

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**WENDLER DE ALMEIDA DOCKHORN**

**MODELOS DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO EM UMA ÁREA DE CULTIVO  
DE ARROZ**

**Itaqui**

**2014**

**WENDLER DE ALMEIDA DOCKHORN**

**MODELOS DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO EM UMA ÁREA DE CULTIVO  
DE ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador:

Prof. Dr. Virnei Silva Moreira

**Itaqui**

**2014**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

D636m Dockhorn, Wendler de Almeida

MODELOS DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO EM UMA ÁREA DE  
CULTIVO DE ARROZ / Wendler de Almeida Dockhorn.

20 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA, 2014.

"Orientação: Virnei Silva Moreira".

1. infiltração. 2. várzea. 3. planossolo. 4. oryza sativa.  
I. Título.

**WENDLER DE ALMEIDA DOCKHORN**

**MODELOS DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO EM UMA ÁREA  
DE CULTIVO DE ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 19 de agosto de 2014

Banca examinadora:



---

Prof. Dr. Virnei Silva Moreira  
Orientador  
Unipampa Campus Itaqui



---

Prof. Dr. Cleber Maus Alberto  
Unipampa Campus Itaqui



---

Prof. MSc. Leugim Corteze Romio  
Unipampa Campus Itaqui

## RESUMO

O processo de infiltração é um dos principais componentes do balanço hídrico, também é considerado um fator determinante do consumo de água na irrigação por superfície. Portanto, é preciso buscar um modelo que descreva o processo de infiltração da água no solo com maior aproximação a realidade, considerando as características físicas que um solo possui, pois o conhecimento desse processo é de fundamental importância para o manejo eficiente do solo e da água nos cultivos agrícolas. O presente trabalho tem como objetivo validar os modelos propostos por Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton e o modelo de Green-Ampt em uma área de cultivo de arroz. O experimento foi realizado no sítio experimental de Paraíso do Sul, localizado na região central do estado do Rio Grande do Sul, onde foram coletadas amostras do solo para análise física e utilizado o método de infiltrômetro de anéis para a obtenção dos valores da infiltração acumulada. Os resultados obtidos dos ajustes de curvas baseados nos modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton, foram semelhantes e considerados satisfatórios, entretanto, o modelo de Green-Ampt em nenhum dos casos gerou resultados aceitáveis para aplicação. Com o desenvolvimento do trabalho, conclui-se que, para a aplicação do modelo de Green-Ampt é necessário buscar uma nova proposta de ajuste de parâmetros que consiga descrever o processo de infiltração para o tipo de solo estudado.

Palavras-chave: Várzea, Planossolo, *Oryza sativa*.

## **ABSTRACT**

The infiltration process is a major component of the water balance is also considered a factor in the consumption of water in surface irrigation. Therefore, it is necessary to find a model that describes the process of water infiltration into the soil closer to reality, considering the physical characteristics that a solo has, because knowledge of this process is of fundamental importance for the efficient management of soil and water in agricultural crops. This study aims to validate the models proposed by Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Horton and Green-Ampt model in an area of rice cultivation. The experiment was conducted at the experimental site of Paraíso do Sul, located in the central region of Rio Grande do Sul, where soil samples were collected for physical analysis and the method used infiltrometer rings to obtain the values of cumulative infiltration. The results obtained from curves adjustments based on models Kostiakov, Kostiakov-Lewis and Horton were similar and found satisfactory, however, the Green-Ampt model in neither case has generated acceptable results for application. With the development of the work, it is concluded that, for the application of the Green-Ampt model is necessary to seek a new proposed set of parameters that can describe the process of infiltration into the soil studied.

