas de solo. Esses autores compararam o Dissulfoton com o Sulfóxido de Dissulfoton (inseticidas organofosforados) e verificaram que o primeiro era 10 vezes mais ativo em solo mineral úmido. Isso se deve ao fato de que sendo o Dissulfoton menos competitivo, isto é, menos adsorvido pelo solo, ele permanecia ativo. Já o Sulfóxido de Dissulfoton permaneceu na forma residual, adsorvido no solo, sendo posteriormente transformado em outra substância-produto por meio da oxidação.

Para FERREIRA et al. (1988), o impacto do inseticida no solo está diretamente relacionado com a natureza química desse pesticida, hidrossolubilidade, volatibilidade e também com o tipo de solo em que foi aplicado. Esses autores relatam que Talekar e colaboradores constataram que, além do tipo de solo, outros fatores como umidade, pH, temperatura, tipo de cultura, modo de aplicação do inseticida e presença de microrganismos também influenciam na persistência desses produtos no solo.

PUSINO et al. (1994) estudaram a adsorção do herbicida Triclopyr em sete diferentes tipos de solo, onde variaram amplamente os seus parâmetros químicos, como conteúdo de matéria orgânica (MO), argila, pH e capacidade de troca catiônica (CTC). Os dados de adsorção do Triclopyr foram usados na determinação dos coeficientes da equação de Freundlich logaritimizada.

$$\log C_s = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (1)$$

em que

C_s = concentração do pesticida adsorvido no solo ($\mu\text{mol Kg}^{-1}$);

C_e = concentração do equilíbrio na solução do solo ($\mu\text{mol Kg}^{-1}$);

K_f = constante relativa da afinidade do pesticida com o adsorbato; e

$1/n$ = coeficiente empírico representando a declividade da isoterma.

Os autores determinaram os coeficientes da equação para os sete solos e verificaram que com o decréscimo na quantidade da matéria orgânica ocorria um decréscimo do K_f , conseqüentemente um decréscimo na adsorção do Triclopyr. A análise de regressão linear entre K_f e os parâmetros do solo (MO, % argila, pH e CTC) mostrou uma correlação entre o K_f e a MO e CTC do solo com coeficiente de correlação (r) de 0,86 e 0,82, respectivamente. A diminuição do pH da solução do solo proporcionou aumento da adsorção do herbicida, conforme tendência geral de interação de moléculas ionizáveis com a matéria orgânica do solo, porém com baixo coeficiente de correlação ($r = 0,367$) com o K_f . Por outro lado, a adsorção depende também do pH, que é responsável pelos processos de dissociação tanto da molécula do pesticida quanto da superfície do adsorbato.

GENNARI et al. (1994), ajustando dados de adsorção de Acifluorfen com a equação de Freundlich, observaram alta correlação desta com variações no conteúdo da MO do solo na adsorção desse princípio ativo. A redução da MO de um solo com Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) diminuiu o valor do K_f da equação, porém manteve o mesmo valor do parâmetro $1/n$. O tratamento com H_2O_2 pode ter induzido uma ruptura seletiva ou parcial da matéria orgânica.

KUMARI et al. (1988) estudaram a adsorção e movimentação do Carbofuran em colunas de solo franco-argiloso e franco-siltoso, utilizando a equação de Freundlich. O solo franco-argiloso apresentou coeficiente de adsorção (K_f) maior que o franco-siltoso.

CHE et al. (1992) observaram que o pH, a quantidade de matéria orgânica de um solo e até mesmo o tipo de argila influenciaram diretamente na adsorção dos herbicidas Imazaquin e Imazethapyr no solo. A sorção desses

herbicidas aumentou com o decréscimo do pH do solo, porém essa sorção foi mais evidente quando o pH decresceu de 5 para 3, significando assim que o aumento da sorção de um pesticida no solo depende diretamente da magnitude do decréscimo do pH. Os ácidos húmicos têm maior afinidade pelos pesticidas que as argilas, indicando ser o teor de matéria orgânica um fator de relevante importância no que se refere à adsorção de pesticidas no solo.

2.3. Movimento dos pesticidas no solo

A água no solo movimenta-se em resposta aos gradientes de potenciais matriciais, de pressão e gravitacional. Porém, o movimento de água no solo é difícil de ser modelado em nível microscópico, em razão da extrema irregularidade dos poros, obrigando a utilização de modelos mais abrangentes e em nível macroscópico (FERREIRA, 1990).

Para GHODRATI et al. (1992), o movimento vertical descendente no solo, mesmo de pesticidas mais móveis, é significativamente menor que a percolação da água em razão da adsorção pela matéria orgânica e pela superfície de adsorção dos minerais do solo.

O movimento de pesticidas no solo pode ocorrer por difusão, nos espaços ocupados pelo ar e pela água, ou por fluxo de massa, veiculado pela água, sendo esta a principal forma de movimentação de compostos não voláteis no solo (PIFFER, 1989). Dessa forma, a movimentação dos compostos no solo está ligada diretamente com as características físicas do solo mais relacionadas ao processo de escoamento de água no perfil do mesmo, que são: textura, estrutura, porosidade, macroporosidade e condutividade hidráulica do solo.

De acordo com Nicholls et al. (1982), citados por PIFFER (1989), a estrutura do solo influencia o movimento dos pesticidas não apenas por afetar a taxa de movimento da água no solo, mas também na forma com que esses pesticidas se deslocam no perfil. Os compostos movem-se menos em solos com estrutura em blocos, porque, após chuvas de grande intensidade e magnitude, a água percola rapidamente através dos poros maiores e não há

tempo para que suas moléculas, já adsorvidas no interior dos agregados, entrem em equilíbrio com a água que percolará pelos poros maiores entre esses agregados. Porém, neste mesmo solo, pesticidas de alta solubilidade aplicados na superfície momentos antes da ocorrência de tais chuvas ou até mesmo uma irrigação excessiva não teriam condições de melhor adsorção no interior dos agregados, tendo como consequência maior lixiviação.

ARIENZO et al. (1994) estudaram o efeito das características de 25 solos na adsorção e mobilidade do inseticida Diazinon sob condições de escoamento de água no solo em meio saturado e não-saturado. Verificaram que o inseticida teve sua adsorção influenciada pelo conteúdo de silte e argila nos solos com teores de matéria orgânica menores que 2%. O Diazinon apresentou pequena mobilidade em solos com baixo ou médio teor de matéria orgânica e praticamente imóvel em solos com alto teor. Em condições de escoamento saturado envolvendo várias lavagens da coluna, o inseticida mostrou-se muito móvel em solos de textura mais grosseira e baixo teor de matéria orgânica. Em condições de colunas de solo não-saturado, o Diazinon apresentou resultados similares às condições de campo, ou seja, pequena lixiviação.

KUMARI et al. (1988), utilizando a equação 2, quantificaram lâminas de 1.564 e 1.297 cm como necessárias para deslocar o Carbofuran a uma profundidade de 152 cm em colunas de solo-franco argiloso e franco-siltoso, respectivamente. Essas lâminas foram menores quando o solo foi previamente saturado. Entretanto, esta fórmula implicou num erro quando se considerou que os 152 cm de solo tiveram as mesmas propriedades de adsorção (teor de matéria orgânica, teor de argila, porosidade, capacidade de troca catiônica etc.) que os 6 cm analisados em laboratório. Neste caso, deve-se aproximar o máximo possível das condições de campo para se levantar tais estimativas.

$$R = \frac{H r L}{d q}, \quad (2)$$

em que

L = profundidade do perfil estimado (cm);

R = quantidade de chuva ou irrigação necessária para deslocar o Carbofuran a uma profundidade L (cm);

d = altura da coluna (cm);

H = quantidade de chuva ou irrigação necessária para deslocar o Carbofuran por uma coluna de altura d (cm);

r = densidade do solo na coluna; e

θ = densidade do solo em condição natural.

Esta fórmula, no entanto, implica num erro quando se considera que os 152 cm de solo têm as mesmas propriedades de adsorção (teor de matéria orgânica, teor de argila, porosidade etc.) que os 6 cm analisados em laboratório. Nesse caso, deve-se aproximar o máximo possível das condições de campo para se levantarem tais estimativas.

Segundo ANDRÉA (1986), com a presença de elevadas umidades no solo um composto de hidrossolubilidade moderada, como o Dissulfoton, se deslocaria para a zona das raízes mais rapidamente que um composto de baixa hidrossolubilidade. Conforme a quantidade de água fornecida, um composto muito solúvel em água pode ser rapidamente lixiviado.

SIGUA et al. (1993) determinaram o efeito da intensidade da chuva e de diferentes quantidades de resíduo da cultura de milho no movimento de Atrazina e Brometo de Metila, utilizando amostras de solos não-deformadas de 10 cm de diâmetro e 8 cm de profundidade. Simularam-se chuvas e essas amostras foram submetidas a quatro diferentes intensidades (3, 6, 9, e 12 mm/h) e a quatro quantidades de restos culturais do milho (0, 2.000, 4.000 e 8.000 kg/ha). Os pesticidas foram aplicados sobre os restos culturais. O transporte de Atrazina e Brometo de Metila foi significativamente afetado pela intensidade da chuva. Uma média de 92% de Brometo de Metila e 52% de Atrazina do total aplicado foi lixiviada pelas amostras quando submetidas a uma precipitação de 12 mm/h. Esses valores podem ser comparados com 61% e 33% de Brometo de Metila e Atrazina, respectivamente, quando submetido a uma chuva de 3 mm/h. As amostras cobertas com 2.000 e 8.000 kg/ha de resíduo de cultura reduziram a lixiviação de Atrazina em 26 e 37%, respectivamente, quando comparadas com um solo sem cobertura.

A prática do plantio direto reduz o escoamento superficial e aumenta a infiltração. A combinação de restos culturais e a presença de maior número de macroporos são responsáveis pelo aumento dessa infiltração.

Os restos culturais absorvem o impacto das gotas de chuva e de irrigação, reduzindo o deslocamento de partículas e o selamento dos macroporos da superfície que induzem o encrostamento do solo (ELA et al., 1992). Esse efeito, associado ao aumento da rugosidade da superfície do solo, diminui o escoamento superficial, proporcionando um aumento da lixiviação de pesticidas, em razão do aumento da infiltração da água.

Recentemente, estudos (PHILIPS et al., 1989; SADEGHI e ISENSEE, 1992; LEVANON et al. 1993) têm sugerido que os macroporos podem afetar o movimento e o transporte de pesticidas para o lençol freático.

PHILIPS et al. (1989) demonstrou que o rápido movimento da água, após a sua aplicação na superfície do solo, pode ocorrer através dos seus macroporos, porém a forma e a extensão com que a água é conduzida pelos macroporos carreando compostos solúveis ainda não estão muito bem elucidadas e dependem de muitos fatores, como geometria do poro e umidade antecedente do solo.

Os estudos existentes comparando o efeito dos sistemas de plantio na lixiviação de pesticidas no solo são limitados e de conclusões contraditórias.

O movimento de pesticidas em áreas com sistemas de conservação de solos, como o plantio direto, é reduzido por causa da maior quantidade de matéria orgânica presente na camada mais superficial do solo. A matéria orgânica governa a adsorção e está também frequentemente associada com o aumento da biodegradação dos pesticidas (Khan (1978) e Stevenson (1982), citados por SADEGHI e ISENSEE, 1992).

SADEGHI e ISENSEE (1992), estudando o movimento de Atrazina em dois sistemas de plantio de milho (convencional e direto), verificaram, após dois anos de estudo, maiores concentrações de resíduo de Atrazina nos 10 primeiros centímetros do solo no sistema convencional de plantio do que no plantio direto. Abaixo dessa primeira camada ocorreu maior concentração de resíduos de Atrazina no plantio direto.

O uso do plantio direto com a monocultura do milho altera as propriedades do solo em comparação com o preparo tradicional. A deposição

anual de resíduos da cultura na superfície do solo aumenta a retenção da água no solo, a população de microrganismos, o conteúdo de carboidratos, aminoácidos e carbono alifático e diminui o pH. Essas condições aumentam a atividade microbiológica (Doran (1987), citado por LEVANON et al., 1993).

Ainda comparando com o preparo tradicional, o plantio direto propicia maior estabilidade de agregados, maior porosidade, maior capacidade de retenção de água no solo e maior porcentagem de macroporos, favorecendo, assim, a lixiviação (Reganold et al. (1990), citados por LEVANON et al., 1993).

LEVANON et al. (1993) estudaram o efeito de duas condições de preparo do solo no movimento de pesticidas. Foram utilizadas amostras de solos de áreas nas quais utilizaram-se, por 16 anos, o plantio direto e o preparo convencional para o plantio de milho. Os pesticidas estudados foram o Carbofuran, Atrazina, Diazinon, Metolachlor e NH_4NO_3 . Esses autores verificaram que houve maior lixiviação dos pesticidas no solo submetido ao preparo convencional quando comparado ao plantio direto. Segundo os autores, isto pode ser explicado pelas diferenças das propriedades abióticas (física e química) e bióticas (microbiológica) da superfície dos solos submetidos aos sistema convencional e ao plantio direto. O alto conteúdo de matéria orgânica e baixo pH dos solos sob plantio direto podem aumentar a sorção e a degradação química dos pesticidas. O maior conteúdo de carbono orgânico, nitrogênio orgânico e fósforo livre foi provavelmente associado à maior atividade e maior população microbiana em solos sob plantio direto e, com isso, à maior degradação de pesticidas do solo.

Estudos recentes realizados em condições de campo evidenciam o acentuado movimento em direção ao lençol freático de pesticidas de características tanto de forte quanto de fraca adsorção na matriz do solo, indicando que as propriedades de adsorção podem não ser um indicador seguro da diminuição da migração de pesticidas para as zonas de baixa atividade biológica do solo em um curto intervalo de tempo, contrariando os resultados mostrados anteriormente.

Pesquisas em solos arenosos, bem como em solos mais estruturados (KLADIVKO et al., 1991), sugerem que a parte da superfície do solo onde os inseticidas são aplicados pode apresentar pontos que funcionam como um “by pass” dos sítios de adsorção do solo, resultando, assim, numa migração do

pesticida através da zona radicular, com uma velocidade efetiva semelhante a da mobilidade de traços inorgânicos, como os cloretos. Entretanto, comportamento semelhante ocorre mais comumente quando uma pequena fração do volume do solo está ativa no escoamento, permitindo que pequena quantidade de água aplicada possa produzir um deslocamento substancial de pesticidas na direção vertical do solo.

Em experimento realizado por GHODRATI e JURY (1992) para verificar o movimento no perfil do solo do princípio ativo de três pesticidas (Atrazina, Napropamida e Prometrina), eles utilizaram quatro formas de aplicação de água no solo: inundação contínua, inundação intermitente, aspersão contínua e aspersão intermitente. Os pesticidas foram aplicados na forma de três formulações: pó molhável, suspensão concentrada (o defensivo foi dissolvido em água até atingir seu limite de solubilidade) e concentrado emulsionável. Esse experimento foi conduzido em solo franco-arenoso com menos de 1% de matéria orgânica e em duas condições: em repouso e preparado com enxada rotativa até 30 cm de profundidade. Em todos os tratamentos ocorreu um deslocamento dos pesticidas para camadas abaixo de 30 cm de profundidade. Os autores não obtiveram diferenças significativas entre as formas de aplicação d'água no movimento dos pesticidas no perfil do solo. A Atrazina apresentou maior deslocamento quando se observou o estado do solo, atingindo camadas mais profundas nas parcelas em que o solo não foi preparado. No que diz respeito à formulação, o pó molhável apresentou maior movimentação quando comparado com as outras duas formulações.

2.4. Atividade microbiológica na degradação dos pesticidas no solo

A degradação microbiológica é um importante mecanismo que tende a controlar a persistência e até mesmo a atividade de um pesticida no solo, influenciando diretamente sua movimentação no perfil do solo.

A taxa de degradação de pesticidas no solo é dependente de vários fatores ambientais que podem afetar tanto a densidade populacional de microrganismos quanto o seu poder de biodegradação. Muitos desses fatores

podem variar drasticamente em função do tempo e da localização. Poucos estudos têm sido realizados visando avaliar essa variabilidade temporal e espacial em campo associado com a taxa de biodegradação de pesticidas.

Os pesticidas podem ser utilizados como substrato para o crescimento microbiano. Segundo Camper et al. (1987), citados por PARKIN e SHELTON (1992), o Carbofuran é um defensivo utilizado como substrato para o crescimento microbiano, apresentando uma cinética sigmoideal de degradação. Aplicações sucessivas desse inseticida no solo resultam num aumento da taxa de degradação microbiológica.

PARKIN e SHELTON (1992), estudando a variabilidade temporal e espacial da degradação do Carbofuran no solo, verificaram que esses parâmetros, associados às taxas de degradação do Carbofuran, são função da umidade do solo e do número de vezes que esse inseticida é aplicado no solo. A umidade do solo mostrou ser um fator dominante controlando as variações temporais na atividade de degradação do Carbofuran, enquanto a biomassa microbiana e a umidade do solo influenciaram tanto na cinética de degradação quanto na variação espacial da atividade de degradação desse inseticida.

Harris et al. (1988) e Edward et al. (1992), citados por CHARNAY e FOURNIER (1994), verificaram que a redução da eficiência do controle de pragas do solo pelo Carbofuran estava ligada à instabilidade desse inseticida em solos alcalinos e, principalmente, à degradação por microrganismos no solo. Os autores citados verificaram maior população de microrganismos e altas taxas de degradação do Carbofuran em solo coletado numa área que foi submetida durante vários anos à aplicação de Carbofuran do que em outra que não se utilizou este inseticida. O aumento da degradação do Carbofuran correspondeu ao crescimento da população microbiana, o que era eficiente no uso desse inseticida, passando a ser ele, a sua única fonte de carbono e nitrogênio.

MacRae e Vinckx (1973), citados por EKELUND et al. (1994), investigando o efeito do DDT e Lindane no número de protozoários de um solo de jardim seco ao ar e reumidificado, verificaram efeito negativo no crescimento da população desses protozoários vários meses após a aplicação desses pesticidas.

