

BRUNO MIGUEL LEDEZMA ROMÁN

"Irrigação Superficial por Bacias Localizadas. Modelação Matemática e Entropia
Máxima".

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Área de concentração: Engenharia hidráulica
Orientador: Prof. Dr. Podalyro Amaral de Souza

Exemplar Original: 2007
Exemplar Revisado:

São Paulo
2007

CONSULTA
FT-2449
Ed.rev.

pw

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 5 de Novembro de 2007

Assinatura do autor



Assinatura do orientador



BC

DEDALUS - Acervo - EP-EPBC

Escola Politécnica da USP
Divisão de Biblioteca



31200016885

FT- 2449

Ed. rev.

Ledezma Román, Bruno Miguel
Irrigação superficial por bacias localizadas, modelação matemática e entropia máxima / B.M. Ledezma Román. -- São Paulo, 2007.
71 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

1. Irrigação localizada superficial 2. Entropia (Matemática aplicada) 3. Infiltração superficial I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária II. t.

A minha família Carlos, Leny, Calu, Brian, David
Gabriel e Melody. Este trabalho dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao professor, amigo e guia Podalyro Amaral de Souza, à professora Mônica Porto, ao professor Rubens Porto por sua fundamental atuação nesta fase da minha vida.

A meus familiares Zulema, Laura, Adriana, Magy, David, Melody, Gabriel, Giovana, Marco e Janet.

A Lucy Zapata por sua contribuição.

Às pessoas que me acompanharam nestes mais de cinco anos Juan Carlos Aguilar, Claudia de Oliveira, Luis Nájera, Dewar Chavez, Janet La fuente, Dezinho, Joan da Cruz, Jenny Nino, Juan Carlos Vera e Victor Celis.

A todos eles e outros que ingratamente não lembrei aqui agradeço infinitamente.

A engenharia ainda pode ser simples, tanto
como um buraco no chão.

(Podalyro Amaral de Souza + Bruno Ledezma)

RESUMO

LEDEZMA R. B. M. Irrigação Superficial por Bacias Localizadas. Modelação Matemática e Entropia Máxima. 2007. 71 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

Criam-se, nesta pesquisa, as ferramentas de estudo de uma alternativa inovadora de irrigação localizada superficial, que consiste na escavação do terreno ao redor da base da planta na forma de um anel grosso que produza bulbos úmidos equivalentes aos gerados por qualquer um gotejador. Estas bacias deverão ser conectadas por meio de sulcos compactados que, além de servirem como condutores semi-impermeáveis, criam um micro sistema de coleta de água. Coberturas radiculares podem ser colocadas dentro das bacias com o intuito de eliminar as perdas por evaporação, evitar o crescimento de ervas daninhas e até incrementar o rendimento da colheita.

Desenvolve-se para este fim um modelo matemático misto do tipo balanço volumétrico e onda cinemática modificado com a teoria de onda de choque, que utiliza um modelo de infiltração baseada na inédita aplicação do princípio da maximização da entropia multidirecional.

Este novo modelo de infiltração em comparação com os modelos de Horton, Philips e Kostiakov determina, além de menores erros padrões, maiores coeficientes de correlação, em média de 1.2% e 8.9 % e máximos de 2.5% e 68% nos infiltrômetros por sulcos e anel duplo, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação Superficial Localizada, Entropia, Infiltração.

ABSTRAC

The doctorate research creates the tools for study a new alternative of localized superficial irrigation. The system proposed consists in a ground excavation around the plant base. The form of this is same as a big ring, that produces an humid bulb in the root zone equivalent to a drooping system. This cavities need to be connected by furrows that's beyond serves for being a semi impermeable conductor of water creates a micro-system of water harvesting. Root covers can be placed at bottom of the cavities with intention to eliminate evaporation losses, to prevent the growth of harmful grass and until to improve the collect income.

For this purpose was developed a modified volumetric balance and kinematic wave model that incorporated a new infiltration model. This infiltration model is based on the maximization of the multidirectional entropy.

Comparing the new entropic model with the models of Horton, Philips and the modified model of Kostiakov, the entropic model determined a lesser standard error and a bigger correlation coefficient, of 1.2% and 8.9 % in average for the furrows and double ring infiltrometers respectively and a maximum of 2.5% and 68%.

KEYWORDS: Surface Localized Irrigation, Entropy, Infiltration.

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Resultados estatísticos	52
Tabela 4.2 Resultados estatísticos	53
Tabela 4.3 Resultados estatísticos	54
Tabela 4.4 Constantes entrópicas e de Kostiakov dos tipos de solo padrão	55
Tabela 4.5 Resultados comparados 1 (dados de Ramsey determinados por regressão numérica).....	59
Tabela 4.6 Resultados comparados 2 (dados de Ramsey experimentais).	60

LISTA DE ABREVIATURAS

r^2	= Coeficiente de determinação
Sx	= Erro padrão
VIB	= Velocidade de infiltração básica
MEM	= Modelo entrópico Multidirecional
(I1, I2, I3, In)	= Infiltração no intervalo n
I	= Infiltração na célula
Ea	= Eficiência de aplicação
Ev	= Eficiência volumétrica
CTH	= Centro Tecnológico de Hidráulica
USNRCS	= United States Natural Resources Conservation Service

LISTA DE SÍMBOLOS E NOTAÇÕES

- ia = Infiltração acumulada
Vel = Taxa de infiltração (velocidade de infiltração)
K e a = Parâmetros empíricos do modelo de Kostiakov (constantes sem significado físico próprio)
Ks = Condutividade hidráulica do meio saturado
 i_f = Taxa de infiltração final
 i_i = Taxa de infiltração inicial
b = Parâmetro empírico do modelo de Horton (Fator de proporcionalidade)
f₁ e f₂ = Parâmetros empíricos do modelo de Philips (constantes sem significado físico próprio)
f = Velocidade de infiltração usada no modelo entrópico (LT-1)
f_s = Velocidade de infiltração máxima (medida ou calculada) (LT-1)
f_o = Velocidade de infiltração mínima medida ou preferivelmente a condutividade hidráulica do solo associada a um "t" grande (LT-1)
 f^* = Velocidade normalizada de infiltração (adimensional)
 \bar{f}^* = Velocidade de infiltração média normalizada
H = Entropia
p = Densidade de probabilidade
P = Probabilidade acumulada
t = Variável tempo (T)
to = Instante inicial (T)
ts = Tempo máximo (T)
 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ = Multiplicadores de Lagrange
 t^*, dt^*, f^*, df^* = Notações adotadas para os valores limites no momento da integração.
M_x = Parâmetro entrópico correspondente à velocidade de infiltração (eixo X)
M_y = Parâmetro entrópico correspondente à velocidade de infiltração (eixo Y)
Alfa = Ângulo de rotação dos eixos
A = Área da seção transversal de escoamento superficial.
V = Velocidade média do escoamento.
Q = Vazão.
B = Largura da superfície livre.
A_z = Área da seção transversal infiltrada.

- g** = Aceleração da gravidade.
i = Declividade do canal.
J = Declividade da resistência hidráulica.
C = Coeficiente de Chezy
k = Altura da rugosidade
Rh = Raio hidráulico.
D = Diâmetro
β = Ângulo

Fórmula CTH = Fórmula recomendada pelo CTH para o cálculo do C

Xe e Xa = Variáveis auxiliares

DI = Efeito dinâmico da infiltração, aqui considerada como um escoamento lateral saindo do canal.

Fr = Número de Froude.

Vel = Velocidade de infiltração

Vol min= Volume mínimo

Dr = Diâmetro do sistema radicular

AI = Água de irrigação

Ea = Eficiência de aplicação

Ev = Eficiência volumétrica

a' e K'=Valores integrados da equação de taxa de infiltração da fórmula Kostiakov-Lewis

de plantas = Número de plantas

Vol utilizado = Volume total utilizado

H2, H1, d., D = Variáveis geométricas das bacias (usado no programa)

%MEf = Porcentual de melhoria efetiva

B e L = Distância entre plantas.

%E = Porcentual de escoamento da água

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1 Evolução da idéia do método de irrigação.....	11
Fig 1.2 Esquema do sistema de irrigação.....	12
Fig. 2.1 Esquemas de técnicas de coleta de água.....	14
Fig. 2.2 Esquemas do sistema de irrigação por Infiltração-Inundação de Pomar.....	15
Fig. 2.3 Esquema dos bulbos úmidos gerados por uma bacia.....	16
Fig. 2.4 Distribuição padrão de raízes de alguns pomares.....	16
Fig. 2.5 Esquema geral de perdas por evaporação e transpiração (www.fao.org).....	18
Fig. 2.6 Esquema representativo dos tempos de infiltração nas fases da irrigação por sulcos (MARQUES, 2000).....	20
Fig. 3.1 Primeiro modelo aplicado a dados de campo.....	35
Fig. 3.2 Comparação dos resultados obtidos dos modelos entrópicos aplicados.....	38
Fig. 3.3 Representação das seis principais distribuições simuladas.....	40
Fig. 3.4 Esquema dos conceitos utilizados na rotação de dados	41
Fig. 3.5 Esquema de onda de choque.....	43
Fig. 3.6 Esquema dos conceitos utilizados na infiltração.....	44
Fig. 3.8 Esquema dos conceitos utilizados na transversal dos sulcos.....	45
Fig. 3.9 Esquema dos conceitos utilizados no comprimento dos sulcos.....	46
Fig. 3.10 Esquema da compensação de onda de choque.....	46
Fig. 3.11 Gráfico simplificador 1.....	48
Fig. 3.12 Gráfico simplificador 2	49
Fig. 3.13 Esquema dos conceitos utilizados nas bacias.....	50
Fig. 4.2 Esquema da irrigação descontínua.....	58
Fig. 4.3 Simulação de sulco normal.....	60
Fig. 4.7 Esquema dos perfis úmidos no sistema de irrigação por aspersão com e sem sistema de bacias	62
Fig. 4.8 Vista superior do método de irrigação	63

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	8
1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivos principais.....	13
1.2 Objetivos secundários.....	13
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1 Pesquisas e projetos similares.....	14
2.1.1 Estudo do bulbo úmido gerado pelas bacias e da coleta de água de chuva nas bacias	16
2.1.2 Redução das perdas por infiltração nos sulcos conectores	17
2.1.3 Técnica da vazão descontínua ou intermitente.....	18
2.1.4 Evaporação e coberturas radiculares	18
2.2 Modelos matemáticos de simulação de irrigação superficial.....	19
2.2.1 Introdução	19
2.2.2 Análise de modelos de irrigação superficial	21
2.3 O processo da infiltração de água no solo	22
2.3.1 Introdução	22
2.3.2 Análise de modelos de infiltração e tipos de provas de infiltração	23
2.4 Entropia máxima aplicada à engenharia.....	26
3 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS E RESULTADOS PARCIAIS	29
3.1 Modelação do fenômeno da velocidade de infiltração versus o tempo	29
3.1.1 Formulação dos três modelos testemunhas escolhidos	29
3.1.1.1 Modelo de Philips	29
3.1.1.2 Modelo de Kostiakov-Lewis	30
3.1.1.3 Modelo de Horton.....	30
3.1.2 Desenvolvimento do novo modelo baseado na maximização da entropia	31
3.1.2.1 Princípios e leis particulares.....	32
3.1.2.2 Hipóteses.....	32
3.1.2.3 Desenvolvimento do primeiro modelo (entropia aplicada ao eixo X).....	32
3.1.2.4 Desenvolvimento do segundo modelo (entropia aplicada ao eixo Y).....	35
3.1.2.5 Desenvolvimento do terceiro modelo (entropia aplicada aos eixos X e Y)	38
3.1.2.6 Desenvolvimento do método Chiu-Ledezma de aplicação da maximização da entropia multidirecional	40