Keywords: Floodplain, Planossolo, *Oryza sativa*.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Foto do sítio experimental em Paraíso do Sul onde está localizada a área de cultivo de arroz que foi realizado o método de infiltrômetro de anéis e a coleta das amostras de solo para análise . . . . .	11
Figura 2 – Esquema dos fluxos de infiltração no método de infiltrômetro de anéis . . . . .	12
Figura 3 – Foto do cano de PVC utilizado para a determinação da infiltração de água no solo e dos duplos anéis concêntricos . . . . .	13
Figura 4 – Gráficos dos ajustes de curvas baseados nos modelos de Horton, Kostiakov e Kostiakov-Lewis, para as medidas dos dois infiltrômetro utilizados no experimento . . . . .	16
Figura 5 – Gráfico dos dados observados nos dois infiltrômetros juntamente com as estimativas obtidas através do ajuste do potencial matricial na frente de umedecimento, utilizando as Equações 5, 6, 7 e 8 . . . . .	18

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados das análises físicas do solo utilizado no experimento . . . . .	12
Tabela 2 – Valores da infiltração acumulada em relação ao tempo nos dois infiltrômetros utilizados no experimento . . . . .	14
Tabela 3 – Valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtidos na aplicação dos ajustes de curvas dos modelos de Horton, Kostiakov e Kostiakov-Lewis nos dois infiltrômetros. . . . .	17

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO . . . . .	9
2	METODOLOGIA . . . . .	11
2.1	Descrição do sítio experimental . . . . .	11
2.2	Coleta dos dados do solo . . . . .	11
2.3	Infiltrômetro . . . . .	12
2.4	Descrição dos modelos de infiltração . . . . .	14
2.4.1	Modelos empíricos . . . . .	14
2.4.2	Modelo teórico de Green-Ampt . . . . .	15
2.4.3	Propostas utilizadas para o cálculo do $\psi_f$ . . . . .	15
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES . . . . .	16
4	CONCLUSÃO . . . . .	19
	REFERÊNCIAS . . . . .	20

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de arroz é oriunda dos sistemas de cultivo irrigado e de sequeiro, sendo a orizicultura irrigada, responsável por 70% da produção nacional. Aproximadamente 90% do arroz irrigado do país é cultivado no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, nas chamadas várzeas ou terras baixas (PETRINI; AZAMBUJA; MAGALHÃES, 2010).

Segundo Gomes e Pauletto (1999), na cultura do arroz irrigado, o sistema de irrigação por inundação pode atingir 20% do custo total de produção, sendo considerado um dos fatores que mais contribui para onerar este sistema. Por este motivo, é necessário considerar o balanço hídrico, que é onde calcula-se todos os ganhos e perdas hídricas que ocorrem num local ou área, de modo a estabelecer a quantidade de água disponível em certo momento (BURIOL, 2009). Sendo, um dos principais componentes do balanço hídrico, o processo de infiltração, que em casos de inundações, é um fator determinante da altura da lâmina d'água e do escoamento superficial. Portanto, o conhecimento desse processo é de fundamental importância para o manejo eficiente do solo e da água nos cultivos agrícolas (REICHARDT; TIMM, 2004).

Nesse contexto, é preciso buscar um modelo que descreva o processo de infiltração da água no solo com maior aproximação a realidade, considerando as características físicas que um solo de várzea possui e também possíveis imprevistos que possam interferir na capacidade de previsão do modelo.

A necessidade de saber o volume de água infiltrado levou ao longo da história, o desenvolvimento de diversos modelos empíricos e teóricos, capazes de estimar a velocidade de infiltração para diferentes tipos de solos. Segundo Brandão et al. (2006), dentre os modelos empíricos, um dos mais utilizados para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação, é o desenvolvido por Kostiakov, em 1932. Porém, o modelo de Kostiakov possui uma limitação na aplicação para longos períodos de tempo, pois a taxa de infiltração tende à zero nesses casos. Com o propósito de eliminar essa falha, foi elaborada em 1945, a equação de Kostiakov-Lewis, que é uma modificação no modelo de Kostiakov, onde se considera uma taxa de infiltração estável quando o tempo tende ao infinito. Outro modelo muito utilizado é o desenvolvido por Horton, em 1940, que foi elaborado considerando outros fatores que interferem no processo de infiltração, como a expansão e contração do solo, encrostamento superficial, entre outros. Entretanto, esses fatores foram considerados empiricamente e, assim como o modelo de Kostiakov e Kostiakov-Lewis, suas constantes não possuem um significado físico, são obtidas através de um ajuste de curvas a partir dos dados obtidos em campo com o auxílio de um infiltrômetro e, são válidos apenas para as mesmas condições iniciais do momento da coleta, diferentemente dos modelos teóricos, como o de Green-Ampt, que é baseado na teoria física do escoamento em meios porosos.