2.5. Predição da lixiviação dos pesticidas no solo

Nos últimos anos, em vista do agravante problema de contaminação do lençol freático que vem afetando várias regiões do planeta, têm sido desenvolvidos modelos matemáticos que visam simular o movimento de pesticidas no solo. Esses modelos facilitam a predição da lixiviação e persistência de resíduos de defensivos no solo, embora alguns exijam a obtenção de parâmetros, sendo esta muitas vezes demorada e extremamente trabalhosa. Porém, muitos desses parâmetros podem ser estimados.

Leistra et al. (1980), citados por PIFFER (1989), simularam o movimento e a degradação de pesticidas no perfil do solo, utilizando modelo matemático cujos parâmetros de entrada são: precipitação pluviométrica, evapotranspiração, temperatura do solo, tensão e condutividade da água no solo, sorção do composto, influência da estrutura do solo na dispersão do composto e taxa de degradação do composto em diferentes condições de temperatura e umidade do solo.

JONES et al. (1986) testaram o modelo PRZM (Pesticide Root Zone Movement Model), desenvolvido pela EPA (Environmental Protection Agency), que faz a predição da lixiviação de pesticidas no solo. Os autores verificaram que o modelo caracterizava, adequadamente, o fenômeno em condições naturais.

GUSTAFSON (1989) desenvolveu o modelo que determina um índice de risco de um composto orgânico atingir o lençol freático, relacionando o coeficiente de repartição Carbono-Água (K_{oc}) com a meia vida no solo ($T_{1/2}$):

$$GUS = \log T_{1/2} \times (4 - \log K_{oc}), \quad (3)$$

em que

GUS= escore de contaminação do lençol freático (Groundwater Ubiquity Score);

$T_{1/2}$ = meia vida no solo; e

K_{oc} = coeficiente de repartição Carbono-Água.

Compostos orgânicos com GUS abaixo de 1,8 não apresentam riscos de contaminação do lençol freático, e acima de 2,8 apresentam um potencial maior.

BISWAS et al.(1992) desenvolveram um modelo matemático para predição da adsorção, desorção e lixiviação do Percloroetileno (PCE) em quatro tipos de solo, utilizando os coeficientes da isoterma de adsorção de Freundlich.

Vários outros trabalhos foram desenvolvidos e apresentaram resultados bastante satisfatórios no que se refere tanto à simulação do movimento quanto à degradação de pesticidas no solo. Apesar disso, o solo, por ser um sistema complexo e difuso, requer maiores investigações, a fim de facilitar ainda mais o conhecimento do potencial de contaminação do solo e do lençol freático por pesticidas agrícolas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Características gerais da área

O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho-Escuro álico, relevo suave ondulado, fase cerrado, no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, Sete Lagoas, MG.

Conforme dados meteorológicos compreendidos entre os anos de 1932 a 1982, a área apresenta um período de seca bem definido (maio a setembro), sendo esse escolhido para a instalação do experimento.

3.2. Caracterização físico-hídrica e química do solo

As análises granulométricas, químicas e os parâmetros físico-hídricos do solo como condutividade hidráulica, densidade aparente, macro e microporosidade, porosidade total e as curvas de retenção de água no solo foram feitas com amostras obtidas a cada 10 cm até uma profundidade de 50 cm.

A condutividade hidráulica do solo foi determinada em permeâmetro de carga constante, conforme descrito por FERREIRA (1990). A curva de

retenção de água no solo foi obtida, utilizando-se o extrator de Richards, e a micro e macroporosidade utilizando o método da mesa de tensão.

Para as análises químicas do solo foram feitas amostragens compostas para cada camada de 10 cm dentro da área experimental.

3.3. Instalação do experimento no campo

O preparo do solo consistiu de uma aração com arado de aiveca e posterior gradagem com grade niveladora. Em seguida, foram abertos os sulcos de plantio e a adubação foi feita com 4-14-8, na proporção de 400 kg/ha mais 0,4% de zinco. O preparo foi o mesmo para toda a área experimental. A semente utilizada foi a do milho híbrido BR-205.

Tubos de PVC rígido de 75 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento foram cravados até a sua extremidade superior atingir o fundo do sulco. Estes tubos tiveram a sua extremidade inferior biselada para facilitar sua penetração, minimizando, assim, alterações na estrutura do solo. O objetivo desses tubos foi proporcionar melhor controle do movimento vertical dos inseticidas no solo e facilitar as amostragens. As sementes tratadas foram colocadas na profundidade convencional de plantio, sendo algumas dentro dos tubos (uma por tubo). Essas sementes foram tratadas com dois inseticidas: o Furadan 350 TS (Carbofuran) na dosagem recomendada pelos fabricantes de 2L/100 kg de sementes e o semevin 350 RA (Thiodicarb), na mesma dosagem recomendada.

As sementes foram submetidas a três diferentes lâminas de irrigação em áreas distintas. Das três lâminas, uma representou um suprimento deficiente de água no solo, outra uma irrigação adequada para a cultura do milho e para a classe de solo utilizado e a terceira representou uma irrigação excessiva. A lâmina deficiente foi 50% inferior à lâmina adequada e a excessiva foi em torno de 100% superior.

Cada tratamento foi constituído de uma lâmina de irrigação e um inseticida.

O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de capina manual sem o uso de herbicidas, pois esses poderiam interferir nas análises de resíduos.

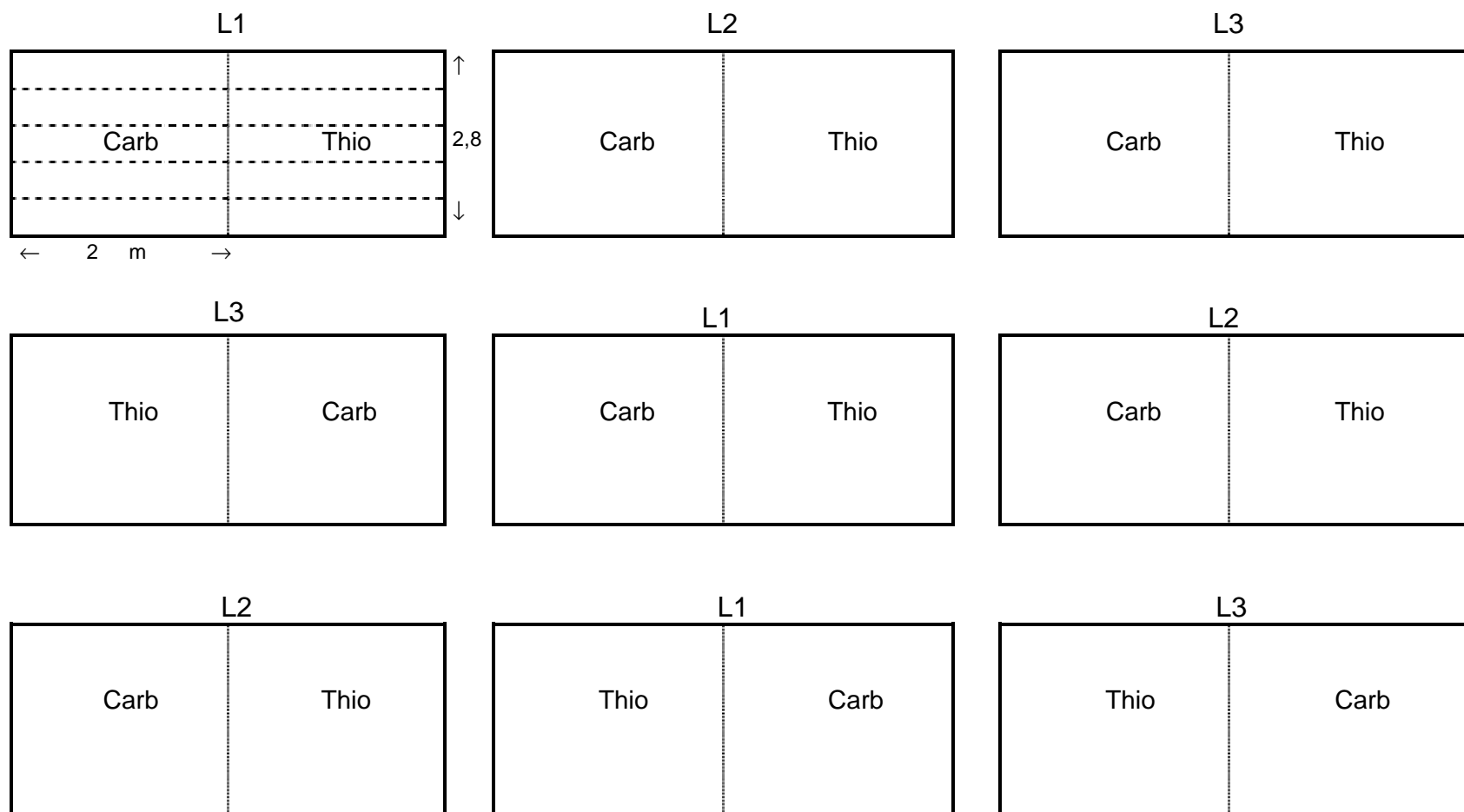
O experimento teve um delineamento em blocos ao acaso, sendo as parcelas representadas pelas três lâminas de irrigação e as subparcelas, pelos pesticidas. Cada tratamento foi constituído de três repetições (Figura 1). Cada parcela possuía 2,8 m de largura e 8 m de comprimento, com quatro fileiras, nas quais cada subparcela (de 4 m de comprimento) continha quatro tubos de PVC cravados no solo.

3.4. Manejo de irrigação

Para o manejo de irrigação utilizou-se turno de rega fixo de três dias, e as lâminas de irrigação foram determinadas pelo método do Tanque Classe A. Os dados de evaporação no tanque, velocidade do vento e umidade relativa do ar eram coletados diariamente numa estação agrometeorológica localizada, aproximadamente, a 300 m da área experimental.

A lâmina adequada foi calculada conforme a demanda evapotranspirométrica da região e o estágio de desenvolvimento da cultura do milho. Foram utilizados coeficientes de cultura (K_c) para o milho propostos por COSTA et al. (1992) e os coeficientes do tanque Classe A sugeridos por DOORENBOS e PRUIT (1976). As lâminas foram aplicadas por meio do equipamento, conforme descrito por BRAGA et al. (1995) (Figura 2), que proporcionou um alto coeficiente de uniformidade de distribuição (acima de 90%).

A primeira aplicação de água foi feita antes do semeio, e procurou-se elevar a umidade do solo até a capacidade de campo. As demais irrigações foram efetuadas conforme descrito anteriormente. A aplicação de água via irrigação ocorreu até aproximadamente 40 dias após o plantio.



DELINEAMENTO EXPERIMENTAL: BLOCOS CASUALIZADOS
 DELINEAMENTO DOS TRATAMENTOS: PARCELAS SUBDIVIDIDAS

L1 - Lâmina deficiente
 L2 - Lâmina adequada
 L3 - Lâmina excessiva

Thio - Thiodicarb (semevin 350 RA)
 Carb - Carbofuran (Furadan 350 TS)

Figura 1 - Croqui da área experimental.

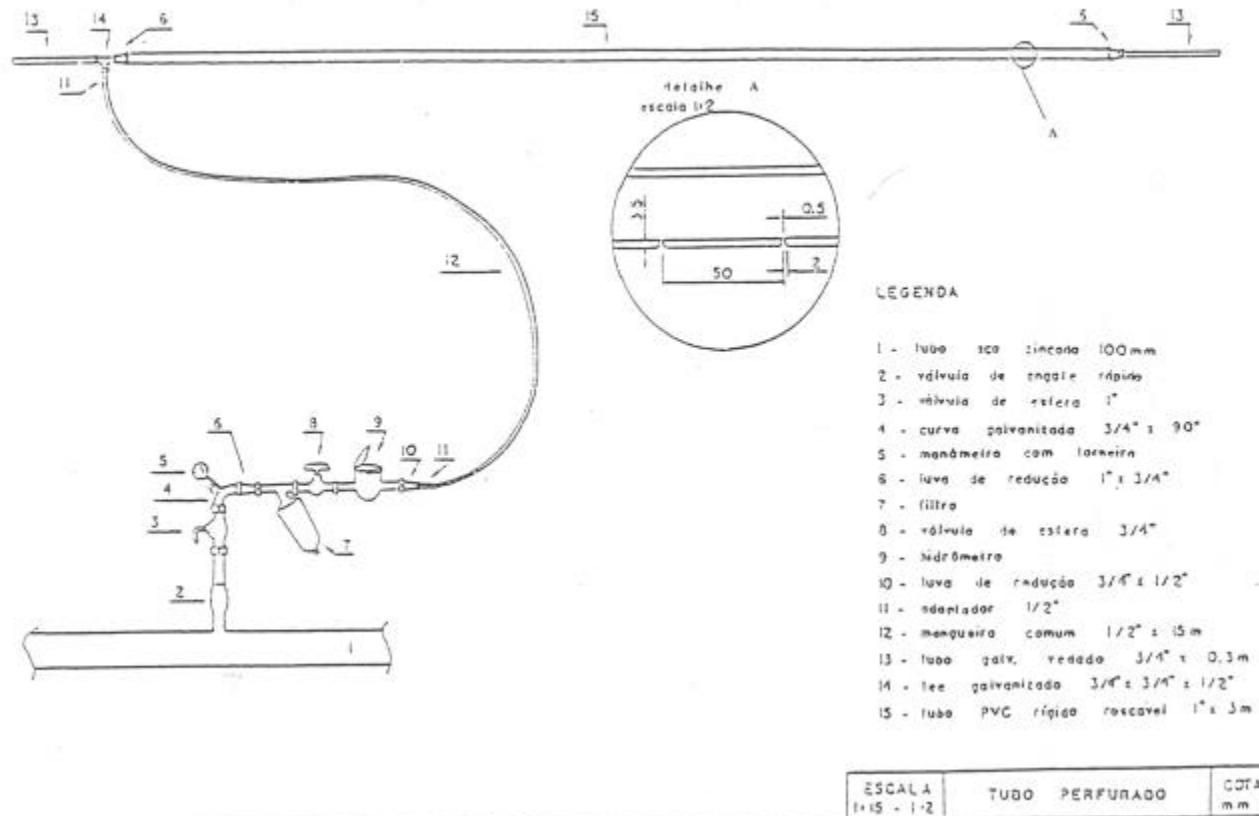


Figura 2 - Esquema detalhado do sistema de aplicação de água.

Foram feitas amostragens do solo em quatro datas distintas, sendo essas realizadas 10, 20, 30 e 40 dias após o plantio. No dia de amostragem os tubos foram retirados e seccionados em fatias de 5 cm. Essas fatias eram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos à temperatura de -16 a -4°C (PIFFER, 1989) até o momento das análises.

Para efeito de identificação, os tratamentos receberam códigos, sendo o inseticida representado pela primeira letra do seu princípio ativo; as lâminas foram representadas pela primeira numeração: 1, 2 e 3, representando a lâmina deficiente, adequada e excessiva, respectivamente; e o intervalo de amostragem foi representado pelos números 1, 2, 3 e 4 para 10, 20, 30 e 40 dias após o plantio, respectivamente. A primeira numeração foi separada da segunda por um traço. Assim, Thiod1_1 representa a amostra de solo com semente tratada com Thiodicarb, lâmina deficiente e primeira amostragem (10 dias após plantio) e Carb2_4 representa a amostra de solo com semente tratada com Carbofuran, lâmina adequada e quarta amostragem (40 dias após plantio).

3.5. Monitoramento da umidade no perfil do solo

O acompanhamento da umidade do solo foi feito para cada camada de 10 cm de profundidade até a profundidade monitorada (50 cm). A umidade foi determinada pelo método-padrão da estufa, sendo as amostras obtidas uma imediatamente antes da irrigação e outra a aproximadamente 24 horas após, seguindo o turno de rega fixo de 3 dias. Foram feitas amostragens em cada parcela que correspondia a uma lâmina de irrigação.

3.6. Descrição dos inseticidas estudados

3.6.1. Thiodicarb

O Thiodicarb é o princípio ativo de um inseticida, moluscicida sistêmico do grupo dos Carbamatos cuja estrutura molecular é apresentada na Figura 3. O Thiodicarb possui as seguintes denominações químicas:

3,7,9,13-tetrametil-5,11-dioxa-2,8,14-tritia-4,7,9,12-tetra-azapentadeca-3,12-dieno-6,10-diona (IUPAC).

Dimetil N,N'-[tiobis[(metilimino) carboniloxi]] bis (etanimidotoato) (CA) (TOMLIN, 1995).

O Thiodicarb é comercializado no Brasil com o nome de Semevin 350 RA, produzido pela Rhodia do Brasil, e contém 350 g do ingrediente ativo por litro. Possui uma classificação toxicológica III (moderadamente tóxico). Sua molécula é hidrolisada por ácidos e álcalis fortes e se degrada pela luz do sol quando em suspensão aquosa e é estável à temperatura de até 60°C. Sua solubilidade em água é de 35 mg/L a 25°C. É um produto não-corrosivo. O Thiodicarb é um inseticida usado para controlar pragas de solo como lepidópteros, coleópteros em vários estágios de desenvolvimento e alguns hemípteros e dípteros da cultura do arroz e milho. É também usado como moluscicida. O Thiodicarb é rapidamente degradado em vários tipos de solo em condições tanto aeróbicas quanto anaeróbicas por hidrólise ou fotólise. Os produtos primários de sua degradação são o Methomyl e Methomyl oxime. A

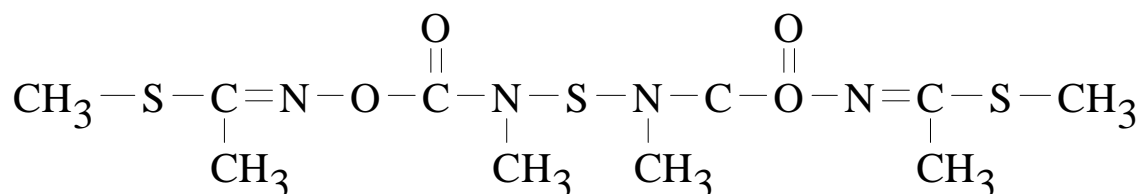


Figura 3 - Estrutura molecular do Thiodicarb.

meia-vida do Thiodicarb no solo é de 3 a 8 dias, dependendo do tipo de solo. Sua DL50 é de 0,246 g/kg peso vivo para mamíferos (via oral).

