

JORGE LUIZ XAVIER LINS CUNHA

**VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA EM UM LATOSSOLO
AMARELO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO EM AGRONOMIA
RIO LARGO, ESTADO DE ALAGOAS.
NOVEMBRO DE 2008**





UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO EM AGRONOMIA
RIO LARGO, ESTADO DE ALAGOAS.
NOVEMBRO DE 2008



JORGE LUIZ XAVIER LINS CUNHA

**VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA EM UM LATOSSOLO
AMARELO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alagoas como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Produção Vegetal e Proteção de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Abel Washington de Albuquerque

Co-orientador: Prof. Dr. Gilson Moura Filho

RIO LARGO, ESTADO DE ALAGOAS
NOVEMBRO DE 2008

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

- C972v Cunha, Jorge Luiz Xavier Lins.
Velocidade de infiltração da água em um latossolo amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo / Jorge Luiz Xavier Lins Cunha Aspectos. – Rio Largo, 2008.
51 f. : il. tabs., grafs.
- Orientador: Abel Washington de Albuquerque.
Co-Orientador: Gilson Moura Filho.
Dissertação (mestrado em Agronomia : Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2008.
- Inclui bibliografia.
Anexos: f. 41-51.
1. Irrigação. 2. Solos – Preparo. 3. Solos – Infiltração. I. Título.

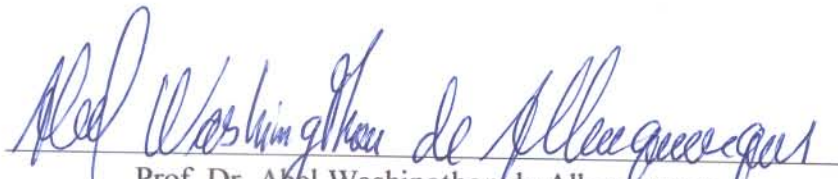
CDU: 631.674

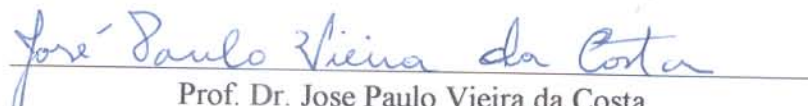
TERMO DE APROVAÇÃO

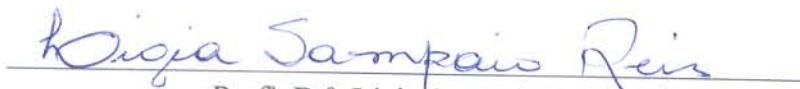
JORGE LUIZ XAVIER LINS CUNHA
2007M21D004S-4


**VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA EM UM LATOSSOLO
AMARELO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO
SOLO**

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre, pelo Curso de Mestrado em Agronomia (Áreas de Concentração "Produção Vegetal e Proteção de Plantas"), do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, pela seguinte Banca Examinadora:


Prof. Dr. Abel Washington de Albuquerque
Orientador - CECA/UFAL


Prof. Dr. Jose Paulo Vieira da Costa
CECA/UFAL


Prof. Dr. Lúcia Sampaio Reis
CECA/UFAL


Prof. Dr. Adelmo Lima Bastos
Instituto de Terras de Alagoas - ITERAL

RIO LARGO, ESTADO DE ALAGOAS
NOVEMBRO DE 2008

À minha querida mãe Josefa Xavier Lins Cunha pela sabedoria e dedicação na orientação e encaminhamento de seus filhos no desenvolvimento moral e social.

OFEREÇO

Aos meus irmãos, a minha esposa, filhos e sobrinhos pela confiança que em mim depositaram e aos que colaboraram para o sucesso deste trabalho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, Supremo Arquiteto do Universo por toda graça alcançada;

Ao. Prof. Dr. Abel Washington de Albuquerque por compartilhar suas idéias, seus pensamentos, sendo um orientador disposto a ajudar nos momentos de duvidas, obrigado pela orientação;

A minha mãe Josefa Xavier Lins Cunha, pelo incentivo, confiança, amor e carinho a mim dedicado;

A meus irmãos Emerson Xavier Lins Cunha, Josineide Xavier Lins Camelo e Josimeire Xavier Forster, meus irmãos inseparáveis, com os quais compartilho meus momentos de alegria e felicidade por todo estímulo e incentivo;

À minha querida esposa Adelma Nunes Ferreira, por toda compreensão, colaboração e confiança; Ao diretor da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias, Prof. Dr. Paulo Vanderlei Ferreira, por todo apoio e incentivo nesta caminhada, ao Professor Aluisio Gomes Martins por sempre acreditar no meu sucesso;

Ao meu amigo Engenheiro agrônomo MSc. Cícero Alexandre da Silva, por toda orientação na conclusão desta pesquisa, atenção e amizade;

A Universidade Federal de Alagoas, pela oportunidade de realização deste curso; A Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias – CECA UFAL;

A coordenação e colegiado do curso de Pós-graduação em Agronomia, por todo apoio concedido;

Ao meu tio e irmão, George Lins da Cunha, pelo estímulo e confiança; A todos meus familiares, que acreditaram em meu crescimento pessoal;

Aos amigos Djair Felix da Silva, Edson Tenório da Silva, Geraldo de Lima, José Antônio da Silva Madalena, Jose Mariano da Silva, José Carlos Martins, Josenildo Verçosa de Araujo Júnior, Marcos Antonio Lopes (Marquinhos), Ronaldo Bernardino dos Santos Júnior e Weliton Tenório da Silva, pela amizade e apoio prestado;

Aos Professores Afrânio César de Araújo e Jair Tenório Cavalcante por todo conhecimento transmitido; Aos alunos da graduação, Carlos Jorge da Silva, José Pedro da Silva e Alonso Barros da Silva Junior, pelo apoio nas pesquisas; A todos os professores e funcionários da Unidade Acadêmica Centro de Ciência Agrárias; A todos aqueles que não foram citados, mas que contribuíram com meu desenvolvimento, muito obrigado.

BIOGRAFIA

JORGE LUIZ XAVIER LINS CUNHA, filho de Edmilson Lins Cunha e Josefa Xavier Lins Cunha, nasceu na cidade de São Miguel dos Campos, Estado de Alagoas, em 18 de maio de 1963.

Ingressou na Escola Agrotécnica Federal de Satuba – Alagoas, no ano de 1978, onde demonstrou significativo interesse pelas ciências agrárias.

Ingressou no serviço público estadual no ano de 1981 na Secretaria Estadual de Agricultura onde prestou trabalhos em diversos segmentos daquela unidade.

Ingressou no serviço público federal em outubro no ano de 1984 no IAA-PLANALSUCAR, onde desempenhou as funções de técnico agrícola nos setores de Irrigação, Melhoramento de cana de açúcar e Nutrição de Plantas.

Ingressou na Universidade Federal de Alagoas, para o curso de Agronomia, no ano de 2001, na qual recebeu o grau de Engenheiro Agrônomo no ano de 2005.

Durante toda vida acadêmica desenvolveu atividades de monitoria na disciplina de fruticultura por dois anos consecutivos e atividades de pesquisa e extensão no município de Passo de Camaragibe – AL e em outros Municípios do Estado de Alagoas.

Desenvolveu pesquisas nas áreas de solo e adubações, irrigação e melhoramento de plantas da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas. Estagiou no Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade da Universidade Federal da Alagoas, no ano de 2003.

Em março de 2007 iniciou o Curso de Mestrado em Agronomia, concentração em Produção Vegetal, na Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas.

SUMÁRIO

	Página
OFERECIMENTO.....	iv
DEDICATÓRIA	vi
AGRADECIMENTOS	vii
BIOGRAFIA	viii
LISTA DE SIGLAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiii
RESUMO GERAL	1
ABSTRACT GENERAL	3
INTRODUÇÃO GERAL	4
REFERÊNCIAS	7
CAPÍTULO I	8
1 REVISÃO DE LITERATURA	8
Infiltração da água no solo	8
Características do solo	9
Cobertura do solo	10
Tipo de preparo e manejo do solo	11
Características do fluido	11
Variabilidade espacial da velocidade de infiltração	11
Métodos para determinação da velocidade de infiltração	11
Referências Bibliográficas	15
2 CAPÍTULO II	18
Velocidade de infiltração da água em um Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo	
RESUMO	18
ABSTRACT	18
INTRODUÇÃO	19
MATERIAL E MÉTODOS	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	38
CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
ANEXOS	41

LISTA DE SIGLAS

a e n	Constantes que dependem do solo
e	Logaritmo neperiano
CECA	Centro de Ciências Agrárias
ESAS	Entrada-saída de água no sulco
i	Taxa de infiltração
IA	Infiltração Acumulada L
If	Infiltração final LT^{-1}
Ii	Infiltração inicial
IANC	Infiltrômetro de Anéis Concêntricos
IAS	Infiltrômetro de Aspersores
IS	Infiltrômetro de Sulco
Kv	Kostiakov
Kv-Lw	Kostiakov-Lewis
T e t	Tempo
Tp	Tratamento primário
Ts	Tratamento secundário
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
VI	Velocidade de Infiltração
VIB	Velocidade Básica de Infiltração
VIf	Velocidade de Infiltração final
Vii	Velocidade de infiltração inicial
β	Constante de proporcionalidade
y	infiltração

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO II

Figura 1A . Velocidade de infiltração e infiltração acumulada de água no solo em função do tempo para os tratamentos; Cultivo Convencional, Plantio Direto e Cultivo Mínimo	27
Figura 1B . Curva da velocidade de infiltração de água, obtida pelo método do infiltrometro de anel no sistema de plantio Convencional e comparada com os modelos empíricos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton	27
Figura 1C. . Curva da velocidade de infiltração de água, obtida pelo método do infiltrometro de anel no sistema de Plantio Direto e comparada com os modelos empíricos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton	27
Figura 1D. . Curva da velocidade de infiltração de água, obtida pelo método do infiltrometro de anel no sistema de Cultivo Mínimo comparada com os modelos empíricos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton.	27
Figura 2 – Valores médios das velocidades de infiltração medidos e calculados pelos modelos matemáticos no Sistema Plantio Convencional.	31
Figura 3 – Valores médios das velocidades de infiltração medidos e calculados pelos modelos matemáticos no Sistema Plantio direto.	34
Figura 4 – Valores médios das velocidades de infiltração medidos e calculados pelos modelos matemáticos no Sistema Cultivo Mínimo	37

LISTA DE TABELAS

CAPITULO II

Tabela 1 Distribuição dos tratamentos e sub-tratamentos adotados no ensaio.....	24
Tabela 2 Atributos físicos do solo na área experimental submetida aos sistemas de plantio convencional, direto e cultivo mínimo, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm.....	21
Tabela 3. Valores médios das velocidades de infiltração, desvio padrão e coeficiente de correlação dos resultados dos testes de infiltração de água no solo, para os sistemas de manejo convencional, plantio direto e cultivo mínimo em função do tempo.....	25
Tabela 4. Valores médios dos parâmetros, coeficientes de determinação, regressões não lineares e os modelos do Anel, Horton, Kostiakov e Kostiakov – Lewis	26
Tabela 5. Resumo da análise de variância dos sistemas de cultivo versus modelos matemáticos no município de Rio Largo – AL, 2008	28
Tabela 6. Equações e coeficientes de correlação das interações das velocidades de infiltração para os tratamentos x modelos adotados.	29

RESUMO GERAL

Velocidade de Infiltração da Água em um Latossolo Amarelo Submetido a Diferentes Sistemas de Manejo do solo

Jorge Luiz Xavier Lins Cunha¹ e Abel Washington Albuquerque²

¹Mestre em Agronomia pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Campus Delza Gitai, BR 104 Norte, km 85, Rio Largo, AL, Brasil. CEP 57.100-000. E-mail: cunhajlx@gmail.com. Autor para correspondência.

²Professor do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Campus Delza Gitai, BR 104 Norte, km 85, Rio Largo, AL, Brasil. CEP 57.100-000. E-mail: awa@fapeal.br

A água e o solo são fatores de suma importância para a adequada exploração de uma área agrícola. A infiltração é um processo dinâmico através do qual a água penetra no solo, tanto no sentido vertical descendente como no horizontal. O conhecimento da velocidade de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir os métodos de conservação, o planejamento e o dimensionamento de sistemas de irrigação e drenagem. Objetivando estimar a velocidade de infiltração, em um Latossolo Amarelo coeso distrófico em uma área de Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas, foi realizado um experimento constituído de três diferentes formas de preparo de solo: convencional, cultivo mínimo e plantio direto, onde foram realizados testes de infiltração para comparar os diferentes modelos de equações empíricas de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton. O solo foi explorado com a cultura de milho (*Zea mays L.*) há vários anos e no ano de 2007 cultivado com soja. Foi utilizada a técnica do infiltrômetro de anéis na determinação da velocidade de infiltração. Ao serem feitas as

comparações entre a velocidade de infiltração obtida em condições de campo e os diferentes modelos empíricos, constatou-se que o modelo de Kostiakov foi o que apresentou a melhor correlação, diferenciando-se estatisticamente a 1% de probabilidade dos demais modelos, enquanto o cultivo mínimo foi o que apresentou a melhor taxa de infiltração quando comparado com os tratamentos convencional e plantio direto, deferindo estaticamente a 1% de probabilidade.

Palavras-chave: Manejo de solo, métodos de infiltração, irrigação.

GENERAL ABSTRACT

WATER INFILTRATION SPEED RATE IN YELLOW LATOSSOIL UNDERGONE DIFFERENT SOIL MANAGEMENT SYSTEMS

Water and soil are key factors in the definition of the appropriate exploration of an agricultural area. Infiltration is a dynamic process by means of which water enters the soil, both in the descending vertical as well as in horizontal direction. The knowledge of the infiltration rate in the soil is of paramount importance in order to define the conservation, planning and dimensioning of irrigation and drainage systems. Aiming at estimating the infiltration rate in a hard dystrophic yellow Latosol in a coastal plateau area in the State of Alagoas, an experiment was carried out consisting of three different soil preparations: conventional, minimal cultivation and direct planting, in which infiltration tests were carried out in order to compare the different empirical equations models by Kostiakov, Kostiakov-Lewis and Horton. The soil had been explored with corn cultivation (*Zea Mays*) for several years and in 2007 soya was cultivated there. For infiltration speed rate determination, ring infiltrometer technique was adopted. When the infiltration rate obtained in the field and the different empirical models were compared, it was possible to observe that the Kostiakov model presented the best correlation being statistically different at the 1% probability level compared to the other models, whereas the minimal cultivation presented the best infiltration rate when compared to the conventional and direct plantings, differing statically ($p \leq 0,01$).