Segundo Mello (2003), os parâmetros da equação de Green-Ampt são de caráter físico e podem ser determinados a partir das propriedades físicas do solo. Entretanto, o fato desses parâmetros não representarem fielmente as condições reais de ocorrência da infiltração, fez com

que diversos autores propusessem diferentes metodologias para determiná-los, a fim de melhorar a simulação feita com a utilização deste modelo.

Tendo em vista os diversos métodos para estimar a infiltração da água no solo, o presente trabalho teve como objetivo validar os ajustes de curvas baseados em três modelos empíricos e também um modelo teórico com alguns ajustes de parâmetros, aplicados em um solo classificado como Planossolo Hidromórfico Distrófico em uma área de cultivo de arroz irrigado.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Descrição do sítio experimental

A coleta dos dados foi realizada em um solo classificado como Planossolo Hidromórfico Distrófico (EMBRAPA, 1999), no período de pousio em uma área destinada ao cultivo de arroz irrigado em um sítio experimental localizado na cidade de Paraíso do Sul (29°44'39,6"S; 53°8'59,8"W), região central do estado do Rio Grande do Sul. Neste local tem-se cultivado arroz irrigado desde a década de 80 e é considerado área de várzea.

Figura 1 – Foto do sítio experimental em Paraíso do Sul onde está localizada a área de cultivo de arroz que foi realizado o método de infiltrômetro de anéis e a coleta das amostras de solo para análise



Fonte: Timm (2011)

### 2.2 Coleta dos dados do solo

As amostras do solo foram coletadas no sítio experimental e encaminhadas posteriormente ao Laboratório de Física e Hidrologia do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria. A partir da análise laboratorial, determinaram-se os valores da granulometria, macroporosidade ( $\phi_{macro}$ ), porosidade total ( $\phi$ ), umidade volumétrica do solo no início do processo de saturação ( $\theta_i$ ), umidade volumétrica do solo saturado ( $\theta_s$ ) e condutividade hidráulica

do solo saturado ( $K_s$ ). Utilizou-se para este estudo os valores referentes a camada de 0 - 10 cm de profundidade, conforme a tabela abaixo:

Tabela 1 – Resultados das análises físicas do solo utilizado no experimento

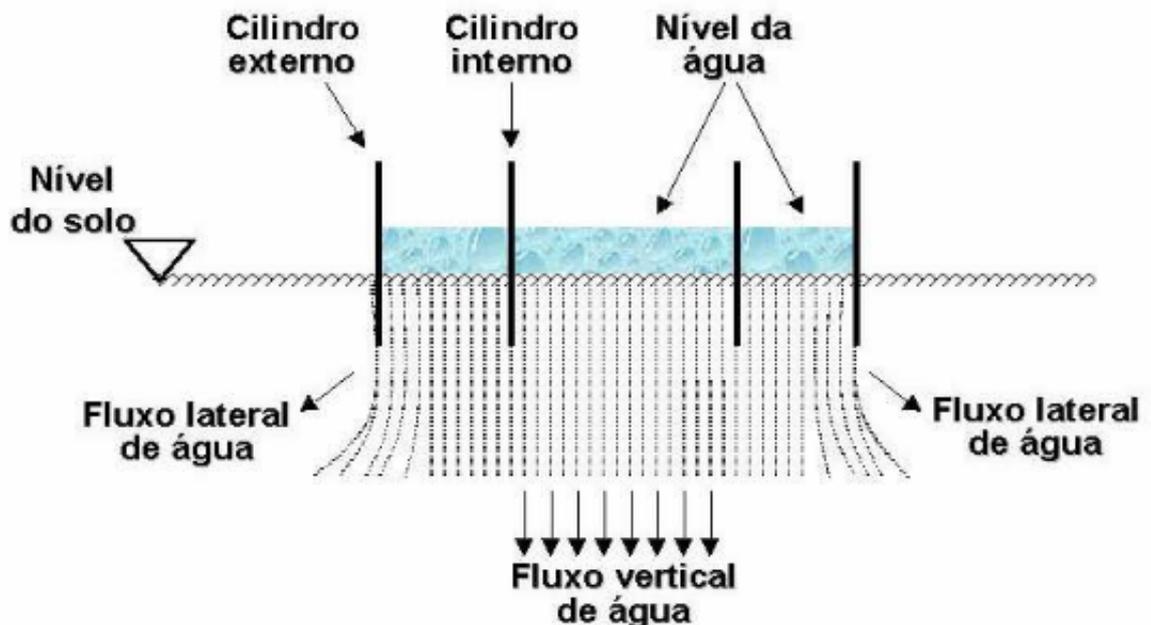
Prof. (cm)	Granulometria ( $g\ kg^{-1}$ )			$\theta_i$ ( $cm^3\ cm^{-3}$ )	$\theta_s$ ( $cm^3\ cm^{-3}$ )	$\phi$ (%)	$\phi_{macro}$ (%)	$K_s$ ( $mm\ h^{-1}$ )
	Areia	Silte	Argila					
0-10	237	616	147	0,23	0,80	0,46	0,39	7,70