3.6.2. Carbofuran

O Carbofuran é um princípio ativo de inseticida, acaricida e nematicida sistêmico do grupo dos Carbamatos, cuja estrutura molecular é apresentada na Figura 4. Ele possui as seguintes denominações químicas:

2,3-dihidro-2,2-dimetilbenzofuran-7-il metilcarbamato (IUPAC)

2,3-dihidro-2,2-dimetil 7-benzofuranil metilcarbamato (CA) (TOMLIN, 1995).

O Carbofuran utilizado é fabricado pela FMC do Brasil sob o nome comercial Furadan 350 TS, que contém 350 g do princípio ativo Carbofuran por litro do produto comercial. Possui classificação toxicológica I (altamente tóxico). Sua molécula é instável em meio alcalino e estável em meio ácido. O Carbofuran possui solubilidade em água de 320 mg/L a 25°C. É um produto que não apresenta corrosividade. Suas formulações encontradas no comércio brasileiro são granulado e suspensão concentrada para tratamento de sementes. É um produto usado para controle de pragas do solo, ácaros, nematóides, hemípteros, lepidópteros e coleópteros das culturas do milho,

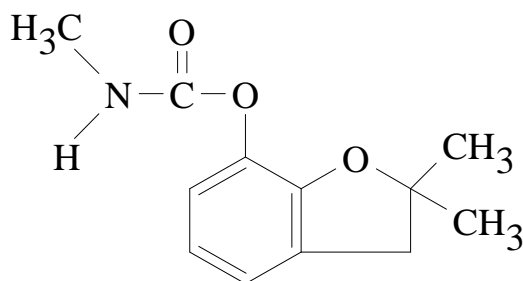


Figura 4 - Estrutura molecular do Carbofuran.

arroz, etc. O Carbofuran possui meia-vida no solo de 30 a 60 dias. Possui DL50 em torno de 0,02 g/kg de peso vivo de mamíferos se ingerido via oral. Com isso, uma dose de 1,4 g do ingrediente ativo/pessoa seria suficiente para levar à morte a metade de uma população com peso médio de 70 kg.

3.7. Cromatografia líquida

A cromatografia pode ser definida como uma técnica de separação de uma mistura de solutos, baseando-se esta separação na diferença de velocidade com que se move cada um dos compostos por intermédio de um meio poroso arrastado por um solvente em movimento (ABBOTT e ANDREWS, 1973).

A cromatografia líquida de Alta Performance - HPLC (High Performance Liquid Chromatography) é uma técnica que vem superando as demais técnicas cromatográficas, por sua velocidade e sensibilidade de separação de diferentes tipos de compostos orgânicos, inorgânicos e biológicos, dentre outros.

Um cromatógrafo líquido é composto basicamente por (Figura 5a):

- 1) bomba de fluxo constante;
- 2) injetor;
- 3) coluna;
- 4) forno de coluna;
- 5) detector; e
- 6) integrador.

A bomba mantém uma vazão constante da solução eluente (fase móvel). A amostra é injetada pelo injetor em quantidades muito pequenas (5 a 20 μ L), por meio de uma seringa apropriada. Essa solução é transportada para a coluna onde os diversos componentes da amostra são separados conforme a sua afinidade com o material contido na coluna. Esta é composta por pequenas partículas (3 a 10 μ m) empacotadas com alta pressão em um tubo de aço inoxidável. Esse material consiste geralmente em sílica gel ou resina, o qual chamamos de fase estacionária. O líquido que é transportado através desse meio é denominado fase móvel. Cada componente da amostra injetada

possui uma interação específica entre a fase móvel e a estacionária. Uma interação mais forte entre os compostos e a fase estacionária resultará em um tempo de resposta ou tempo de retenção maior. O inverso proporcionaria um tempo de retenção menor. Os compostos eluídos nessa coluna são identificados por um detector, que pode possuir vários princípios. Os sinais de saída são registrados por um processador de dados. O sinal plotado é chamado de cromatograma, que é registrado por picos (Figura 5b). Os diversos picos registrados são comparados com o tempo de retenção de uma amostra pura padrão e assim o componente é identificado e quantificado conforme a altura ou área desse pico.

Foi utilizado para as análises de resíduo desse experimento um HPLC marca Shimadzu, modelo Class-LC10, com detector de ultravioleta, modelo SPD-10A.

3.8. Preparo das amostras para análise de resíduos dos inseticidas

As amostras, após retiradas do “freezer”, foram espalhadas sobre uma superfície limpa e, em seguida, peneiradas em malha de 2 mm para retirada de pedras, raízes e material mais grosseiro. Foram retiradas subamostras das amostras após peneiradas para determinação da umidade. De posse desse valor foram retirados 50 gramas (peso seco) de cada amostra, sendo em seguida empacotados em sacos plásticos, identificados e novamente acondicionados em “freezer” à espera da análise de resíduo. Esse procedimento foi usado para amostras de solo de ambos os inseticidas.

3.9. Calibração do HPLC para os inseticidas estudados

Como mencionado anteriormente, para cada princípio ativo há uma metodologia própria de extração em função da interação diferenciada entre a

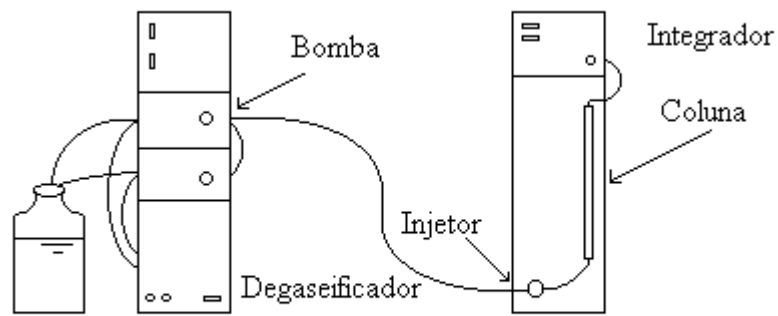


Figura 5a - Esquema simplificado do cromatógrafo líquido (HPLC).

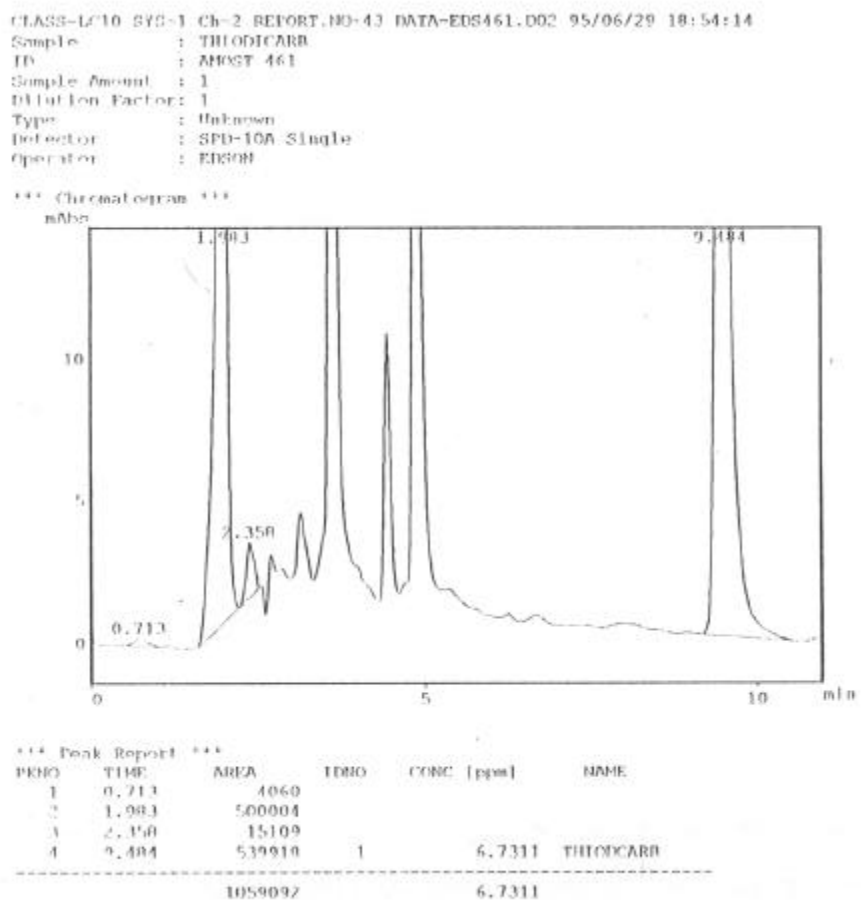


Figura 5b - Esquema simplificado de um cromatograma emitido pelo computador interligado ao HPLC.

molécula do pesticida e a dos reagentes usados como extratores. Essa molécula, uma vez dentro da coluna e submetida à fase móvel, irá se deslocar com maior ou menor rapidez em função da afinidade com a fase estacionária, estabelecendo-se assim o tempo de retenção para cada substância. Por outro lado, a área ou a altura do pico (Figura 5b) naquele tempo de retenção está diretamente relacionada com a concentração da substância.

Neste trabalho optou-se pela quantificação do Carbofuran e do Thiodicarb, utilizando-se a técnica do padrão externo para a calibração do HPLC, a qual consiste em correlacionar a área sob a curva com diferentes concentrações da substância pura.

3.10. Extração dos resíduos dos inseticidas no solo

Para análise de resíduo dos princípios ativos dos inseticidas utilizados procedeu-se à extração dessas substâncias do solo. O procedimento de extração é específico para cada princípio ativo e para cada tipo de material. Isto porque cada substância possui uma forma muito intrínseca de interagir com os vários solventes utilizados como extratores e com cada material, no caso o solo. Nesta extração pode ocorrer uma liberação de outras substâncias que, em maior ou menor número, poderão vir a interferir na análise da substância de interesse, por apresentar picos de uma mesma magnitude, ou muito próximo, ou até mesmo com um idêntico tempo de retenção do pico da molécula que estará sendo analisada.

3.10.1. Metodologia de extração do Thiodicarb no solo

No caso do Thiodicarb, em virtude de não ter sido obtido em literatura, vários métodos de extração foram previamente testados tanto no laboratório de análise de resíduo da Rhodia em Paulínea, SP, quanto no laboratório de agroquímica da EMBRAPA, Sete Lagoas. Após sucessivas tentativas de adaptação da metodologia de extração do Thiodicarb em plantas para solo, chegou-se a um “recovery” entre 90 e 100 %. O “recovery” é o resultado obtido

após a fortificação do solo com concentrações conhecidas da substância pura de interesse e sua posterior extração. O resultado do “recovery” é a quantidade detectada pelo HPLC do total aplicado.

3.10.1.1. Extração

As amostras de 50 g (peso seco) foram colocadas em erlenmeyer de 250 mL, onde foram adicionados 150 mL de acetonitrila, e submetidas a uma agitação mecânica por 30 minutos. Após, o material foi filtrado a vácuo em filtros de vidro GF/C. O filtro foi lavado com mais 50 mL de acetonitrila. Em seguida, o material filtrado foi submetido à evaporação do solvente em evaporador rotatório a uma temperatura menor ou igual a 45°C até a secura total. A temperatura não ultrapassou 45°C, para evitar a decomposição da substância. O resíduo foi recuperado com 3 mL de diclorometano e transferido com uma pipeta de Pasteur para um tubo de ensaio, onde foi evaporado à temperatura ambiente e protegido de luz até a secura total. No momento da análise, o resíduo foi recuperado com 5 mL de fase móvel, sendo agitado por um aparelho de ultra-som e filtrado em filtro de membrana de 0,2 µm. Em seguida, a amostra foi injetada no HPLC com auxílio de uma seringa microvolumétrica.

3.10.1.2. Quantificação

Para a quantificação pelo HPLC foram utilizados os seguintes parâmetros recomendados pelos técnicos da RHODIA Agro Ltda e adaptados às condições do laboratório de agroquímica da EMBRAPA de Sete Lagoas:

coluna: C-18 modelo Zorbax ODS (4,6 mm x 25 cm) marca DuPont e porosidade de 5 µm;

eluente ou fase móvel: água-acetonitrila, proporção 65:35;

vazão: 1mL/min;

volume de injeção: 10 µL;

detector: ultravioleta a 233 nm; e
tempo de retenção: cerca de 8 minutos.

3.10.2. Metodologia de extração do Carbofuran no solo

Para o Carbofuran, apesar de já se ter uma metodologia específica para sua extração em solo (MORI et al., 1987), adaptações foram necessárias, pois a metodologia original era muito extensa, necessitando de um número e quantidade muito grande de solventes, demandando também muito tempo, o que tornaria as análises de custo elevado, em razão do grande número de amostras a serem analisadas para esse experimento. Essa adaptação também proporcionou um “recovery” acima de 90%.

3.10.2.1. Extração

Para o Carbofuran seguiu-se a marcha de extração do Thiodicarb, porém com algumas exceções: para filtragem da mistura Solo-Acetonitrila foi utilizado filtro Whatman n° 5 e a temperatura do banho-maria durante a evaporação do solvente não poderia ser superior a 35°C.

3.10.2.2. Quantificação

Para a quantificação do Carbofuran no HPLC foram utilizados os seguintes parâmetros (MORI et al. 1987)

coluna: C-18 modelo Zorbax ODS (4,6 mm x 25 cm) marca DuPont e porosidade de 5 µm;

eluente ou fase móvel: água-acetonitrila (50:50);

vazão: 1mL/min;

volume de injeção: 10 µL;

detector: ultravioleta a 280 nm; e

tempo de retenção: cerca de 5 minutos.

Antes de serem iniciadas as análises de resíduo das amostras coletadas, foi realizado o teste denominado “branco” com amostras de solo coletadas dentro da área experimental e nas mesmas profundidades, isto é, de 5 em 5 cm até a profundidade máxima de 50 cm. Foram feitas extrações para cada profundidade, utilizando-se as metodologias de extração dos princípios ativos, conforme citado. Foram feitas três repetições para cada profundidade. Esta medida visava detectar possíveis resíduos desses mesmos inseticidas que viessem a interferir nos resultados finais.

3.11. Análise estatística

Para a análise estatística dos dados, foram feitas análises de regressão, utilizando-se o programa “TBC”, que permite o ajuste de 216 funções diferentes de regressão. Para o ajuste das funções, consideraram-se como variável dependente os resíduos dos inseticidas no solo (μg) e como variável independente a profundidade (cm) em que os resíduos foram medidos. Para a escolha das equações com melhor ajuste, foram utilizados como critérios de precisão o coeficiente de determinação ajustado (R^2) e o coeficiente de variação (C.V.). Além disso, foi realizada uma análise gráfica dos resíduos das equações ajustadas, de modo a observar a adequacidade da curva ao fenômeno estudado e detectar erros de pressuposição relativos à equação de regressão. Vale ressaltar que, para equações com diferentes graus de precisão, optou-se sempre para as equações de menor grau de complexidade, tornando-as assim de uso mais simples. Para melhor comparação entre os tratamentos, foi utilizado o critério das curvas de resposta, conforme proposto por ALVARES V. (1985) para experimentos com solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Composição química do solo

Pelo Quadro 1 pode-se observar que a camada de 0 a 30 cm apresentou maior homogeneidade que a camada de 30 a 50 cm. Esse comportamento pode ser verificado para os valores de saturação de bases, CTC, saturação de alumínio e, principalmente, para o teor de matéria orgânica. Os baixos valores de CTC efetiva são indicativos de um solo com alto grau de intemperização, com predominância de argilas de baixa atividade e com grande potencial para lixiviação de cátions.

O solo apresentou altos conteúdos de matéria orgânica, pelo menos nos 30 primeiros centímetros, indicando ser ela a principal fração envolvida na formação de cargas negativas e de trocas de cátions.

Pelo Quadro 1 pode-se observar ainda que o pH do solo apresentou valores entre 5 e 5,6, indicando uma condição ácida. Segundo Black, citado por LOPES (1984), solos que apresentam pH nessa faixa e nessa amplitude possivelmente não proporcionam ionização suficiente dos grupos funcionais da matéria orgânica (Carboxílicos, Fenólicos, Enólicos e Imídicos) para induzir a formação de um grande número de cargas negativas, explicando assim os baixos valores de CTC.

Quadro 1 - Resultados analíticos das características químicas do Latossolo Vermelho-Escuro

Prof.	pH	H + Al	Al	Ca	Mg	K	P	M.O.	Sat. Al	Sat. Base	CTC
(cm)		-----eq. mg/100 cc-----				-----ppm-----			----- % -----		eq. mg/100 cc
0 - 10	5,6	5,95	0,15	3,88	0,77	129	24	4,03	3	97,07	5,13
10 - 20	5,6	6,08	0,15	3,81	0,74	123	26	3,38	3	97,01	5,02
20 - 30	5,3	6,64	0,20	3,78	0,76	127	23	4,00	4	96,05	5,07
30 - 40	5,1	7,42	0,55	2,61	0,58	53	13	3,24	14	85,82	3,88
40 - 50	5,0	8,49	0,90	1,46	0,33	36	10	2,88	32	67,60	2,78

4.2. Características físico-hídricas e granulométricas do solo

Esses dados foram obtidos com o objetivo de auxiliar a interpretação dos resultados. Os valores de densidade aparente, macro e microporosidade, condutividade hidráulica e composição granulométrica encontram-se no Quadro 2, no qual verifica-se um comportamento semelhante aos resultados apresentados no Quadro 1, isto é, maior homogeneidade dos parâmetros na camada de 0 a 30 cm de profundidade, principalmente quando se observam os resultados da classificação textural, valores de macro e microporosidade e condutividade hidráulica.

Na Figura 6 são apresentadas as curvas características de retenção de água no solo obtidas a cada 10 cm de profundidade até o limite inferior de 50 cm, com amostras de solo de estrutura inalterada.

Os maiores valores da curva de retenção de água dos 30 primeiros centímetros deste solo podem estar relacionados à alta porcentagem de microporos e ao maior teor de matéria orgânica, parâmetros esses que conferem uma maior retenção de água no solo. As amostras do solo da profundidade de 10 a 20 cm têm sua curva de retenção com posição invertida em relação à curva de 20 a 30 cm, comportamento esse observado nos Quadros 1 e 2 para os valores de matéria orgânica, densidade aparente e macroporosidade.

Os altos valores de condutividade hidráulica da camada de 30 a 50 cm do solo podem implicar num maior potencial de lixiviação para o lençol freático de pesticidas de maior solubilidade em água (ANDRÉA, 1986).