3.2	Desenvolvimento do modelo de irrigação	41
3.2.1	Conceitos usados na infiltração	43
3.2.2	Conceitos usados nos sulcos conectores.....	44
3.2.2.1	Conceitos usados nas ocorrências de onda de choque	46
3.2.2.2	Simplificação na determinação da altura de água no sulco semicircular	47
3.2.3	Conceitos usados nas bacias	49
4	RESULTADOS FINAIS E ANÁLISE.....	51
4.1	Modelos de infiltração	51
4.1.1	Modelos de infiltração aplicados ao infiltrômetro de duplo anel (apêndice A) .	51
4.1.2	Modelos de infiltração aplicados ao infiltrômetro por sulcos (apêndice B).....	52
4.1.2.1	Propriedades do modelo entrópico aplicadas às provas do infiltrômetro por sulcos (apêndice C)	53
4.1.3	Modelo entrópico aplicado aos tipos de solo padrão (apêndice D).....	54
4.2	Modelo de irrigação (Apêndice I).....	55
4.2.1	Dispensa dos parâmetros de ajuste.....	55
4.2.2	Sensibilidade dos parâmetros e variáveis do modelo	56
4.2.3	Modelagem com vazão descontínua no sistema proposto (apêndice H)	57
4.2.3.1	Modelagem com vazão descontínua em sulcos normais (apêndice H).....	58
4.3	Validação dos resultados	59
4.4	Outras aplicações do método de irrigação.....	61
4.5	Considerações gerais da aplicação do modelo	63
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	64
6	LISTA DE REFERÊNCIAS.....	67
6.1	Bibliografia consultada.....	70

1 INTRODUÇÃO

Para o desenvolvimento e crescimento das plantas ou culturas em geral, é importante que as mesmas disponham de suficiente fornecimento de água, além da provida pela chuva, que é conhecida como “água suplementar de irrigação”. Nessa tarefa é possível aplicar diversos e variados métodos, todos com vantagens e desvantagens do ponto de vista social, econômico, topográfico e cultural. Estas vantagens e desvantagens são levadas em conta na hora de definir o método que mais se adapta às circunstâncias da zona de aplicação.

A água doce corresponde a 2.5% de toda a água do planeta, da qual aproximadamente 69% está congelada nas regiões polares, portanto, restam apenas 0.75% de toda a água da terra em condições de utilização, e 95% desta parte se encontra no subsolo. Esta parcela é cada vez menor considerando-se a crescente poluição dos recursos hídricos.

Segundo um estudo realizado pelas Nações Unidas sobre o crescimento populacional mundial do ano de 2005 ao ano de 2050, a população mundial subirá 2.6 bilhões, atingindo 9.1 bilhões de habitantes no ano 2050, ressaltando que

“o crescimento populacional deve ser maior nos países que já têm dificuldades de alimentar seus moradores [...] nos países ricos, a queda na natalidade resulta em pouco ou nenhum crescimento (A exceção é os Estados Unidos, que se beneficia de um número relativamente alto de imigrantes) [...] as populações da Europa se reduziriam ainda mais se não fosse pelos imigrantes [...] a população deve triplicar no Afeganistão, em Burkina Faso, no Burundi, no Chade, no Congo, na República Democrática do Congo, no Timor Leste, em Guiné Bissau, na Libéria, em Mali, em Níger e em Uganda. Estes são os que não estão conseguindo oferecer alimentação e abrigo adequados para todos os seus habitantes” (NAÇÕES UNIDAS, 2005).

A irrigação em geral absorve mais do 50% dos recursos hídricos disponíveis nas regiões e, dada as perdas por percolação, drenagem e evapotranspiração, não retorna quase nada ao sistema hídrico regional (69% no Brasil).

Por todas estas razões qualquer pesquisa com o objetivo de economizar água na irrigação é fortemente justificada.

A idéia nasceu pela carência de recursos humanos especializados e econômicos nas zonas áridas e semi-áridas andinas e dos baixos valores da eficiência de aplicação na irrigação por superfície nesses lugares. O método mais eficiente conhecido é a irrigação localizada, mas como fazê-la acessível para todos? como fazê-la econômica? como fazê-la fácil e simples?

No começo, surgiu a idéia de desenvolver um sistema de irrigação localizada tipo subterrânea que eliminasse as perdas por evaporação e drenagem usando injetores radiculares (gráfico da esquerda da fig. 1.1), posteriormente, numa palestra referente a tubulações de PVC de diâmetros grandes e suas possíveis aplicações, surgiu a idéia de instalar um anel contentor superficial (gráfico central da fig. 1.1), idéia que evoluiu apoiado em técnicas de coleta de água e o uso de coberturas radiculares (gráfico da direita da fig. 1.1).

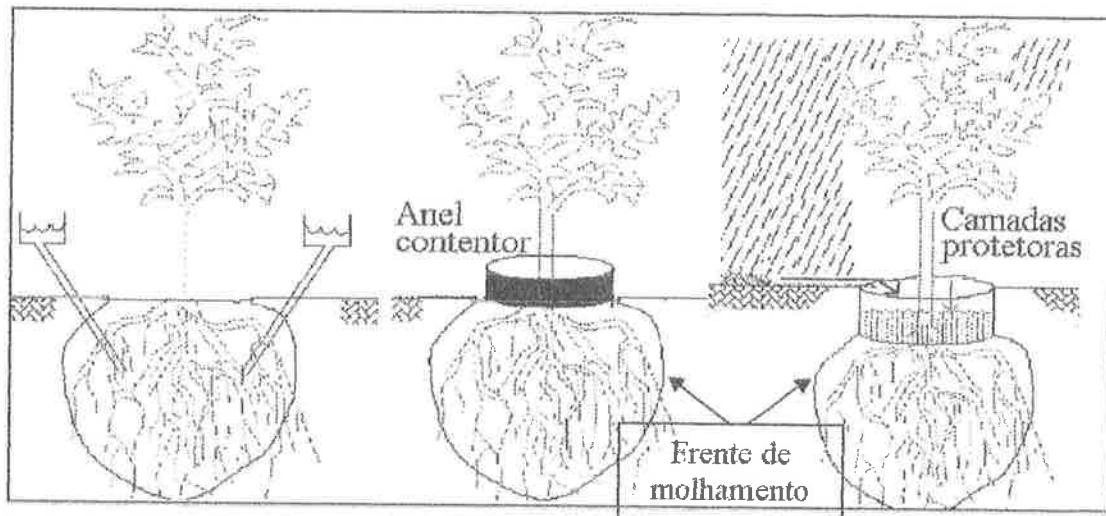


Fig. 1.1 Evolução da idéia do método de irrigação.

O método de irrigação consiste na escavação do terreno ao redor da base da planta na forma de um anel grosso, esse deve ter o diâmetro exterior um pouco menor que o diâmetro da zona radicular e o diâmetro interno suficiente para dar sustentação à planta e para evitar que esta molhe o tronco.

Esta bacia produz bulbos úmidos equivalentes aos gerados por qualquer um sistema de gotejadores, mas com as vantagens de uma melhor distribuição de água no diâmetro radicular e uma fácil e econômica aplicação em campo.

Coberturas radiculares podem ser colocadas dentro das bacias como, por exemplo, pedregulhos, que servem de barreiras à evaporação, ou material orgânico como folhas e ramos das mesmas plantas que adubam e protegem contra evaporação ao mesmo tempo ou ainda polímeros especiais que, além de proteger contra a evaporação, evitam o crescimento de ervas daninhas e diariamente evaporam e condensam a água dos primeiros 30 centímetros da zona radicular, aumentando assim a dissolução dos sais minerais e facilitando a absorção dos mesmos pela planta, melhorando com isso o rendimento da colheita.

Fazendo um declive dentro do anel na direção do centro é possível controlar a forma do bulbo úmido e gerar um bulbo cônico mais eficiente projetado em função do tipo de raiz.

Para formar o sistema de irrigação estas bacias deverão ser conectadas por meio de sulcos escavados e compactados que, além de servir como condutores semi-impermeáveis da água de irrigação, criam um micro sistema de coleta de água de chuva, duplicando e até triplicando a porcentagem de chuva efetiva, dependendo principalmente da separação entre planta e planta. Secundariamente pode-se resgatar e coletar na zona radicular o húmus superficial, diminuir ao mínimo a erosão do solo e irrigar a profundidades maiores. As perdas por drenagem podem ser evitadas conectando as últimas bacias de cada linha de irrigação (fig. 1.2).

O sistema é projetado para ser implementado em culturas de grande e mediano porte, em pomares e em reflorestamento. Do ponto de vista sócio-econômico, adequa-se melhor a lugares onde a mão de obra não qualificada é barata e o fornecimento de água é caro (zonas áridas e semi-áridas). Várias destas vantagens também podem ser aproveitadas nos sistemas de irrigação por aspersão e gotejamento.

Mediante a correta implementação desta técnica será possível atingir grandes economias de água de irrigação, economizando diretamente energia, mão de obra especializada, dinheiro e incrementando o rendimento da colheita custo do uso de mão de obra não especializada.

O método proposto (bacia individual) é utilizado de forma incorreta atualmente, porque simplesmente fazem um buraco de dimensões empíricas ao redor da planta e sem o anel interior de sustentação, com problemas de aplicação desnecessária de água em alguns casos e a não irrigação da totalidade do bulbo radicular em outros.

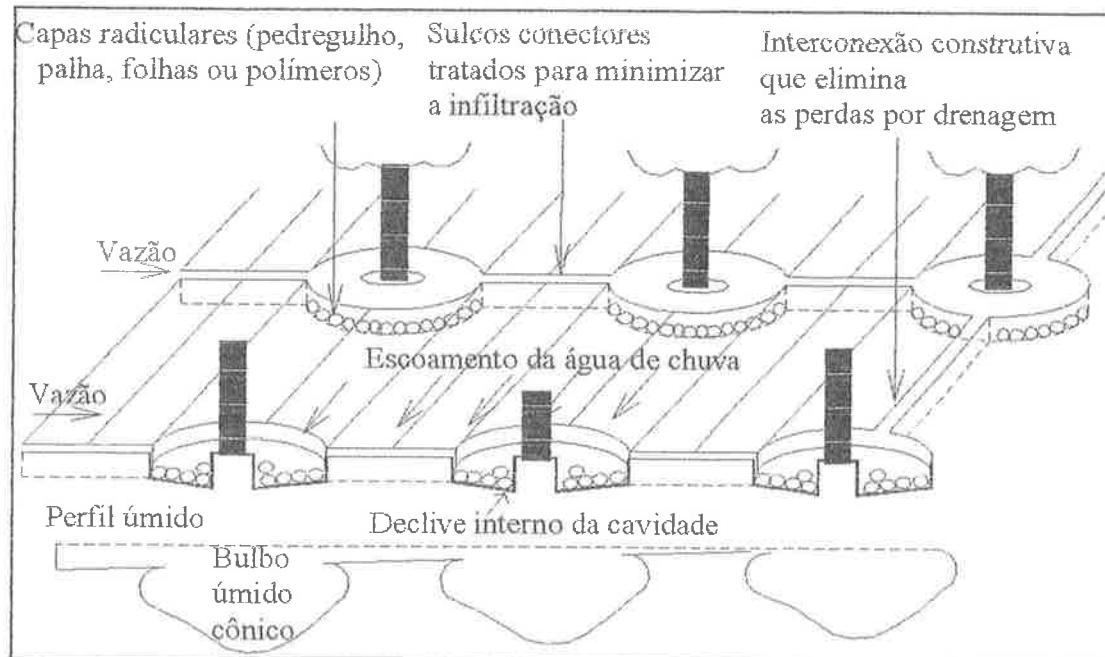


Fig 1.2 Esquema do sistema de irrigação.