Fonte: Laboratório de Física e Hidrologia do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria

### 2.3 Infiltrômetro

Para a obtenção dos dados de infiltração acumulada no solo, foi utilizado o método de infiltrômetro de anéis, que consiste em utilizar dois anéis metálicos concêntricos, sendo o anel externo com diâmetro de 35 cm e o interno com 20 cm. Segundo Brandão et al. (2006), o anel externo tem como finalidade reduzir o efeito da dispersão lateral da água infiltrada do anel interno. Assim, a água do anel interno infiltra no perfil do solo em direção predominantemente vertical, o que evita a superestimativa da taxa de infiltração.

Figura 2 – Esquema dos fluxos de infiltração no método de infiltrômetro de anéis



Fonte: Parchen (2007)

O procedimento foi executado em dois infiltrômetros simultaneamente, com o auxílio de um equipamento semelhante ao descrito por Lanzasova (2005), que consiste em um cano

de PVC, de 150 mm de diâmetro, com um registro de esfera de 1/2 polegada em ambas as extremidades, contendo água em quantidade conhecida por meio de uma mangueira transparente e uma escala graduada em intervalos de 10 ml, suspensos por meio de um tripé de ferro. O uso deste equipamento facilita as leituras da infiltração e resolve o problema de reposição de água nos casos em que isto é necessário.

Figura 3 – Foto do cano de PVC utilizado para a determinação da infiltração de água no solo e dos duplos anéis concêntricos



Fonte: Fiorin (2008)

Durante a realização do procedimento, registrou-se em forma de tabela os valores da infiltração acumulada, que foram obtidos através da conversão da altura que constava na régua graduada nos seguintes tempos em minutos: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180. A diferença de leitura entre dois intervalos de tempo representa a infiltração ( $I$ ) no sentido vertical naquele período, que será utilizado como dado de entrada nos ajustes de curvas e servirá de referência para fins de validação estatística dos modelos.

Tabela 2 – Valores da infiltração acumulada em relação ao tempo nos dois infiltrômetros utilizados no experimento

Tempo (min)	Infiltração Acumulada (mm)	
	Infiltrômetro A	Infiltrômetro B
0	-	-
5	0	1
10	0	2
15	0	2
20	1	2
25	1	2
30	1	2
45	2	3
60	3	3
75	4	4
90	7	4
105	9	5
120	9	5
135	10	5
150	10	5
165	10	5
180	11,5	5

Fonte: Virnei Silva Moreira, 2011

## 2.4 Descrição dos modelos de infiltração

### 2.4.1 Modelos empíricos

Para o desenvolvimento das equações, primeiramente trabalhou-se com os modelos empíricos propostos por Kostiakov (1932), Kostiakov-Lewis (1945) e Horton (1940).