4.3. Manejo da irrigação

A tabela completa do manejo de irrigação encontra-se no Apêndice 1. O número de irrigações realizadas entre cada amostragem de solo para análise de resíduo variou entre 3 e 4, e os somatórios das lâminas aplicadas encontram-se no Quadro 3. Na primeira irrigação visou-se atingir a capacidade de campo

Quadro 2 - Resultado analítico de granulometria e parâmetros físico-hídricos do Latossolo Vermelho Escuro

Prof. (cm)	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50
Areia grossa (%)	11	11	11	11	11
Areia fina (%)	10	10	10	8	7
Silte (%)	22	24	22	17	18
Argila (%)	57	55	57	64	64
Classificação textural	Argiloso	Argiloso	Argiloso	Muito argiloso	Muito argiloso
Densidade aparente (g/cm ³)	1,08	1,04	1,05	1,01	0,96
Microporosidade (%)	42,46	41,33	41,98	38,96	36,96
Macroporosidade (%)	9,53	13,90	12,70	14,71	19,55
Porosidade total (%)	51,99	55,23	54,68	53,37	56,51
Condutividade hidráulica (cm/h)*	4,34	12,09	4,03	56,20	57,89
Classe da condutividade hidráulica	Moderada	Rápida	Moderada	Muito rápida	Muito rápida

* Valor ajustado para temperatura de 20°C.

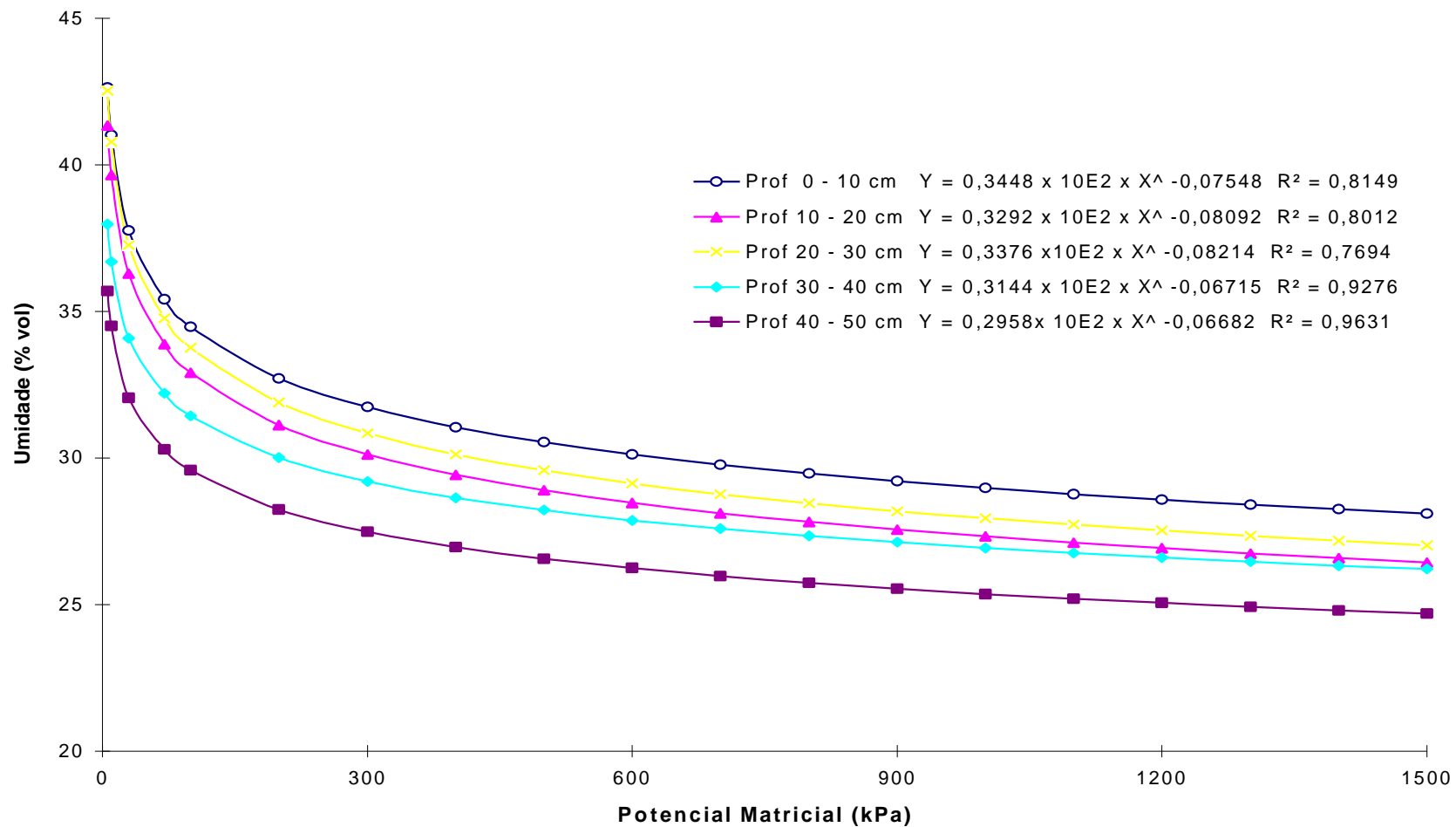


Figura 6 - Curva característica de retenção de água no solo da área experimental a cada 10 cm de profundidade. EMBRAPA/CNPMS. Sete Lagoas, MG.

partindo da umidade do solo do dia anterior ao início do experimento e das características físico-hídricas apresentadas no Quadro 2 e na Figura 6.

Em razão dos altos teores de silte e argila, o solo, após algumas irrigações, apresentou um encrostamento que dificultava a infiltração da água. Em função disso, necessitou-se da realização de uma escarificação da superfície do solo com enxada, o que foi repetido a cada três irrigações para facilitar a penetração da água, evitando, assim, perdas por escoamento superficial. Essas perdas poderiam comprometer os resultados do experimento.

Durante a realização desse trabalho em campo não ocorreu precipitação natural.

Pela Figura 7, tem-se uma visão geral do manejo da irrigação durante todo o experimento. Os valores de lâmina de água no solo representada por essa figura são correspondentes ao total dos primeiros 50 cm. Nos tratamentos submetidos à lâmina deficiente e excessiva ocorreram um déficit hídrico acumulado e um excesso percolado, respectivamente, bastante significativos. Como pode ser observado também na Figura 7, a lâmina deficiente atingiu o fator de disponibilidade da cultura do milho já nos primeiros 25 dias após o plantio. Isso comprometeu o desenvolvimento do milho, o que foi visivelmente

Quadro 3 - Lâminas de água aplicadas na cultura do milho no intervalo entre cada amostragem de solo para análise de resíduo de inseticida no solo

	Lâmina Deficiente (mm)	Lâmina Adequada (mm)	Lâmina Excessiva (mm)
1º Intervalo	10,36	20,72	41,44
2º Intervalo	12,01	24,02	48,04
3º Intervalo	21,39	42,78	85,56
4º Intervalo	28,97	57,95	115,90
TOTAL	72,73	145,48	290,96

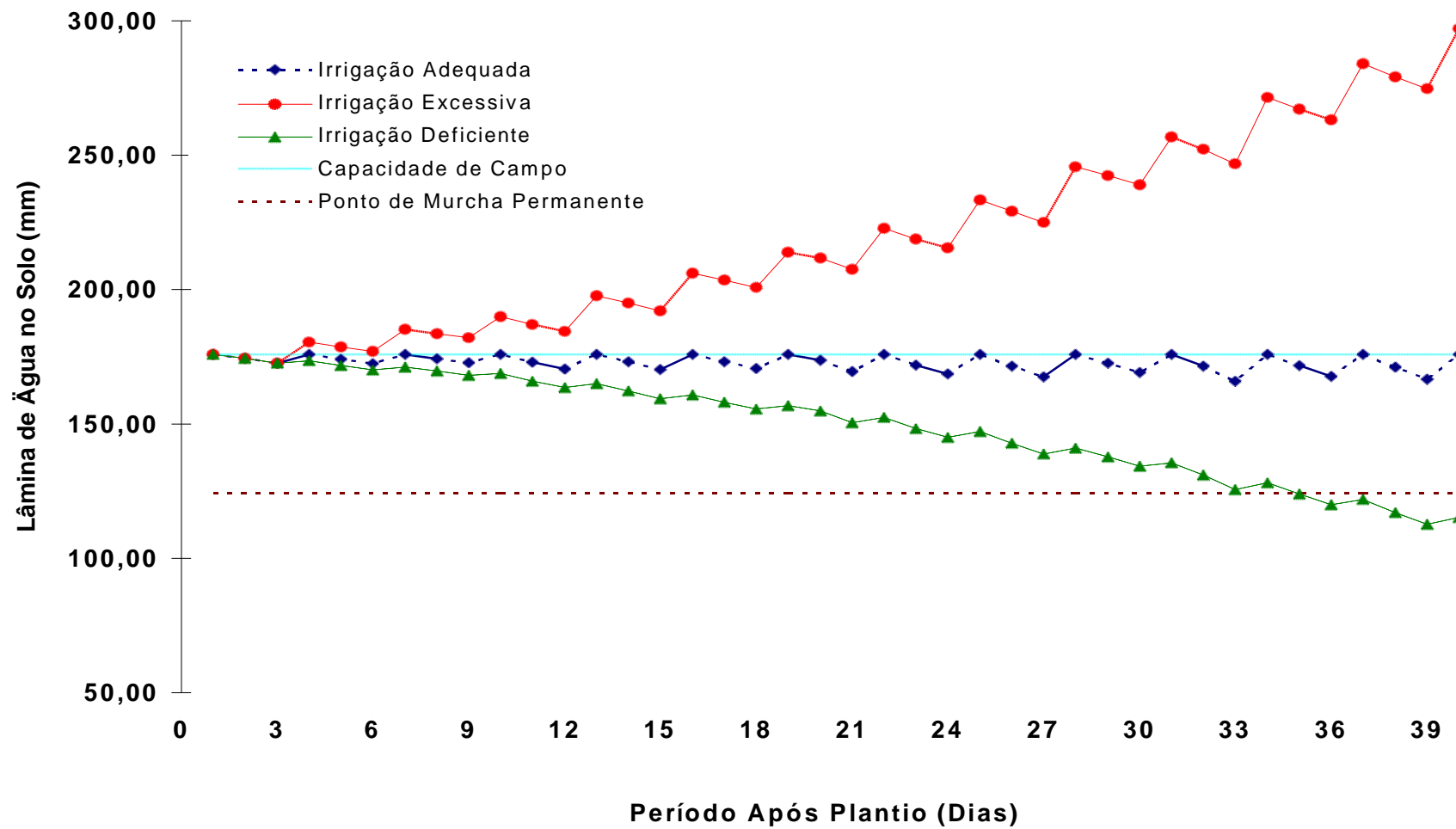


Figura 7 - Manejo da irrigação para a cultura do milho nos primeiros 40 dias após o plantio. EMBRAPA/CNPMS. Sete Lagoas, MG, 1994.

observado no campo. A lâmina aplicada em excesso foi bastante expressiva, proporcionando altas taxas de percolação.

Pelo Quadro 3 e pela Figura 7 verifica-se que, na segunda metade do experimento, houve um aumento da lâmina aplicada em torno de 100% em relação à primeira metade.

4.4. Curvas de calibração do HPLC para o Thiodicarb e Carbofuran no solo

Em razão da homogeneidade encontrada na camada de 0 a 30 cm, diferenciando-a da camada de 30 a 50 cm, houve necessidade de se fazer uma calibração diferenciada do HPLC para essas duas camadas. O mesmo critério foi utilizado para os dois inseticidas. Para a camada mais superficial (0 a 30 cm), utilizaram-se quatro pontos, o que consistiu na fortificação de amostras de solo de 50 g com soluções do inseticida de 0,1; 0,5; 5,0 e 10 ppm em três repetições por ponto. Nessa camada do solo foi previsto resultados nessas faixas de concentrações (Figura 8), com base nos testes preliminares com amostras do experimento. Já para a camada de 30 a 50 cm, utilizaram-se os pontos 0,1; 0,5; 1,0; e 5,0 ppm, com três repetições cada (Figura 9). A previsão era de que nessa camada a recuperação dos resíduos não ultrapassasse concentrações superiores a 5,0 ppm. Essas previsões foram baseadas no potencial de absorção dos inseticidas pelas plantas e na meia vida dos princípios ativos.

A maior recuperação dos inseticidas na camada de 30 a 50 cm, quando comparada à camada de 0 a 30 cm, conforme mostrado pelas Figuras 8 e 9, pode estar relacionada com o menor teor de matéria orgânica observado na camada de 30 a 50 cm. Segundo PUSINO et al. (1994) e CHE et al. (1994), o decréscimo na adsorção dos pesticidas relaciona-se com o decréscimo no conteúdo da matéria orgânica do solo. Segundo CHE et al. (1994), os ácidos húmicos, que são parte integrante da matéria orgânica, possuem maior afinidade pelos pesticidas que as argilas. Por isso, a camada de 30 a 50 cm, mesmo apresentando maiores teores de argila do que a

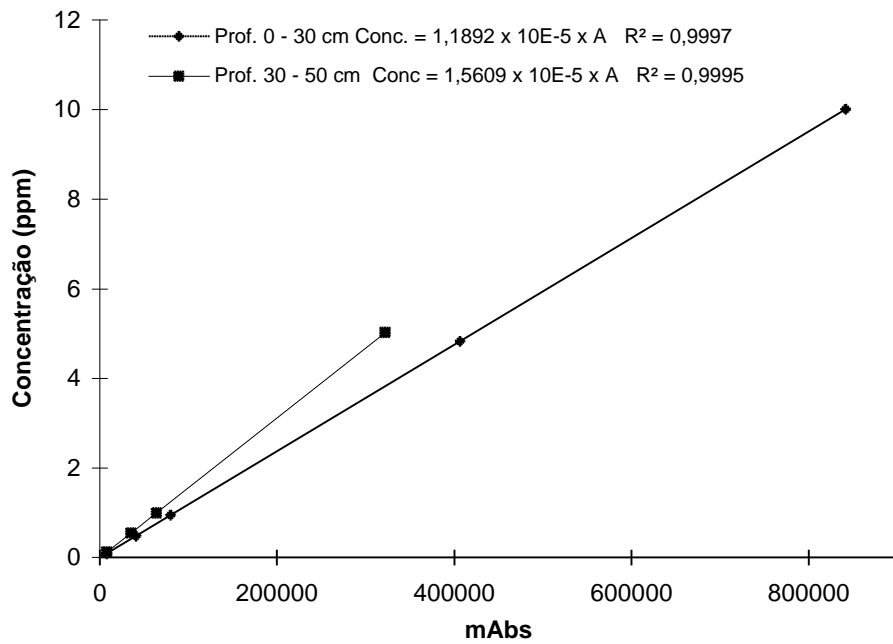


Figura 8 - Curva de calibração do HPLC para o Thiodicarb em solo.

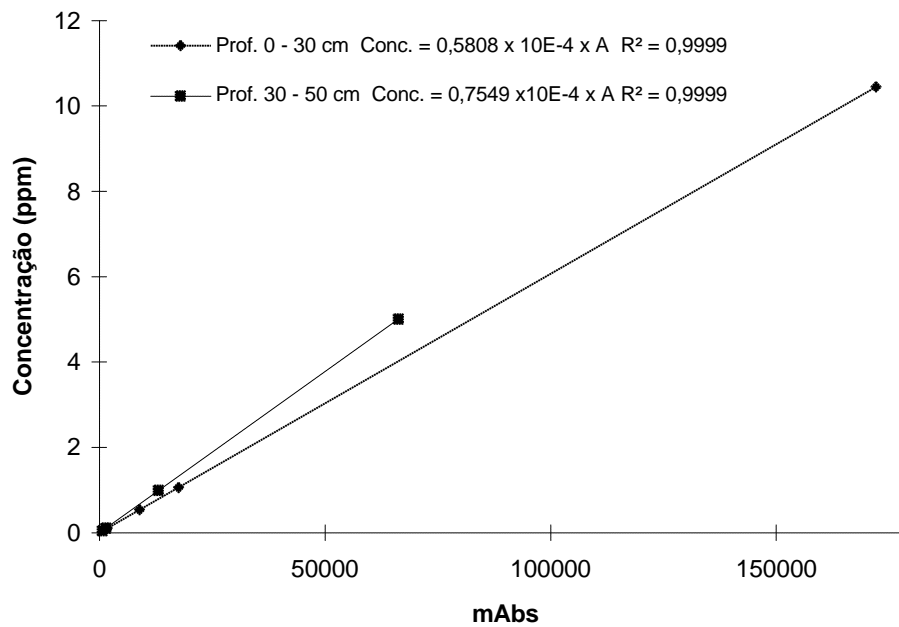


Figura 9 - Curva de calibração do HPLC para o Carbofuran em solo.

camada de 0 a 30 cm (Quadro 2), não representou maior importância no processo de adsorção, por ser de baixa atividade, constituída provavelmente por Caulinita e, ou, Óxidos de Ferro e Alumínio.

4.5. Avanço de umidade no solo

A frente de umedecimento no solo, proporcionada pelas irrigações, só não ultrapassou o limite do intervalo experimental da profundidade (50 cm) nos tratamentos submetidos à lâmina deficiente. Nos demais, ultrapassou o limite estudado pelo menos uma vez após a realização de pelo menos três irrigações. Esses resultados nos possibilita fazer uma série de inferências com relação ao maior ou menor deslocamento dos inseticidas no perfil do solo. Esses valores podem ser observados no Apêndice 2.

4.6. Análise de resíduo

Considerando a concentração dos inseticidas, as doses recomendadas pelos fabricantes e a peneira da semente de milho utilizado, estima-se que cada semente tenha capacidade de adsorver em torno de 2.100 µg do princípio ativo dos inseticidas. Espera-se, no entanto, que a maior parte do total aplicado seja absorvida pelo sistema radicular do milho, possibilitando, assim, maior eficácia no controle das pragas.

4.6.1. Resíduo do Thiodicarb no solo

Os valores residuais do Thiodicarb obtidos para os diferentes tratamentos em Latossolo Vermelho-Escuro são apresentado no Quadro 4. Os valores apresentados nos Quadros 4 e 5 representam o total (em µg) detectado por amostra de 50 g de solo.