KEYWORDS: Soil Management, Infiltration Methods, Irrigation.

INTRODUÇÃO GERAL

Como o crescimento da população mundial tem-se exigido uma demanda cada vez maior de alimentos, por conseguinte, a procura por terras agricultáveis tem sido cada vez maior, contribuindo para a aceleração da degradação do meio ambiente. Esta realidade exige uma agricultura baseada em pesquisas que proporcione um desenvolvimento sustentável. Neste sentido, a irrigação é uma prática que já demonstrou ser capaz de proporcionar aumento de produtividade agrícola. Considerando que a agricultura é responsável por 75% do consumo de água do planeta, a sua forma racional de exploração é imprescindível (Wallace, 2000).

Nos últimos anos, as autoridades mundiais estão cada vez mais conscientes dos sérios problemas que este crescimento poderá causar ao meio ambiente, e já estão à procura de soluções mais adequadas para atender as demandas por alimentos, sendo que estas soluções passam por um conceito de agricultura sustentável (Brito, 1994). Dentro deste contexto, a necessidade de um manejo correto da água e do solo é uma alternativa de fundamental importância para uma agricultura sustentável, conforme relato de Reichadt & Timm, (2004).

O binômio solo e a água constituem, recursos fundamentais da agricultura, a necessidade de explorá-los e manejá-los adequadamente torna-se uma das mais importantes tarefas da atualidade, sendo necessário aprofundar os conhecimentos relativos às propriedades e ao comportamento da relação água-solo, devido a sua correspondência direta com o desenvolvimento das culturas (Carvalho, 2002). O estudo das propriedades hídricas de um solo é de fundamental importância para definir o uso de uma área agricultável, visto que pode ser capaz de mensurar as demandas por água. Crestana & Posadas (1996) destacaram a importância do entendimento do mecanismo de transporte de água e solutos nos solos, visando o estudo de problemas ambientais, e a importância para favorecer a nutrição das plantas.

A dinâmica da água no solo está diretamente relacionada à produção vegetal, de tal modo que o seu conhecimento é de interesse fundamental para qualquer tomada de decisão sobre a sua exploração agrícola, portanto, a melhor organização dos fatores que interferem neste contexto é caracterizada como de importância imperativa para os vegetais.

Para um manejo adequado da água no solo é necessário conhecimento técnico. Conforme Bernardo (1992), alguns projetos de irrigação públicos e ou privados não alcançaram seus objetivos, por causa da falta de treinamento de técnicos, de problemas relacionados com a seleção do método de irrigação e do dimensionamento do projeto, quando se sabe que no dimensionamento de um projeto de irrigação, é imprescindível dispor de informações relacionadas com as variáveis climáticas (Brito 1994).

Relacionada com o solo, a principal característica é a velocidade básica de infiltração, pois reflete a capacidade da superfície do solo em permitir a penetração da água, continuando com a condutividade hidráulica que conduz e armazena água no perfil mediante a infiltração acumulada, pois, além de ser uma das variáveis mais importantes que afeta a irrigação em todas as suas fases, conseqüentemente, o desempenho do sistema, é uma das mais difíceis de medir no campo, por causa de sua variabilidade espacial e temporal (Walker & Skogerboe 1987, Scaloppi, 1986).

Tão importante como a determinação da velocidade básica de infiltração do solo, com finalidade de definir um projeto de irrigação, é a escolha do modelo de infiltração (*IANC*, *IAS* e *ESAS*) que vai definir a velocidade de infiltração apropriada para aquele tipo específico de solo (Bernardo, 2005). Situações que no Brasil, dada a sua enorme extensão territorial e a diversidade de condições climáticas, podem ser as mais variáveis possíveis, em regiões áridas e semi-áridas como o Nordeste brasileiro, o manejo correto da irrigação implica em práticas que permitam economia de água e cuidados para evitar problemas de salinidade. Em áreas superúmidas, como no norte brasileiro, o problema fundamental é a lixiviação de minerais no solo, e a necessidade de se fazer, paralelamente, um projeto de drenagem agrícola. Em regiões onde há chuvas bem distribuídas, como nos Tabuleiros Costeiros do Nordeste, geralmente tem problemas de distribuição média no período chuvoso, o que acarreta a existência de períodos de falta de água nessas áreas o que é de fundamental importância para obter a maior eficiência possível no uso da água pelas culturas (Reichardt & Timm, 2004).

A obtenção da *VIB* representativa da área e a variabilidade do solo para ser irrigado são de fundamental importância para o projeto, representando uma etapa no contexto da agricultura irrigada que na maioria das vezes não tem a atenção necessária, já que uma má definição desta poderá ocasionar falhas no dimensionamento de estruturas inerentes à irrigação por aspersão como: diminuir a eficiência do sistema, aumentar os custos de

operação, gastos com energia e consumo de água, visando minimizar impactos ambientais, como: erosão do solo, lixiviação de nutrientes, salinização, entre outros danos (Tenório, 2005).

Assim, o objetivo do presente trabalho é a obtenção dos dados em condições de campo para a determinação da *VIB* e sua comparação com os modelos empíricos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton em uma área submetida a diferentes métodos de manejo (cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bernardo, S.; Impacto Ambiental da irrigação no Brasil. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.1, n.13, p.1-7, 1992.

Bernardo, S.; Soares, A.A.; Mantovani, E.C. Manual de irrigação. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611p.

Brito, L.T. de L.; Velocidades de infiltração determinadas por simulador de chuvas e por infiltrômetro de anel. Viçosa: UFV, 1994. 43p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Carvalho, L.A.; de Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instantâneo. Piracicaba: ESALQ - USP 2002. 98p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

Crestana, S.; Posada, A.N. Dinâmica da água e de solutos na região não-saturada do solo: modelagem da dinâmica da água e de solutos no solo. In: Crestana, S. et al. Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século. Brasília: Embrapa - SPI, cap. 7, 1996

Reichardt, K.; Timm, L.C.; Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

Scaloppi, E.J.; Sistemas de irrigação por superfície. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.12, n.139, p.12-26, 1986.

Skogerboe, G.V.; Walker, W.R.; Teoria y practica del riego por superficie. Logan: International Irrigation Center, 1987. 459 p.

Tenório, F.J.C.; Definição da velocidade de infiltração para projetos de irrigação por aspersão. Estado de Alagoas. Maceió: UFAL, 2005. p 3, Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Alagoas.

Wallace, J.S.; Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. Agriculture Ecosystems & Environment, Netherlands, v. 82, p. 105 - 119, 000.

CAPÍTULO I

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Infiltração da água no solo

Denomina-se infiltração de água o processo pelo qual este líquido atravessa a superfície do solo em um determinado tempo, estendendo-se enquanto perdura a sua disponibilidade em sua superfície. O processo de quantificação da infiltração é de grande importância prática, pois, sua taxa ou velocidade, muitas vezes serve para determinar o deflúvio superficial (*runoff*) ou enxurrada, responsável pelos fenômenos de inundação e erosão durante as precipitações ou irrigações mal planejadas (Reichardt & Timm, 2004). Para Kutilek & Nielsen (1994) a infiltração é descrita como a entrada de água no solo através de sua superfície, que pode assumir as mais variadas formas no solo, o qual pode ser coberto pela água em sua totalidade ou apenas parcialmente, pois a infiltração determina o balanço de água na zona radicular e, por isso, o conhecimento deste processo e suas relações com as propriedades são de fundamental importância para o eficiente manejo com a água. O conhecimento do processo de infiltração também fornece subsídios para o dimensionamento de reservatórios, estruturas de controle de erosão e de inundação, canais e sistemas de irrigação e drenagem (Brandão et al., 2003).

A infiltração da água no solo acontece em todos os sentidos, na vertical o potencial gravitacional pode ter participação preponderante, na horizontal já é o potencial gravitacional que não é significativo ou em qualquer ângulo (Santos, 1987; Reichardt & Timm, 2004).

Em termos gerais, a *VI* é um processo desacelerado, começa com uma taxa alta e vai decrescendo gradativamente, no tempo, até atingir certo equilíbrio dinâmico. Nessas condições, quando a velocidade praticamente passa a não mais variar com o tempo passará a ser chamada de Velocidade Básica de Infiltração (*VIB*), (Reichardt, 1987). O conhecimento desta determinação no campo é imprescindível para elaboração de um projeto de irrigação (Reichardt, 1990). No entanto, é de fundamental importância o conhecimento das condições das propriedades físicas da superfície e, conseqüentemente, a retenção de umidade do solo para uma boa interpretação dos resultados.

A infiltração de água no solo deve ser quantificada através de métodos capazes de representar, adequadamente, as condições naturais em que se encontra o solo. Neste

sentido, torna-se necessário adotar métodos e modelos cujas determinações se baseiam em condições iguais às observadas durante o estudo ao qual o solo é submetido, uma vez que a taxa de infiltração é afetada pelo conteúdo inicial de umidade, superfície do solo, condutividade hidráulica saturada, tamanho e volume de poros, presença de horizontes estratificados, textura e tipo de argila, é o que garante Prusk et al., (1997). Já os resultados obtidos são ainda intimamente dependentes do método utilizado para sua determinação.

No perfil de umedecimento do solo durante a infiltração, distinguem-se as quatro zonas fundamentais como de saturação, de transição, de transmissão e a de umedecimento, as quais são assim descritas por Brandão et al., (2003): a zona de saturação localizada imediatamente abaixo da superfície do solo é normalmente uma camada estreita, com espessura de aproximadamente 1,5 cm, em que o solo se encontra saturado, a de transição é uma camada caracterizada pelo decréscimo acentuado da umidade, com espessura em torno de 5 cm, já a zona de transmissão é a região do perfil através da qual a água é transmitida, sua espessura aumenta continuamente com a aplicação de água, é também caracterizada por pequena variação da umidade em relação ao espaço e tempo, e a de umedecimento é uma região caracterizada por uma camada normalmente estreita, mas com grande redução na umidade com o aumento da profundidade.

Brandão et.al., (2006) enumeraram vários fatores que afetam a infiltração, dividindo-os em dois grupos principais: aqueles que modificam a velocidade de infiltração num ponto e num período de tempo dado e são influenciados pelas: textura, estrutura, viscosidade do líquido e materiais orgânicos e os que influenciam a velocidade média de infiltração sobre uma área maior e também num período de tempo, tais como: declividade, vegetação e micro relevo.

1.2. Características do solo

Segundo Bernardo (1995), a velocidade de infiltração depende diretamente da textura e da estrutura dos solos e a variação na textura do perfil tem grande influência na velocidade de infiltração de água no solo. Do ponto de vista físico, a estrutura do solo se apresenta tão importante quanto à textura, pois, solos argilosos bem estruturados podem mostrar maiores taxas de infiltração do que os com estrutura instável, que sofrem dispersão quando umedecidos ou submetidos a algum agente desagregador, em vista da

estabilidade dos agregados ser determinada pelos chamados agentes cimentantes, que são representados principalmente pela matéria orgânica e pelos óxidos de Fe e Al. Dessa forma, à medida que aumenta a concentração destes componentes no solo, maior é a possibilidade do solo apresentar estrutura mais estável (Levy & Shainberg 1995; Silva & Kato, 1997).

Camadas que diferem em textura ou estrutura no perfil do solo podem retardar o movimento da água durante a infiltração. Surpreendentemente, camadas de argila e de areia podem ter comportamentos similares, embora por razões opostas, a camada de argila dificulta o movimento da água no perfil do solo devido à sua baixa condutividade hidráulica, enquanto a camada de areia pode retardar o deslocamento da frente de umedecimento, em razão de sua baixa condutividade hidráulica sob condições não-saturadas (Pruski et al., 1997).

Para um mesmo tipo de solo a *VI* varia com relação à percentagem de umidade, porosidade e existência de camada menos permeável ao longo do perfil. Dependendo do grau de umidade em que se encontra o solo durante uma chuva ou irrigação, pode-se ter uma maior ou menor velocidade de infiltração. Isto porque o material coloidal tende a dilatar quando molhado, reduzindo com isso o tamanho do espaço poroso e, conseqüentemente, a velocidade de infiltração. Os solos com alto conteúdo de material coloidal tendem a romper-se quando secos, resultando em alta velocidade de infiltração até que as fendas se encham (Sales, 1992).

Para Naime (2001), a quantidade de água e solutos transportados através do solo depende de vários fatores: do volume de água aplicada na superfície da capacidade de absorção de água solo, da presença de macroporos, da quantidade de matéria orgânica presente no solo, da solubilidade das substâncias presentes e da permeabilidade do solo. Macroporos contínuos têm efeito direto sobre a infiltração de água e o transporte de soluto no solo, isto sem falar nas características físicas do solo como granulométrica, graus de compactação, dispersão, floculação e distribuição de raízes que determinam os processos hidrogeológicos que nele ocorrem.

1.3. Cobertura do solo

Vários autores como Kitredge (1938), Arend & Horton (1949), Corsini (1974) e Carmo (1976) têm demonstrado que o fator de maior influência na velocidade de infiltração é a cobertura vegetal. No solo que não possui cobertura vegetal, e ainda

apresenta textura fina, o impacto da gota de chuva ou irrigação sobre ele exerce uma compressão na camada superficial e a velocidade de infiltração é reduzida. Porém, isso não ocorre quando há boa cobertura vegetal, pois o solo permanece com boa permeabilidade.