Kostiakov:

$$I = \kappa t^\alpha \quad (1)$$

Kostiakov-Lewis:

$$I = \kappa t^\alpha + i_f t \quad (2)$$

Horton:

$$I = i_f t + \frac{(i_f - i_i)}{\beta} (1 - e^{-\beta t}) \quad (3)$$

Nessas equações,  $I$  representa a infiltração acumulada e  $t$  o tempo, que para o ajuste de curvas, os valores utilizados para o tempo e infiltração acumulada foram obtidos através do infiltrômetro de anel, a fim de atribuir valores para  $\kappa$ ,  $\alpha$ ,  $i_f$ ,  $i_i$  e  $\beta$ , que são constantes que não possuem um significado físico, as quais foram obtidas por meio de ajuste de curvas baseado em cada modelo.

### 2.4.2 Modelo teórico de Green-Ampt

Segundo Cecílio (2005), dentre os modelos existentes para descrever o processo de infiltração, um dos mais bem embasados fisicamente e portanto mais utilizado é o de Green-Ampt.

$$\frac{dI(t)}{dt} = K_s \left( 1 + \frac{\psi_f (\theta_s - \theta_i)}{I} \right) \quad (4)$$

Onde:

$\psi_f$  = potencial matricial do solo na frente de umedecimento ( $mm$ )

$K_s$  = condutividade hidráulica do solo saturado ( $mm\ h^{-1}$ )

$\theta_s$  = umidade volumétrica do solo no saturado ( $cm^3\ cm^{-3}$ )

$\theta_i$  = umidade volumétrica do solo no início do processo de saturação ( $cm^3\ cm^{-3}$ )

Para a aplicação do modelo de Green-Ampt, os parâmetros  $K_s$ ,  $\psi_f$ ,  $\theta_s$  e  $\theta_i$  devem ser estimados. Entretanto, segundo (RODRIGUES, 1999 apud BRANDÃO et al., 2006), a variável  $\psi_f$  é a mais difícil de ser estimada com precisão, devido a desuniformidade da umidade do solo no início do processo de infiltração e à variação de suas propriedades físicas ao longo do perfil. Além disso, para Philip (1958), o valor a ser utilizado como  $\psi_f$  é muito menor que o valor do potencial matricial do solo na frente de umedecimento. Assim sendo, diversos pesquisadores, visando melhorar a estimativa da infiltração sugeriram alternativas para o cálculo do  $\psi_f$ .

### 2.4.3 Propostas utilizadas para o cálculo do $\psi_f$

Devido a diversidade de propostas para o cálculo do potencial matricial na frente de umedecimento, utilizou-se somente os modelos matemáticos recomendados segundo análises feitas por Ataíde (2005), que relacionam o valor do potencial matricial na frente de umedecimento com as características físicas e a condutividade hidráulica do solo saturado.

$$\psi_f = -1151,78 + 3122,53 \phi - 4,27 K_s + 1767,23 S \quad (5)$$

$$\psi_f = 267,51 - 3,39 K_s + 2049,38 S \quad (6)$$

$$\psi_f = 1040,66 - 7,10 K_s - 1953 \phi_{macro} \quad (7)$$

$$\psi_f = 1066,85 - 7,73 K_s - 591,53 A \quad (8)$$

Onde:

$\psi_f$  = potencial matricial do solo na frente de umedecimento ( $mm$ )

$K_s$  = condutividade hidráulica do solo saturado ( $mm\ h^{-1}$ )

$\phi$  = porosidade total (%)

$\phi_{macro}$  = macroporosidade (%)