A informática na agricultura traz muitas vantagens para projetistas e engenheiros poderem agilizar seus cálculos no estudo de diversas alternativas de implementação dos projetos.

Os modelos matemáticos para previsão da irrigação superficial constituem recursos valiosos capazes de levar em contas inúmeras alternativas de dimensionamento a um custo e tempo reduzidos.

O desenvolvimento de um modelo matemático de irrigação capaz de simular o método proposto é considerado pesquisa inédita porque na bibliografia procurada não foi encontrado nenhum modelo que consiga fazer isto.

O modelo matemático que simula a curva da velocidade da infiltração da água no solo versus o tempo, é o fator mais importante dos modelos matemáticos de irrigação, porque a confiabilidade deste é diretamente proporcional à confiabilidade do modelo de irrigação.

Outra pesquisa inédita afim será o desenvolvimento de um modelo de infiltração mais fidedigno baseado na aplicação da maximização da entropia.

1.1 Objetivos principais

Estudar e criar as ferramentas necessárias para implementar e avaliar a irrigação localizada superficial por bacias, desenvolvendo, para esse intuito, um manual de implementação prático do método e do sistema de irrigação proposto e o desenvolvimento de um modelo matemático capaz de simular este tipo de irrigação.

Desenvolver um novo modelo matemático de infiltração da água no solo baseado na maximização da entropia.

1.2 Objetivos secundários

Comparar o novo modelo entrópico de infiltração com os modelos atualmente utilizados para simular este fenômeno.

Estudar separadamente os fenômenos da infiltração vertical no infiltrômetro de anel duplo e a infiltração mista horizontal e vertical no infiltrômetro por sulcos.

Analizar o comportamento hidráulico dos diversos componentes do sistema.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Pesquisas e projetos similares

Na bibliografia norte-americana (www.fao.org) acharam-se algumas técnicas de coleta de água destinadas a reflorestação similares ao sistema denominado “Pit Irrigation” (fig 2.1).

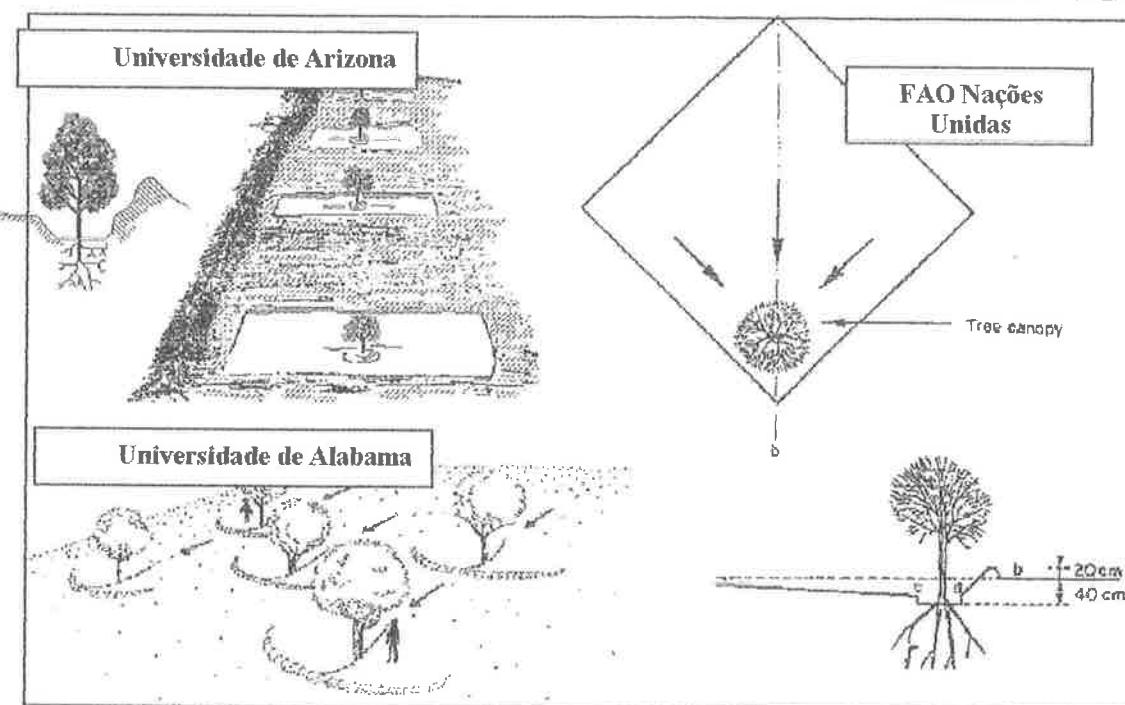


Fig. 2.1 Esquemas de técnicas de coleta de água.

Na literatura espanhola (HIDALGO, 1971) achou-se um sistema de irrigação similar denominado “Por Alcorques” e também na literatura Brasileira (DAKER, 1970), fig. 2.2, chamado Irrigação por Infiltração-Inundação de Pomar (bacias de inundação circulares em torno de cada árvore). Nestes dois textos não existem estimativas da eficiência do sistema, recomendações da forma das bacias e muito menos um modelo matemático de simulação, razões que fazem impossível a aplicação real do sistema.

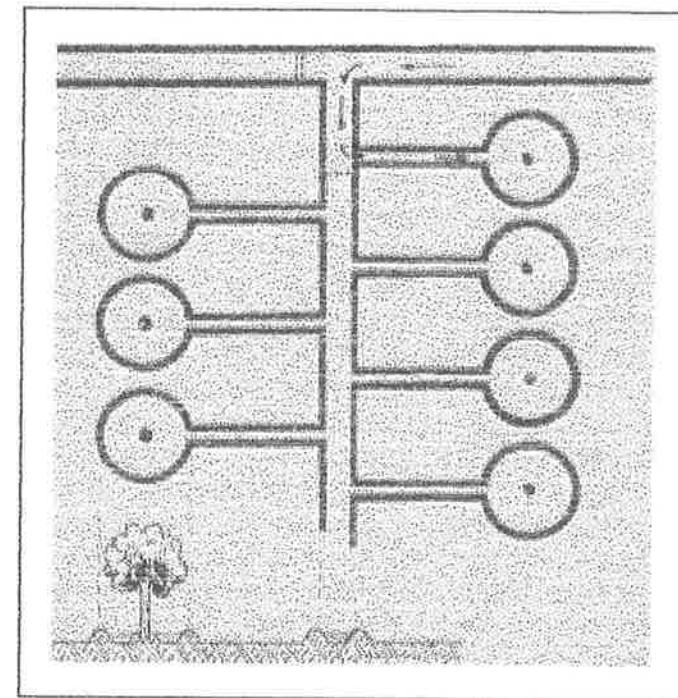


Fig. 2.2 Esquemas do sistema de irrigação por Infiltração-Inundação de Pomar.

Estas referências datam dos anos 1970 e 1971, talvez porque nessa época não se tinha a atual falta de recursos hídricos, o sistema quase não foi estudado, aplicado nem desenvolvido completamente, o sistema de irrigação superficial localizado por bacias proposto poder-se-ia definir como uma versão mais evoluída, moderna, e completa deste sistema.

As principais vantagens do sistema proposto em relação ao da bibliografia são:

- A aplicação da técnica da coleta de água ao sistema permite duplicar e até triplicar o porcentual de chuva efetiva.
- As coberturas radiculares protetoras contra evaporação, aquecimento superficial, adubação e eliminação de ervas.
- A declividade interna nas bacias permite produzir bulbos úmidos cônicos mais eficientes ainda que os da irrigação por gotejamento.
- A eliminação das perdas por drenagem e redução das perdas por infiltração nos sulcos conectores.
- O resgate e a coleta na zona radicular do húmus.
- A possível aplicação do método aos sistemas por aspersão e gotejamento

2.1.1 Estudo do bulbo úmido gerado pelas bacias e da coleta de água de chuva nas bacias

Como parte do mestrado desenvolvido no Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG na Universidad de San Simón-IHE-DELPH em Cochabamba, Bolívia pesquisou-se o método de irrigação (LEDEZMA B. 2001) testando dois diferentes tipos de solo e determinando as equações práticas de simulação do bulbo úmido e as equações de coleta de água de chuva. Fizeram-se também algumas provas práticas de coberturas radiculares contra a evaporação e aquecimento superficial, finalmente provas em campo comparando o método de irrigação por gotejamento e o método de irrigação por bacias localizadas em diferentes tipos de culturas, utilizando a mesma quantidade de água e tentando homogeneizar todas as outras variáveis de projeto.

No que se segue encontram-se os elementos mais importantes dessa pesquisa.

1. A forma do bulbo úmido é próxima a um elipsóide, mas fazendo uma declividade dentro do anel na direção do centro é possível controlar a forma do bulbo úmido e gerar um bulbo cônico mais eficiente que pode ser projetado em função do tipo de raiz (fig. 2.3 e 2.4).

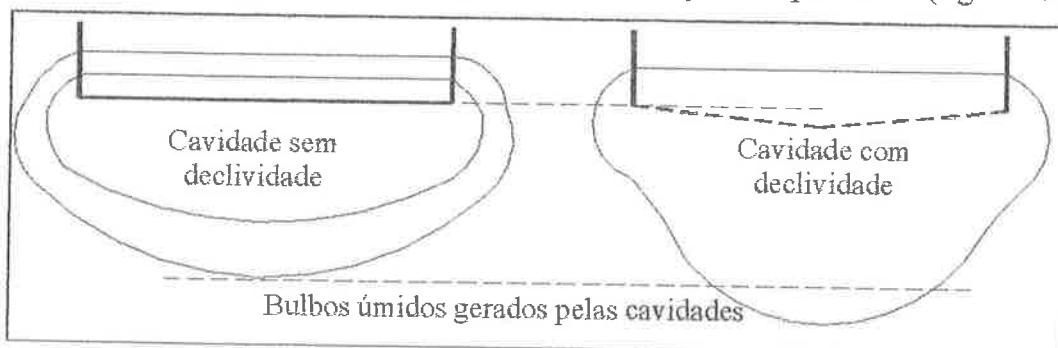


Fig. 2.3 Esquema dos bulbos úmidos gerados por uma bacia.

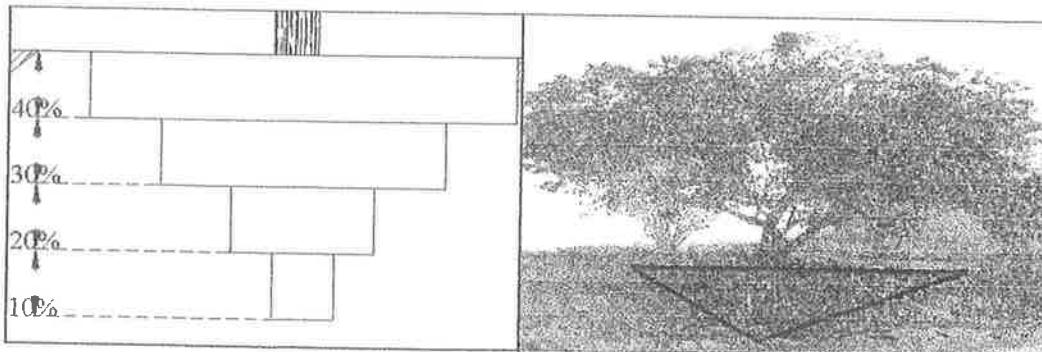


Fig. 2.4 Distribuição padrão de raízes de alguns pomares.