1.4. Tipo de preparo e manejo do solo

Para Brandão et al., (2006) em geral, quando se prepara o solo, a capacidade de infiltração tende a aumentar, em razão da quebra da estrutura da camada superficial. No entanto, se as condições de preparo e manejo forem inadequadas, sua capacidade de infiltração poderá tornar-se inferior a de um solo sem preparo, principalmente se a cobertura vegetal for removida. Uma vez formado o selamento superficial e em muitos casos, este é estabelecido muito rapidamente após as primeiras precipitações, a taxa de infiltração da água no solo é consideravelmente reduzida.

Silva & Kato (1997) verificaram que os parâmetros físico-hídricos que mais influenciam a infiltração (macroporosidade e condutividade hidráulica) são bem maiores no local onde prevalece a cobertura natural do solo, que na área de plantio direto e manejo convencional. No manejo convencional, isto em parte é explicado pelo tráfego intenso de máquinas sobre a superfície do solo, produzindo uma camada compactada que reduz a capacidade de infiltração da água.

1.5. Características do fluido

Sendo um dos fatores que mais influenciam na infiltração, a condutividade hidráulica é dependente do material poroso e das características intrínsecas do fluido. O fator de fluidez é um dos atributos que depende das características do líquido, como viscosidade e massa específica do mesmo. Estas características são afetadas pela temperatura, pressão e concentração de substâncias presentes no fluido. Assim, a medida que a temperatura da água se eleva, sua viscosidade é diminuída, aumentando, conseqüentemente, a condutividade hidráulica do solo (Reichardt, 1996).

1.6. Variabilidade espacial da velocidade de infiltração

A escolha do sistema de irrigação, a prática de distribuição de água e a sistematização do terreno vão depender em grande extensão do conhecimento da *VIB*,

de tal forma que sua determinação deve ser feita no local apropriado para o estudo, com amostragem realmente representativa e com o mínimo possível de erro.

No entanto, a *VIB* é uma propriedade física do solo muito trabalhosa e onerosa quando determinada "*in situ*", sendo sua avaliação ainda bastante dificultada por causa da grande variabilidade espacial dos solos, tanto de um local para outro, dentro do perfil do solo. Esta variabilidade pode ser entendida como todas as variações em propriedades e características do solo dentro de unidades taxonômicas e/ou cartográficas (Sales, 1992).

A variabilidade espacial dos solos, quando não observada adequadamente, pode comprometer o planejamento, uso e manejo, já que, a eficiência de projetos de irrigação, drenagem e conservação do solo depende destas variáveis.

1.7. Métodos para determinação da velocidade de infiltração

A infiltração de água no solo deve ser determinada por técnicas simples e capazes de representar, adequadamente, as condições em que se encontra o solo. Para tanto, torna-se necessário adotar técnicas cuja determinação baseia-se em condições semelhantes às aquelas observadas durante o processo ao qual o solo é submetido. Uma vez que a taxa de infiltração é muito influenciada pelas condições de superfície e conteúdo de umidade do solo, o conhecimento dessas condições é de fundamental importância para a interpretação dos resultados (Brandão et al., 2006).

Para Coelho et al., (1992) a quantificação da velocidade de infiltração da água no solo, em projetos de irrigação por aspersão, tem como objetivo estabelecer a taxa máxima de aplicação de água pelos aspersores que serão instalados no campo, a qual deverá ser menor ou igual a taxa de infiltração da água na superfície do solo.

A velocidade de infiltração da água no solo pode ser determinada através de diversos métodos, dentre os quais se destacam: infiltrômetro de anéis concêntricos (*IANC*), infiltrômetro de aspersores (*IAS*), entrada-saída d'água no sulco (*ESAS*) e infiltrômetro de sulco (*IS*) que também foi preconizada por Bernardo (1995), além dos métodos citados, poderão ser levados em consideração alguns outros métodos que serão modificados para atender cada situação específica.

A técnica do infiltrômetro de anéis concêntricos (*IANC*) consiste em dois anéis, sendo o menor com diâmetro de 25 cm e o maior de 50 cm, ambos com 30 cm de altura, devendo-se instalá-los de modo concêntricos, na vertical, e enterrados 15 cm no solo,

com auxílio de marreta. A importância do anel externo é evitar que a água do anel interno se movimente lateralmente. A altura da lâmina d'água nos anéis deve ser entre 5 e 10 cm, permitindo uma oscilação máxima de 2 e 5 cm, para facilitar as leituras, medem-se as distâncias entre a borda superior do anel e a superfície d'água (Bernardo, 1995).

Segundo Fabian & Ottoni Filho (1993), na determinação da taxa de infiltração da água no solo com uso de infiltrômetro de anéis, em função da grande variabilidade dos resultados, há necessidade de um elevado número de determinações para que estes sejam confiáveis. Isto ocorre devido à pequena profundidade de cravação dos anéis, possibilitando maior efeito de bordadura, e à pequena área amostrada, além da variabilidade espacial das características de solo.

Para Coelho et al.,(1992), a quantificação da intensidade de precipitação dos aspersores em projetos de irrigação por aspersão, quando efetuada pela técnica do *IANC*, deverá ser baseada em um número significativo de ensaios de campo para estabelecer um valor confiável de *VIB*.

Vieira (1977) comenta que o método do infiltrômetro de anéis é influenciado pela presença de fendas e canais biológicos no solo, que poderiam superestimar a real capacidade de absorção de água do solo.

O método de estimativa da *VI* da água no solo através do *IANC* é indiscutivelmente mais prático e econômico para ser aplicado em condições de campo, quando comparado às demais técnicas existentes, por exemplo, o simulador de chuva (Coelho et al., 1992).

O método do infiltrômetro de aspersores (*IAS*) ou simulador de chuva, simular a condição real de precipitação artificial na área estudada, considera-se a velocidade de infiltração assim obtida, como sendo a velocidade real de infiltração da água no solo (Coelho et al., 1992). Vieira (1977) comenta que a técnica do *IAS* apresenta uma adequada aproximação da velocidade real de infiltração básica da água no solo, em sistemas de irrigação por aspersão. Por outro lado, de acordo com Al Qinna & Abu-Awwad (1998), afirma que a forma de molhar a área com o *IAS* reduz o movimento lateral da água, tornando assim a *VI* mais real do que a medida pelo *IANC*.

No entanto, em diversas situações de campo, não é possível a utilização de simuladores de chuva, devido à inexistência de uma infra-estrutura mínima no local de ensaio, restando como única alternativa em alguns casos, o emprego da técnica do *IANC* (Coelho et al., 1992).

O método da Entrada-Saída de água no sulco (*ESAS*) consiste em colocar dois medidores de vazão, um na extremidade superior do sulco e o outro afastado deste, em função do tipo de solo. Determina-se a *VBI* no próprio sulco de irrigação no campo, quando a vazão do escoamento no final do sulco atinge um valor constante. A *VBI* será igual à diferença entre a vazão aplicada no início do sulco e a que escoou no seu final, dividido pelo comprimento do sulco (Bernardo, 1995). Este método só é adequado para projetos que utilizam o sistema de irrigação superficial. Já a técnica do infiltrômetro de sulco (*IS*) consiste em represar água em um pequeno comprimento de sulco em geral um metro e ir acrescentando água, à medida que ela for se infiltrando. Pode-se permitir uma oscilação máxima do nível d'água de 2 cm, dentro do sulco. A água acrescentada ao sulco é proveniente de um recipiente de volume conhecido (Bernardo, 1995).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al - Qinna, M.I.; Abu - Awwad, A.M. Infiltration rate measurement in arid soils with surface crust. *Irrig Sci*, v.18, p.83-89, 1998.
- Arend, J.L. & Horton, R.E. Some effects of rain intensity, erosion, and sedimentation on infiltration capacity. *Soil Science Society America Proceedings*, Columbus, n.7, p.82-90, 1949.
- Bernardo, S. Manual de irrigação. 6. ed. Viçosa: UFV - Imprensa Universitária, 1995. 657p.
- Brandão, V. de S.; Pruski, F.F.; Silva, D.D. do Infiltração da água no solo. Viçosa: UFV, 2006. 98 p.
- Carmo, G.F. Efeito de três tipos de cobertura vegetal sobre a velocidade de infiltração básica (VIB). Viçosa: UFV, 1976. 29 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- Coelho, R. D.; Viccino, J.R.; Silva, V.M. Variabilidade espacial da infiltração de água no solo - infiltrômetro de anéis. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola 1992, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p.406-415.
- Corsini, P.C. Modificações de características físico-hídricas em perfis das séries Jaboticabal Santa Tereza, ocasionadas pelo cultivo intenso. *Científica*, Jaboticabal, v.2, n.2, p.148-161, jul./dez. 1974.
- Fabian, A.J.; Ottoni Filho, T.B. Projeto de uma câmara de infiltração. In: Congresso brasileiro de Ciências do solo, 24. , 1993, Goiana - GO. Resumo ... Goiana: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, p.107-108, 1993 .
- Kittridge, J. Comparative interpretation in forest open. *Journal of Forestry*, n.38, p.1156-1157, 1938.
- Kutilek, M.; Nielsen, D.R. Soil hydrology. Cremlingen: Dested catena Verlay, 1994. 370 p.

- Lewis, M.R.; Powers, W.L. A study of factors affecting infiltration. Soil Science Soc. Am. Proc., v.3, p.334-339, 1938.
- Naime, J. de M. Um novo método para estudos dinâmicos, in situ, da infiltração da água na região não-saturada do solo. São Carlos: EESC-USP, 2001. 166 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.
- Pruski, F.F.; Vendrame, V.; Oliveira, E.F.; Balbino, L.C.; Ferreira, P.A.; Werlang, L.; Carvalho, L.T. Infiltração da água no Latossolo Roxo. Pesq. Agropec. Bras., v.32, n.1, p.77-84, 1997.
- Prusk, F.F.; Silva, D.D.; Santos, W.L.; Rodrigues, L.N.; Antunes, V.L. *Infiltração de água no solo* [S.I.: s.n], 1997. 26p. (Caderno didático, 25).
- Reichardt, K.; Vieira, S.R. & Libardi, P.L. variabilidade de solos e experimentação de campo. R. Bras. Ci. solo, Campinas, v.10, n.1, p.1-6, 1996.
- Reichardt, K. *Água em sistemas agrícolas*. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.
- Reichardt, K. *Água em sistemas agrícolas*. Universidade de São Paulo-USP – Piracicaba – São Paulo, 1990, 186 p.
- Reichardt, K.; Timm, L.C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478 p.
- Sales, L.E.O. Variabilidade espacial da velocidade de infiltração básica associada a propriedades físicas das camadas superficial e subsuperficial de dois solos da região de Lavras (MG). Lavras: ESAL, 1992. 104 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- Sales, L.E.O.; Ferreira, M.M.; Oliveira, M.S. Velocidade de infiltração básica (VIB) associada a propriedades físicas de dois solos da região de Lavras - MG. In: Congresso brasileiro de Ciências do solo, 24. , 1993, Goiana - GO. Resumo... Goiana: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 1993. p.131-132.
- Santos, A. do N. Determinação da infiltração de água em três solos da microregião depressão do Alto de Piranhas, Estado da Paraíba. Areia: UFPB, 1987. 60 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba.

Shainberg, I.; LEVY, G.J. Infiltration and seal formation processes. In: Soil erosion, conservation, and rehabilitation. New York: Ed. M. Agassi, marcel Dekker, Inc., 1995. p.1-22.

Silva, C.L.; Kato, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. . *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 32, n. 2, p. 213-220, 1997

Vieira, H.A. Comportamento de quatro infiltrômetro na determinação da velocidade de infiltração básica as água no solo. Viçosa, 1977. 52 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

CAPÍTULO II

Velocidade de infiltração da água em um Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo

Jorge Luiz X. L. Cunha¹, Abel W. de Albuquerque², José Paulo V. da Costa²

RESUMO

O conhecimento da velocidade de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir os métodos de conservação do solo, o planejamento e dimensionamento de sistemas de irrigação e drenagem. Com o objetivo de se estudar a velocidade de infiltração de água em um Latossolo Amarelo, submetido a diferentes sistemas de manejo aplicado e a diferentes modelos matemáticos, (K_v , K_v-L_w e H_t) o presente trabalho foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, para se avaliar o comportamento das equações de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton. Os testes de infiltração foram realizados em três sistemas de preparo de solo (sistema convencional, plantio direto e cultivo mínimo). O sistema de cultivo mínimo proporcionou melhores resultados, com valores da taxa de infiltração básica de água no solo de 167 mm h^{-1} , superando os demais tratamentos, plantio direto e sistema convencional, e a equação que mais se ajustou ao modelo do infiltrômetro de anel foi o de Kostiakov.

Palavras chave: Irrigação, métodos de infiltração, sistemas de preparo do solo.

Water infiltration speed rate in yellow latosol undergone different soil management systems

Water infiltration rate knowledge into soil is of Paramount importance in order to define soil conservation methods as well as planning and dimensioning of irrigation

¹ Mestre em Agronomia pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Campus Delza Gitaí, BR 104 Norte, km 85, Rio Lar AL, Brasil. CEP 57.100-000. E-mail: cunhajlx@gmail.com. Autor para correspondência.

²Professor do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Campus Delza Gitaí, BR 104 Norte, km 85, Rio Largo, AL, Brasil. CEP 57.100-000. E-mail: awa@fapeal.br

and drainage systems. Aiming at studying the water infiltration rate in a yellow Latosol under different management systems applied to different mathematical models, (Kv, Kv – Lw, and Ht) the present research was conducted in the “Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas” to evaluate the behavior of Kostiakov’s, Kostiakov’s and Horton’s equation. The infiltration tests were conducted in three different soil preparations (conventional, minimal cultivation and direct planting). The minimal cultivation system showed better results, with basic infiltration rates values of water in the soil of 167 mm h^{-1} , surpassing the other treatments, direct planting and conventional system. The equation that best adjusted to the ring infiltrometer model was that of Kostiakov.

KEYWORDS: Irrigation, Infiltration Methods, Soil Preparation Systems.