Quadro 4 - Valores residuais do Thiodicarb (em μg) no Latossolo Vermelho Escuro para as três lâminas de irrigação e quatro amostragem de solo (média de três repetições).

Lâmina Deficiente				
Prof. (cm)	1° amostragem 10 dap	2° amostragem 20 dap	3° amostragem 30 dap	4° amostragem 40 dap
5	9,28	5,81	n.d.	n.a.
10	74,76	0,34	n.d.	n.a.
15	0,54	0,44	n.d.	n.a.
20	0,16	0,25	n.d.	n.a.
25	n.d.	0,15	n.d.	n.a.
30	n.d.	n.d.	n.a.	n.a.
35	n.d.	n.d.	n.a.	n.a.
40	n.d.	n.d.	n.a.	n.a.
45	n.d.	n.d.	n.a.	n.a.
50	n.d.	n.d.	n.a.	n.a.
Total	84,74	6,98	0	0

Lâmina Adequada				
Prof. (cm)	1° amostragem 10 dap	2° amostragem 20 dap	3° amostragem 30 dap	4° amostragem 40 dap
5	36,49	5,58	2,91	0,98
10	0,03	1,19	0,64	0,25
15	0,06	0,38	0,17	0,08
20	0,07	0,18	0,05	0,06
25	0,09	0,24	0,05	0,02
30	n.d.	0,14	n.d.	n.d.
35	n.d.	0,21	n.d.	n.d.
40	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
45	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Total	36,74	7,92	3,82	1,40

Lâmina Excessiva				
PROF. (cm)	1° amostragem 10 dap	2° amostragem 20 dap	3° amostragem 30 dap	4° amostragem 40 dap
5	17,90	9,47	7,72	3,02
10	0,76	0,30	0,23	0,17
15	0,21	0,23	0,20	0,14
20	0,03	0,17	0,14	0,21
25	0,04	0,11	0,08	0,15
30	n.d.	0,18	0,06	0,20
35	n.d.	0,18	0,04	0,14
40	n.d.	n.d.	0,03	0,06
45	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Total	18,95	10,64	8,30	4,09

dap = Dias após plantio.

n.d. = Não detectado.

n.a. = Não analisado.

Para a lâmina deficiente, não foram detectados resíduos do Thiodicarb após a segunda amostragem. O baixo volume de água aplicado nesse tratamento não possibilitou um maior deslocamento do princípio ativo no perfil do solo, fazendo com que esse se concentrasse na parte superficial do mesmo, ficando, assim, mais exposto à foto e biodegradação, uma vez que essa camada apresenta maior atividade microbiológica, por apresentar melhores condições para a aerobiose. O Thiodicarb, por ser instável à luz do Sol (TOMLIN, 1994), fica mais susceptível à fotólise nas camadas mais superficiais do solo.

Para os tratamentos submetidos às lâminas adequadas e excessivas, o comportamento do Thiodicarb no solo foi semelhante entre si. Apesar do maior volume de água aplicada nesses tratamentos, não houve grande deslocamento do princípio ativo. Porém, a lâmina excessiva proporcionou um deslocamento do Thiodicarb à profundidade um pouco maior que a lâmina adequada, mesmo assim não atingindo profundidade superior a 40 cm.

Semelhantemente à lâmina deficiente, os tratamentos submetidos às lâminas adequadas e excessivas apresentaram maiores concentrações do Thiodicarb nas camadas mais superficiais. Isso pode ser explicado pela sua baixa solubilidade em água, 35 mg/L a 25°C (TOMLIN, 1994), e maior adsorção de suas moléculas pela matéria orgânica do solo que, para esse caso, se apresentou maior nas camadas mais superficiais. A diminuição da recuperação do princípio ativo com as amostragens nas camadas mais superficiais pode ser explicada também pela foto e biodegradação e, possivelmente, pela maior absorção pelo sistema radicular da planta.

Conforme comportamento do Thiodicarb no solo, no que se refere à lixiviação, pode-se verificar pelo Quadro 4 um baixo risco de contaminação do lençol freático, por ele ter-se concentrado principalmente nos primeiros 25 cm do solo.

4.6.2. Resíduo do Carbofuran no solo

As quantidades residuais do Carbofuran obtidas para os diferentes tratamentos em Latossolo Vermelho-Escuro são apresentadas no Quadro 5.

Para a lâmina deficiente, nos tratamentos com o Carbofuran o comportamento foi semelhante ao Thiodicarb no que se refere à detecção de resíduos após a segunda amostragem, pois também não houve detecção de resíduos nesta fase do experimento. Apesar de o Carbofuran apresentar maior solubilidade em água, 320 mg/L a 25°C, que o Thiodicarb (TOMLIN, 1995), o volume aplicado na segunda metade do experimento não foi para esse tratamento suficiente para proporcionar maior lixiviação desse princípio ativo, fazendo com que o pouco percolado possa ter sido degradado biologicamente nas camadas mais superficiais, não possibilitando, dessa forma, a sua detecção.

Os resultados obtidos neste experimento contrariaram as observações de KUMARI et al. (1988) para o Carbofuran, o qual verificou que para a lixiviação desse princípio ativo no solo haveria a necessidade de aplicação de altas lâminas de água.

Para todos os tratamentos com o Carbofuran verificou-se uma lixiviação de maiores concentrações desse princípio ativo e a maiores profundidades quando comparados com o Thiodicarb (Quadros 4 e 5). Explicações possíveis para este fato é que o sistema radicular do milho pode ter sido mais eficiente na absorção do Thiodicarb, a microfauna pode ter sido mais específica na degradação do Thiodicarb e o caráter ácido do solo proporcionou maior hidrólise da molécula do Thiodicarb.

De acordo com PIFFER (1989), o movimento no solo de compostos não-voláteis ocorre, principalmente, por fluxo de massa. O Carbofuran, por apresentar maior solubilidade, pode ter acompanhado a frente de umedecimento da água no solo, atingindo as camadas de maior condutividade hidráulica (Quadro 2), e ter sido lixiviado a profundidades maiores do que as estudadas. Conforme sugestões de KLADIVKO et al. (1991), o Carbofuran pode ter utilizado pontos na superfície do solo como uma passagem

Quadro 5 - Valores residuais do Carbofuran (em µg) no Latossolo Vermelho-Escuro para as três lâminas de irrigação e quatro amostragens de solo (média de três repetições)

Lâmina Deficiente				
Prof. (cm)	1° amostragem 10 dap	2° amostragem 20 dap	3° amostragem 30 dap	4° amostragem 40 dap
5	47,26	51,80	n.d.	n.a.
10	4,53	2,81	n.d.	n.a.
15	10,53	1,85	n.d.	n.a.
20	3,35	1,99	n.d.	n.a.
25	4,62	2,51	n.d.	n.a.
30	1,97	2,70	n.a.	n.a.
35	1,32	2,07	n.a.	n.a.
40	1,42	1,84	n.a.	n.a.
45	0,25	n.d.	n.a.	n.a.
50	n.d.	n.d.	n.a.	n.a.
Total	75,25	67,56	3,82	1,40

Lâmina Adequada				
Prof. (cm)	1° amostragem 10 dap	2° amostragem 20 dap	3° amostragem 30 dap	4° amostragem 40 dap
5	137,80	16,31	9,27	6,09
10	4,69	6,60	4,53	4,40
15	4,31	5,41	4,32	3,56
20	3,55	4,28	3,54	3,36
25	3,31	3,59	2,91	1,59
30	2,75	4,18	2,97	2,41
35	1,92	3,86	3,66	1,69
40	0,93	2,84	2,31	1,13
45	0,85	1,10	0,20	n.d.
50	n.d.	1,51	0,17	n.d.
Total	160,11	49,71	34,65	24,55

Lâmina Excessiva				
PROF. (cm)	1° amostragem 10 dap	2° amostragem 20 dap	3° amostragem 30 dap	4° amostragem 40 dap
5	100,8	13,86	10,78	7,93
10	40,42	10,13	2,47	4,13
15	9,12	7,37	3,27	3,36
20	6,55	4,54	2,22	2,80
25	3,84	4,01	1,83	2,11
30	3,19	3,67	2,40	2,24
35	3,53	3,75	2,37	3,08
40	2,06	3,23	3,24	2,04
45	1,73	1,40	1,81	1,30
50	1,38	0,91	1,58	n.d.
Total	172,63	52,88	31,98	29,00

dap = Dias após plantio.

n.d. = Não detectado.

n.a. = Não analisado.

secundária (by pass) nos sítios de adsorção, ultrapassando assim os primeiros 50 cm do solo. Isso pode ser verificado no Quadro 5 para os tratamentos submetidos às lâminas adequada e excessiva, nos quais o volume de água aplicado foi grande. Porém, não se pode afirmar sobre uma possível contaminação do lençol freático pelo Carbofuran, em razão da grande profundidade em que se encontra o mesmo para a classe de solo da área experimental. Para tais afirmações torna-se necessário um monitoramento do movimento do inseticida e do deslocamento da frente de umedecimento a uma profundidade ainda maior.

Para GHODRATI et al. (1992), a lixiviação do pesticida no solo é significativamente menor que a percolação da água, em razão da adsorção pela matéria orgânica e pela superfície dos minerais do solo. Porém, o Carbofuran atingiu profundidades que, aparentemente, acompanharam a frente de umedecimento do solo.

O comportamento do Carbofuran e o do Thiodicarb corresponderam às afirmativas de ANDREA (1986) de que, conforme a quantidade de água fornecida, um composto de alta hidrossolubilidade desloca-se mais no perfil do solo do que um de baixa hidrossolubilidade.

Conforme observado nos Quadros 4 e 5, houve acentuada redução do resíduo do Carbofuran e do Thiodicarb nas camadas mais superficiais com o aumento dos dias após o plantio. Esse fato pode ser explicado pela degradação do princípio ativo; maior absorção pelo sistema radicular do milho, que por sua vez também aumentava de volume com o tempo, e maior lixiviação no perfil do solo.

A baixa lixiviação desses inseticidas de tratamento de sementes pode também ser explicada pela maneira que eles são produzidos, isto é, com a utilização de uma cola que procura reter o princípio ativo mais próximo da semente, fazendo com que seja absorvido em grande parte pela plântula. Com isso, uma fração do total aplicado e não absorvido pela planta pode ter permanecido colada à semente ou ter sofrido um processo de degradação no solo, seja químico ou biológico, antes mesmo da primeira amostragem.

A grande quantidade de água percolada (Figura 7) para os tratamentos de lâmina excessiva pode ser comparada com os projetos de irrigação superdimensionados ou com o manejo inadequado, como ocorre muitas vezes

com os pivot centrais. A utilização de pesticidas tanto de tratamento de sementes como aqueles aplicados via fertirrigação nessas condições pode representar um sério risco de contaminação do lençol freático quando o solo não apresentar condições satisfatórias de adsorção ou mesmo quando o pesticida utilizado for de grande solubilidade em água.

4.7. Análise estatística

As estatísticas das equações selecionadas são apresentadas nos Quadros 6 e 7. Para o tratamento relativo à lâmina deficiente e à primeira coleta de amostra de solo com resíduo do Thiodicarb não se conseguiu ajustar uma curva que explicasse satisfatoriamente o fenômeno, pois não ocorreu uma variação bem definida da concentração em função da profundidade. Isso pode ser explicado pelo baixo volume de água aplicada nas três primeiras irrigações que precederam a amostragem, fazendo com que o inseticida se concentrasse na superfície do solo. As curvas ajustadas para esse tratamento apresentaram baixos valores de R^2 ($< 0,40$), altos valores de C.V. e valores de F calculado não significativos para a regressão.

Como pode ser observado nos Quadros 6 e 7, para todos os ajustes houve alto R^2 , significando que as equações obtidas explicam, de forma aceitável, o fenômeno ocorrido. Consideraram-se como precisão aceitável os ajustes que apresentaram F significativo, R^2 acima de 90% e ausência de tendenciosidade dos resíduos. Os altos valores do coeficiente de variação podem ser explicados, em parte, pelo uso de poucos pontos no ajuste das equações.

A representação das curvas de reposta tem como base as estimativas \hat{y} plotadas sobre um plano fatorial. A relação fator-resposta, no caso profundidade-concentração do resíduo, é expressa por modelos aproximativos

Quadro 6 - Parâmetros das equações de regressão do Thiodicarb

Equação	β_0	β_1	β_2	R^2	CV (%)
Thio1_1	-----	-----	-----	----	
Thio2_1 ¹	4,32995044	-202,852234	1811,078596	99,11	33,61
Thio3_1 ¹	-0,06890768	106,8666519	-----	99,96	17,88
Thio1_2 ¹	0,091516179	58,56574363	-----	99,39	55,39
Thio2_2 ²	0,110096828	-6,00106657	166,7091543	99,81	36,56
Thio3_2 ¹	0,119900911	72,57673014	-----	99,57	42,55
Thio2_3 ²	0,009112361	-2,81087805	86,71414598	99,93	43,49
Thio3_3 ¹	0,08861688	66,0568617	-----	99,64	46,25
Thio2_4 ²	-0,02067684	0,158529566	24,26013975	99,90	75,94
Thio3_4 ¹	0,211196762	37,50304034	-----	98,84	79,32

¹ $Conc. = (\beta_0 + \frac{\beta_1}{Prof^2})^2 + \varepsilon$ ² $Conc. = \beta_0 + \frac{\beta_1}{Prof} + \frac{\beta_2}{Prof^2} + \varepsilon$

Quadro 7 - Parâmetros das equações de regressão do Carbofuran

Equação	β_0	β_1	β_2	R^2	CV (%)
Carb1_1 ¹	1,148437168	144,9819035	-----	96,10	39,81
Carb2_1 ¹	0,80695235	266,8959528	-----	99,40	21,97
Carb3_1 ¹	-37,9789914	0,554630118	682,6407741	99,08	19,86
Carb1_2 ¹	0,795311813	156,7096637	-----	99,09	23,73
Carb2_2 ²	1,363684518	47,42632431	133,2637636	96,53	40,85
Carb3_2 ²	-1,16446518	149,4369754	-371,419844	97,63	13,33
Carb2_3 ³	3,493	-0,06399	28,25	89,99	24,79
Carb3_3 ²	2,821545838	-30,5766652	349,5065342	94,82	21,97
Carb2_4 ³	4,429	-0,09393	10,40	93,60	20,23
Carb3_4 ²	0,597600573	42,63430518	-31,6323369	89,38	26,81

¹ $Conc. = (b_0 + \frac{b_1}{Prof^2})^2 + e$ ² $Conc. = \beta_0 + \frac{\beta_1}{Prof} + \frac{\beta_2}{Prof^2} + \varepsilon$
³ $Conc. = b_0 + b_1 \times Prof + \frac{b_2}{Prof} + e$

que se darão por uma série de observações. As Figuras 10 a 15 apresentam as curvas ajustadas para todos os tratamentos.

As respostas dos ajustes apresentados pelas Figuras 10 a 15 ocorrem de forma dependente de várias condições do solo, como teor de matéria orgânica, textura, estrutura, umidade inicial, condutividade hidráulica, etc. Porém, para os dois inseticidas estudados verificou-se tendência de curva de resposta assintótica com a ausência do ponto de inflexão, o que não permite determinar pontualmente valores de máximo ou mínimo, optando-se por utilizar os valores de máximo e mínimo pertencentes ao intervalo experimental, de modo a evitar extrapolações.

Pelos Quadros 8 e 9 pode-se verificar que o Carbofuran apresentou valores maiores de resíduo no solo para todos os tratamentos testados quando comparados com o Thiodicarb. Isso pode ser explicado pela maior eficiência de absorção do Thiodicarb pelo sistema radicular da cultura do milho e sua menor solubilidade em água, ficando assim menos susceptível à lixiviação proporcionada pela frente de umedecimento do solo. Para as lâminas adequada e excessiva, observa-se um sensível decréscimo nos valores estimados para os pontos de máximo (5 cm) com o aumento dos dias após plantio. O mesmo não ocorre com os valores dos pontos de mínimos, estimados dentro do intervalo experimental pelo acréscimo do princípio ativo proporcionado pela lixiviação ao longo do perfil do solo. Para ambos os inseticidas, os tratamentos submetidos à lâmina excessiva atingiram o ponto de mínimo 40 dias após o plantio (4^o amostragem), com concentrações maiores que a lâmina adequada.

Com relação ao turno de rega utilizado nesse experimento, não se pode afirmar que a aplicação de pequenas lâminas de irrigação no início do desenvolvimento da cultura seria um manejo mais adequado para se reduzir ainda mais a lixiviação não só desses inseticidas estudados, mas de qualquer outro que venha a apresentar um comportamento mais comprometedor com relação à contaminação ambiental. Como pôde ser observado, essas pequenas lâminas proporcionaram maior debilitação da cultura do milho, comprometendo o seu desenvolvimento e afetando negativamente o seu potencial produtivo.