2. A infiltração na parte central da bacia é vertical enquanto que nos contornos ela é também horizontal.
3. Existe uma relação linear entre a lâmina de água infiltrada verticalmente e a infiltrada horizontalmente até que atinge um valor máximo. Recomenda-se utilizar como valores práticos de infiltração horizontal máxima em solos arenosos 20 cm, em solos fracos 30 cm e em solos argilosos 40 cm.
4. O porcentual de chuva efetiva pode ser duplicado e até triplicado, em função da distância de separação entre plantas, mediante a aplicação da técnica de coleta de água. Adotando dados padrões de 20% de escoamento de água da área fora da bacia e que a área da bacia seja $\frac{1}{4}$ da área total de cada planta os valores práticos recomendados a serem adotados como porcentual de chuva efetiva estarão entre 120% e 160% sendo maior ao porcentual de chuva efetiva padrão de 80%.

2.1.2 Redução das perdas por infiltração nos sulcos conectores

A única bibliografia achada a respeito é CALHEIROS (1996) que recomenda o uso de vinhaça (principal resíduo da destilação do álcool) como possível redutor da infiltração em canais de terra. Ele referencia projetos com perdas de água de 5.7% em canais principais, 7.3% em secundários e 12% em terciários nos Estados Unidos.

TRENTIN (2005), apud Alves Sobrinho, afirma que quanto maior a compactação do solo menor a velocidade de infiltração, apud Souza Alves, que quanto maior a compactação menor o crescimento de culturas. Sabe-se também que em solos com alto conteúdo de silte ou argila a infiltração é muito menor que em solos arenosos. Portanto conclui-se que uma forma barata e simples de semi-impermeabilizar os sulcos e reduzir o conteúdo vegetal é a compactação com argila.

Como o intuito dos sulcos é transportar a maior quantidade de água com a menor perda de água infiltrada, escolheram-se dois possíveis tipos de sulco para o sistema; o semicircular, que é a forma que tem o menor raio hidráulico, e a triangular a 90° por ser de fácil limpeza com a enxada, ter raio hidráulico menor que a forma trapezoidal e ser ótimo para ser impermeabilizado com tábuas ou outros elementos planos.

2.1.3 Técnica da vazão descontínua ou intermitente

No artigo jornalístico de BELAUSTEGUI (1999) mostra as vantagens desta técnica de irrigação desenvolvida nos Estados Unidos há 15 anos, que consiste em fornecer vários pulsos de vazão no sulco, maiores no começo e pequenos em continuação, incrementa tanto a uniformidade de infiltração quanto a eficiência de aplicação.

No artigo de BRUNO R. (1999) expõe-se que 50% da irrigação superficial é feita com esta técnica em Nebraska, nos Estados Unidos, e na Argentina implementou-se a técnica já em 6000 ha.

Como esta técnica está revolucionando a irrigação por superfície, o modelo desenvolvido deve simular também este tipo de fornecimento de água.

2.1.4 Evaporação e coberturas radiculares

É observado na fig. 2.5 que as perdas por evaporação são maiores nas primeiras fases de crescimento do cultivo. Enquanto a planta cresce e produz mais sombra diminuem as perdas nas últimas fases. Segundo o gráfico as perdas por evaporação podem atingir quase 50% da perda total de água (evapotranspiração). As perdas por evaporação das principais culturas alvos afetam os primeiros 30 cm do solo, lugar onde situam-se aproximadamente 40% das raízes de vários pomares.

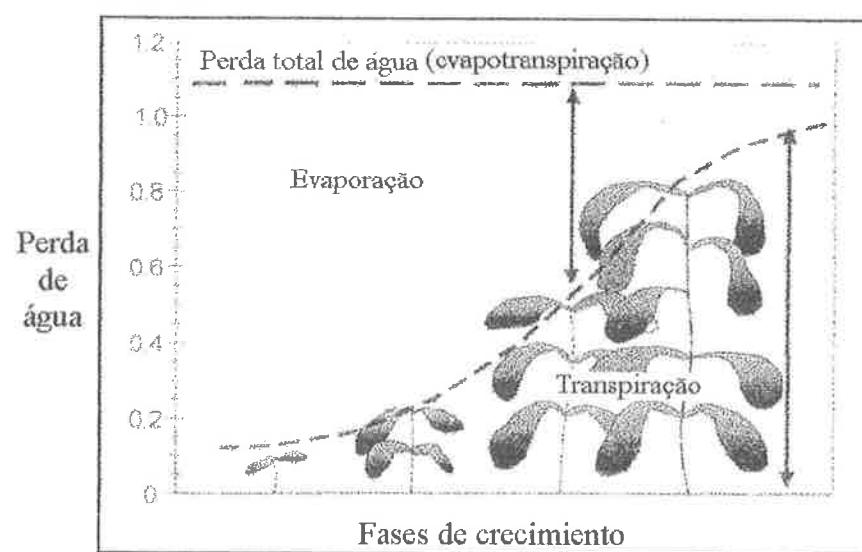


Fig. 2.5 Esquema geral de perdas por evaporação e transpiração (www.fao.org).

O uso das coberturas radiculares localizadas é inédito no campo da irrigação, criando-se um novo campo de pesquisas, especialmente na área de polímeros.

Existem algumas recomendações práticas, como se alocar as folhas e ramos das mesmas árvores na base das plantas, colocar pedregulho ou pedras e até colocar um polímero ao longo do toda a área de cultura.

Conclui-se que, para o sistema proposto, o ótimo contra a evaporação, aquecimento superficial e como eliminador de ervas daninhas é uma cobertura dupla de um “poncho” de polietileno simples em forma de anel grosso ou sacolas plásticas amontoadas na cavidade e posteriormente uma cobertura de pedras. Recomenda-se também constantes coberturas vegetais (folhas secas e produtos orgânicos) entre o solo e a cobertura plástica.

2.2 Modelos matemáticos de simulação de irrigação superficial

Não existe um modelo matemático que se proponha simular este sistema de irrigação localizada, portanto optou-se por desenvolver um modelo completo baseado nas equações de Saint-Venant.

2.2.1 Introdução

ANDRADE (1994), define que a irrigação superficial por sulcos consiste na colocação de uma vazão não erosiva, contínua (constante ou variável) ou intermitente, por meio de pequenos canais ou sulcos construídos entre as linhas de plantio. Estas representam uma fração da superfície total a ser irrigada durante o tempo necessário para que a água se infiltre vertical e lateralmente ao longo do perímetro molhado.

Um processo típico de irrigação superficial por sulcos, com drenagem livre no final das parcelas, pode ser caracterizado pelas quatro fases mostradas na fig. 2.6.

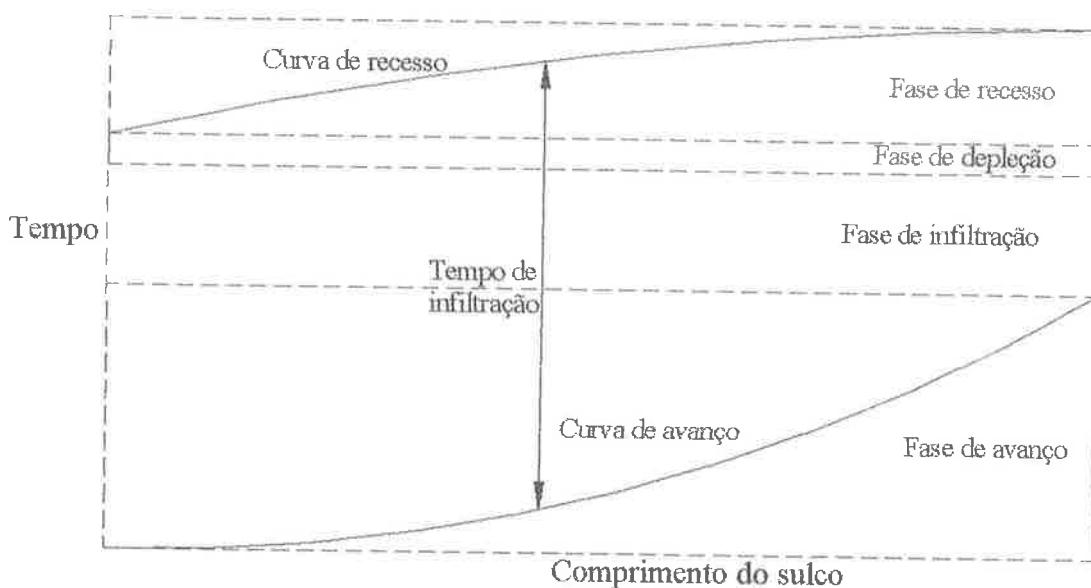


Fig. 2.6 Esquema representativo dos tempos de infiltração nas fases da irrigação por sulcos (MARQUES, 2000).

Existem diversos modelos de simulação deste tipo de irrigação;

Os modelos hidrodinâmicos (HD), baseados na resolução por via numérica das equações de Saint-Venant completas ou simplificadas.

Os modelos zero-inércia (ZI), baseados na hipótese de que a aceleração é desprezível, não levando em conta, além da equação de Richards, os dois primeiros termos da equação dinâmica, que representam os efeitos da aceleração local e convectiva.

Os modelos de onda cinemática (OC), que desprezam, além dos termos de inércia, o terceiro termo da equação dinâmica, o gradiente de pressão da água, desconsiderando os efeitos a jusante, assume também que o declive da linha de energia é igual ao declive da superfície de escoamento.

Os modelos de balanço volumétrico (BV), baseados no princípio da conservação da massa ou do volume, juntamente com certas hipóteses relativas à lâmina média do escoamento superficial. Este modelo normalmente é utilizado para a previsão do avanço da água em sulcos ou faixas de aproximação que estabelece que a qualquer momento o volume total de água fornecido a um sulco é igual à soma dos volumes superficial e infiltrado.

Para detalhes sobre as fórmulas e outros dados referenciar-se a ANDRADE (1994), ESFANDIARI; MAHESHWARI (2001), ou MONSERRAT (1994).

2.2.2 Análise de modelos de irrigação superficial

HORNBUCKLE; CHRISTEN; FAULKNER (2003) avaliaram e compararam os modelos *SRFR*, *SURDEV* e *SIRMOD* escolhendo o último devido ao baixo custo e simplicidade de inclusão de dados. Os autores concluíram que o *SIRMOD* (Surface Irrigation computer simulation MODel), apresentou um erro de 20% entre os dados de campo e os simulados, erro atribuído à equação de infiltração do modelo. O *SIRMOD* é baseado na solução das equações de Saint-Venant, conservação de massa, conservação de momento e fórmula de Manning.

KOTTWITZ (1995), depois de analisar os modelos ZI e OC com intervalos de tempo específicos, ZI do tipo não linear com tempo ajustável, BV com intervalos de espaço médios, BV utilizando a relação armazenagem–descarga, escolhe um modelo de tipo conservação de massa combinado com OC, referenciando também, os modelos americanos *SIRMOD* e *SRFR*, porém sem analisá-los.

ALVARADO (2001) analisa o modelo *RIGRAV* e conclui que, para fornecer bons resultados, precisam-se, dentre outros, de uma adequada calibração, dados confiáveis do avanço da água e bons critérios na escolha dos diversos parâmetros de projeto. Ele analisa também o *SIRMOD* e conclui que se identifica rapidamente com as modificações e ajustes do programador, quase não precisa de calibração já que tem as fórmulas de infiltração de tipo Kostiakov na memória, porém necessita de muito trabalho de campo para a coleta de dados.

CISNEROS et. al. (2004) utiliza um modelo tipo OC, a equação de Manning e a técnica de elementos finitos altamente espaçados no desenvolvimento do seu modelo, sem definir o porque desta decisão.