INTRODUÇÃO

A velocidade de infiltração é um processo dinâmico pelo qual a água penetra no perfil do solo, a partir da sua superfície, em função do tempo decorrido. Inicialmente, seu valor é elevado, diminuindo com o tempo, até se tornar constante no momento em que o solo fica saturado, podendo-se denominar de velocidade de infiltração básica (VIB) do solo, parâmetro esse que é de fundamental importância para definir os métodos de conservação do solo, planejamento e dimensionamento de sistemas de irrigação e drenagem.

Para Reichardt (1987), o conhecimento da infiltração da água no solo é imprescindível para elaboração de um projeto de irrigação, voltado para proporcionar maior rendimento às culturas. É uma determinação que tem sido amplamente estudada e ainda não existe um consenso geral e bem estabelecido sobre qual é a melhor técnica para a sua determinação. Dentre as conhecidas propriedades físicas do solo, a infiltração de água é uma das mais importantes quando se estudam fenômenos que estão ligados ao seu movimento, entre estes se destacam a infiltração e redistribuição de água no perfil do solo (Carvalho, 2000).

A infiltração da água no solo deve ser mensurada por meio de técnicas capazes de representar, adequadamente, as condições naturais em que se encontra o solo. Embora

não exista padronização dos sistemas de medição da infiltração de água, uma maneira comumente adotada para medir a lâmina de água infiltrada é a utilização de infiltrômetro de duplo e de simples anel.

A taxa de infiltração da água no solo é influenciada pelo conteúdo inicial de umidade, condutividade hidráulica, superfície do solo, textura, estrutura, tipo de argila, tamanho e volume dos poros. Os resultados obtidos são, ainda, dependentes dos métodos utilizados para múltiplos fins (Prusk et al., 1997). Aos obtidos por Simões (2005), assim, o conhecimento dessas condições é de fundamental importância para a interpretação dos resultados obtidos. Ottoni Filho (2003), estudando quatro tipos de Cambissolos, encontrou valores da *VIB* superiores a 260 mm h^{-1} , resultado cinco vezes maior que o observado pelo mesmo autor em solos arenosos.

Silva & Kato (1998), trabalhando em Latossolo Vermelho-Amarelo com cobertura vegetal, encontraram valores da *VIB* que variaram de $56,0$ a $96,0 \text{ mm h}^{-1}$, e sem cobertura vegetal, constataram variação de *VIB* entre $51,0$ e $78,0 \text{ mm h}^{-1}$.

Alves & Cabena (1999), trabalhando com cultivo mínimo e plantio direto, concluíram que a *VIB* foi maior no sistema de plantio direto, enquanto Sales et al., (1999) encontraram valores de $1,20 \text{ cm h}^{-1}$ para *VIB* em um Podzólico Vermelho-Amarelo que continha 422 g kg^{-1} de argila total, já que em Latossolo Roxo, com 653 g kg^{-1} , atingiu o valor de $5,66 \text{ cm h}^{-1}$.

Lisboa et.al, (2007) obtiveram, em Argissolo Acinzentado, um valor de *VBI* de $41,0 \text{ cm h}^{-1}$, enquanto que em Luvisolo Háptico e Cambissolo Húmico foram encontrados, respectivamente, os valores de $18,40$ e $16,00 \text{ cm h}^{-1}$, os quais foram classificados pelos autores como solos de *VIB* muito alta.

Com o objetivo de avaliar a velocidade de infiltração da água em solos submetidos a diferentes sistemas de manejo, através de modelos matemáticos e comparados com o método do anel infiltrômetro em condições de campo, foi conduzido o presente trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área

O trabalho foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), localizado no município de Rio Largo-AL, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude Sul 9°29'45", longitude oeste 35°49'54", altitude de 165 metros e relevo plano com boa drenagem. Na ocasião da pesquisa, que se estendeu de novembro de 2007 a janeiro de 2008, a área, cujo clima foi classificado como A's de Köppen (tropical quente e úmido com estações seca de primavera-verão e chuvosa de outono-inverno), estava sendo cultivada com soja, em um solo classificado como Latossolo Amarelo coeso distrófico, textura franco arenosa (EMBRAPA, 1999), conforme mostram as análises físicas contidas na Tabela 2.

Tabela 2. Atributos físicos do solo na área experimental submetida aos sistemas de plantio convencional, direto e cultivo mínimo, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm.

		Sistema de Plantio								
		Convencional			Plantio direto			Cultivo Mínimo		
		0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
	cm									
Areia total	g kg ⁻¹	616,00	577,60	509,40	583,80	588,60	553,00	577,80	549,80	486,40
Areia grossa	g kg ⁻¹	442,40	422,20	633,60	421,20	440,00	412,80	411,80	390,20	346,00
Areia fina	g kg ⁻¹	173,60	155,40	142,40	162,60	148,60	140,20	166,00	159,60	140,40
Silte	g kg ⁻¹	179,64	108,04	96,24	161,34	97,04	92,64	167,84	115,84	99,24
Argila total	g kg ⁻¹	204,36	314,36	394,36	254,36	314,36	354,36	254,36	334,36	414,36
Dens. do solo	g cm ⁻³	1,33	1,33	1,30	1,28	1,31	1,28	1,28	1,28	1,22
Dens. das partículas	g cm ⁻³	2,66	2,65	2,67	2,66	2,65	2,67	2,66	2,65	2,67
Porosidade total	%	49,98	49,72	51,38	51,74	50,51	52,09	51,86	51,87	54,27
Silte/argila	-	0,88	0,34	0,24	0,64	0,31	0,26	0,66	0,35	0,24

Amostragem de solo

Ao final de cada teste de infiltração foi aberta, no local, uma trincheira onde se delimitou o perímetro molhado para posteriormente serem retiradas as amostras de solos para serem enviadas ao laboratório de física do solo do CECA/UFAL (Tabela 2).

Determinação da velocidade de infiltração

O método adotado para medir a velocidade de infiltração, e posteriormente o acondicionamento da água no solo foi adaptado do modelo clássico do infiltrômetro de anéis concêntricos (*IANC*), utilizando-se apenas o cilindro de 50 cm de diâmetro e 40 cm de altura.

O cilindro foi inserido no solo a uma profundidade de 15 cm, em seguida se colocou uma régua presa a um suporte de madeira colocado na borda superior do cilindro, fixada no centro do mesmo, para se projetar até tocar a superfície do solo, para medir a lâmina de água que foi padronizada para uma altura máxima de 5 cm e mínima de 2 cm. Após a leitura para cada tempo determinado, colocou-se água no cilindro até a altura de 5 cm, que de acordo com Merriam et al., (1983) pode-se utilizar um infiltrômetro de cilindro único na determinação de infiltração vertical, desde que ele tenha no mínimo 25 cm de diâmetro e que seja instalado a pelo menos, 15 cm abaixo da superfície do solo. Cilindros concêntricos podem ser utilizados, porém, raramente se conseguem melhor precisão.

Modelos empíricos

Foram utilizados para a determinação da *VIB* os modelos empíricos desenvolvidos por Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton, que descrevem o volume de água que penetra no solo em função do tempo:

Modelo de Kostiakov (1932):

$$I = a T^n \quad (\text{eq.1})$$

$$\frac{dI}{dT} = VI = an T^{n-1} \quad (\text{eq.2})$$

Onde:

I = Infiltração acumulada - (L);

a e n = constantes que dependem do solo (adimensionais);

VI = Velocidade de Infiltração – (LT^{-1});

T = tempo – (T).

Modelo de Kostiakov – Lewis (1945):

$$I = a T^n + k T \quad (\text{eq.3})$$

$$\frac{dI}{dT} = VI = an T^{n-1} + k \quad (\text{eq.4})$$

Onde:

I = Infiltração acumulada - (L);

a e n = constantes que dependem do solo (adimensionais);

VI = Velocidade de Infiltração – (LT^{-1});

T = tempo – (T);

K = Velocidade de Infiltração Básica (LT^{-1}).

Modelo de Horton (1940):

$$I = i_f T + (i_i - i_f)e^{-\beta t} \quad (\text{eq.5})$$

$$\frac{dI}{dT} = VI = i_f + (i_i - i_f)/\beta \times (1 - e^{-\beta t}) \quad (\text{eq.6})$$

Onde:

I = Infiltração acumulada - (L); VI = Velocidade de Infiltração – (LT^{-1}); a e n = constantes que dependem do solo (adimensionais) e i_f = infiltração final (LT^{-1}); i_i = infiltração inicial (LT^{-1}); β = fator de proporcionalidade (adimensional); e = logaritmo neperiano; T = tempo – (T).

As equações (1), (3) e (5) representam a infiltração acumulada, enquanto (2), (4) e (6) se referem à velocidade de infiltração da água, respectivamente para os modelos empíricos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton.

Para Reichardt & Timm (2004), o modelo de Kostiakov é prático, pois, com dados de I em função de T pode-se, mediante um gráfico $\log I$ versus $\log T$, estimar os parâmetros a e n .

O modelo de Kostiakov-Lewis é uma equação modelo matemático, entretanto sua aplicação é limitada para um tempo muito longo de infiltração (PHILIP, 1957).

O modelo de Horton (1940) é um modelo que não se baseia em nenhuma teoria física, e de acordo com Philip (1957) é relativamente inadequado para representar um decréscimo muito rápido da taxa de infiltração, no entanto para tempo longo, este modelo representa melhor a infiltração se comparada com o modelo de Kostiakov. Este modelo determina empiricamente os parâmetros i_i , i_f , e β a partir de pares de valores simultâneos da infiltração acumulada ou da velocidade de infiltração, seja acumulada (equação 5) ou instantânea (equação 6), respectivamente (Brandão, et al 2006).

Análise estatística

O delineamento estatístico adotado (Tabela 1) foi em parcela subdividida onde os Tratamentos foram constituídos por 3 Sistemas de Manejo e os Sub-tratamentos por 4 modelos empíricos para a determinação da velocidade da infiltração e cinco repetições, assim discriminados:

Tabela 1. Distribuição dos tratamentos e sub-tratamentos adotados no ensaio.

Tratamentos	Sub-Tratamentos
Convencional (CV)	Modelo empírico de Kostiakov
Plantio direto (PD)	Modelo prático do anel
Cultivo mínimo (CM)	Modelo empírico e Kostiakov-Lewis
	Modelo empírico de Horton

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo variou em profundidade, de 1,30 para 1,33 g cm⁻³, para o cultivo convencional; e de 1,28 a 1,31 g cm⁻³ para o plantio direto e o cultivo mínimo assemelhou-se ao convencional, nas profundidades de 0-40 e 40-60 cm apresentando valores de 1,28 e 1,22 g cm⁻³, (Tabela 2).

Como se pode observar pela Tabela 2, os teores de areia total e silte decrescem com a profundidade no solo, acontecendo o contrário com a argila total e o espaço poroso, que aumentaram nas camadas de 40 a 60 cm, enquanto a relação silte/argila diminuiu nitidamente à proporção que se aumentava a profundidade; a porosidade do solo variou de 2,57 a 16,58; 12,31 a 15,81 e de 0,07 a 24,08 % para o CV, PD e CM respectivamente.

Para os diferentes sistemas de manejo de solo estudados, os resultados expressos na Tabela 3 apresentaram valores médios das velocidades de infiltração decrescentes, quando o tempo aumentava, mostrando que ao se aproximar da *VIB* os resultados obtidos nos testes de infiltração se tornavam cada vez mais constantes passando a partir deste momento a ser chamada de velocidade de infiltração básica (*VIB*) dos tratamentos, onde as estabilizações foram obtidas a partir de 164 minutos, com as velocidades de 14,88, 16,32 e 25,44 cm h⁻¹, para o CV, PD e CM respectivamente, estando de acordo com Hillel, (1980).

Tabela 3. Valores médios das velocidades de infiltração, desvio padrão e coeficiente de correlação dos resultados dos testes de infiltração de água no solo, para os sistemas de manejo convencional, plantio direto e cultivo mínimo em função do tempo.

Leitura das lâminas – cm									
Tempo min.	Plantio Convencional			Plantio direto			Cultivo mínimo		
	MédiaVI	D. padrão	CV (%)	Média	D. padrão	CV (%)	Média	D. padrão	CV (%)
001	67,20	0,22	19,36	68,40	0,11	10,00	75,60	0,15	12,04
002	48,00	0,34	42,39	48,00	0,23	29,32	69,60	0,05	04,72
004	36,00	0,16	13,18	43,80	0,36	24,98	57,00	0,19	09,85
006	34,80	0,15	13,07	35,40	0,29	25,00	55,80	0,17	09,00
008	33,00	0,16	14,37	31,20	0,24	25,98	51,60	0,13	07,58
012	24,00	0,24	15,31	27,90	0,13	07,21	47,70	0,77	24,20
016	23,10	0,24	15,64	27,60	0,15	08,24	44,40	0,65	22,10
020	22,50	0,23	15,63	25,80	0,08	04,86	42,90	0,61	21,21
024	20,70	0,24	17,30	24,90	0,11	06,87	42,00	0,58	20,82
029	21,12	0,27	15,35	22,08	0,24	13,09	39,84	0,63	18,98
034	20,88	0,31	17,99	22,08	0,13	07,29	39,60	0,64	19,52
039	19,92	0,32	19,33	21,60	0,16	08,78	38,88	0,60	18,47
044	19,68	0,25	15,30	21,12	0,11	06,48	38,16	0,58	18,26
049	18,96	0,22	13,72	20,88	0,11	06,55	37,68	0,60	19,06
054	18,96	0,22	13,72	21,12	0,09	05,08	36,48	0,60	19,68
064	17,76	0,42	14,05	20,16	0,21	06,17	30,84	0,61	11,88
074	17,04	0,38	13,32	19,32	0,19	05,97	29,76	0,58	11,63
084	16,92	0,36	12,98	19,08	0,20	06,44	28,68	0,42	08,80
094	16,32	0,37	13,61	18,00	0,24	08,16	28,68	0,41	08,66
104	15,84	0,39	14,82	18,00	0,24	08,16	28,08	0,49	10,40
119	15,92	0,33	08,22	17,76	0,38	08,52	27,28	0,75	10,99
134	15,44	0,31	08,11	17,60	0,19	04,25	26,72	0,64	09,61
142	15,12	0,29	07,80	16,72	0,24	05,71	25,84	0,34	05,20
164	14,88	0,30	08,15	16,32	0,16	04,03	25,60	0,38	05,95
179	14,88	0,30	08,15	16,32	0,16	04,03	25,62	0,38	05,91
194	14,88	0,29	07,88	16,32	0,16	04,03	25,44	0,39	06,15

A Tabela 3, utilizando-se os valores médios traçaram-se as curvas com os valores médios das velocidades de infiltrações e também as infiltrações acumuladas, originando a Figura 1A. Por outro lado, analisando o inverso do comportamento das velocidades de infiltração, podem ser vistas as curvas de infiltrações de água no solo (Figura 1A), onde

os valores médios das velocidades básicas de infiltração (14,88 , 16,32 e 25,44 cm h⁻¹) das áreas estudadas foram obtidos tomando-se como referência as curvas das equações dos valores médios das velocidades de infiltrações.