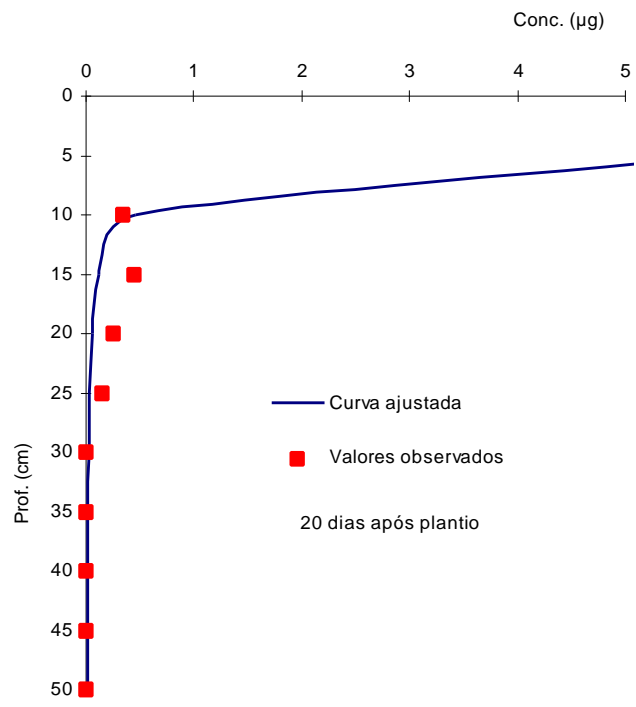


Figura 10 - Curva de resposta da equação ajustada aos dados obtidos para o Thiodicarb no solo sob lâmina deficiente.

w

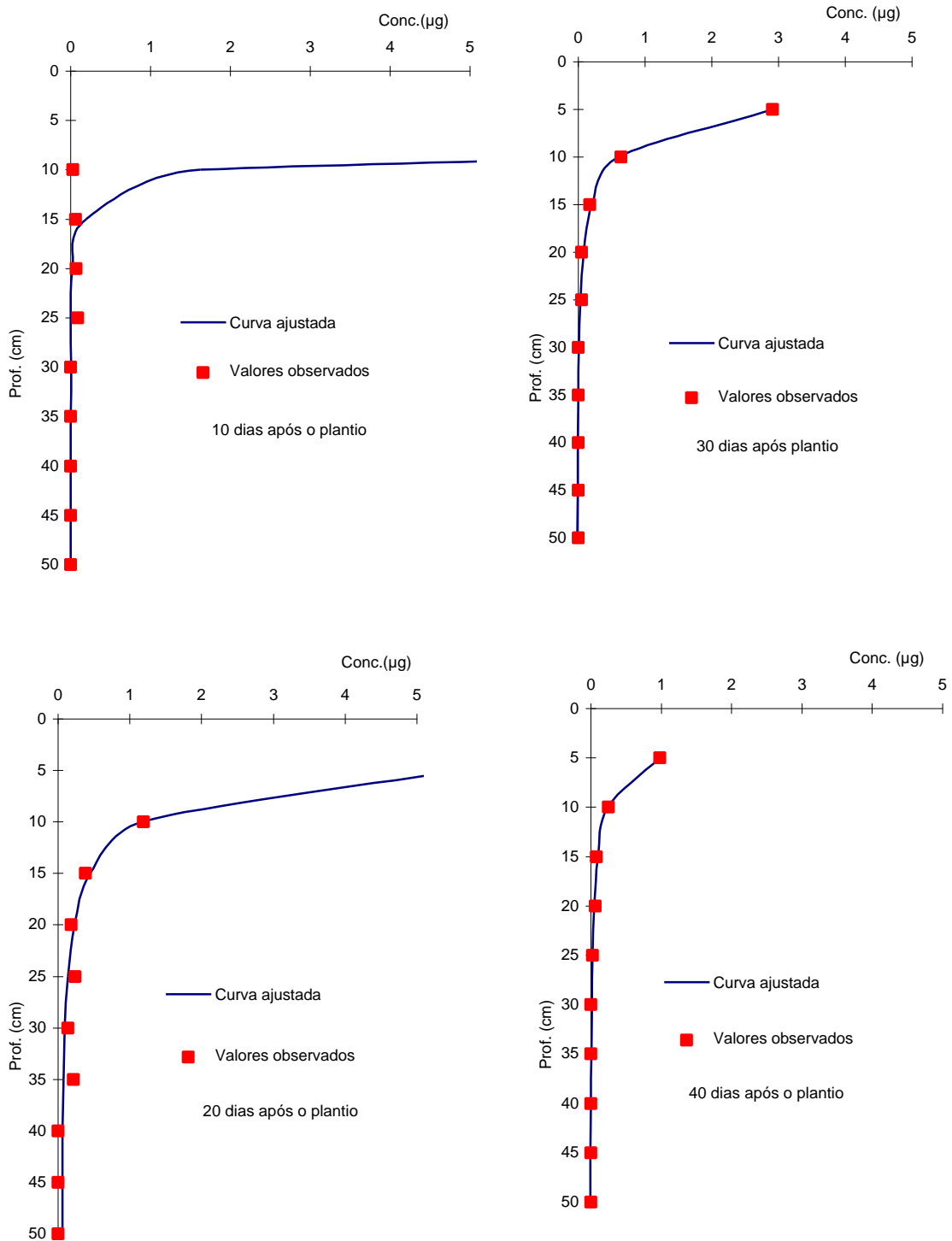


Figura 11 - Curvas de resposta das equações ajustadas aos dados obtidos para o Thiodicarb no solo sob lâmina adequada.

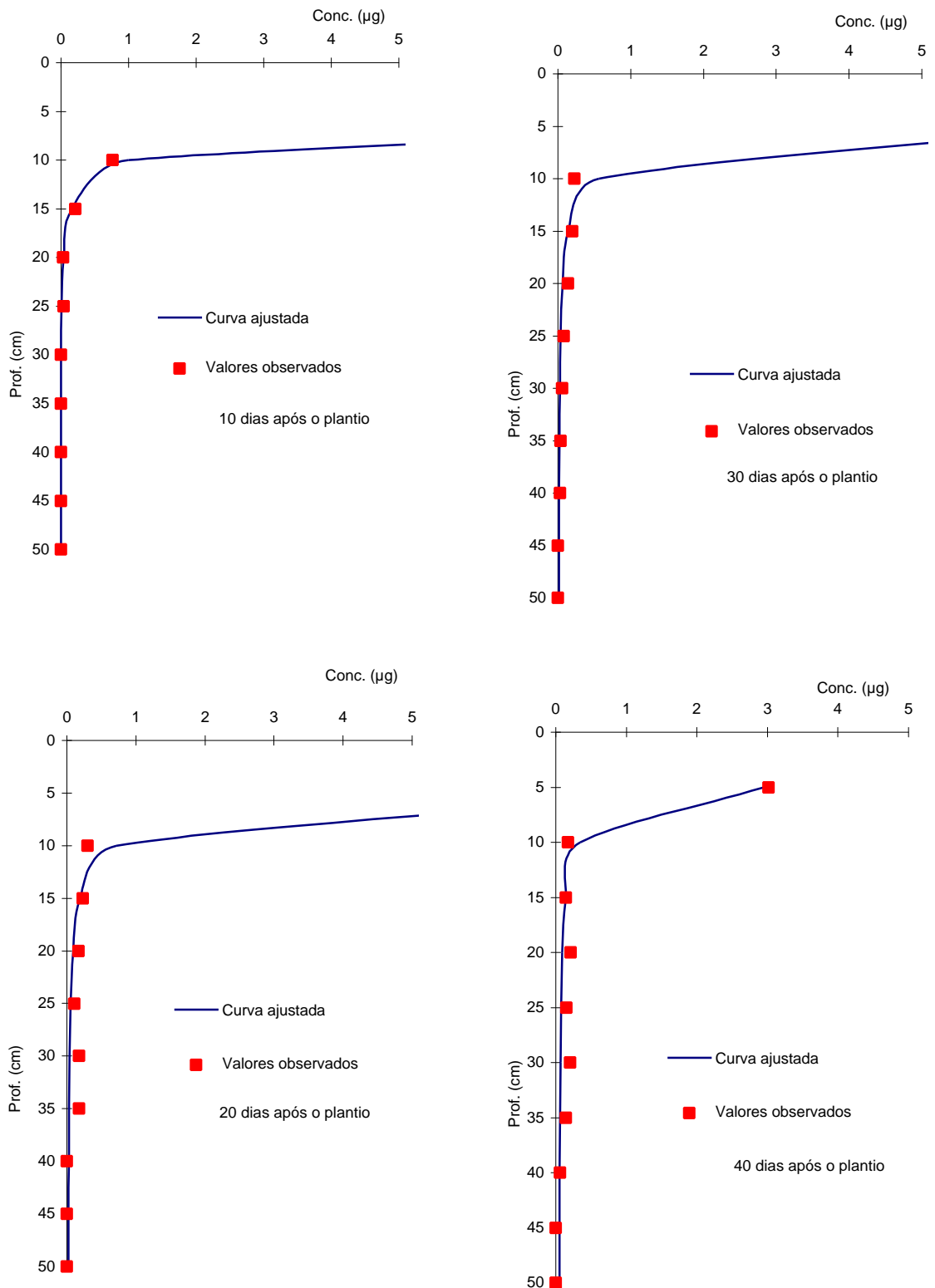


Figura 12 - Curvas de resposta das equações ajustadas aos dados obtidos para o Thiodicarb no solo sob lâmina excessiva.

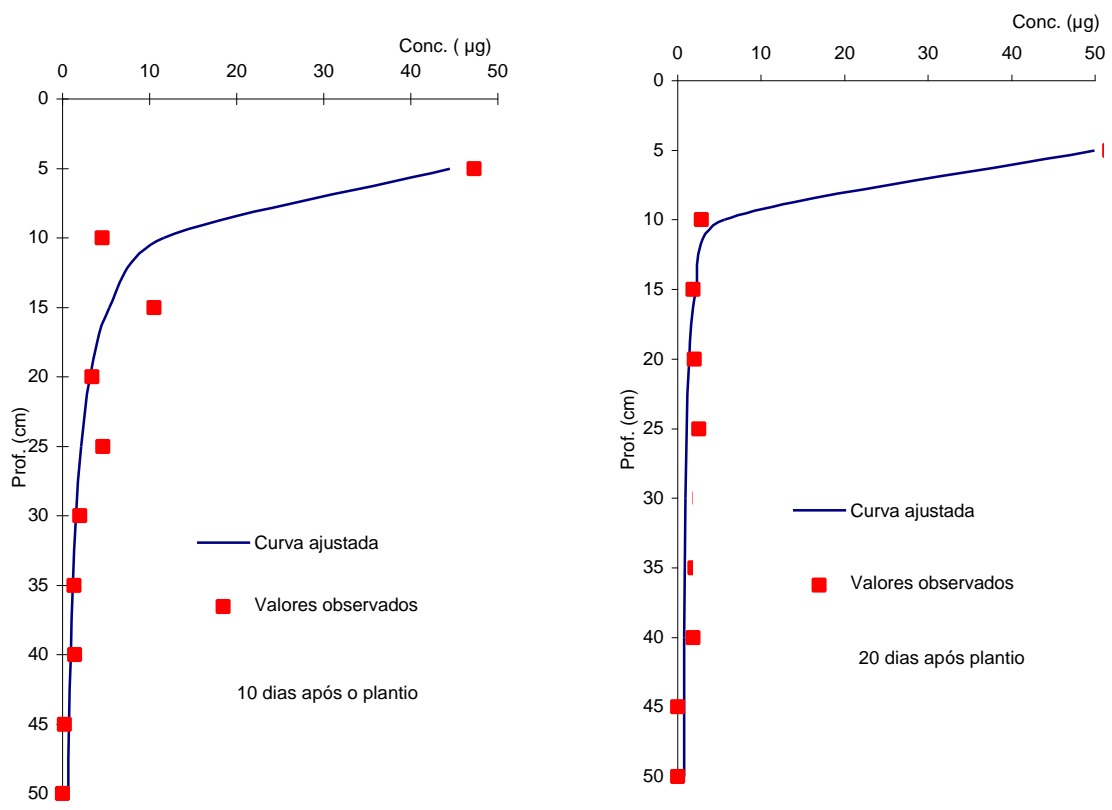


Figura 13 - Curvas de resposta das equações ajustadas aos dados obtidos para o Carbofuran no solo sob lâmina deficiente.

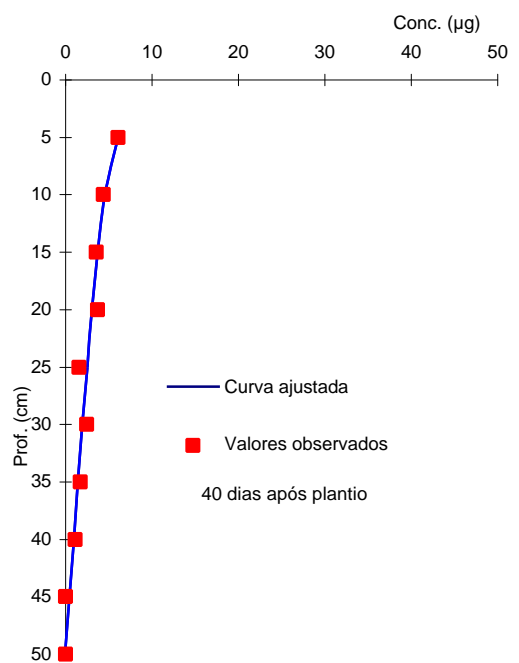
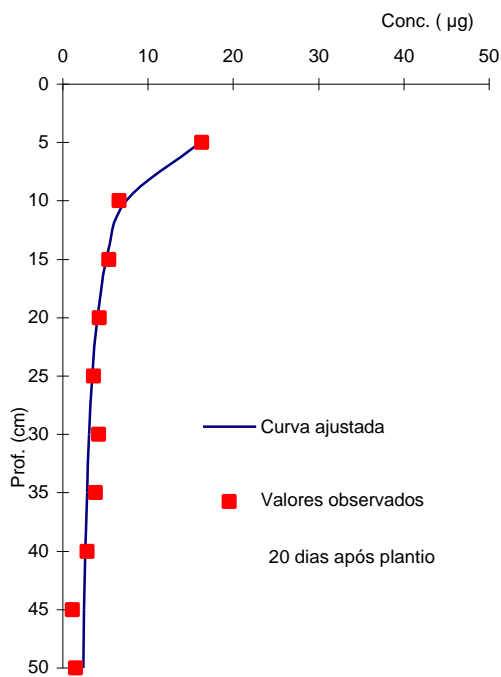
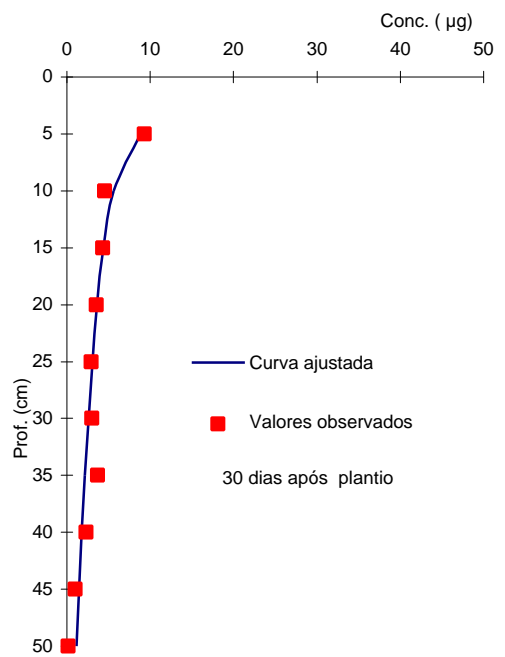
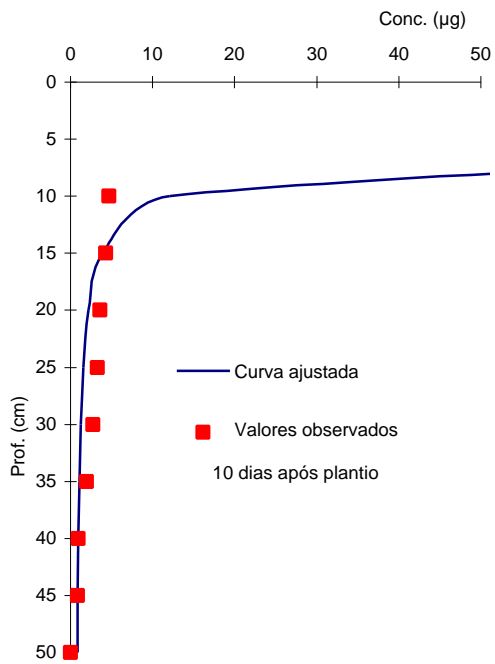


Figura 14 - Curvas de resposta das equações ajustadas aos dados obtidos para o Carbofuran no solo sob lâmina adequada.

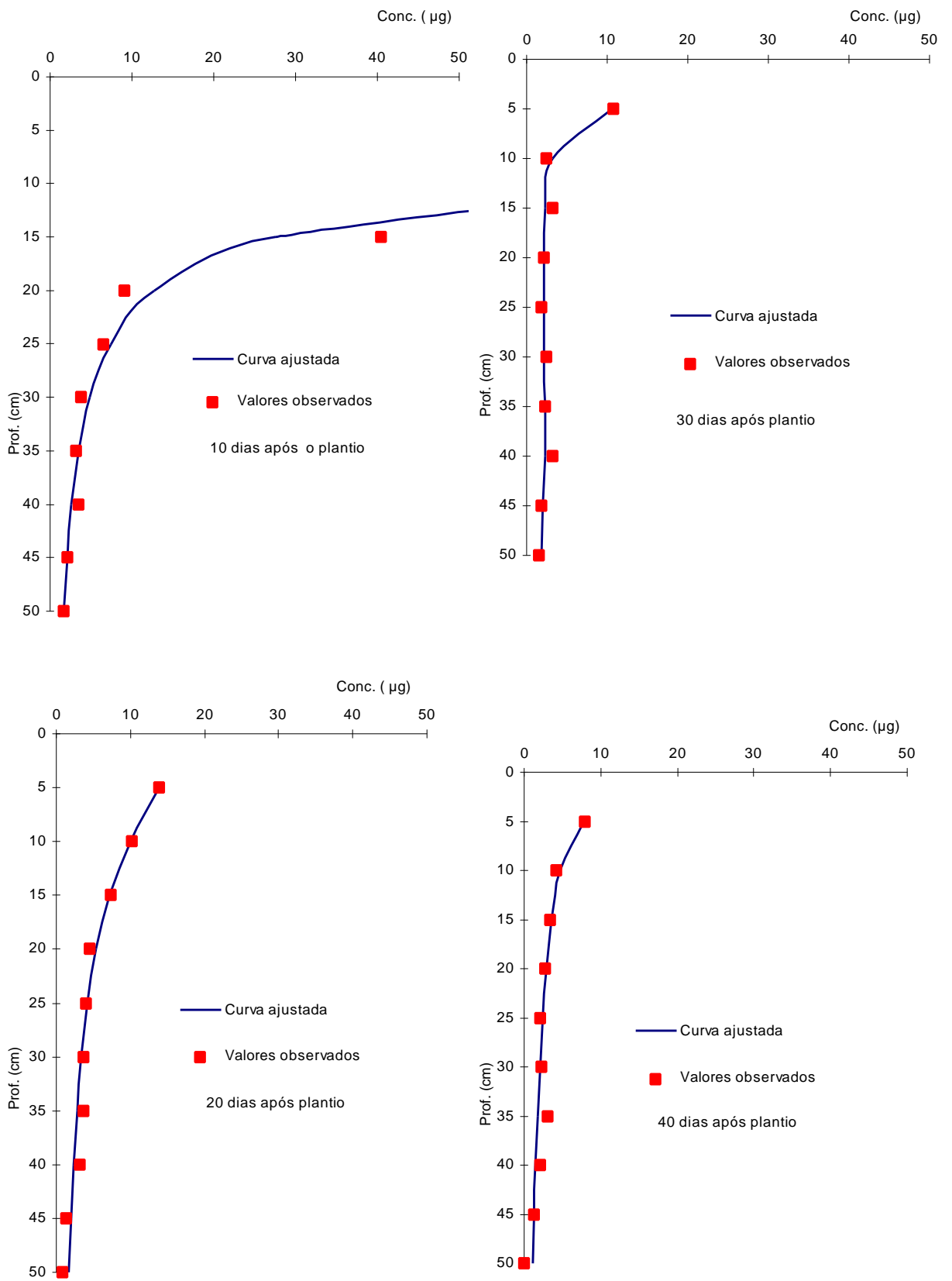


Figura 15 - Curvas de resposta das equações ajustadas aos dados obtidos para o Carbofuran no solo sob lâmina excessiva.