MONSERRAT (1994), apud Girousse, referencia que o modelo tipo BV tem um erro de 14%, enquanto outros pesquisadores determinaram valores de até 30.3%. O modelo HD com resolução através de elementos finitos deve utilizar a melhor função representativa da infiltração. O modelo ZI não supõe uma perda de precisão pelas velocidades baixas utilizadas na simulação. O modelo tipo OC utilizando tanto Chezy como Manning, não exibe de forma precisa a forma do perfil de água nem a quantidade de água armazenada superficialmente e que para declividades pequenas os resultados perdem precisão. Finalmente usa um modelo hidrológico misto depois de ressaltar a vantagem da fácil implementação, as desvantagens da imprecisão na determinação do volume superficial e a utilização de um método iterativo na otimização dos valores finais.

ESFANDIARI; MAHESHWARI (2001) avaliaram os modelos de irrigação por sulcos desenvolvidos por Ross, Walker, Strelkoff e Elliott dos tipos HD, ZI e OC através do

monitoramento de 81 irrigações ao longo de 3 anos, concluem que alguns modelos simulam melhor o tempo de avanço enquanto outros simulam melhor o tempo de recesso e, finalmente, que o modelo de Walker HD e de Walker ZI são os que melhor se adaptam às condições de campo nas quais ele trabalha.

ANDRADE (1999), depois de estudar os modelos HD, ZI, OC e BV, utiliza um modelo BV e a equação de Manning que deram um erro de menos de 1% entre os dados medidos e os simulados.

Conclui-se que:

- Entre os autores referenciados, todos os modelos têm suas vantagens e desvantagens, destacando-se os modelos BV e o OC por serem simples e confiáveis.
- Quanto mais preciso for o modelo de infiltração, maior precisão terão os resultados de qualquer um dos tipos de modelo referenciados.
- A aplicação do modelo ZI ou OC é exclusiva para sulcos, sendo dificilmente aplicável à simulação das bacias, enquanto que o modelo BV é o que mais se adequa para as bacias e a irrigação por vazão descontínua.

2.3 O processo da infiltração de água no solo

Neste ponto analisou-se parte da considerável e diversa bibliografia referente a modelos matemáticos de simulação da velocidade de infiltração, direciona-se neste ponto aos infiltrômetros utilizados nas regiões alvos do sistema de irrigação proposto.

2.3.1 Introdução

A infiltração é o fator mais importante da irrigação por superfície, controlando a quantidade de água que entra no solo e o avanço de água sobre o mesmo. Em um solo originalmente seco a velocidade de infiltração possui um valor inicial muito alto, para logo decrescer rapidamente com o tempo, até que finalmente se alcança um valor quase constante que é a velocidade de infiltração básica (VIB), valor próximo da condutividade hidráulica de saturação do solo.

Trata-se de um processo complexo por depender de varias variáveis relacionadas às características físicas e morfológicas do solo, depende em especial da umidade inicial e das condições da superfície, que, por sua vez, são afetadas pela geometria da seção de escoamento e pelo escoamento superficial. O escoamento superficial também está associado ao transporte

e reorientação das partículas do solo, que modificam sua condição superficial e alteram as características de infiltração.

Por ser a velocidade de avanço de água sobre o sulco maior que a velocidade de infiltração no solo, o escoamento no interior do solo pode ser considerado bidimensional.

Entre os modelos matemáticos que simulam esse fenômeno os mais conhecidos são:

- Modelos semi-empíricos, desenvolvidos integralmente com dados de campo, com pouca ou nenhuma base física (Kostiakov, Kostiakov-Lewis Mezenvec, Horton, SCS, etc).
- Modelos homogêneos, desenvolvidos para serem utilizados em meios porosos, que resultam de derivações matemáticas com uma base teórica bem definida, ou seja, a equação de Richards (Green&Ampt, Philip, Burger, Parlange).
- Modelos não homogêneos, desenvolvidos assumindo perfis de solo não uniformes com a profundidade e o conteúdo da distribuição de água uniforme ao inicio da infiltração (não uniforme Green&Ampt).
- Modelos em condições de escoamento, a serem utilizados quando a quantidade de água fornecida excede a taxa de infiltração (Green&Ampt em condições de escoamento).
- Modelos em condições de não escoamento e de escoamento constante, a serem utilizados quando a água fornecida não excede a infiltrabilidade do solo (Philip, Childs e Bybordi, e Green&Ampt em condições de não escoamento e escoamento constante).
- Modelos de umedecimento e secagem continuos (Eagleson, Corradini).

Para maior informação teórica referenciar-se a BRANDÃO; PRUSKI; SILVA (2002), WANG (1997), SERRANO(1997) ou WILLIANS (1998).

2.3.2 Análise de modelos de infiltração e tipos de provas de infiltração

Na pesquisa de NÁVAR; SYNNOTT (2000), realizada no México, foram comparados os resultados estatísticos de 4 modelos não lineares, Green&Ampt, Kostiakov-Lewis, Horton e Philip, em 96 provas do infiltrômetro de anel duplo. Para uma apropriada comparação dos dados estatísticos, foi utilizado um modelo não linear de mínimos quadrados determinando e comparando o coeficiente de determinação (r^2), o erro padrão (Sx) e a probabilidade de estimativa de parâmetros. Concluíram que para as 96 provas o modelo de Kostiakov-Lewis deu os melhores resultados para os valores de r^2 e Sx com valores de 0.87 e 85, respectivamente. Num segundo plano concluíram que o modelo de Horton aproxima melhor a velocidade de infiltração básica (VIB), enquanto que os modelos de Green&Ampt e Philips, as

vezes determinam valores positivos e as vezes negativos da VIB e, finalmente, o modelo Kostiakov-Lewis determina a VIB com uma defasagem de tempo.

MARCHETTI (2003) estuda as diferenças entre as equações de Green&Ampt, Horton e Kostiakov-Lewis num infiltrômetro de aspersão, trabalho no qual o método de Green&Ampt não foi avaliado porque a obtenção dos parâmetros desse modelo envolve determinações de campo e rotinas computacionais complexas. Este autor conclui que a equação de Horton fornece os melhores resultados na estimativa da taxa de infiltração, sem avaliar o resto do processo de infiltração.

ALVARADO (2001) utiliza Green&Ampt e Kostiakov porque os modelos de irrigação utilizados por ele, o *RIGRAV* e o *SIRMOD*, utilizam estes modelos respectivamente. O tipo de infiltrômetro utilizado é por sulcos.

KOTZWITZ (1995) ressalta que o modelo de Green&Ampt é freqüentemente utilizado em infiltração de escoamento em uma dimensão e avalia o mesmo chegando, à conclusão de que não é computacionalmente eficiente por requerer uma solução numérica e, para aprimorar a eficiência, recomenda utilizar Kostiakov-Lewis.

INGARAMO (2000) avalia as fórmulas de Horton, Green&Ampt e Kostiakov e conclui que a que melhor se ajusta ao processo de infiltração, do ponto de vista agronômico, é a de Kostiakov, por mais que não tenha fundamento físico nem ser dimensionalmente homogêneo. O tipo de infiltrômetro utilizado é por sulcos.

O modelo Kostiakov-Lewis foi usado por CASTRO, L. C.; SOUZA, F. (1999) depois de considerar os diversos modelos de infiltração.

CISNEROS ET AL (2004) partem do problema que o uso das equações de infiltração do SCS não são aplicáveis a declives maiores que 12%, desenvolvendo um método baseado na equação de Kostiakov-Lewis para determinar o escoamento nesse sulco, utilizando o infiltrômetro por sulcos.

MONSERRAT (1994) propõe a equação de Richards para simular a infiltração onde é preciso dados da condutividade hidráulica e o conteúdo de umidade, cuja determinação não é simples. Por isso recomenda o uso de equações de infiltração simplificadas, referenciando Philip, que é válida só para tempos curtos, Kostikov, a qual tem problemas para tempos longos e Green&Ampt, que tem problemas na determinação de um dos parâmetros.

ANDRADE (1999), depois de uma ampla revisão bibliográfica, utiliza o modelo de Kostiakov-Lewis aplicado ao infiltrômetro por sulcos.

Na REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL avaliaram-se os efeitos das variações espacial e temporal dos parâmetros da equação de Kostiakov-Lewis. Nos

resultados acham-se “variações espaciais máximas iguais que 94,7, 44,3 e 55,2% e, espacialmente, as variações temporais máximas foram que 80,0, 42,5 e 43,8%, respectivamente nos parâmetros f_0 , K e a ”.

Na referência DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCES AND LAND USE PLANNING – UCL, (2003) é feita uma apresentação sobre as técnicas modernas da medição da infiltração, nela são apresentadas os infiltrômetros de anel duplo, infiltrômetro de sucção e infiltrômetro de pressão, apresentando os modelos de Philips, Schwartzendruber, Kutilek&Kreeja, Brutseart, Green&Ampt, Kostiakov, Mecenzec e Horton, sem avaliar nem concluir nada dos mesmos.

WILLIANS (1998), do United States Environmental Protection Agency faz o mesmo que o anterior autor, expondo o modelo semi-empírico do SCS, o homogêneo de Philip, o não homogêneos de Green&Ampt, o modelo em condições de escoamento de Green&Ampt, o modelo em condições de não escoamento e escoamento constante de Green&Ampt e o modelo de umedecimento e secagem contínuos de Eagleson.

O modelo de simulação desenvolvido por Kostiakov ou Kostiakov-Lewis, aplicado ao infiltrômetro de duplo anel, foi adotado como o que melhor se adapta às pesquisas realizadas pelos seguintes autores: ESFANDIARI; MAHESHWARI (2001), FOLEGATTI; PAZ; OLIVEIRA (1999), CHIRWAM (2004) na Zambia, HORNBUCKLE ; CHRISTEN ; FAULKNER (2003) na Áustria, JUANJUAN; XIHUAN (2002) na China, MONSERRAT (1994) e MATEOS; OYONARTE (2003) na Espanha, e KUNST (2003), do Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina. Em todas elas, não há uma justificativa para essa escolha, supõe-se que ela se deve a recomendações da bibliografia ou simplesmente ao fato desse método ser o mais utilizado na área.

Conclui-se que:

- Os modelos de infiltração empíricos simulam satisfatoriamente a infiltração da água no solo, uma vez dado que esse fenômeno é afetado por diversos fatores, dentre os quais podemos citar as características físicas da textura do solo, a carga hidráulica ou lamina de água sobre a infiltração, o conteúdo de matéria orgânica e carbonatos, a umidade inicial do solo, o grau de uniformidade do perfil do solo, a ação microbiana, a temperatura do solo e da água, a cobertura vegetal, o uso do solo, a quantidade de ar aprisionado no solo, o lavado de material fino e o nível de compactação.
- A quase totalidade dos autores estudados concluiu que o modelo de Kostiakov ou Kostiakov-Lewis é o que melhor simula o fenômeno físico da infiltração, quer seja determinada com o infiltrômetro de sulcos ou de duplo anel.

- Os fenômenos da infiltração em sulcos e da infiltração num anel contentor são diferentes, tanto fisicamente quanto na forma de medição. Por isso apesar de todos os autores simularem ambos com as mesmas equações, decidiu-se diferenciar o estudo destes dois fenômenos.
- Por serem os mais recomendados, para compará-las com o modelo entrópico desenvolvido, escolheram-se os modelos de Kostiakov, Horton e Philips, tanto na infiltração por sulcos quanto na de duplo anel.

2.4 Entropia máxima aplicada à engenharia

Na bibliografia existente os conceitos teóricos sobre entropia têm a mesma base teórica, que é o desenvolvimento do modelo inicial de Chao-Lin Chiu, sendo os textos similares, alguns mais ou menos desenvolvidos e dirigidos à especialidade de cada autor.