Com os resultados obtidos (Tabela 3), foi possível se determinar os parâmetros teóricos da velocidade de infiltração através de análise de regressão para os modelos empíricos e coeficientes de determinação (R²). Nos modelos estudados, como mostra a Figura 1A, foram constatados altos coeficientes de determinação com valores que variaram de 0,96 a 1, 00, onde o melhor modelo para cálculo da velocidade de infiltração, para o tipo de solo estudado, foi o modelo de Kostiakov (Tabela 4), seguido pelo ajuste da função com R² = 1,00 excetuando os resultados do estudo quando comparado com o modelo de Horton que apresentou valores variando de 0,79 a 0,87.

Tabela 4. Valores médios dos parâmetros, coeficientes de determinação, regressões não lineares e os modelos do Anel, Horton, Kostiakov e Kostiakov – Lewis.

Tratamento	Modelo	Modelos Empíricos				R ²
		VI	Vf	n	y	
		cm h ⁻¹				
Convencional	Anel	67,20	14,80	0,74	54,62 T ^{-0,26}	0,96
	Horton	61,09	14,80	0,70	57,11 T ^{-0,30}	0,87
	Kostiakov	49,41	12,93	0,74	49,40 T ^{-0,26}	1,00
	Kostiakov - Lewis	64,21	27,73	0,74	61,35 T ^{-0,26}	0,99
Plantio Direto	Anel	68,90	16,32	0,75	57,31 T ^{-0,25}	0,97
	Horton	62,09	16,32	0,72	56,81 T ^{-0,28}	0,86
	Kostiakov	52,11	14,81	0,77	52,11 T ^{-0,23}	1,00
	Kostiakov - Lewis	68,43	31,13	0,86	65,74 T ^{-0,14}	0,99
Cultivo Mínimo	Anel	75,60	25,44	0,72	81,64 T ^{-0,22}	0,97
	Horton	67,14	25,44	0,83	55,16 T ^{-0,17}	0,79
	Kostiakov	68,91	27,37	0,83	68,90 T ^{-0,17}	1,00
	Kostiakov - Lewis	94,35	52,81	0,90	92,30 T ^{-0,10}	0,99

Analisando as Figuras B, C e D verifica-se pela diferença nos valores correspondentes aos instantes onde os coeficientes de declividade das curvas - definidos por Prevedelo (1996), como sendo a infiltração básica de um solo correspondente ao instante em que a declividade (assintótica horizontal) da curva equivale a -0,01 cm h⁻¹ min⁻¹

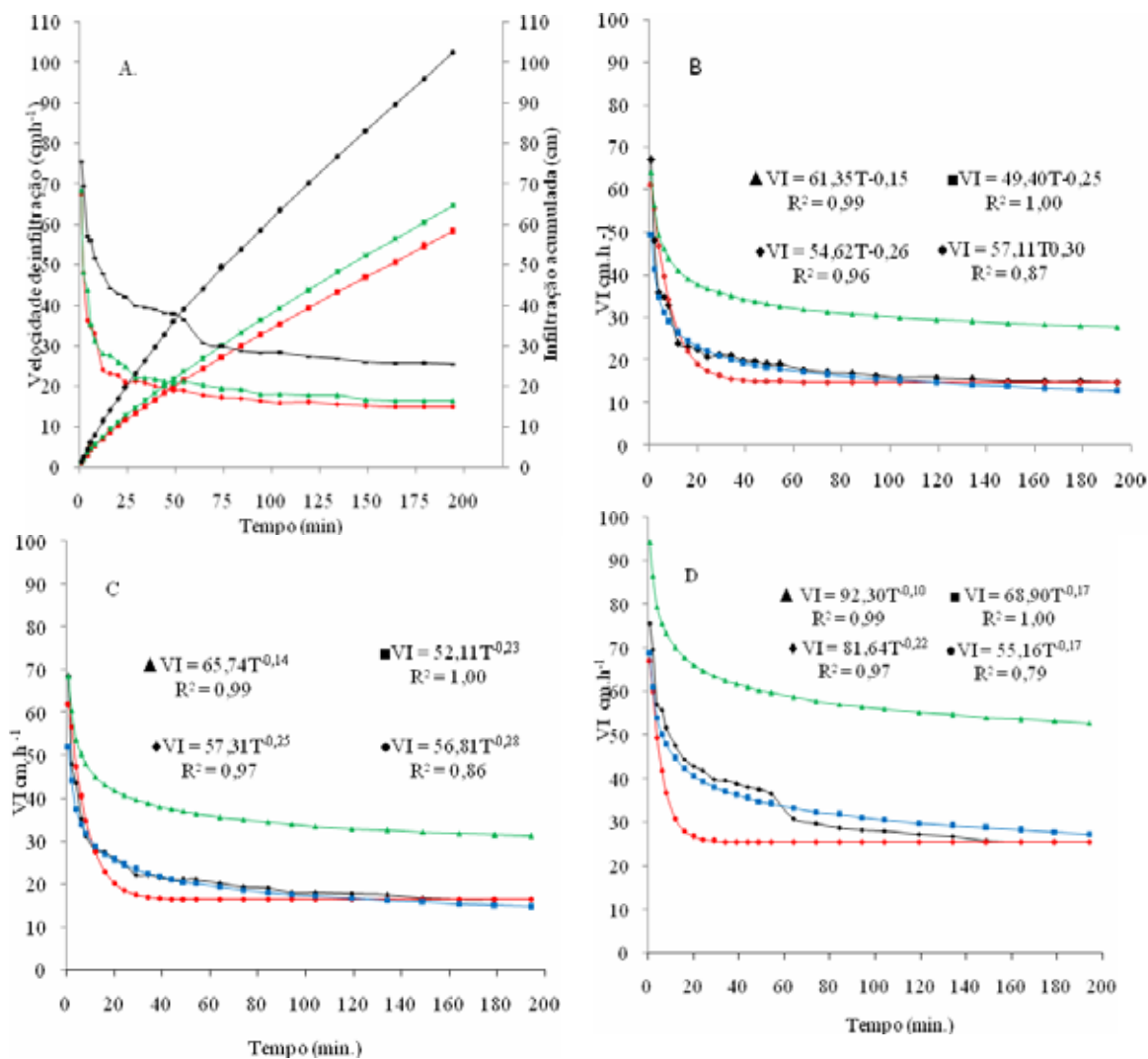


Figura 1. Figura 1A. Velocidade de infiltração e infiltração acumulada dos modelos matemáticos de ■Kv, ▲Kv-Lw e ●Ht. (1B, 1C e 1D, são os valores médios das Velocidades de Infiltração obtidos em campo e os calculados pelos modelos matemáticos. (VI ■, ◆, ×, ▲; 1B. Sistema convencional; 1C. Plantio direto e 1D, cultivo mínimo).

Plantio convencional

A análise de variância mostrou que houve efeito significativo para os sistemas de cultivo, modelos de equações e a interação do sistema de cultivo x modelos matemáticos como mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Resumo da análise de variância dos sistemas de cultivo versus modelos matemáticos no município de Rio Largo – AL, 2008

Causa de variação	GL	QM
Sistema de Cultivo (SC)	2	1361,7560**
Resíduo (A)	8	11,9709
Modelo de Equações (ME)	3	1294,4008**
SC x ME	6	69,1695**
Resíduo (3)	40	3,9417
Total	59	
CV (%) SC	14,81	
CV (%) ME	8,50	

** altamente significativo

Modelo de Kostiakov

Através dos valores obtidos pela Tabela 6 foi possível constatar que não houve diferença significativa entre os tratamentos, a 5% de probabilidade, quando se comparou o desempenho do teste de campo pelo infiltrômetro de anel com o modelo empírico de Kostiakov.

As velocidades de infiltração básica variaram de 12,9 e 14,88 cm h⁻¹ para os modelos do anel e o empírico de Kostiakov, respectivamente, no tempo máximo de 194 minutos, diferindo dos resultados obtidos por Wilson et al., (2005), que trabalhou com o infiltrômetro de anéis em um Latossolo com lâminas de 0,5 cm h⁻¹ e 1,0 cm h⁻¹, e obteve *VIB* de 40,0 mm h⁻¹ e 48,2 mm h⁻¹, respectivamente, no entanto esses resultados foram semelhantes aos resultados obtidos por Sidiras e Roth, (1984) em Latossolo-Roxo, quando a *VIB* encontrada para o *IAC* com cargas foi de 12,9 cm h⁻¹.

Tabela 6. Equações e coeficientes de correlação das interações das velocidades de infiltração para os tratamentos x modelos adotados.

Sistema de cultivo	Médias	Modelos matemáticos	Médias	VI (cm h ⁻¹)	R ²
Convencional	17,59a	Kostiakov	12,97a	VI = 49,40T ^{-0,26}	1,00
		Anel	14,80a	VI = 54,62T ^{-0,26}	0,96
		Kostiakov-Lewis	27,77b	VI = 61,35T ^{-0,26}	0,99
		Horton	14,80a	VI = 57,11T ^{-0,30}	0,87
Plantio direto	19,68a	Kostiakov	14,87a	VI = 52,11T ^{-0,23}	1,00
		Anel	16,82a	VI = 57,31T ^{-0,25}	0,97
		Kostiakov-Lewis	31,19b	VI = 61,74T ^{-0,14}	0,99
		Horton	16,32a	VI = 56,81T ^{-0,28}	0,86
Cultivo mínimo	32,81b	Kostiakov	27,49a	VI = 68,90T ^{-0,17}	1,00
		Anel	25,44a	VI = 81,64T ^{-0,22}	0,97
		Kostiakov-Lewis	52,90b	VI = 92,30T ^{-0,10}	0,99
		Horton	25,44a	VI = 55,16T ^{-0,17}	0,79

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Modelo de Kostiakov-Lewis

Na Figura 1B para os valores encontrados em campo através do modelo do anel, quando comparado ao de Kostiakov-Lewis, mostraram que o comportamento entre curvas foi diferente, chegando a atingir o dobro do valor obtido no campo pelo modelo do anel, alcançando à *VIB* (14,8 e 27,7 cm h⁻¹, anexo III), no tempo de 194 minutos, ou seja, um valor equivalente ao dobro da curva do anel, caracterizando-se como um modelo que não deve ser utilizado para avaliar o estudo da velocidade de infiltração da água, para este tipo de solo. Pois, quanto maior for a velocidade de infiltração, maior se tornará a distância entre as mencionadas curvas, justificando que houve diferença significativa, a 5% de probabilidade (Tabela 6). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Alves Sobrinho (2003), quando estudaram a adequação das equações de Horton e Kostiakov-Lewis à condição de chuva simulada de 14,6 cm h⁻¹, e concluíram que a segunda equação seria a menos adequada para estimar a velocidade de infiltração de água no solo.

Modelo empírico de Horton

Os valores obtidos com o modelo do anel e o de Horton (Figura 1B), quando comparados entre si, foram bastante semelhantes, correspondendo às velocidades de infiltração básica de 14,80 cm h⁻¹, para as duas curvas, no tempo de 194 minutos. Por outro lado, no decorrer do intervalo de 5 a 75 minutos de aplicação do teste de infiltração da água no campo, notou-se que a diferença se acentuava progressivamente, mostrando que se tratava de um modelo que apresenta grandes limitações, devendo-se considerá-lo como pouco explicativo para o tipo de solo estudado.

O modelo de Horton apresentou velocidade de infiltração básica do solo igual ao modelo do infiltrômetro de anel obtido no campo. Quando se aplicou o teste de Tukey, 5% de probabilidade, esta igualdade entre os tratamentos passou a ser atribuída à aproximação que as curvas apresentam no início e final das curvas. Os resultados foram diferentes daqueles encontrados por Alves Sobrinho et al., (2003), que estudando a aplicabilidade da equação de Horton, sob condição de chuva simulada de 60 mm h⁻¹ em áreas de plantio convencional, concluíram que esta equação seria a mais adequada para apresentar a estimativa da taxa de infiltração de água do solo.

A prática do plantio convencional é baseada nas atividades agrícolas comuns, de manejo de solo, tais como aração, gradagens, subsolagens. Neste tipo de solo é comum o aparecimento de horizontes com problemas de compactação, proveniente do trânsito de máquinas sobre o solo, e este fenômeno dificulta a penetração de água, diminuindo a velocidade de infiltração básica do solo.

Para o cultivo convencional, pode-se observar pela Figura 2 que o modelo empírico de Kostiakov foi o que apresentou maior aderência ao longo da reta quando comparado com o método do anel no tempo final da *VIB*. Verificou-se que o modelo de Horton apresentou pouca aderência, com destaques entre as velocidades de 20 a 30 cm h⁻¹, porém, bem menos que o modelo de Kostiakov, enquanto o modelo de Kostiakov-Lewis não apresentou aderência ao longo de todo estudo estabelecido.