Quadro 8 - Valores de máximos e mínimos estimados para o Thiodicarb utilizando as curvas de respostas (em µg).

DAP (Dias)	Lâmina Deficiente		Lâmina Adequada		Lâmina Excessiva	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
10	n.d.	n.d.	36,20	0,997	17,69	0,00
20	5,93	0,013	5,58	0,057	9,13	0,02
30	n.d.	n.d.	2,92	0,000	7,46	0,01
40	n.d.	n.d.	1,11	0,150	7,86	1,44

n.d. = não-detectados.

Quadro 9- Valores de máximos e mínimos estimados para o Carbofuran utilizando as curvas de respostas (em µg).

DAP (Dias)	Lâmina Deficiente		Lâmina Adequada		Lâmina Excessiva	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
10	48,27	1,46	131,85	0,83	101,32	3,41
20	49,90	0,74	16,18	2,37	13,87	1,68
30	n.d.	n.d.	8,82	0,86	7,46	0,013
40	n.d.	n.d.	6,04	0,00	2,93	0,051

n.d. = não-detectados.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

A agricultura moderna vem utilizando novas tecnologias e insumos que têm contribuído decisivamente para o seu desenvolvimento. A irrigação e o controle de pragas e doenças são imprescindíveis para se obter uma produção rentável e de qualidade. Porém, quando utilizados de forma indiscriminada, os pesticidas aplicados causam impacto na natureza, cujos efeitos não são bem conhecidos. Este trabalho teve como objetivo avaliar o movimento de inseticidas de tratamento de sementes de milho no perfil do solo em áreas irrigadas. Para isso montou-se um experimento no Centro de Pesquisa de Milho e Sorgo CNPMS/EMBRAPA, em Sete Lagoas, utilizando-se três lâminas de irrigação (deficiente, adequada e excessiva) e dois inseticidas de tratamento de semente de milho (Semevin 350 RA (Thiodicarb) e Furadan 350 TS (Carbofuran)). O monitoramento da lixiviação desses inseticidas no solo foi feito em camadas de 5 cm de profundidade e em intervalos de 10 dias a partir do plantio da semente tratada. A análise de resíduo foi feita, utilizando-se cromatografia líquida de alta performance (HPLC).

Do experimento realizado e da análise dos dados pode-se concluir:

- A frente de umedecimento no solo só não ultrapassou o limite do intervalo experimental (50 cm) nos tratamentos submetidos à lâmina deficiente. Isso pode ter proporcionado maior retenção dos inseticidas na superfície do solo nesses tratamentos.

- Os valores de matéria orgânica apresentados pelo solo em estudo foram relativamente altos, o que pode ter influenciado em grande parte na redução da lixiviação dos inseticidas no perfil do solo.

- Os baixos valores da CTC implicam num solo com sua fração argila constituída basicamente por Caulinita e, ou, Óxido de Ferro e Alumínio, colocando a matéria orgânica como o principal fator de adsorção dos inseticidas no solo.

- A lâmina excessiva proporcionou um deslocamento do Thiodicarb à profundidade um pouco maior que a lâmina adequada, porém não possibilitou que esse inseticida ultrapassasse a profundidade de 40 cm.

- O comportamento do Thiodicarb no solo para este experimento e nas condições do solo apresentado implica em baixo risco de contaminação do lençol freático.

- Não foram detectados resíduos dos inseticidas estudados após a segunda amostragem nos tratamentos submetidos à lâmina deficiente.

- Para todos os tratamentos houve maior retenção do princípio ativo dos inseticidas nas camadas mais superficiais do solo.

- Em todos os tratamentos o Carbofuran apresentou maior lixiviação tanto em quantidade quanto em profundidade quando comparado com o Thiodicarb, possivelmente por apresentar maior solubilidade em água e dessa forma, acompanhar a frente de umedecimento proporcionado pelas irrigações.

- Para ambos os inseticidas, ocorreu redução do resíduo nas camadas mais superficiais com o aumento dos dias após o plantio da semente tratada, possivelmente em razão da degradação do princípio ativo por microrganismos, luz (no caso do Thiodicarb), reações enzimáticas, e pela maior absorção pelo sistema radicular do milho, que também aumentava de volume.

- A lâmina excessiva proporcionou maior movimento descendente dos resíduos do perfil do solo para ambos os inseticidas.

- Pelos resultados obtidos para as condições desse experimento não se pode afirmar que o Carbofuran apresentou riscos de contaminação do lençol freático.

- A aplicação de pequenas lâminas de irrigação no início do desenvolvimento da cultura não seria um manejo mais adequado para se

reduzir ainda mais a lixiviação de pesticidas no solo, pois há um comprometimento no processo produtivo da cultura.

- A forma como são produzidos os inseticidas de tratamento de sementes, isto é, com a utilização de uma cola que procura reter o princípio ativo mais próximo da semente, faz com que os mesmos sejam absorvidos em grande parte pela plântula. Com isso, uma fração do total aplicado e não absorvido pode permanecer colada à semente e, ou, sofrer um processo de degradação no solo, reduzindo assim a lixiviação.

- Projetos de irrigação mal dimensionados em solos arenosos e com a utilização de pesticidas altamente solúveis podem representar grande risco de contaminação do lençol freático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, D., ANDREWS, R.S. **Introducción a la cromatografía**. Trad. Miguel Fernández Branã. Ed. Alhambra. Madrid, 1973. 118p.
- ALVAREZ V., V.H. Avaliação da fertilidade do solo (superfícies de respostas - modelos aproximativos para expressar a relação fator- resposta). **Apostila 228**. Viçosa, MG: Impres. Universitária da UFV, 1985. 71p.
- ANDRÉA, M.M. **Metabólitos tóxicos do Dissulfoton: comportamento em feijoeiro, no solo e em solução nutriente**. Piracicaba: ESALQ, 110p. Dissertação (Mestrado em Solos). Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, 1986.
- ARIENZO, M., CRISANTO, T., SÁNCHEZ-MARTIN, M.J., SANCHEZ-CAMAZANO, M. Effect of Soil Characteristics on Adsorption and Mobility of (¹⁴C) Diazinon. **J. Agric. Food Chem.**, n. 42, p.1803-1808, 1994.
- BENGTSON, R.L., SOUTHWICK, L.M., WILLIS, G.H., CARTER, C.E. The influence of surface drainage practices on herbicide losses. **Transactions of the ASAE**, v.33, n.2, p.415-418, 1990.
- BISWAS, N., ZYTNER, R.G., BEWTRA, J.K. Model for predicting pce desorption from Contaminated Soils. **Water Environmental Research**, v.64, n.2, p.170-176, 1992.
- BRAGA, M.B. Estudo e análise da profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob quatro freqüências de irrigação. Viçosa, MG: UFV, 67p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 1995.

- CHARNAY, M.P., FOURNIER, J.C. Study of the relation between Carbofuran degradation and microbial or physicochemical characteristics of some french soils. **Pesticide Soil**, v.40, p.207-216, 1994.
- CHE, M., LOUX, M.M., TRAINA, S.J. Effect of pH on sorption and desorption of Imazaquin and Imazetapyr on clays and humic acid. **J. Environmental Quality**. v.21, p.698-703, 1992.
- COSTA, M.H., SEDIYAMA, G.C., COELHO, D.T. Coeficientes de cultura para o milho (*Zea mays* L.), em 36 épocas de plantio. **Engenharia na Agricultura**, Série Irrigação e Drenagem, Viçosa. v.1, n.1, 1992.
- DOOREMBOS, J., PRUIT, W.O. **Crop Water Requirement Irrigation And Drainage**. Rome: FAO, 1976 (Paper 24). 144p.
- EKELUND, F., RONN, R., CHRISTENSEN, S. The effect of three diferent pesticides on soil protozoan activity. **Pesticid Science**. v.42, p.71-78, 1994.
- ELA, S.D., GUPTA, S.C. RAWLS, W.J. Macropore and surface seal interactions affecting water infiltration into soil. **Soil Science Soc. Am. J.** v.56, p.714-721, 1992.
- FERREIRA, M.S., GUIDANI, C.M.A., UNGARO, M.T.S., et al. Resíduos de inseticidas organoclorados e organofosforados em solos do Estado de São Paulo. **O biológico**, v.54, n.1, p.21-23, 1988.
- FERREIRA, P. A. **Drenagem**. Módulo 7.1. Curso de Engenharia de Irrigação. ABEAS. Brasília, DF, 1990. 86p.
- GENNARI, M., NÈGRE, M., RAIMONDO, E. Effect of soil properties on adsorption and desorption of Acifluorfen. **Journal Agricultural Food and Chemical**. v.42, p.2329-2332, 1994.
- GHODRATI, M., JURY, W.A. A Field Study of the Effects of soil struture and irrigation method on preferential flow of pesticides in unsaturated soil. **J. of Contaminant Hydrology**. v.11, p.101-125, 1992.
- GISH, C.J., ISENSEE, A.R., NASH, R.G., et al. Impact of pesticides on shallow groundwater quality. **Transactions of the ASAE**, v.34, n.4, p.1745-1753, 1991.
- GUSTAFSON, D.I. Growndwater ubquity score: a simple method for assessing pesticida leachebility. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.8, p.339-359, 1989.
- JONES, R.L., BLACK, G.W., ESTES, T.L. Comparison of computer predictions with unsaturated zone field data for Aldicarb and Aldoxycarb. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.5, p.1027-1037, 1986.

- KLADIVKO, E.J., VAN SCOYOC, G.E., MONKE, E.J., et al. Pesticide and nutrient movement into subsurface tile drains on a silt loam soil in Indiana. **J. Environment Quality**. v.20, p.264-270, 1991.
- KUMARI, K., SINGH, R.P., SAXENA, S.K. Movement of Carbofuran (nematicide) in soil columns. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v.16, p.36-44, 1988.
- ISENSEE, A.R., NASH, R.G., HELLING, C.S. Effect of conventional vs no-tillage on pesticide leaching to shallow groundwater. **J. Environmental Quality**. v.19, p.434-440, 1990.
- LEVANON, D., CODLING, E.E., MEISINGER, J.J., et al. Mobility of Agrochemicals through soil from two Tillage Systems. **J. Environ. Quality** v.22, p.155-161, 1993.
- LOPES, A.S. **Solos Sob Cerrado: Características, Propriedades e Manejo**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 89p.
- MAQUEDA, C., MORILLO, E., RODRIQUEZ, J.L.P., et al. Adsorption of chlordimeform by humics substances from different soils. **Soil Science**, v.150, n.1, p.431-437, 1990.
- MORI, H., KOBAYASHI, M., YAGI, K., et al. A high Performance Liquid Chromatographic Method For Determination of Benfuracarb And Carbofuran Residues in Soil And Water. **J. Pesticide Science**. v.12, p.491-497, 1987.
- PARKIN, T.B., SHELTON, D.R. Spatial and Variability of Carbofuran Degradation in soil. **J. Environmental Quality**. v.21, p.672-678, 1992.
- PIFFER, R. **Movimento e degradação de Aldicarb e Sulfona de Aldicarb em dois diferentes solos**. Lavras, MG: ESAL, 99p. Dissertação (Mestrado em Solos). Universidade Federal de Lavras. 1989.
- PHILIPS, R.E., QUISENBERRY, V.L., ZELEZNIK, J.M., et al. Mechanism of Water Entry Into Simulated Macropores. **Soil Science Soc. Am. J.** v.53, p.1629-1635, 1989.
- PIGATTI, P., HEINRICH, W.O., NETO, N.D. Determinação da persistência, no solo, de alguns inseticidas clorados após 1, 2 e 3 anos de Aplicação, In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 25, **Resumos...**, SP: Ciência Cultura, p.518-519, 1973.
- PUSINO, A., LIU, W., GESSA, C. Adsorption of Triclopyr on Soil and Song of its Components. **J. Agric. Food chem.** v.42, p.1026-1029, 1994.
- RO, K.S., CHUNG, K.H. Pesticides and Herbicides. **Water Environment Research**, v.66, n.4, p.227-232, 1994.

- SADEGHI, A.M., ISENSEE, A.R. Effect of Tillage Systems and Rainfall Patterns on Atrazina Distribution in Soil. **J. Environmental Quality**. v.21, p.464-469, 1992.
- SIGUA, G.C, ISENSEE, A.R., SADEGHI, A.M. Influence of Rainfall Intensity and Crop Residue on Leaching of Atrazine Throught Intact no-till Soil Cores. **Soil Science**. v.156, n.4, 1993.
- SMITH, M.C., THOMAS, D.L., BOTTCHEER, A.B., et al. Measurement of pesticide transport to shallow groundwater. **Transactions of the ASAE**, v.33, n.5, p.1573-1581, 1990.
- TOMLIN, C.A. **World Compendium. The Pesticide Manual Incorporating The Agrochemical Handbook**. Tenth Edition Crop Protection Publications S/p. 1994.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quadro 1A - Manejo da irrigação

Data	Evap. (mm)	Vel. Vent (Km/dia)	U.R (%)	Kt	Kc	ETPC (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)
23/ago	5,67	112	52	0,75	0,35	1,49			
24/ago	6,51	104	53	0,75	0,35	1,71			
25/ago	5,05	146	61	0,75	0,35	1,33			
26/ago	7,16	74	58	0,75	0,35	1,88	2,26	4,52	9,05
27/ago	6,00	123	50	0,75	0,35	1,58			
28/ago	4,93	93	65	0,75	0,35	1,29			
29/ago	6,44	191	61	0,70	0,35	1,58	2,37	4,75	9,50
30/ago	5,77	48	62	0,75	0,35	1,51			
31/ago	6,21	108	52	0,75	0,35	1,63			
1/set	7,83	101	51	0,75	0,50	2,94	2,36	4,72	9,45
2/set	6,63	105	51	0,75	0,50	2,49			
3/set	6,38	118	51	0,75	0,50	2,39			
4/set	7,16	119	50	0,75	0,50	2,69	3,91	7,82	15,63
5/set	7,66	143	51	0,75	0,50	2,87			
6/set	7,58	148	51	0,75	0,50	2,84			
7/set	7,04	105	38	0,75	0,50	2,64	4,20	8,40	16,80
8/set	7,12	92	41	0,75	0,50	2,67			
9/set	6,64	121	55	0,75	0,50	2,49			
10/set	6,13	179	66	0,70	0,50	2,15	3,90	7,80	15,60
11/set	9,36	242	63	0,70	0,65	4,26			
12/set	5,22	139	45	0,75	0,65	2,54			
13/set	8,32	103	45	0,75	0,65	4,06	4,47	8,95	17,90
14/set	6,71	58	39	0,75	0,65	3,27			
15/set	6,49	120	46	0,75	0,65	3,16			
16/set	8,75	92	48	0,75	0,65	4,27	5,25	10,49	20,98

Continua...

Quadro 1A, Cont.