Resumindo MINEI (1999), CARVALHO (2001) e CALISTO (1996), Chiu trouxe para a hidráulica os conceitos estatísticos de entropia baseado na Teoria da Informação ligando o universo determinístico, familiar ao engenheiro hidráulico, e o probabilístico, que é menos familiar. A partir desses conceitos, propôs modelos de distribuição de velocidades, de tensões de cisalhamento e de concentração de sedimentos.

A teoria da informação pode ser entendida como o estudo dos aspectos fundamentais dos problemas encontrados na geração, armazenagem e transmissão de informações. Ela resulta de preocupações de índole prático e utilitarista de como seria possível definir a quantidade de informação contida numa mensagem a transmitir e de como medir a quantidade de informação comunicada por um determinado sistema.

Definição matemática de informação, a qual é abstrata nela mesma, pode ser definida quantitativamente, da mesma forma que os conceitos matemáticos “ângulo” ou “número”, igualmente abstratos, mas que são tratados de modo objetivo e quantitativo. Portanto a informação é uma quantidade mensurável que independe do sistema físico através do qual ela é transportada”.

Considere-se o seguinte exemplo: um estudante folheia aleatoriamente um livro e para, casualmente, no capítulo X, se o assunto já era do seu conhecimento, pouca ou nenhuma informação ele obterá da leitura, se, contudo, este for seu primeiro contato com o tema, ele estará recebendo uma grande quantidade de informação. “Basicamente, o que diferencia a primeira situação da segunda é a noção de incerteza; quanto maior a incerteza sobre o resultado de um ‘estado’ da mensagem, maior será a quantidade de informação associada a

esse resultado. Se for possível prever antecipadamente o resultado de uma situação pós-mensagem, então certamente nenhuma informação foi passada por ela e parece lógico, portanto, que a medida da informação de um ‘estado’ pós-mensagem precisa estar baseada na probabilidade de ocorrência dessa situação”.

A primeira propriedade da entropia fala que, se todas as probabilidades, exceto uma, que será igual a um, forem zero, então a entropia H será igual a zero. Nesse caso não há incerteza, pois a situação é perfeitamente determinada e não há escolha. Este resultado é intuitivamente correto; em todos os outros casos, a entropia será positiva. A segunda propriedade da entropia afirma que o valor máximo da entropia ou a máxima quantidade média de informação por mensagem ocorre quando todos os eventos são igualmente prováveis e independentes; isso coincide com a noção intuitiva de que a máxima informação deve ser transmitida quando os eventos são completamente aleatórios ou igualmente prováveis.

Finalmente, a terceira propriedade fala que se duas fontes estão gerando uma seqüência de símbolos que não têm nenhuma relação ou dependência entre si, então, a união ou combinação de entropias quaisquer será obtida pela soma das entropias isoladas dos dois símbolos.

O segundo princípio da termodinâmica estabelece que, num sistema isolado, a entropia cresce sempre, dado que é um processo probabilístico, e é válido somente para sistemas compostos por um número muito grande de partículas movendo-se caoticamente, de acordo com a lei dos grandes números da teoria da probabilidade.

Conseqüentemente, como resultado de uma transformação espontânea, a entropia de um sistema isolado sempre aumenta. Percebe-se que a probabilidade matemática de que uma transformação espontânea ocorra no sentido da diminuição da entropia é tão pequena que, na prática, ela nunca acontece. Pode-se afirmar, portanto, que entre a probabilidade matemática e a entropia existe uma certa relação a ser estudada e aplicada nos fenômenos físicos, sendo a vez hoje, da velocidade de infiltração versus o tempo num sistema de irrigação superficial.

O princípio da maximização da entropia foi proposto primeiro por JAYNES, em 1957, como um procedimento genérico de dedução. Desde então, embora venha sendo aplicado com sucesso em vários campos da ciência, permaneceu controverso devido à fragilidade dos seus fundamentos, até a demonstração dos autores Shore&Johnson que provaram que este princípio é correto no seguinte sentido: a maximização de qualquer função conduzirá a entropia a inconsistências, a não ser que esta função e a entropia tenham máximos idênticos. Expressando de outra forma, dadas novas informações em termos de limites aos valores esperados, existe apenas uma distribuição que preenche as condições limitantes, e ela pode ser escolhida por um procedimento que satisfaz os axiomas de consistência. Esta distribuição

única pode ser obtida pela maximização da entropia. Os axiomas de consistência são assim resumidos:

1. Unicidade – o resultado deve ser único;
2. Invariância – a escolha do sistema de coordenadas é irrelevante;
3. Independência do Sistema – informações independentes sobre sistemas independentes podem ser consideradas separadamente, em termos de densidades diferentes, ou juntas, em termos de densidades conjuntas;
4. Independência do Subconjunto – um subconjunto de estados do sistema estabelecido pode ser tratado em termos de densidade condicional separada ou em termos de densidade total do sistema.

Para maiores informações referenciar-se a MINEI (1999), CARVALHO (2001) e CALISTO (1996).

3 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS E RESULTADOS PARCIAIS

Como a teoria da maximização da entropia é aplicada tanto nos modelos de infiltração por sulcos quanto nos de anel duplo para, posteriormente, serem aplicados ao modelo de irrigação final do tipo misto balanço volumétrico e onda cinemática modificado, escolheu-se a seguinte ordem de apresentação: desenvolvimento dos modelos de infiltração de Philips, Kostiakov-Lewis, Horton, desenvolvimento dos modelos entrópicos, dados parciais da comparação entre os diversos modelos e, finalmente, desenvolvimento do modelo do sistema de irrigação.

3.1 Modelação do fenômeno da velocidade de infiltração versus o tempo

3.1.1 Formulação dos três modelos testemunhas escolhidos

(BRANDÃO; PRUSKI ; DA SILVA, 2002)

Notações:

i_a = Infiltração acumulada

Vel = Taxa de infiltração (velocidade de infiltração versus tempo)

t = Tempo

K e a = Parâmetros empíricos do modelo de Kostiakov (constantes sem significado físico próprio)

K_s = Condutividade hidráulica do meio saturado

i_f = Taxa de infiltração final (próxima à VIB)

i_i = Taxa de infiltração inicial

b = Parâmetro empírico do modelo de Horton (Fator de proporcionalidade)

f_1 e f_2 = Parâmetros empíricos do modelo de Philips (constantes sem significado físico próprio)

3.1.1.1 Modelo de Philips

É a solução numérica da denominada equação de Richards, que resulta da combinação da equação de Darcy para meios não saturados com a equação da continuidade. Na prática a equação passa a ter a forma.

$$i_a = f_1 \cdot t^{1/2} + f_2 \cdot t \quad (3.1)$$

$$Vel = \frac{1}{2} f_1 \cdot t^{-1/2} + f_2 \quad (3.2)$$

3.1.1.2 Modelo de Kostiakov-Lewis

Dentre as equações empíricas, uma das mais utilizadas para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação é a desenvolvida por Kostiakov, em 1932.

$$ia = k \cdot t^a \quad (3.3)$$

$$Vel = \frac{d(ia)}{dt} = a \cdot k \cdot t^{a-1} \quad (3.4)$$

Este modelo apresenta uma taxa de infiltração inicial tendendo para o infinito e uma taxa de infiltração final para longos valores de tempo tendendo a um valor próximo a zero, e não a um valor constante. Este valor constante correspondente à VIB (i_f), ou à condutividade hidráulica do meio saturado (K_s), irrelevante para a infiltração horizontal mas importante para a vertical, modificando o modelo de Kostiakov ao modelo de Kostiakov-Lewis. É importante ressaltar que a equação é válida para a umidade de solo em que ela foi determinada.

$$ia = K \cdot t^a + i_f \cdot t \quad (3.5)$$

$$Vel = \frac{d(ia)}{dt} = K \cdot a \cdot t^{a-1} + i_f \quad (3.6)$$

Fórmulas complementares $K' = K \cdot a$ e $a' = a - 1$

3.1.1.3 Modelo de Horton

É outro modelo empírico, mais consistente que o de Kostiakov, no qual foi observado que a redução na taxa de infiltração com o tempo é fortemente controlada por fatores que ocorrem na superfície do solo. Concluiu-se também que a taxa de infiltração aproxima-se a um valor constante, mas que freqüentemente é menor do que a K_s , o que se justifica pelo ar aprisionado no solo e a incompleta saturação do solo em condições de campo.

$$ia = i_f \cdot t + \frac{(i_i - i_f)}{b} \cdot (1 - e^{-b \cdot t}) \quad (3.7)$$

$$Vel = i_f + (i_i - i_f) \cdot e^{-b \cdot t} \quad (3.8)$$

O valor de i_i foi adotado como uma média das primeiras medições, e i_f foi adotado como uma média das últimas medições.

3.1.2 Desenvolvimento do novo modelo baseado na maximização da entropia

Notações:

f = Velocidade de infiltração usada no modelo entrópico (LT-1)

f_s = Velocidade de infiltração máxima (medida ou calculada) (LT-1)

f_o = Velocidade de infiltração mínima medida ou preferivelmente a condutividade hidráulica do solo associada a um "t" grande (LT-1)

f^* = Velocidade normalizada de infiltração (adimensional)

\bar{f}^* = Velocidade de infiltração média normalizada

H = Entropia

p = Densidade de probabilidade

P = Probabilidade acumulada

t = Variável tempo (T)

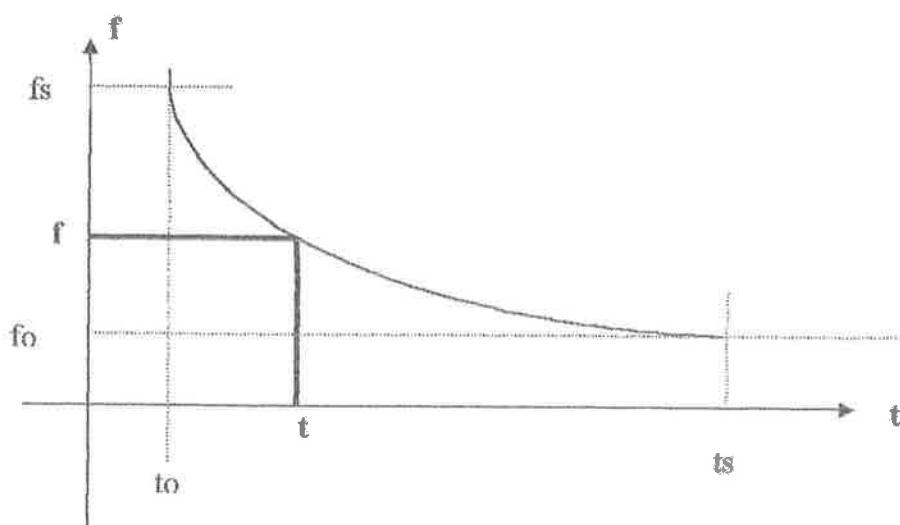
t_0 = Instante inicial (T)

t_s = Tempo máximo (T)

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ = Multiplicadores de Lagrange

t^*, dt^*, f^*, df^* = Notações adotadas para os valores limites no momento da integração.