A explicação para o melhor desempenho do modelo de Kostiakov é a semelhança que o modelo tem com a fórmula usada pelo método do anel. O modelo de Kostiakov apenas subestima os resultados para os valores altos (velocidade inicial) e superestima valores baixos, ou seja, próximos à velocidade de infiltração.

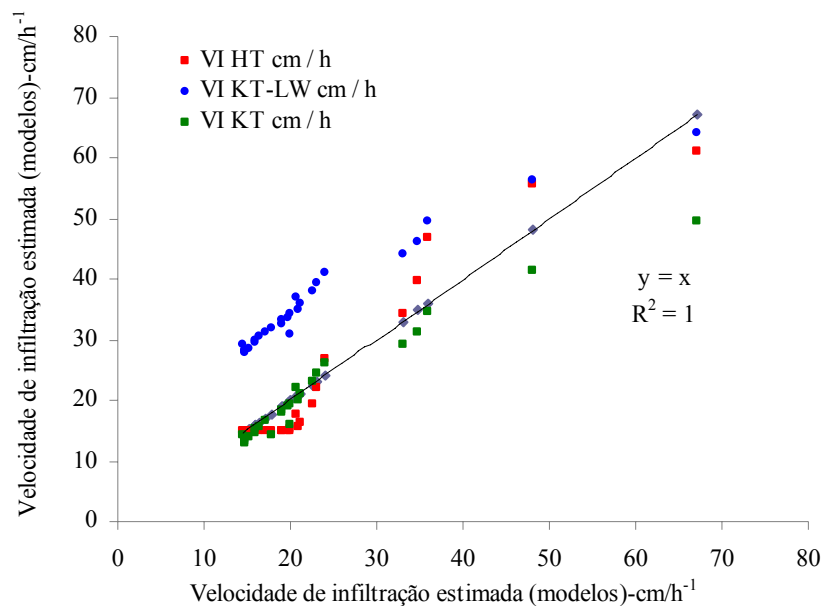


Figura 2 – Valores médios das velocidades de infiltração medidos e calculados pelos modelos matemático no Sistema Plantio Convencional.

PLANTIO DIRETO

O sistema de cultivo Plantio Direto foi semelhante estatisticamente ao modelo de sistema de plantio convencional e diferiu do modelo de cultivo mínimo (Tabela 6), havendo diferença estatística para os modelos matemáticos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Modelo de Kostiakov

Na Figura 1C, pode-se constatar que quando se comparou o método do infiltrômetro de anéis e o modelo de Kostiakov, indicou que houve uma distribuição consistente dos resultados que originaram a curva que comparado com a do modelo empírico de Kostiakov. Observou-se que o modelo pode ser aplicado com bastante segurança para o Latossolo Amarelo Coeso, e que os resultados das *VIB* foram de 16,32 e 14,80 cm h⁻¹, respectivamente (Tabela 4 e anexo VII e VIII). Verificou-se, ainda, que ambas as curvas tiveram comportamentos semelhantes ao longo do experimento (Figura 1C), sendo que apenas no tempo inicial a velocidade de infiltração foi superior, porém, no decorrer do teste não houve praticamente diferença entre as curvas, estendendo-se até o tempo final de 194 minutos, o que é comprovado pela aplicação do teste de Tukey, a 5 % de

probabilidade (Tabela 6), quando mostrou que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Estes resultados foram diferentes dos obtidos por Sidiras e Roth (1987) que encontraram uma velocidade de infiltração básica de $12,9 \text{ cm h}^{-1}$, ao trabalharem com um Latossolo-Roxo Distrófico, utilizando o modelo de infiltração para anéis concêntricos (IAC). Por outro lado, estes resultados estão de acordo com os obtidos por Simões (2005), para um Cambissolo, em que a *VIB* encontrada para aplicação do mesmo modelo (IAC), com cargas hidráulicas de 5 e 10 cm foram, respectivamente, $10,4$ e $14,3 \text{ cm h}^{-1}$.

Modelo de Kostiakov-Lewis

Os valores obtidos através das equações de Kostiakov-Lewis (Kv-Lw), e os valores provenientes dos testes de infiltração através do infiltrômetro de anéis, permitiram gerar as curvas mostradas na Figura 1C, analisando a distribuição dos dados do infiltrômetro de anel e o modelo de Kv-Lw, verifica-se que foram semelhantes apenas no início do estudo, todavia, à medida que o tempo aumentava as curvas foram se distanciando progressivamente, de tal maneira que, no final do teste (aos 194 min), a diferença entre elas chegou a alcançar praticamente o dobro; assim esta equação pode ser considerada imprópria para ser comparada com o modelo do cilindro de anel, para solo semelhante ao que foi feito o estudo de campo, provavelmente devido ao fato de suas *VBI* serem consideradas muito altas, $16,32$ e $31,1 \text{ cm h}^{-1}$, conforme afirma Bernardo (2005), a classificação do solo quanto a velocidade de infiltração básica é assim distribuída: muito alta se maior que 30 mm h^{-1} , de 15 e 30 mm h^{-1} alta, entre 5 e 15 mm h^{-1} média e baixa a partir de valores menores que 5 mm h^{-1} .

A análise estatística (Tabelas 5 e 6) indicou que houve diferença significativa, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, entre as médias dos tratamentos com anel e Kv-Lw. Esses valores foram diferentes dos resultados obtidos por Lisboa et al. (2007), que encontraram uma *VIB* de $41,0 \text{ cm h}^{-1}$, em um Argissolo Acinzentado, enquanto que em Luvisolo Háptico e Cambissolo Húmico os valores foram de $18,4$ e $16,0 \text{ cm h}^{-1}$, respectivamente.

Modelo empírico de Horton

As médias dos valores provenientes do modelo do cilindro de anel e do modelo de Horton estão na Figura 1C, onde se observou que as curvas de tais modelos foram bastante semelhantes no desenvolvimento inicial e final, inclusive com *VIB* igual a 16,32 cm h⁻¹ (Tabela 4), porém, no intervalo entre os tempos de 10 a 150 minutos, a diferença se acentuava, mostrando que o modelo pode ser utilizado para este tipo de tratamento. O que é comprovado ao se aplicar o teste de Tukey a 5 % de probabilidade, ao constatar que não houve diferença significativa entre as duas curvas (Tabela 6). Estes resultados não estão de acordo com os obtidos por Simões (2005), que, estudando a *VIB* em Cambissolos com carga hidráulica de 5 cm, encontrou velocidades de infiltração de 10,44 cm h⁻¹ e 14,43 cm h⁻¹, respectivamente, para o mesmo tipo de solo.

Considerado como uma prática conservacionista, o PD proporciona profundas modificações nas relações entre o solo, a água e a planta, melhorando os atributos físicos e químicos do solo, contribuindo para a melhoria da porosidade, densidade do solo e, por conseguinte a infiltração de água (Klein & Libardi, 2002). Vários estudos realizados concluíram que no sistema de plantio direto os valores de infiltração tendem a aumentar em decorrência da melhoria na estrutura do solo e conseqüentes aumentos no teor de matéria orgânica e da porosidade provocados pela rotação de culturas (Freitas, 1994).

Avalia-se pela Figura 3 que o modelo de Kostiakov apresentou valores que mostraram a melhor coerência com os demais modelos, e a elevada aderência no final da reta, com as velocidades distribuídas entre 15 e 25 cm h⁻¹, e dispersando-se quando as velocidades se distanciavam além de 30 cm h⁻¹. Já o modelo de Horton é perfeitamente aderente à reta no momento em que a curva tende a estabilizar-se, mostrando discreta dispersão nas proximidades de 20 a 35 cm h⁻¹, apesar de apresentar uma razoável distribuição ao longo da reta. Enquanto o modelo de Kostiakov-Lewis apresentava pequena aderência no início da aplicação do teste em campo, distanciando-se à medida que se aproxima da *VIB*.

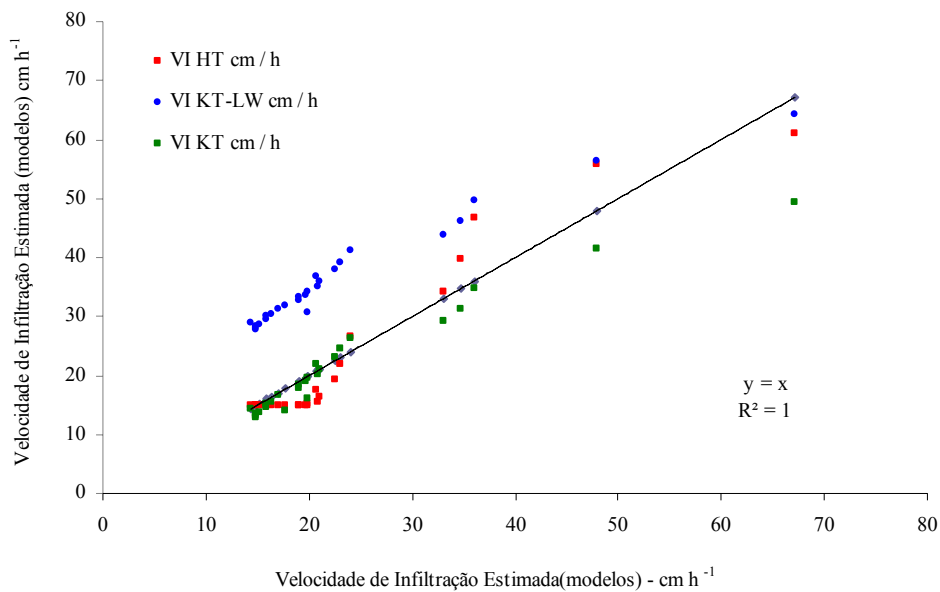


Figura 3 – Valores médios das velocidades de infiltração medidos e calculados pelos modelos matemáticos no Sistema Plantio direto.

2

Cultivo Mínimo

Modelo empírico de Kostiakov

O sistema de cultivo mínimo superou a velocidade de infiltração dos modelos de sistema plantio convencional e plantio direto (Tabela 6). Havendo diferença significativa entre os modelos matemáticos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A curva com os dados obtidos em uma área submetida ao cultivo mínimo, com duas gradagens e uma subsolagem que se estendeu até 40 cm de profundidade, é mostrada na Figura 1D. Pode-se afirmar que o modelo de Kostiakov poderá ser aplicado com segurança neste tipo de solo em que os resultados das *VIB* foram correspondentes a 25,44 e 27,37 cm h⁻¹ (Tabela 4).

Observou-se, ainda na Figura 1D, que a curva se mostrou do início ao final do teste, um comportamento que apresentou uma distribuição muito consistente de todos os valores teóricos, praticamente idênticos aos obtidos através do modelo prático do anel infiltrômetro, a exemplo dos outros manejos de solo anteriormente estudados, razão porque as medias apresentaram igualdades entre os tratamentos, quando se aplicou o teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 6). Estes resultados discordam com

aqueles obtidos por Lisboa et al., (2007), que estudando a velocidade de infiltração em solos com textura mais arenosa, que encontraram valores para *VIB* de 40,00 cm h⁻¹. E também com Ottoni Filho (2003), que estudando quatro Cambissolos encontraram valores superiores a 26,00 cm h⁻¹.

Modelo empírico de Kostiakov-Lewis

O tratamento onde se utilizou o modelo do cilindro de anel e que foi comparado com de Kostiakov-Lewis, pode ser observado na Figura 1D. Os valores obtidos pela equação de Kv-Lw foram bastantes consistentes, mas, não pode ser considerado como o modelo ideal para comparar com o modelo pratico de campo, este modelo apresenta uma diferença crescente, desde o inicio do estudo, a partir de 2 minutos até o tempo final de 194 minutos, apresentando diferença de 103,26% de distanciamento entre ambas as curvas com *VIB* de 25,4 e 52,8 cm h⁻¹. As Tabelas 4 e 6, mostra que, estatisticamente a 5% de probabilidade, houve diferença significativa entre os tratamentos. Esses valores foram diferentes dos obtidos por Lisboa et al. (2007), que encontraram em Argissolo Acinzentado um valor de *VBI* de 41,0 cm h⁻¹ e concordando com Ottoni Filho (2003) que estudando quatro tipos de Cambissolos, encontrou valores de *VBI* superiores a 26,0 cm h⁻¹, resultado cinco vezes maior que o observado pelo mesmo autor em solos arenosos.

Modelo empírico de Horton

A Figura 1D mostra a curva da velocidade de infiltração de água no solo, proveniente da aplicação do método do anel e o modelo de Horton, para uma área em que utilizou-se o plantio em cultivo mínimo, e permitiu afirmar que os valores obtidos pelo método do anel e comparados com o modelo de Horton após 150 minutos se tornaram praticamente idênticas Isto mostra que o modelo de Horton apresenta uma consistência quando o tempo de infiltração que se aproxima daquele que define a *VIB*, e que obtiveram valores de 25,4 e 25,4 cm h⁻¹, (Tabela 4).

Estes valores corroboram os resultados encontrados por Ottoni Filho (2003), quando estudou quatro tipos de Cambissolos e encontrou valores de *VIB* superiores a 26,0 cm h⁻¹. A análise estatística (Tabela 6) mostra que houve diferença significativa a 5% de probabilidade entre os modelos de Horton e o infiltrômetro de anéis.

Para confirmação destes resultados foram construídas as Figuras 2, 3 e 4, que mostram os valores médios da velocidade de infiltração calculados pelos modelos matemáticos versus os valores médios das velocidades observadas em campo. Pode-se verificar o melhor desempenho do modelo de Kostiakov quando comparado com os demais, como se pode observar pela melhor aderência dos pontos a reta ideal. Semelhante desempenho foi encontrado para a regressão não linear. Quando se compara com o modelo de Horton e Kostiakov-Lewis entre si, verifica-se desempenho diferente entre eles no cálculo da taxa de infiltração, como se pode observar nas referidas Figuras.

Em consequência das subsolagens e gradagens a que foi submetido o CM provavelmente ocorreu uma modificação na sua estrutura, aumentando a porosidade total, conseqüentemente favorecendo a diminuição da compactação e da densidade global do solo, fenômenos estes que favoreceram maior infiltração da água e, naturalmente, aumento na sua velocidade de infiltração.