Data	Evap. (mm)	Vel. Vent (Km/dia)	U.R (%)	Kt	Kc	ETPC (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)
17/set	8,45	153	60	0,75	0,65	4,12			
18/set	8,07	179	59	0,75	0,65	3,93			
19/set	6,83	158	55	0,75	0,65	3,33	6,16	12,32	24,64
20/set	7,58	212	44	0,70	0,65	3,45			
21/set	7,08	130	49	0,75	0,80	4,25			
22/set	8,53	126	36	0,65	0,80	4,44	5,51	11,03	22,05
23/set	10,64	137	38	0,65	0,80	5,53			
24/set	7,90	125	42	0,75	0,80	4,74			
25/set	8,04	130	38	0,65	0,80	4,18	7,35	14,71	29,42
26/set	7,70	56	38	0,65	0,80	4,00			
27/set	7,78	176	58	0,70	0,80	4,36			
28/set	8,49	263	70	0,70	0,80	4,75	6,27	12,54	25,08
29/set	7,95	278	60	0,70	0,80	4,45			
30/set	7,66	151	39	0,65	0,80	3,98			
1/out	8,32	90	35	0,65	0,95	5,14	6,59	13,19	26,38
2/out	8,45	91	28	0,65	0,95	5,22			
3/out	11,59	76	25	0,65	0,95	7,16			
4/out	7,87	103	37	0,65	0,95	4,86	8,76	17,51	35,02
				Total		143,61	69,37	138,75	277,49

APÊNDICE B

Monitoramento da umidade do solo, em cinco profundidades, “antes e após”
cada irrigação

1° Irrigação (dia 26/8/94)

Lâmina deficiente

R - 1			R - 2			R - 3		
Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
00-10	32,1	30,9	0-10	33,0	33,5	0-10	32,9	32,7
10-20	31,8	31,9	10-20	32,1	32,3	10-20	31,8	32,0
20-30	32,0	32,2	20-30	32,0	32,1	20-30	30,9	31,0
30-40	33,8	33,0	30-40	32,0	32,0	30-40	31,2	31,0
40-50	34,1	34,0	40-50	32,8	32,7	40-50	32,0	32,0

Lâmina adequada

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	32,2	35,0	0-10	32,1	34,7	0-10	33,3	35,8
10-20	32,8	34,8	10-20	31,1	33,5	10-20	32,0	34,8
20-30	33,6	33	20-30	32,1	32,8	20-30	33,6	34,4
30-40	33,0	33,7	30-40	33,0	33,9	30-40	33,2	34,8
40-50	34,0	31,3	40-50	34,8	34,9	40-50	34,0	33,9

Lâmina excessiva

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	33,3	39,1	0-10	32,6	37,3	0-10	33,7	40,8
10-20	35,1	38,9	10-20	33,6	36,9	10-20	34,8	38,7
20-30	34,3	36,7	20-30	32,5	36,2	20-30	33,3	38,4
30-40	33,3	37,2	30-40	33,5	36,9	30-40	32,1	36,2
40-50	33,9	40,9	40-50	34,3	37,2	40-50	34,5	37,8

2° Irrigação (dia 29/8/94)

Lâmina deficiente

R - 1			R - 2			R - 3		
Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	28,6	28,9	0-10	31,8	32,0	0-10	29,9	30,4
10-20	28,2	29,0	10-20	30,8	32,2	10-20	28,1	29,9
20-30	33,0	32,8	20-30	31,0	29,5	20-30	29,7	28,3
30-40	33,8	33,0	30-40	31,0	32,0	30-40	27,2	28,0
40-50	34,2	32,9	40-50	30,8	30,0	40-50	27,1	27,8

Lâmina adequada

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	30,4	31,0	0-10	30,1	31,1	0-10	30,3	32,8
10-20	31,8	32,3	10-20	30,1	33,5	10-20	31,0	31,8
20-30	31,6	32,2	20-30	32,1	32,8	20-30	33,6	33,9
30-40	33,0	33,7	30-40	31,0	33,9	30-40	32,2	34,8
40-50	31,5	31,3	40-50	34,8	33,9	40-50	34,0	32,9

Lâmina excessiva

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	31,3	37,1	0-10	32,6	36,3	0-10	34,7	37,8
10-20	35,0	37,9	10-20	33,6	36,9	10-20	35,6	36,7
20-30	35,3	36,7	20-30	34,5	36,2	20-30	35,3	38,4
30-40	36,3	37,2	30-40	36,5	36,9	30-40	36,1	36,2
40-50	37,9	36,9	40-50	37,3	37,2	40-50	36,5	36,8

3° Irrigação (dia 1/9/94)

Lâmina deficiente

R - 1			R - 2			R - 3		
Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	27,6	25,5	0-10	30,8	27,9	0-10	24,9	23,4
10-20	29,2	29,0	10-20	30,3	29,2	10-20	26,1	24,9
20-30	32,0	30,4	20-30	31,6	29,5	20-30	27,7	26,3
30-40	32,8	31,6	30-40	31,3	32,0	30-40	27,1	28,6
40-50	34,2	32,7	40-50	31,8	32,0	40-50	27,1	27,2

Lâmina adequada

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	30,4	31,8	0-10	28,1	30,1	0-10	30,3	32,3
10-20	31,8	32,5	10-20	30,1	30,5	10-20	31,5	31,9
20-30	31,5	32,2	20-30	32,1	32,3	20-30	33,5	32,7
30-40	33,0	33,1	30-40	33,0	33,1	30-40	34,2	33,9
40-50	33,1	31,3	40-50	34,5	33,1	40-50	34,0	32,5

Lâmina excessiva

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	31,8	37,1	0-10	32,6	36,8	0-10	34,5	37,6
10-20	35,8	37,8	10-20	32,6	36,0	10-20	35,8	36,7
20-30	36,3	36,7	20-30	34,5	36,2	20-30	36,3	35,4
30-40	36,8	37,2	30-40	36,0	36,8	30-40	36,0	36,8
40-50	37,9	38,0	40-50	37,0	37,2	40-50	36,5	36,2

4° Irrigação (dia 4/9/94)

Lâmina deficiente

R - 1			R - 2			R - 3		
Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	24,5	25,6	0-10	25,4	26,5	0-10	23,2	24,0
10-20	28,2	26,9	10-20	28,0	26,0	10-20	24,2	24,4
20-30	28,5	30,2	20-30	27,8	26,5	20-30	24,4	23,4
30-40	29,4	30,8	30-40	28,9	30,2	30-40	25,2	25,7
40-50	32,2	32,8	40-50	28,6	30,5	40-50	25,7	27,1

Lâmina adequada

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	30,3	32,6	0-10	25,6	26,8	0-10	28,8	31,2
10-20	29,9	31,9	10-20	28,3	28,3	10-20	30,0	31,4
20-30	30,7	30,9	20-30	30,4	30,3	20-30	32,2	33,0
30-40	31,5	32,7	30-40	30,5	30,8	30-40	33,1	32,9
40-50	32,1	32,7	40-50	30,2	31,1	40-50	33,0	32,6

Lâmina excessiva

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	33,0	36,9	0-10	32,7	35,2	0-10	34,8	37,6
10-20	32,2	36,9	10-20	33,6	35,8	10-20	33,6	36,7
20-30	33,7	37,8	20-30	35,4	36,2	20-30	35,4	36,4
30-40	35,1	38,3	30-40	35,7	36,3	30-40	34,8	35,6
40-50	36,3	37,7	40-50	35,4	36,7	40-50	33,1	34,7

5° Irrigação (dia 7/9/94)

Lâmina deficiente

R - 1			R - 2			R - 3		
Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	22,4	23,6	0-10	25,1	23,9	0-10	22,4	21,9
10-20	23,9	25,8	10-20	23,4	25,2	10-20	22,2	23,9
20-30	27,4	28,1	20-30	26,3	26,2	20-30	24,6	25,3
30-40	28,3	29,1	30-40	29,0	29,0	30-40	25,3	26,5
40-50	30,8	30,3	40-50	28,4	28,3	40-50	25,9	26,5

Lâmina adequada

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	26,2	28,4	0-10	23,7	27,8	0-10	27,6	28,7
10-20	25,3	29,5	10-20	26,6	27,8	10-20	28,3	29,2
20-30	27,3	30,1	20-30	28,2	29,9	20-30	28,3	30,6
30-40	27,4	30,8	30-40	31,0	31,6	30-40	31,9	32,2
40-50	29,6	30,3	40-50	31,3	30,5	40-50	32,6	32,0

Lâmina excessiva

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	31,2	33,9	0-10	29,6	35,5	0-10	32,4	35,5
10-20	31,1	36,0	10-20	31,1	35,4	10-20	32,6	36,0
20-30	33,2	36,3	20-30	32,3	35,0	20-30	33,4	34,3
30-40	33,7	35,5	30-40	34,0	35,4	30-40	34,3	35,0
40-50	35,2	36,2	40-50	34,3	35,8	40-50	33,7	34,5

6° Irrigação (dia 10/9/94)

Lâmina deficiente

R - 1			R - 2			R - 3		
Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	22,2	23,7	0-10	21,7	24,1	0-10	22,5	22,9
10-20	22,6	23,9	10-20	22,1	24,4	10-20	22,2	23,2
20-30	25,3	27,5	20-30	23,2	26,0	20-30	24,5	24,5
30-40	26,7	31,3	30-40	25,2	26,9	30-40	22,6	26,8
40-50	28,1	30,8	40-50	26,5	27,6	40-50	23,9	27,1

Lâmina adequada

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	23,3	33,5	0-10	22,4	29,1	0-10	24,8	33,0
10-20	26,9	33,3	10-20	23,3	27,3	10-20	26,1	32,9
20-30	29,0	32,4	20-30	27,4	27,4	20-30	28,4	31,7
30-40	30,2	32,2	30-40	28,6	29,2	30-40	31,0	32,7
40-50	31,2	32,4	40-50	29,5	29,2	40-50	31,9	32,5

Lâmina excessiva

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	32,3	33,5	0-10	29,9	35,9	0-10	30,5	38,1
10-20	33,8	37,3	10-20	30,8	36,1	10-20	31,0	38,2
20-30	33,0	37,4	20-30	30,9	36,9	20-30	32,1	37,4
30-40	37,7	37,3	30-40	33,8	35,7	30-40	33,5	37,4
40-50	35,3	37,9	40-50	34,1	37,5	40-50	33,8	37,2

7° Irrigação (dia 13/9/94)

Lâmina deficiente

R - 1			R - 2			R - 3		
Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	24,6	24,7	0-10	22,5	22,9	0-10	20,9	21,3
10-20	25,1	26,1	10-20	21,8	21,9	10-20	21,8	22,0
20-30	27,4	28,3	20-30	23,4	23,5	20-30	24,0	23,8
30-40	29,2	30,9	30-40	23,3	23,0	30-40	22,6	2,6
40-50	29,9	31,7	40-50	23,3	23,1	40-50	23,0	23,0

Lâmina adequada

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	27,0	32,3	0-10	26,4	33,0	0-10	27,6	32,6
10-20	27,8	32,1	10-20	25,8	31,8	10-20	28,0	32,7
20-30	29,2	31,4	20-30	29,0	31,9	20-30	26,5	33,0
30-40	29,3	31,9	30-40	28,9	30,9	30-40	28,3	32,9
40-50	29,3	31,6	40-50	29,3	30,5	40-50	28,0	31,4

Lâmina excessiva

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	31,1	38,4	0-10	32,0	39,0	0-10	32,5	39,2
10-20	32,3	38,7	10-20	33,1	39,1	10-20	32,6	38,2
20-30	34,6	36,3	20-30	33,2	39,0	20-30	34,0	37,5
30-40	36,3	37,2	30-40	31,5	35,0	30-40	33,6	37,4
40-50	34,7	37,8	40-50	33,7	36,0	40-50	35,0	36,0

8° Irrigação (dia 16/9/94)

Lâmina deficiente

R - 1			R - 2			R - 3		
Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	14,2	23,9	0-10	22,5	22,9	0-10	21,9	22,3
10-20	21,9	25,0	10-20	21,8	21,9	10-20	22,8	22,0
20-30	21,3	22,5	20-30	23,4	23,5	20-30	23,0	23,8
30-40	19,6	27,9	30-40	23,3	23,0	30-40	22,6	23,6
40-50	21,0	28,3	40-50	23,3	23,1	40-50	23,0	23,0

Lâmina adequada

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	30,0	30,4	0-10	25,4	32,8	0-10	26,6	33,6
10-20	29,4	31,8	10-20	26,8	31,8	10-20	28,0	32,7
20-30	30,5	32,1	20-30	28,0	32,9	20-30	26,5	32,0
30-40	31,7	32,3	30-40	27,9	30,8	30-40	28,3	32,9
40-50	32,4	31,7	40-50	29,3	30,5	40-50	28,0	31,4

Lâmina excessiva

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	33,6	35,4	0-10	33,0	38,5	0-10	32,7	39,1
10-20	35,0	36,2	10-20	33,1	39,7	10-20	32,3	37,2
20-30	35,1	37,9	20-30	32,2	39,0	20-30	34,1	37,5
30-40	33,7	37,5	30-40	31,5	35,0	30-40	33,6	36,4
40-50	35,3	37,7	40-50	33,7	36,0	40-50	35,0	35,6

9° Irrigação (dia 19/9/94)

Lâmina deficiente

R - 1			R - 2			R - 3		
Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	21,0	20,6	0-10	20,0	20,0	0-10	19,2	19,3
10-20	21,5	24,1	10-20	20,5	20,4	10-20	20,5	20,6
20-30	21,4	29,0	20-30	21,3	21,1	20-30	20,8	20,4
30-40	23,2	26,0	30-40	22,3	22,3	30-40	20,4	20,5
40-50	23,4	30,7	40-50	22,4	22,4	40-50	21,7	20,8

Lâmina adequada

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	25,9	29,5	0-10	26,0	30,8	0-10	26,1	33,5
10-20	27,8	29,4	10-20	26,9	30,5	10-20	26,5	32,5
20-30	28,0	29,8	20-30	27,0	29,6	20-30	27,3	34,4
30-40	31,5	30,4	30-40	30,0	32,0	30-40	28,5	34,0
40-50	31,9	30,7	40-50	31,2	33,0	40-50	28,3	33,1

Lâmina excessiva

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	31,9	36,0	0-10	33,5	38,6	0-10	31,5	36,7
10-20	32,8	37,4	10-20	32,5	38,5	10-20	32,5	38,0
20-30	34,5	36,9	20-30	34,7	37,6	20-30	34,3	37,0
30-40	34,7	37,8	30-40	34,0	38,0	30-40	33,9	38,0
40-50	35,5	38,2	40-50	35,6	38,	40-50	34,2	38,0

10° Irrigação (dia 22/9/94)

Lâmina deficiente

R - 1			R - 2			R - 3		
Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	18,5	24,7	0-10	20,0	20,1	0-10	19,2	18,9
10-20	23,4	24,1	10-20	20,5	20,0	10-20	20,5	20,6
20-30	24,6	25,5	20-30	21,3	21,1	20-30	20,8	20,4
30-40	28,4	27,0	30-40	22,3	22,3	30-40	20,4	20,5
40-50	27,0	28,2	40-50	22,4	22,4	40-50	21,7	20,8

Lâmina adequada

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	22,1	29,4	0-10	26,6	31,8	0-10	26,2	32,5
10-20	28,9	31,1	10-20	26,9	30,5	10-20	26,5	32,5
20-30	30,0	29,3	20-30	27,0	29,6	20-30	27,3	34,4
30-40	32,2	30,7	30-40	30,0	32,0	30-40	28,5	34,0
40-50	32,6	30,6	40-50	31,2	33,0	40-50	28,3	33,1

Lâmina excessiva

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	31,7	38,3	0-10	33,5	38,6	0-10	31,5	36,7
10-20	34,1	39,4	10-20	32,5	38,5	10-20	32,5	38,0
20-30	35,1	39,2	20-30	34,7	37,6	20-30	34,3	37,0
30-40	36,3	39,2	30-40	34,0	38,0	30-40	33,9	38,0
40-50	36,0	39,8	40-50	35,6	38,	40-50	34,2	38,0

11° Irrigação (dia 25/9/94)

Lâmina deficiente

R - 1			R - 2			R - 3		
Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	17,5	23,0	0-10	18,2	19,5	0-10	17,0	17,2
10-20	22,0	22,1	10-20	21,5	21,6	10-20	20,1	20,1
20-30	22,7	22,9	20-30	22,0	22,0	20-30	22,3	22,2
30-40	23,6	24,8	30-40	22,5	22,5	30-40	21,0	21,0
40-50	20,9	27,0	40-50	21,9	21,8	40-50	21,0	20,9

Lâmina adequada

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	26,4	31,8	0-10	28,0	30,0	0-10	27,0	28,9
10-20	28,4	31,6	10-20	27,9	32,2	10-20	28,0	30,0
20-30	29,2	32,0	20-30	30,2	31,5	20-30	29,1	33,0
30-40	30,1	32,3	30-40	30,2	31,8	30-40	31,2	32,5
40-50	30,8	32,0	40-50	30,5	31,4	40-50	31,0	33,0

Lâmina excessiva

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	33,5	36,5	0-10	33,6	37,8	0-10	32,4	38,2
10-20	34,2	37,8	10-20	36,0	39,0	10-20	32,1	34,8
20-30	33,8	37,3	20-30	33,5	35,2	20-30	29,4	34,0
30-40	35,2	38,5	30-40	34,1	35,6	30-40	33,2	35,1
40-50	36,3	38,8	40-50	34,5	36,0	40-50	34,1	34,5

12° Irrigação (dia 28/9/94)

Lâmina deficiente

R - 1			R - 2			R - 3		
Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	21,2	19,9	0-10	18,3	21,5	0-10	16,8	18,0
10-20	21,7	20,4	10-20	17,2	22,0	10-20	17,0	17,2
20-30	23,6	23,5	20-30	21,5	20,9	20-30	20,4	20,3
30-40	25,9	24,8	30-40	21,3	21,3	30-40	20,3	20,
40-50	28,5	24,7	40-50	21,0	21,0	40-50	19,3	19,3

Lâmina adequada

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	26,9	29,2	0-10	26,4	30,2	0-10	25,4	31,4
10-20	28,1	28,9	10-20	27,0	30,0	10-20	26,7	29,6
20-30	28,4	30,1	20-30	27,4	29,2	20-30	29,3	32,0
30-40	29,1	30,6	30-40	28,1	28,6	30-40	28,1	31,0
40-50	30,0	31,0	40-50	29,3	30,0	40-50	30,0	30,2

Lâmina excessiva

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	33,5	38,9	0-10	35,2	40,2	0-10	33,6	39,2
10-20	34,2	39,8	10-20	34,5	38,4	10-20	35,0	37,0
20-30	34,6	35,1	20-30	34,1	39,6	20-30	35,2	36,5
30-40	36,3	37,0	30-40	36,0	37,1	30-40	35,1	35,9
40-50	35,8	37,1	40-50	36,0	37,5	40-50	35,0	36,0

13° Irrigação (dia 1/10/94)

Lâmina deficiente

R - 1			R - 2			R - 3		
Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	17,5	23,0	0-10	16,5	21,3	0-10	16,8	22,3
10-20	22,8	23,4	10-20	20,1	20,3	10-20	21,3	22,0
20-30	24,0	24,2	20-30	19,3	20,0	20-30	19,8	20,0
30-40	25,5	25,2	30-40	19,9	19,8	30-40	18,3	20,1
40-50	21,0	27,3	40-50	21,0	20,5	40-50	20,5	20,8

Lâmina adequada

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	25,5	31,8	0-10	24,9	31,0	0-10	26,5	32,5
10-20	27,1	30,8	10-20	26,5	30,0	10-20	25,6	31,5
20-30	29,3	30,7	20-30	27,4	30,5	20-30	28,7	31,5
30-40	30,3	31,8	30-40	28,3	30,4	30-40	28,4	32,5
40-50	32,2	32,3	40-50	31,2	31,9	40-50	30,2	31,5

Lâmina excessiva

Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após	Prof. (cm)	Antes	Após
0-10	34,4	35,1	0-10	35,2	39,2	0-10	32,6	38,2
10-20	35,5	37,5	10-20	35,5	38,4	10-20	35,0	38,2
20-30	36,5	38,0	20-30	34,1	39,6	20-30	36,2	36,5
30-40	36,8	38,9	30-40	36,0	37,1	30-40	35,7	35,9
40-50	37,6	38,3	40-50	36,0	37,5	40-50	35,0	36,0