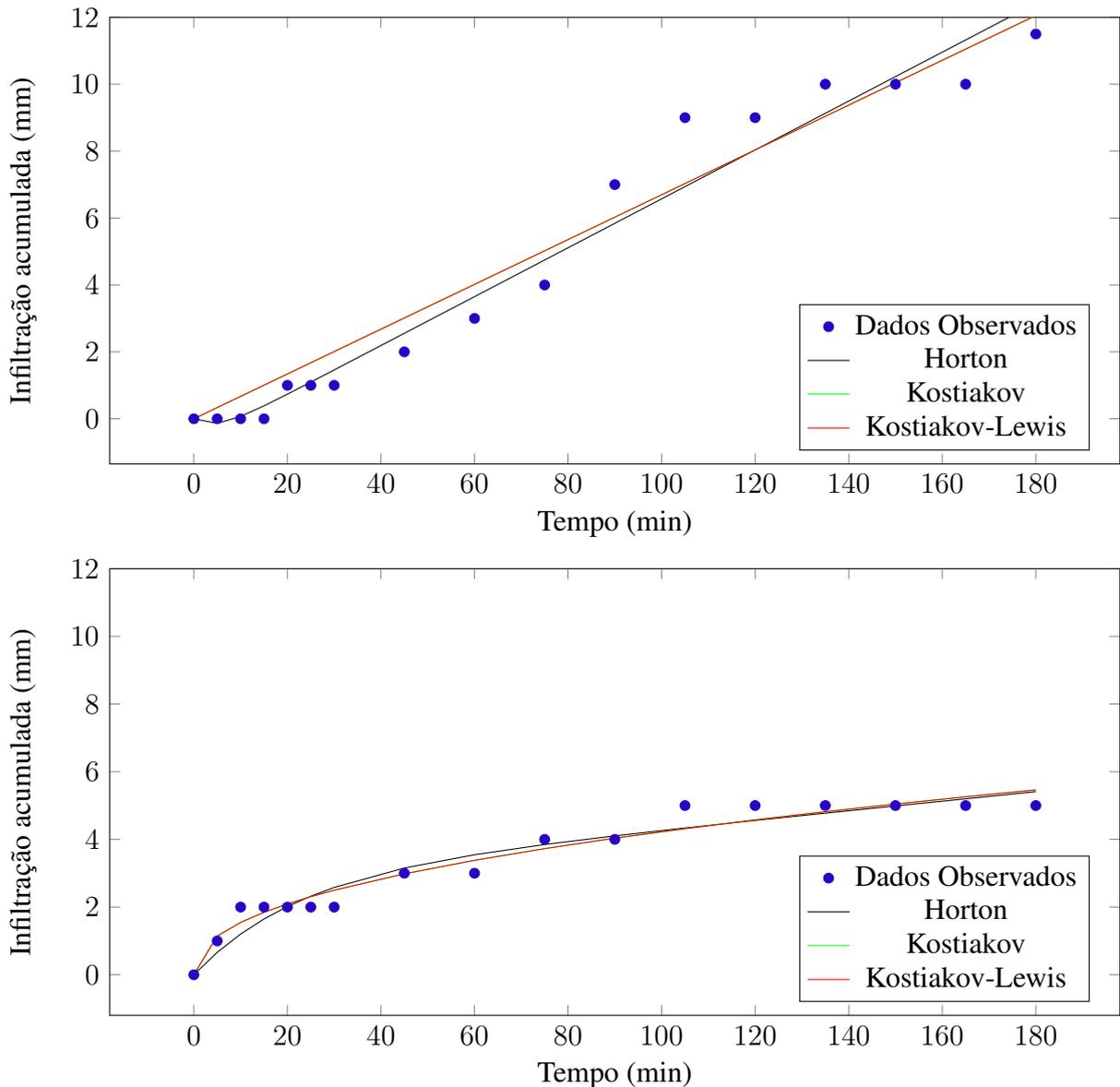
$S$  = porcentagem de silte (%)

$A$  = porcentagem de areia (%)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos com os ajustes de curvas realizados individualmente para cada infiltrômetro foram considerados satisfatórios, pelo fato de que a curva encontrada aproximou-se significativamente dos dados amostrais, conforme é possível conferir na Figuras 4.

Figura 4 – Gráficos dos ajustes de curvas baseados nos modelos de Horton, Kostiakov e Kostiakov-Lewis, para as medidas dos dois infiltrômetros utilizados no experimento



Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos modelos de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton, foram considerados altos o suficiente para a aplicação dos modelos, conforme a Tabela 3.

O valor de  $R^2$  foi muito próximo entre os modelos, porém o ajuste feito pelo modelo

Tabela 3 – Valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtidos na aplicação dos ajustes de curvas dos modelos de Horton, Kostiakov e Kostiakov-Lewis nos dois infiltrômetros.