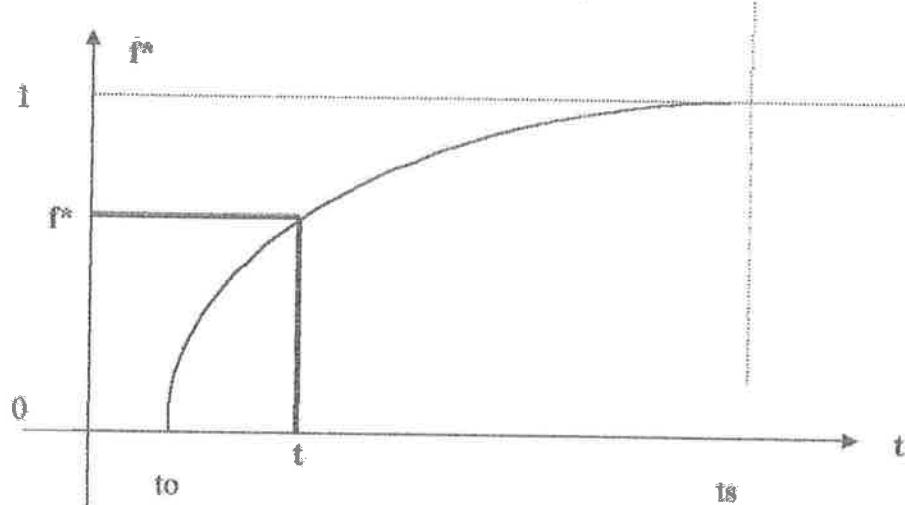
Esquema geral de uma curva entrópica teórica



$$f^* = \frac{f - f_o}{f_s - f_o} \quad \text{Para } f = f_o \Rightarrow f^* = 0$$

$$\text{Para } f = f_s \Rightarrow f^* = 1$$

Esquema da normalização da velocidade de infiltração



3.1.2.1 Princípios e leis particulares

Princípio da Máxima Entropia

$$H = - \int_0^1 p(f^*) \ln p(f^*) df^*$$

↑
Funcional entropia

3.1.2.2 Hipóteses

a) $f^* = f^*(t)$

b) $P(f^*) = \frac{t - t_0}{t_s - t_0}$ Esta é a probabilidade (acumulada) de uma velocidade de infiltração normalizada ser menor ou igual a “ f^* ”, que ocorre associada a um instante “ t ”.

3.1.2.3 Desenvolvimento do primeiro modelo (entropia aplicada ao eixo X)

Sendo $p(f^*)$ a densidade de probabilidade de “ f^* ”, a entropia associada ao fenômeno pode ser expressa por:

$$H = - \int_0^1 p(f^*) \ln p(f^*) df^* \quad F1 \text{ (função 1)} \quad (3.9)$$

A densidade de probabilidade ainda deve satisfazer as seguintes restrições:

$$\int_0^1 p(f^*) df^* = 1 \quad F2 \text{ (função 2)} \quad (3.10)$$

$$\int_0^1 p(f^*) f^* df^* = \bar{f}^* \quad F3 \text{ (função 3)} \quad (3.11)$$

Onde \bar{f}^* é o valor médio normalizado da velocidade de infiltração, definida por

$$\bar{f}^* = \frac{\bar{f} - f_0}{f_s - f_0} \quad (3.12)$$

O princípio da entropia máxima (PEM) estabelece que, de todas as prováveis ocorrências de f^* , ocorrerá a que maximiza o funcional “H”, que é a entropia. A maximização de “H”, condicionadas à obediência das equações 3.10 e 3.11, é feita através dos multiplicadores de Lagrange:

$$\frac{\partial}{\partial p} [F1(f^*, p) + \lambda_1 F2(f^*, p) + \lambda_2 F3(f^*, p)] = 0 \quad \text{ou} \quad \frac{\partial}{\partial p} [-p \ln p + \lambda_1 p + \lambda_2 p f^*] = 0 \quad (3.13)$$

Feitas as derivações, obtém-se:

$$[-1 - \ln p + \lambda_1 + \lambda_2 f^*] = 0 \quad (3.14)$$

$$\ln p = (\lambda_1 - 1) + \lambda_2 f^* \quad (3.15)$$

$$p = e^{\lambda_1 - 1} \cdot e^{\lambda_2 f^*} \quad (3.16)$$

Substituindo-se a densidade “p” de probabilidade, expressa pela equação 3.16, na equação 3.10, tem-se

$$\int_0^1 e^{\lambda_1 - 1} \cdot e^{\lambda_2 f^*} \cdot df^* = 1 \quad (3.17)$$

$$e^{\lambda_1 - 1} \cdot \left[\frac{e^{\lambda_2 f^*}}{\lambda_2} \right]_0^1 = 1 \quad \text{ou} \quad \frac{e^{\lambda_1 - 1}}{\lambda_2} \cdot (e^{\lambda_2} - 1) = 1 \quad (3.18)$$

partindo-se da hipótese sobre a probabilidade acumulada de “ F^* ”

$$P(f^*) = \frac{t - t_0}{t_s - t_0} \quad (3.19)$$

pode-se obter a densidade de probabilidade fazendo-se

$$p(f^*) = \frac{dP(f^*)}{df^*} = \frac{dP(f^*)}{dt} \cdot \frac{dt}{df^*} \quad (3.20)$$

com base na equação 3.19, obtém-se

$$\frac{dP(f^*)}{dt} = \frac{1}{t_s - t_0} \quad (3.21)$$

o que permite transformar a equação 3.20 em

$$p(f^*) = \frac{1}{(t_s - t_o)} \cdot \frac{dt}{df^*} = \left[(t_s - t_o) \cdot \frac{df^*}{dt} \right]^{-1} \quad (3.22)$$

a eliminação de "p(f*)" entre as equações 3.22 e 3.16 fornece

$$\left[(t_s - t_o) \cdot \frac{df^*}{dt} \right]^{-1} = e^{\lambda_1 - 1} \cdot e^{\lambda_2 f^*} \quad (3.21)$$

que pode ser reescrita na forma (utilizando-se as notações f^* , d^*t e df^*)

$$e^{\lambda_2 f^*} \cdot df^* = \frac{dt}{(t_s - t_o) \cdot e^{\lambda_1 - 1}} \quad (3.22)$$

esta última equação deve ser integrada para " f^* " variando entre " 0 " e " f^* ", e para " t " variando de " t_o " a " t ". Isto feito chega-se a

$$\frac{e^{\lambda_2 f^*}}{\lambda_2} \Big|_0^{f^*} = \frac{t}{(t_s - t_o) \cdot e^{\lambda_1 - 1}} \Big|_{t_o}^t \quad \text{ou} \quad e^{\lambda_2 f^*} - 1 = \frac{\lambda_2}{e^{\lambda_1 - 1}} \cdot \left(\frac{t - t_o}{t_s - t_o} \right) \quad (3.23)$$

a partir da equação 3.18 obtém-se

$$e^{\lambda_2} - 1 = \frac{\lambda_2}{e^{\lambda_1 - 1}} \quad (3.24)$$

que transforma a equação 3.23 em

$$e^{\lambda_2 f^*} - 1 = (e^{\lambda_2} - 1) \cdot \left(\frac{t - t_o}{t_s - t_o} \right) \quad \text{ou} \quad f^* = \frac{\ln}{\lambda_2} \left(1 + (e^{\lambda_2} - 1) \cdot \left(\frac{t - t_o}{t_s - t_o} \right) \right) \quad (3.25)$$

Neste ponto, define-se o parâmetro de entropia "M" como $M = \lambda_2$ e retoma-se a definição de f^* , transformando-se a equação 3.25 em:

$$\frac{f - f_o}{f_s - f_o} = \frac{\ln}{M} \left(1 + (e^M - 1) \cdot \left(\frac{t - t_o}{t_s - t_o} \right) \right) \quad (3.26)$$

Esta última expressão pode ser ainda colocada na forma

$$f = f_o - \frac{f_o - f_s}{M} \ln \left(1 + (e^M - 1) \cdot \left(\frac{t - t_o}{t_s - t_o} \right) \right) \quad (3.27)$$

Análise de consistência da equação 3.27

$$\text{Para } t=t_o \quad f = f_o - \frac{f_o - f_s}{M} \cdot 0 \quad ; \quad f = f_o \quad ; \quad \text{Correto}$$

$$\text{Para } t=t_s \quad f = f_o - \frac{f_o - f_s}{M} \cdot \ln(e^M) \quad ; \quad f = f_s \quad ; \quad \text{Correto}$$

* Análise do primeiro modelo

Depois da aplicação dos quatro modelos aos dados de campo (apêndice A), a distribuição entrópica mostrou uma melhoria significativa no coeficiente de correlação em comparação com os modelos de Philips e Kostiakov, mas pequena com Horton.

Segundo a teoria, a velocidade de infiltração começa num valor elevado e diminui até no final tender a um valor constante (VIB), este tipo de curva corresponde às propriedades de uma curva de tipo exponencial. Na fig. 3.1 observa-se que o modelo entrópico apresenta características logarítmicas que são invertidas às procuradas e ressaltando o fato que o modelo de Horton possui esta característica exponencial.

Portanto, pesquisou-se um outro modelo entrópico que cumpra estas características.

Nos modelos entrópicos estudados na bibliografia existente, coincidentemente os fenômenos físicos estudados possuem estas características logarítmicas, sendo este o primeiro caso que o fenômeno tem características exponenciais.

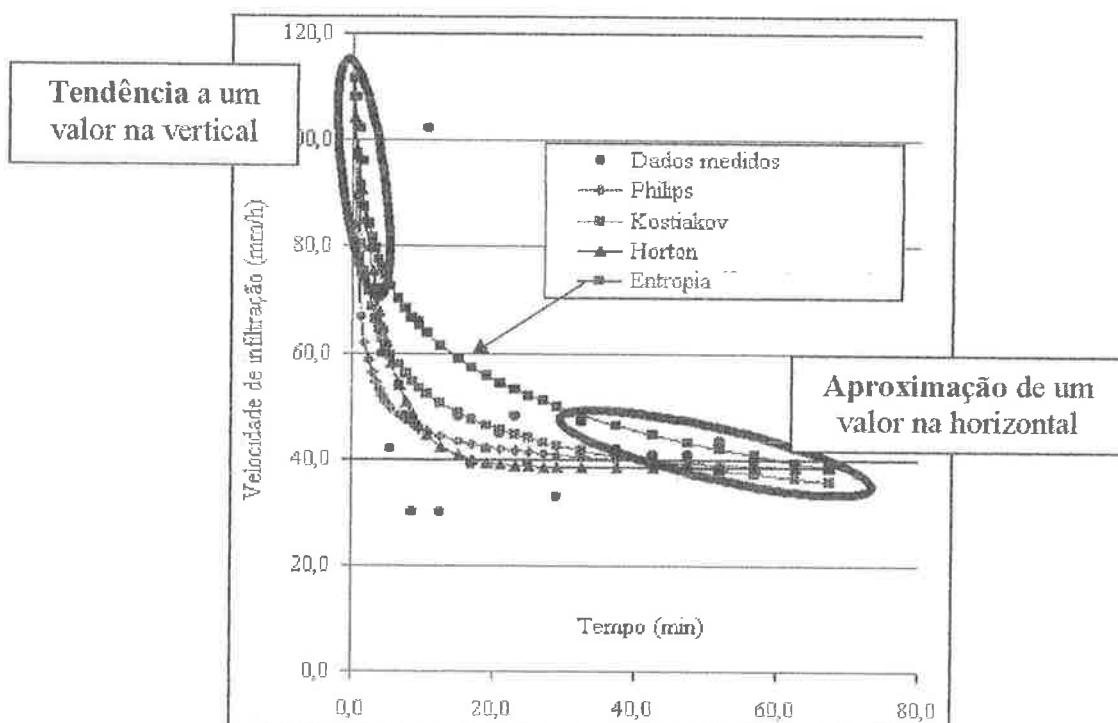


Fig. 3.1 Primeiro modelo aplicado a dados de campo

3.1.2.4 Desenvolvimento do segundo modelo (entropia aplicada ao eixo Y)

Sendo $p(f^*)$ a densidade de probabilidade de " f^* ", a entropia associada ao fenômeno pode ser expressa por

$$H = - \int_{t_0}^{t_s} p(t) \ln p(t) dt \quad F1 \text{ (função 1)} \quad (3.30)$$

Ao se mudar as propriedades da entropia no outro eixo, as duas condições iniciais são mudadas também.