Pela Figura 4 pode-se observar que o modelo de Kostiakov apresentou melhor distribuição dos valores médios da taxa de infiltração quando comparado com os demais modelos, que pode se observar pela maior aproximação dos pontos com a reta ideal (cilindro de anel), principalmente da metade do tempo até o final do estudo de infiltração. Enquanto que os modelos de Horton e Kostiakov-Lewis mostraram-se distantes da reta, com destaque para o modelo de Kv-Lw que se apresentou totalmente incoerente e não aderência durante todo o tempo de infiltração de água no solo, com distanciamento paralelo à reta; este fenômeno pode ser explicado pelo fato de Kv-Lw apresentar um coeficiente da curva de tendência próximo ao da reta ideal (bissetriz - 1:1).

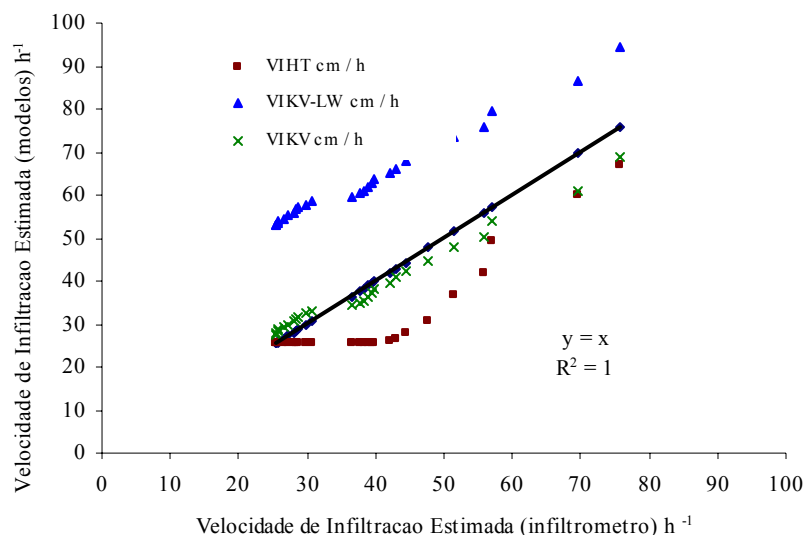


Figura 4 – Valores médios das velocidades de infiltração medidos e calculados pelos modelos matemáticos no Sistema Cultivo Mínimo.

CONCLUSÕES

1 – Os sistemas de manejo (convencional, plantio direto e cultivo mínimo) apresentaram diferentes velocidades de infiltração (*VBI*), sendo que o tratamento que apresentou a maior *VI* foi o cultivo mínimo, seguido do sistema de plantio convencional e plantio direto.

2 – O modelo empírico de Kostiakov foi o modelo que melhor expressou matematicamente o modelo de infiltrômetros de anel.

3 – No sistema de plantio convencional, direto e cultivo mínimo o modelo empírico de Kostiakov pode ser utilizado para determinar a velocidade de infiltração de água, para este tipo de solo e solos que apresentem atributos físicos similares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, M.C.; Cabeda, M.S.V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 23, p. 753-761, 1999.
- Araújo Filho, J.C.; Ribeiro, M.R. Infiltração da água em cambissolos do baixio de Irecê - Bahia. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, n.20, p.363-370, 1996.
- Alves Sobrinho (2003) Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, PB, DEAg/UFCG – <http://WWW.Agriamb.com.br> Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003
- Alves Sobrinho, T.; Antônio, C. T. Vitorino, Luiz, C. F. de Sousa, Manoel, C. Gonsalves & Daniel, F. de Carvalho. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. *Ver. Bras. Eng. Agri. Ambient.* Vol. 7, n. 2, Campina Grande, May / Aug, 2003.
- Bernardo, S.; Soares, A.A.; Mantovani, E.C. Manual de irrigação. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611p.
- Bradão, V.S., Cecilio, R.A., Prusk, F.F. & Silva, D.D. Infiltração de Água no Solo, Viçosa, MG: UFV, 2006. 47p. Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- Carvalho, H. O. G. *Física dos solos*. ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 173p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1999.
- Freitas, P.L. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J.N., ed. *Experiências de plantio direto no Cerrado*. Goiânia, APDC, 1994. p.199-213.
- Hillel, D. *Applications of soil physics*. California: Academic Press, Inc. 1980, 385p.
- Klein, V.A. & Libardi, P.L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não-saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Ci. Rural*, 32:945-953, 2002.
- Lisboa, Heitor; Timm, Luiz Carlos; Reisser Junior, Carlos; Tavares, Vitor Emanuel Quevedo Manke, Gilnei; Tavares, Lizandro Ciciliano; Lemos, Frederico Dekker; Prestes, Rodrigo. XVI CIC Determinação das Curvas de VI de Água de Três Solos Representativos da Persicultura Irrigada na Região de Pelotas-RS. Nov. 2007.

- Merriam, J. L.; Shearer, M. N.; Burt, C. M. Evaluating irrigation systems and practices. In: Jesen, M. E. (ed). Design and operations of form irrigation systems. St Joseph: ASAE, 1983. P. 721-60. (Monography Series,3).
- Otoni Filho, T. B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.27, n. 2, p. 211-22, 2003.
- Philip, J. R. The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. **Soil Science**, v. 83, p. 345-357, 1957.
- Prevedello. C. L.; Física do Solo com problemas resolvidos. Curitiba: C. L. Prevedello, 1996. 446p.
- Prusk, F.F.; Vendrame, V.; Oliveira, E. F.; Balbino, L. C.; Ferreira, P. A.; WERLANG, L.; Carvalho, L.T. Infiltração da água no Latossolo Roxo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 32, n. 1, p. 77-84, 1997. Brasília, v. 32, n. 2, p. 213-20, 1997.
- Reichardt, K. **Água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188p.
- Reichardt, K. & Timm, L.C. **Solo, planta e atmosfera: processos de aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.
- Sales, L. E. de O.; Ferreira. M. M.; Oliveira. M. S.; Curi. N. Estimativa da Velocidade de Infiltração Básica de Solo, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2091-2095, Nov. 1999.
- Sidiras, N.; Roth, C. H.; Infiltration measurements with Double-ring infiltrometers and a rainfall Simulator under different surface conditions on an oxisoil, soil Tillage Research, Amsterdam, v. 9, p. 161-168, 1984.
- Silva, C. L. ; Kato, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 213-220, 1997.
- Simões, W. L.; Figueredo, V. B.; Silva, E. L. do.; Uso do cilindro filtrômetro único em diferentes solos. Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, V. 25, n. 2, p. 359-366, maio/agosto. 2005.
- Wilson, B. N.: Oduro, P. Analytical sensitivity coefficients for the GAML infiltration model. Transactions of the ASAE, v.47, n.2,p.479-484,2004.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi idealizado com o objetivo principal de estudar a velocidade básica de infiltração para projetos de irrigação sob diferentes sistemas de cultivo, convencional, plantio direto e cultivo mínimo em um Latossolo amarelo coeso distrófico no centro de ciências agrárias da UFAL, no município de Rio Largo, Estado de Alagoas.

Com os conhecimentos da velocidade de infiltração de água no solo, e dos modelos de equações empíricas utilizadas foi possível, também, definir para área que foi estudada um modelo de equação que mais se aproximasse dos valores obtidos através dos anéis para infiltrômetro. Neste sentido, foram utilizados três modelos de equações matemáticas: o modelo de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e o modelo de Horton.

Dentre os diferentes sistemas de plantios adotados, o que apresentou maior velocidade de infiltração de água foi o de plantio em cultivo mínimo, vindo em seguida o do plantio direto e por último o de plantio convencional. Parâmetros estes que serão de grande importância para auxiliar na elaboração dos projetos de irrigação, como também servirão como suporte para utilização em áreas destinadas ao ensino, ligados à orientação didática dos alunos.

ANEXO I

Valores Médios das lâminas de água no interior do cilindro em função do tempo no cultivo convencional

Quant.	T _{inst} min	T _{acum} min	Leitura cm	Diferença cm	Infilt. _{acum} cm	V I _m cm / h	V I _{inst} cm / h
1	1,00	1	1,12	1,12	1,12	67,20	67,20
2	1,00	2	0,80	-0,32	1,92	57,60	48,00
3	2,00	4	1,20	0,40	3,12	46,80	36,00
4	2,00	6	1,16	-0,04	4,28	42,80	34,80
5	2,00	8	1,10	-0,06	5,38	40,35	33,00
6	4,00	12	1,60	0,50	6,98	34,90	24,00
7	4,00	16	1,54	-0,06	8,52	31,95	23,10
8	4,00	20	1,50	-0,04	10,02	30,06	22,50
9	4,00	24	1,38	-0,12	11,40	28,50	20,70
10	5,00	29	1,76	0,38	13,16	27,23	21,12
11	5,00	34	1,74	-0,02	14,90	26,29	20,88
12	5,00	39	1,66	-0,08	16,56	25,48	19,92
13	5,00	44	1,64	-0,02	18,20	24,82	19,68
14	5,00	49	1,58	-0,06	19,78	24,22	18,96
15	5,00	54	1,58	0,00	21,36	23,73	18,96
16	10,00	64	2,96	1,38	24,32	22,80	17,76
17	10,00	74	2,84	-0,12	27,16	22,02	17,04
18	10,00	84	2,82	-0,02	29,98	21,41	16,92
19	10,00	94	2,72	-0,10	32,70	20,87	16,32
20	10,00	104	2,64	-0,08	35,34	20,39	15,84
21	15,00	119	3,98	1,34	39,32	19,83	15,92
22	15,00	134	3,86	-0,12	43,18	19,33	15,44
23	15,00	149	3,78	-0,08	46,96	18,91	15,12
24	15,00	164	3,72	-0,06	50,68	18,54	14,88
25	15,00	179	3,72	0,00	54,40	18,23	14,88
26	15,00	194	3,70	-0,02	58,10	17,97	14,80

ANEXO II

Leituras das lâminas de água no interior do cilindro em função do tempo no Plantio direto

Quant.	T _{inst} min	T _{acum} min	Leitura cm	Diferença cm	Infilt. _{acum} cm	V I _m cm / h	V I _{inst} cm / h
1	1,00	1	1,14	1,14	1,14	68,40	68,40
2	1,00	2	0,80	-0,34	1,94	58,20	48,00
3	2,00	4	1,46	0,66	3,40	51,00	43,80
4	2,00	6	1,18	-0,28	4,58	45,80	35,40
5	2,00	8	1,04	-0,14	5,62	42,15	31,20
6	4,00	12	1,86	0,82	7,48	37,40	27,90
7	4,00	16	1,84	-0,02	9,32	34,95	27,60
8	4,00	20	1,72	-0,12	11,04	33,12	25,80
9	4,00	24	1,66	-0,06	12,70	31,75	24,90
10	5,00	29	1,84	0,18	14,54	30,08	22,08
11	5,00	34	1,84	0,00	16,38	28,91	22,08
12	5,00	39	1,80	-0,04	18,18	27,97	21,60
13	5,00	44	1,76	-0,04	19,94	27,19	21,12
14	5,00	49	1,74	-0,02	21,68	26,55	20,88
15	5,00	54	1,76	0,02	23,44	26,04	21,12
16	10,00	64	3,36	1,60	26,80	25,13	20,16
17	10,00	74	3,22	-0,14	30,02	24,34	19,32
18	10,00	84	3,18	-0,04	33,20	23,71	19,08
19	10,00	94	3,00	-0,18	36,20	23,11	18,00
20	10,00	104	3,00	0,00	39,20	22,62	18,00
21	15,00	119	4,44	1,44	43,64	22,00	17,76
22	15,00	134	4,40	-0,04	48,04	21,51	17,60
23	15,00	149	4,18	-0,22	52,22	21,03	16,72
24	15,00	164	4,08	-0,10	56,30	20,60	16,32
25	15,00	179	4,08	0,00	60,38	20,24	16,32
26	15,00	194	4,08	0,00	64,46	19,94	16,32

ANEXO III

Leituras das lâminas de água no interior do cilindro em função do tempo no cultivo mínimo

Quant.	T _{inst} min	T _{acum} min	Leitura cm	Diferença cm	Infilt. _{acum} cm	V I _m cm / h	V I _{inst} cm / h
1	1,00	1	1,26	1,26	1,26	75,60	75,60
2	1,00	2	1,16	-0,10	2,42	72,60	69,60
3	2,00	4	1,90	0,74	4,32	64,80	57,00
4	2,00	6	1,86	-0,04	6,18	61,80	55,80
5	2,00	8	1,72	-0,14	7,90	59,25	51,60
6	4,00	12	3,18	1,46	11,08	55,40	47,70
7	4,00	16	2,96	-0,22	14,04	52,65	44,40
8	4,00	20	2,86	-0,10	16,90	50,70	42,90
9	4,00	24	2,80	-0,06	19,70	49,25	42,00
10	5,00	29	3,32	0,52	23,02	47,63	39,84
11	5,00	34	3,30	-0,02	26,32	46,45	39,60
12	5,00	39	3,24	-0,06	29,56	45,48	38,88
13	5,00	44	3,18	-0,06	32,74	44,65	38,16
14	5,00	49	3,14	-0,04	35,88	43,93	37,68
15	5,00	54	3,04	-0,10	38,92	43,24	36,48
16	10,00	64	5,14	2,10	44,06	41,31	30,84
17	10,00	74	4,96	-0,18	49,02	39,75	29,76
18	10,00	84	4,78	-0,18	53,80	38,43	28,68
19	10,00	94	4,72	-0,06	58,52	37,35	28,32
20	10,00	104	4,68	-0,04	63,20	36,46	28,08
21	15,00	119	6,82	2,14	70,02	35,30	27,28
22	15,00	134	6,68	-0,14	76,70	34,34	26,72
23	15,00	149	6,46	-0,22	83,16	33,49	25,84
24	15,00	164	6,40	-0,06	89,56	32,77	25,60
25	15,00	179	6,38	-0,02	95,94	32,16	25,52
26	15,00	194	6,36	-0,02	102,30	31,64	25,44