Infiltrômetro	Modelos		
	Horton	Kostiakov	Kostiakov-Lewis
A	0.96	0.95	0.95
B	0.94	0.95	0.95

Fonte: Elaborada pelo autor

proposto por Horton é mais recomendado, pois, de acordo com (PHILIP, 1957 apud PAIXÃO et al., 2009), o modelo de Horton é relativamente inadequado para representar um decréscimo muito rápido da velocidade de infiltração, entretanto, para longos períodos de tempo, ela representa melhor a infiltração se comparada com o modelo de Kostiakov e Kostiakov-Lewis.

Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho de Tomasini et al. (2010), que analisando o processo de infiltração em uma área cultivada com cana-de-açúcar sob sistema de colheita manual e mecanizada, indicaram o modelo de Horton como o que melhor descreveu o processo de infiltração. Sobrinho et al. (2003), ao estudar a infiltração em solo cultivado sob diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas em um Latossolo Vermelho distroférrico, também constatou que a equação de Horton era mais adequada para o tipo de solo estudado.

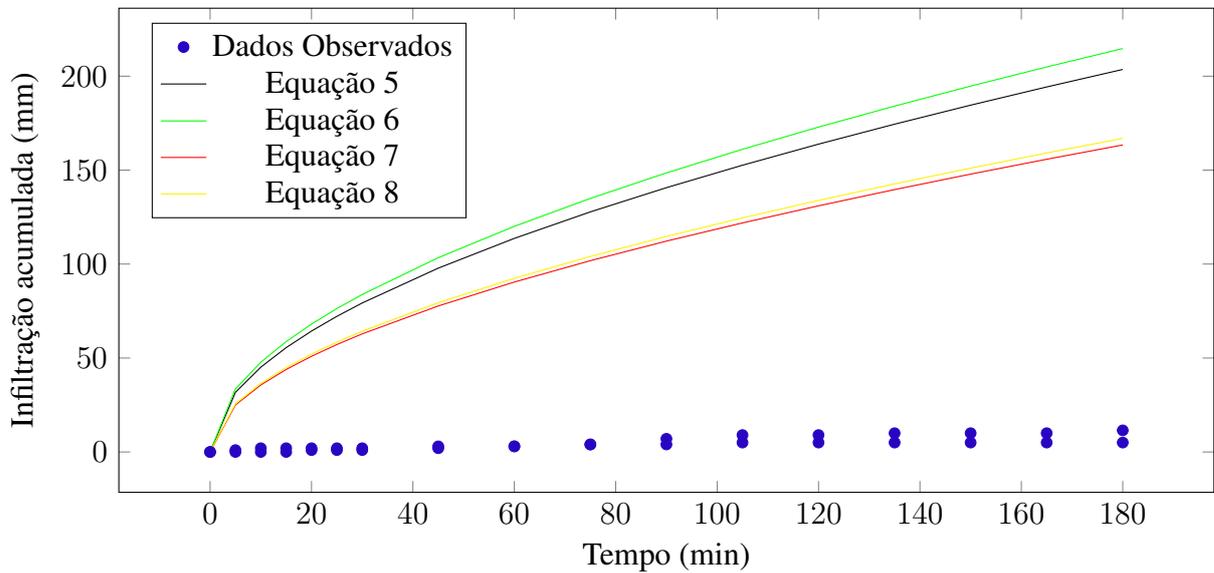
No entanto, a infiltração acumulada no infiltrômetro A no término do experimento foi superior ao dobro do valor obtido no infiltrômetro B no mesmo período de tempo, conforme é possível observar na Tabela 2. A diferença entre as medidas explicita o fato de que, os modelos empíricos obtidos através de ajuste de curvas servem apenas para o ponto no qual foi executada a medida, não se aplicando a outros locais, pois, ao executar o ajuste de curvas, o modelo passa a considerar implicitamente diversos outros fatores que não estão presentes da mesma forma nos demais locais adjacentes. Desta forma, é necessário que o procedimento com infiltrômetros seja executado em mais pontos, a fim de obter dados suficientes para formular um modelo mais confiável.