ANEXO IV

Cálculo das variáveis provenientes do anexo II que originaram os coeficientes para determinação dos parâmetros a e n da curva de velocidade de infiltração no cultivo convencional

Quant.	T _{inst}	T _{acum}	Leitura	Log T	Log I	X * Y	X ²
	min	min	cm	X	Y		
1	1	1	1,12	0,00	0,05	0,00	0,00
2	1	2	1,92	0,30	0,28	0,09	0,09
3	2	4	3,12	0,60	0,49	0,30	0,36
4	2	6	4,28	0,78	0,63	0,49	0,61
5	2	8	5,38	0,90	0,73	0,66	0,82
6	4	12	6,98	1,08	0,84	0,91	1,16
7	4	16	8,52	1,20	0,93	1,12	1,45
8	4	20	10,02	1,30	1,00	1,30	1,69
9	4	24	11,40	1,38	1,06	1,46	1,90
10	5	29	13,16	1,46	1,12	1,64	2,14
11	5	34	14,90	1,53	1,17	1,80	2,35
12	5	39	16,56	1,59	1,22	1,94	2,53
13	5	44	18,20	1,64	1,26	2,07	2,70
14	5	49	19,78	1,69	1,30	2,19	2,86
15	5	54	21,36	1,73	1,33	2,30	3,00
16	10	64	24,32	1,81	1,39	2,50	3,26
17	10	74	27,16	1,87	1,43	2,68	3,49
18	10	84	29,98	1,92	1,48	2,84	3,70
19	10	94	32,70	1,97	1,51	2,99	3,89
20	10	104	35,34	2,02	1,55	3,12	4,07
21	15	119	39,32	2,08	1,59	3,31	4,31
22	15	134	43,18	2,13	1,64	3,48	4,52
23	15	149	46,96	2,17	1,67	3,63	4,72
24	15	164	50,68	2,21	1,70	3,78	4,91
25	15	179	54,40	2,25	1,74	3,91	5,08
26	15	194	58,10	2,29	1,76	4,04	5,23
SOMA	194	1.701	599	39,92	30,88	54,54	70,85
MÉDIA	7,46	65,42	23,03	1,54	1,19	2,10	2,73

ANEXO V

Cálculo das variáveis provenientes do anexo III que originaram os coeficientes para determinação dos parâmetros a e n da curva de velocidade de infiltração no Plantio direto

Quant.	T _{inst} min	T _{acum} min	Leitura cm	Log T X	Log I Y	X * Y	X ²
1	1	1	1,14	0,00	0,06	0,00	0,00
2	1	2	1,94	0,30	0,29	0,09	0,09
3	2	4	3,40	0,60	0,53	0,32	0,36
4	2	6	4,58	0,78	0,66	0,51	0,61
5	2	8	5,62	0,90	0,75	0,68	0,82
6	4	12	7,48	1,08	0,87	0,94	1,16
7	4	16	9,32	1,20	0,97	1,17	1,45
8	4	20	11,04	1,30	1,04	1,36	1,69
9	4	24	12,70	1,38	1,10	1,52	1,90
10	5	29	14,54	1,46	1,16	1,70	2,14
11	5	34	16,38	1,53	1,21	1,86	2,35
12	5	39	18,18	1,59	1,26	2,00	2,53
13	5	44	19,94	1,64	1,30	2,14	2,70
14	5	49	21,68	1,69	1,34	2,26	2,86
15	5	54	23,44	1,73	1,37	2,37	3,00
16	10	64	26,80	1,81	1,43	2,58	3,26
17	10	74	30,02	1,87	1,48	2,76	3,49
18	10	84	33,20	1,92	1,52	2,93	3,70
19	10	94	36,20	1,97	1,56	3,08	3,89
20	10	104	39,20	2,02	1,59	3,21	4,07
21	15	119	43,64	2,08	1,64	3,40	4,31
22	15	134	48,04	2,13	1,68	3,58	4,52
23	15	149	52,22	2,17	1,72	3,73	4,72
24	15	164	56,30	2,21	1,75	3,88	4,91
25	15	179	60,38	2,25	1,78	4,01	5,08
26	15	194	64,46	2,29	1,81	4,14	5,23
SOMA	194	1.701	662	39,92	31,88	56,22	70,85
MÉDIA	7,46	65,42	25,46	1,54	1,23	2,16	2,73

ANEXO VI

Cálculo das variáveis provenientes do anexo IV que originaram os coeficientes para determinação dos parâmetros a e n da curva de velocidade de infiltração no cultivo mínimo

Quant.	T_{inst}	T_{acum}	Leitura	Log T	Log I	X * Y	X ²
	min	min	cm	X	Y		
1	1	1	1,26	0,00	0,10	0,00	0,00
2	1	2	2,42	0,30	0,38	0,12	0,09
3	2	4	4,32	0,60	0,64	0,38	0,36
4	2	6	6,18	0,78	0,79	0,62	0,61
5	2	8	7,90	0,90	0,90	0,81	0,82
6	4	12	11,08	1,08	1,04	1,13	1,16
7	4	16	14,04	1,20	1,15	1,38	1,45
8	4	20	16,90	1,30	1,23	1,60	1,69
9	4	24	19,70	1,38	1,29	1,79	1,90
10	5	29	23,02	1,46	1,36	1,99	2,14
11	5	34	26,32	1,53	1,42	2,18	2,35
12	5	39	29,56	1,59	1,47	2,34	2,53
13	5	44	32,74	1,64	1,52	2,49	2,70
14	5	49	35,88	1,69	1,55	2,63	2,86
15	5	54	38,92	1,73	1,59	2,75	3,00
16	10	64	44,06	1,81	1,64	2,97	3,26
17	10	74	49,02	1,87	1,69	3,16	3,49
18	10	84	53,80	1,92	1,73	3,33	3,70
19	10	94	58,52	1,97	1,77	3,49	3,89
20	10	104	63,20	2,02	1,80	3,63	4,07
21	15	119	70,02	2,08	1,85	3,83	4,31
22	15	134	76,70	2,13	1,88	4,01	4,52
23	15	149	83,16	2,17	1,92	4,17	4,72
24	15	164	89,56	2,21	1,95	4,32	4,91
25	15	179	95,94	2,25	1,98	4,47	5,08
26	15	194	102,30	2,29	2,01	4,60	5,23
SOMA	194	1.701	1.057	39,92	36,66	64,17	70,85
MÉDIA	7,46	65,42	40,64	1,54	1,41	2,47	2,73

ANEXO VII

Resultados das equações empíricas que originaram as curvas dos modelos matemáticos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton e o modelo prático do anel no cultivo convencional

Ordem	T _{acum} min	VI _{anel} cm / h	VI _{HT} cm / h	VI _{KT-LW} cm / h	VI _{KT} cm / h
1	1	67,20	61,09	64,21	49,41
2	2	48,00	55,69	56,22	41,42
3	4	36,00	46,71	49,52	34,72
4	6	34,80	39,70	46,11	31,31
5	8	33,00	34,23	43,90	29,10
6	12	24,00	26,63	41,05	26,25
7	16	23,10	22,01	39,20	24,40
8	20	22,50	19,19	37,85	23,05
9	24	20,70	17,47	36,81	22,01
10	29	21,12	16,24	35,77	20,97
11	34	20,88	15,57	34,94	20,14
12	39	19,92	15,22	34,25	19,45
13	44	19,68	15,02	33,66	18,86
14	49	18,96	14,92	33,15	18,35
15	54	18,96	14,86	32,70	17,90
16	64	17,76	14,82	31,94	17,14
17	74	17,04	14,81	31,32	16,52
18	84	16,92	14,80	30,80	16,00
19	94	16,32	14,80	30,35	15,55
20	104	15,84	14,80	29,95	15,15
21	119	15,92	14,80	29,44	14,64
22	134	15,44	14,80	29,01	14,21
23	149	15,12	14,80	28,63	13,83
24	164	14,88	14,80	28,29	13,49
25	179	14,88	14,80	28,00	13,20
26	194	14,80	14,80	27,73	12,93
SOMA	1.701	603,74	577,38	944,79	559,99
MÉDIA	65,42	23,22	22,21	36,34	21,54

ANEXO VIII

Resultados das equações empíricas que originaram as curvas dos modelos matemáticos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton e o modelo prático do anel no Plantio direto

Ordem	T _{acum} min	VI _{anel} cm / h	VI _{HT} cm / h	VI _{KT-LW} cm / h	VI _{KT} cm / h
1	1	68,40	62,09	68,43	52,11
2	2	48,00	56,55	60,48	44,16
3	4	43,80	47,39	53,75	37,43
4	6	35,40	40,32	50,29	33,97
5	8	31,20	34,86	48,04	31,72
6	12	27,90	27,38	45,11	28,79
7	16	27,60	22,92	43,20	26,88
8	20	25,80	20,26	41,80	25,48
9	24	24,90	18,67	40,72	24,40
10	29	22,08	17,55	39,64	23,32
11	34	22,08	16,97	38,77	22,45
12	39	21,60	16,66	38,05	21,73
13	44	21,12	16,50	37,43	21,11
14	49	20,88	16,41	36,89	20,57
15	54	21,12	16,37	36,42	20,10
16	64	20,16	16,33	35,62	19,30
17	74	19,32	16,32	34,97	18,65
18	84	19,08	16,32	34,41	18,09
19	94	18,00	16,32	33,93	17,61
20	104	18,00	16,32	33,51	17,19
21	119	17,76	16,32	32,97	16,65
22	134	17,60	16,32	32,50	16,18
23	149	16,72	16,32	32,10	15,78
24	164	16,32	16,32	31,74	15,42
25	179	16,32	16,32	31,42	15,10
26	194	16,32	16,32	31,13	14,81
SOMA	1.701	657,48	610,45	1.043,33	619,01
MÉDIA	65,42	25,29	23,48	40,13	23,81

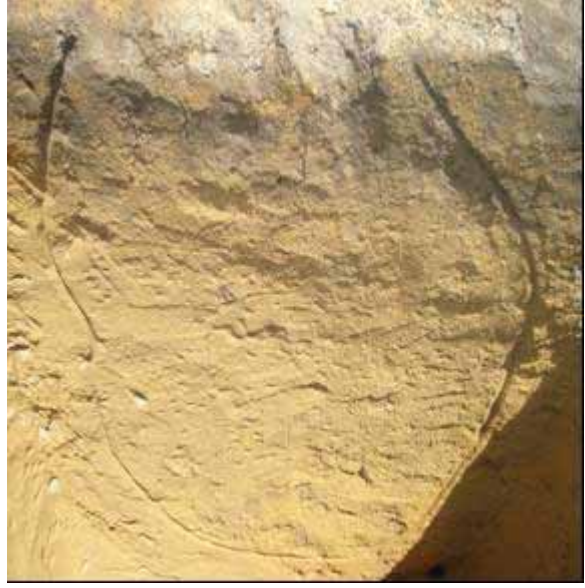
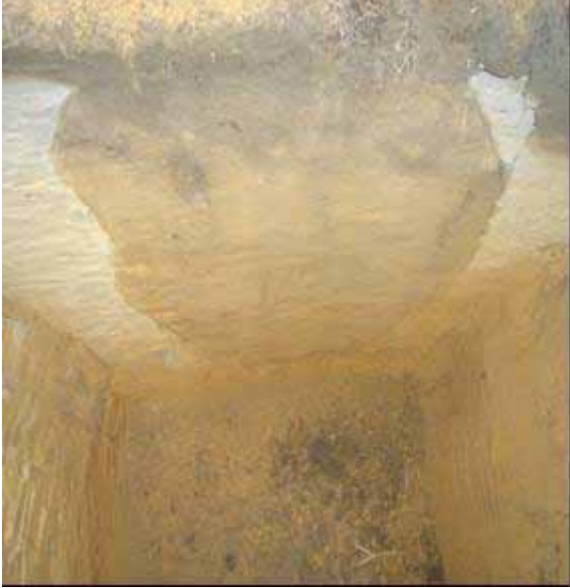
ANEXO IX

Resultados das equações empíricas que originaram as curvas dos modelos matemáticos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton e o modelo prático do anel no cultivo mínimo

Ordem	T_{acum}	VI_{anel}	VI_{HT}	VI_{KV-LW}	VI_{KV}
	min	cm / h	cm / h	cm / h	cm / h
1	1	75,60	67,14	94,35	68,91
2	2	69,60	60,10	86,46	61,02
3	4	57,00	49,39	79,48	54,04
4	6	55,80	41,99	75,78	50,34
5	8	51,60	36,88	73,30	47,86
6	12	47,70	30,90	70,02	44,58
7	16	44,40	28,05	67,83	42,39
8	20	42,90	26,69	66,20	40,76
9	24	42,00	26,03	64,92	39,48
10	29	39,84	25,68	63,63	38,19
11	34	39,60	25,53	62,58	37,14
12	39	38,88	25,48	61,70	36,26
13	44	38,16	25,45	60,94	35,50
14	49	37,68	25,45	60,28	34,84
15	54	36,48	25,44	59,69	34,25
16	64	30,84	25,44	58,68	33,24
17	74	29,76	25,44	57,85	32,41
18	84	28,68	25,44	57,14	31,70
19	94	28,32	25,44	56,52	31,08
20	104	28,08	25,44	55,97	30,53
21	119	27,28	25,44	55,26	29,82
22	134	26,72	25,44	54,64	29,20
23	149	25,84	25,44	54,11	28,67
24	164	25,60	25,44	53,63	28,19
25	179	25,52	25,44	53,20	27,76
26	194	25,44	25,44	52,81	27,37
SOMA	1.701	1.019,32	800,03	1.656,94	995,50
MÉDIA	65,42	39,20	30,77	63,73	38,29

ANEXO X

Fotografia do perfil do solo mostrando o bulbo úmido logo após o encerramento do teste de infiltração.



ANEXO X
Fotografia do cilindro.