Os ajustes do parâmetro do potencial matricial na frente de umedecimento ( $\psi_f$ ) não foram considerados adequados para o tipo de solo estudado, uma vez que, os resultados encontrados extrapolaram o valor da infiltração acumulada condizente com a realidade, conforme é possível observar na Figura 5.

O modelo de Green-Ampt foi aplicado utilizando somente estimativas do valor de  $\psi_f$ , entretanto, grande parte dos autores recomendam também ajustes nos parâmetros de  $K_s$  e  $\theta_s$ , a fim de buscar uma maior aproximação do modelo com a realidade. Além disso, para a modelagem das propostas de valor de  $\psi_f$ , Ataíde (2005) utilizou três tipos de solos brasileiros: Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho.

Entretanto, os solos hidromórficos em geral, apresentam densidade naturalmente elevada,

Figura 5 – Gráfico dos dados observados nos dois infiltrômetros juntamente com as estimativas obtidas através do ajuste do potencial matricial na frente de umedecimento, utilizando as Equações 5, 6, 7 e 8



Fonte: Elaborado pelo autor

relação micro/macroporos muito alta e baixa capacidade de armazenamento de água na camada superficial e drenagem natural deficiente (GOMES; PAULETTO, 1999). Esses fatores, associados com os efeitos causados pelo manejo, resultam em características físicas muito diferentes dos solos utilizados por Ataíde (2005) para a formulação de seus modelos, inviabilizando a obtenção de resultados satisfatórios na aplicação dos ajustes propostos para o tipo de solo estudado neste trabalho.

#### **4 CONCLUSÃO**

Os três modelos empíricos aplicados demonstraram resultados semelhante. Entretanto, o modelo de Horton foi considerado o mais adequado para a estimativa da infiltração da água no solo estudado. Com as modificações realizadas utilizando dados do solo para a estimativa do potencial matricial na frente de umedecimento, não foi possível obter bons resultados com o modelo de Green-Ampt no tipo de solo estudado, diferentemente de trabalhos que apresentaram bons resultados, porém para outros tipos de solo.

## REFERÊNCIAS

- ATAÍDE, W. F. **Modelagem do potencial matricial na frente de umedecimento**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- BRANDÃO, V. dos S. et al. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006.
- BURIOL, G. A. Água e educação: princípios e estratégias de uso e conservação. In: \_\_\_\_\_. Santa Maria: Centro Universitário Franciscano, 2009. cap. 4, p. 109–136.
- CECÍLIO, R. A. **Modelagem da infiltração da água no solo fundamentada na equação de Green-Ampt-Mein-Larson**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. [S.l.]: EMBRAPA, 1999.
- FIORIN, T. T. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A. **Manejo de solo e da água em áreas de várzea**. 1. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999.
- LANZANOVA, M. E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- MELLO, L. T. A. de. **Avaliação de metodologias para obtenção dos parâmetros do modelo de Green-Ampt modificado por Mein e Larson**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- PAIXÃO, F. J. da et al. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 2, n. 1, 2009.
- PARCHEN, C. A. P. **Desenvolvimento de metodologia para mensuração de alguns parâmetros de processos hidrológicos de superfície em ambiente florestal**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- PETRINI, J. A.; AZAMBUJA, I. H. V.; MAGALHÃES, A. M. de. Estratégia de irrigação para redução do uso da água em arroz irrigado. **Embrapa Clima Temperado**, 2010.
- PHILIP, J. The theory of infiltration: 5. the influence of the initial moisture content. **Soil Science**, LWW, v. 84, n. 4, p. 329–340, 1957.
- PHILIP, J. The theory of infiltration: 7. **Soil Science**, LWW, v. 85, n. 6, p. 333–337, 1958.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri: Manole, 2004.
- RODRIGUES, L. N. **Modelo para dimensionamento e para simulação do desempenho de pivô central**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- SOBRINHO, T. A. et al. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 191–196, 2003.

TIMM, A. U. **Estimativa dos fluxos de energia superficiais utilizando o modelo de superfície Noah modificado para cultura**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

TOMASINI, B. A. et al. Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita e modelos de ajustes de equações de infiltração. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 1060 – 1070, 12 2010.