$$\int_{t_0}^{t_s} p(t) dt = 1 \quad F2 \text{ (função 2)} \quad (3.31)$$

$$\int_{t_0}^{t_s} p(t) \cdot t dt = \bar{t} \quad F3 \text{ (função 3)} \quad (3.32)$$

O princípio da entropia máxima (PEM) estabelece que, de todas as prováveis ocorrências de t , ocorrerá a que maximiza o funcional “H” que é a entropia. A maximização de “H” condicionadas à obediência da equação 3.31 e da equação 3.32, é feita através dos multiplicadores de Lagrange:

$$\frac{\partial}{\partial p} [F1(t, p) + \lambda_3 \cdot F2(t, p) + \lambda_4 \cdot F3(t, p)] = 0 \quad \text{ou} \quad \frac{\partial}{\partial p} [-p \ln p + \lambda_3 \cdot p + \lambda_4 \cdot p \cdot t] = 0 \quad (3.33)$$

Feitas as derivações, obtém-se:

$$[-1 - \ln p + \lambda_3 + \lambda_4 \cdot t] = 0 \quad (3.34)$$

$$\ln p = (\lambda_3 - 1) + \lambda_4 \cdot t = 0 \quad (3.35)$$

$$p = e^{\lambda_3 - 1} \cdot e^{\lambda_4 t} = 0 \quad (3.36)$$

Substituindo-se a densidade “p” de probabilidade expressa pela equação 3.36 na equação 3.30, tem-se

$$\int_{t_0}^{t_s} e^{\lambda_3 - 1} \cdot e^{\lambda_4 t} dt = 1 \quad (3.37)$$

$$e^{\lambda_3 - 1} \cdot \frac{e^{\lambda_4 t}}{\lambda_4} \Big|_{t_0}^{t_s} = 1 \quad \text{ou} \quad \frac{e^{\lambda_3 - 1}}{\lambda_4} \cdot (e^{\lambda_4 t_s} - e^{\lambda_4 t_0}) = 1 \quad (3.38)$$

partindo-se da hipótese sobre a probabilidade acumulada de “t”

$$P(t) = \frac{f - f_0}{f_s - f_0} \quad (3.39)$$

pode-se obter a densidade de probabilidade fazendo-se

$$p(t) = \frac{dP(t)}{dt} = \frac{dP(t)}{df} \cdot \frac{df}{dt} \quad (3.40)$$

com base na equação 3.39, obtém-se

$$\frac{dP(t)}{df} = \frac{1}{f_s - f_0} \quad (3.41)$$

o que permite transformar a equação 3.40 em

$$p(t) = \frac{1}{(f_s - f_o)} \cdot \frac{df}{dt} = \left[(f_s - f_o) \cdot \frac{dt}{df} \right]^{-1} \quad (3.42)$$

a eliminação de "p(t)" entre as equações 3.42 e 3.36 fornece

$$\left[(f_s - f_o) \cdot \frac{dt}{df} \right]^{-1} = e^{\lambda_3 t} \cdot e^{\lambda_4 t} \quad (3.43)$$

que pode ser reescrita na forma (utilizando-se as notações f^* , d^*t' e dt')

$$e^{\lambda_4 t'} \cdot dt' = \frac{df'}{(f_s - f_o) \cdot e^{\lambda_3 t'}} \quad (3.44)$$

esta última equação deve ser integrada para "t'" variando entre "t" e "to" e para "f'" variando de "fo" a "f". Isto feito chega-se a

$$\frac{e^{\lambda_4 t'}}{\lambda_4} \Big|_{t_0}^t = \frac{f'}{(f_s - f_o) \cdot e^{\lambda_3 t'}} \Big|_{f_0}^f \quad \text{ou} \quad e^{\lambda_4 t} - e^{\lambda_4 t_0} = \frac{\lambda_4}{e^{\lambda_3 t}} \cdot \left(\frac{f - f_o}{f_s - f_o} \right) \quad (3.45)$$

A partir da equação 3.38 obtém-se

$$e^{\lambda_4 t_s} - e^{\lambda_4 t_0} = \frac{\lambda_4}{e^{\lambda_3 t}} \quad (3.46)$$

que transforma a equação 3.45 em

$$e^{\lambda_4 t} - e^{\lambda_4 t_0} = (e^{\lambda_4 t_s} - e^{\lambda_4 t_0}) \cdot \left(\frac{f - f_o}{f_s - f_o} \right) \quad \text{ou} \quad f = \left(\frac{e^{\lambda_4 t} - e^{\lambda_4 t_0}}{e^{\lambda_4 t_s} - e^{\lambda_4 t_0}} \right) \cdot (f_s - f_o) + f_o \quad (3.47)$$

Neste ponto, define-se o parâmetro de entropia "M" como $M = \lambda_4 * t_s$ e retoma-se a definição de t, transformando-se a equação 3.47 em:

$$f = f_o - (f_o - f_s) \cdot \left(\frac{\frac{M \cdot t}{t_s} - \frac{M \cdot t_0}{t_s}}{e^M - e^{\frac{M \cdot t}{t_s}}} \right) \quad (3.48)$$

Análise de consistência da equação 3.48

$$\text{Para } t=to \quad f = f_o - (f_o - f_s) \cdot 0 \quad ; \quad f = f_o \quad ; \quad \text{Correto}$$

$$\text{Para } t=ts \quad f = f_o - (f_o - f_s) \cdot 1 \quad ; \quad f = f_s \quad ; \quad \text{Correto}$$

* Análise do primeiro e o do segundo modelo

O intuito de achar uma nova fórmula entrópica foi atingido porque a nova fórmula cumpre as características exponenciais buscadas.

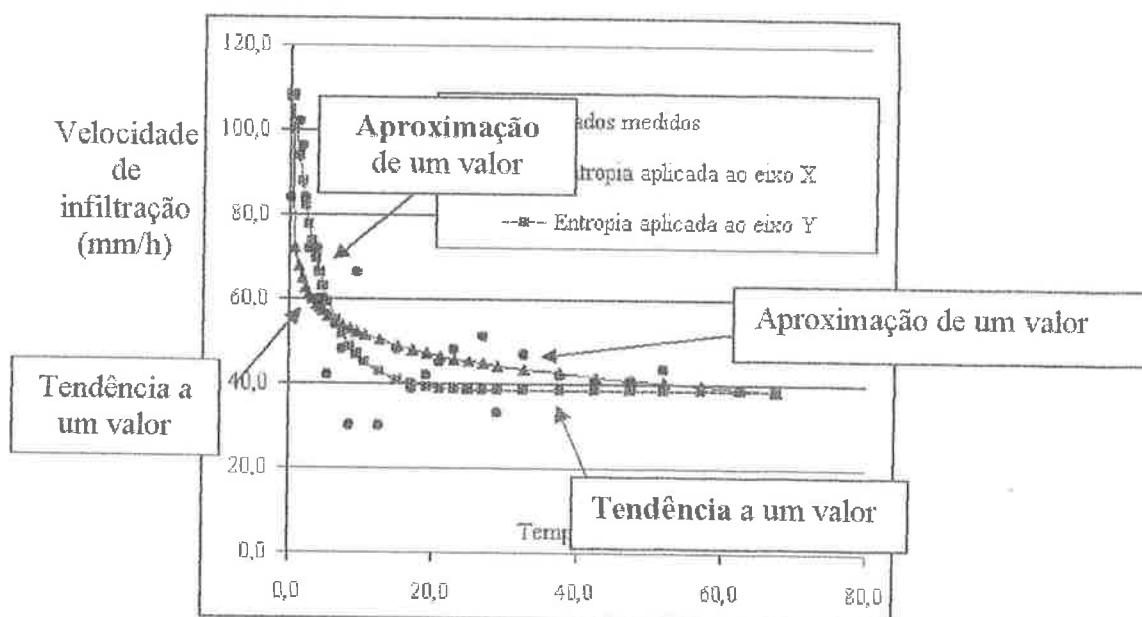


Fig. 3.2 Comparação dos resultados obtidos dos modelos entrópicos aplicados.

Mas a próxima pergunta foi: será que existe uma terceira distribuição entrópica, desta vez simétrica nos valores extremos tanto tendências quanto aproximações? E finalmente, será que existe um modelo que abranja todas estas distribuições entrópicas? A resposta é sim, pode-se desenvolver um modelo único com todas estas características, mas a desvantagem deste é que ele é iterativo em cada um dos dados, sendo praticamente impossível o funcionamento numa planilha eletrônica. Achou-se o modelo procurado de uma forma alternativa, que é multiplicando os dois modelos entrópicos anteriormente desenvolvidos.

3.1.2.5 Desenvolvimento do terceiro modelo (entropia aplicada aos eixos X e Y)

Notações extras:

M_x = Parâmetro entrópico correspondente à velocidade de infiltração (eixo X)

M_y = Parâmetro entrópico correspondente à velocidade de infiltração (eixo Y)

Retomando-se a equação 3.29, porém substituindo a denominação do parâmetro entrópico M por M_x

$$f = f_0 - (f_0 - f_s) \cdot \frac{\ln}{M_x} \left(1 + (e^{M_x} - 1) \cdot \left(\frac{t - t_0}{t_s - t_0} \right) \right)$$

e a equação 3.48, mas com o parâmetro M trocado por M_y

$$f = f_0 - (f_0 - f_s) \cdot \left(\frac{\frac{e^{\frac{My}{ts}} - e^{\frac{My}{to}}}{e^{My} - e^{\frac{My}{ts}}}}{\frac{e^{\frac{My}{ts}} - e^{\frac{My}{to}}}{e^{My} - e^{\frac{My}{ts}}}} \right)$$

a equação fica

$$f = f_0 - (f_0 - f_s) \cdot \left[\left(\frac{\frac{e^{\frac{My}{ts}} - e^{\frac{My}{to}}}{e^{My} - e^{\frac{My}{ts}}}}{\frac{e^{\frac{My}{ts}} - e^{\frac{My}{to}}}{e^{My} - e^{\frac{My}{ts}}}} \right) \cdot \frac{\ln \left(1 + (e^{Mx} - 1) \cdot \left(\frac{t - to}{ts - to} \right) \right)}{Mx} \right] \quad (3.49)$$

e, finalmente, mudando a notação por uma mais geral, com base nos eixos X e Y obtém-se um modelo geral de representação gráfica de fenômenos físicos utilizando-se o princípio da Entropia Máxima nos dois eixos.

$$Y = Y_0 - (Y_0 - Y_s) \cdot \left[\left(\frac{\frac{e^{\frac{My}{Xs}} - e^{\frac{My}{Xo}}}{e^{My} - e^{\frac{My}{Xs}}}}{\frac{e^{\frac{My}{Xs}} - e^{\frac{My}{Xo}}}{e^{My} - e^{\frac{My}{Xs}}}} \right) \cdot \frac{\ln \left(1 + (e^{Mx} - 1) \cdot \left(\frac{X - X_o}{X_s - X_o} \right) \right)}{Mx} \right] \quad (3.50)$$

Análise de consistência da equação 3.50

$$\text{Para } X=X_o \quad Y = Y_0 - (Y_0 - Y_s) \cdot 0.0 \quad ; \quad Y = Y_0 \quad ; \quad \text{Correto}$$

$$\text{Para } X=X_s \quad Y = Y_0 - (Y_0 - Y_s) \cdot 1.1 \quad ; \quad Y = Y_s \quad ; \quad \text{Correto}$$

* Análise do modelo geral

Esta fórmula deu 65% de resultados positivos; nos 35% restante a diferença foi menor que 0.1 no r^2 , permitindo, além de simular com a confiança de obter o maior coeficiente de correlação e menor desvio padrão, estudar o tipo de tendência dos fenômenos físicos simulados.

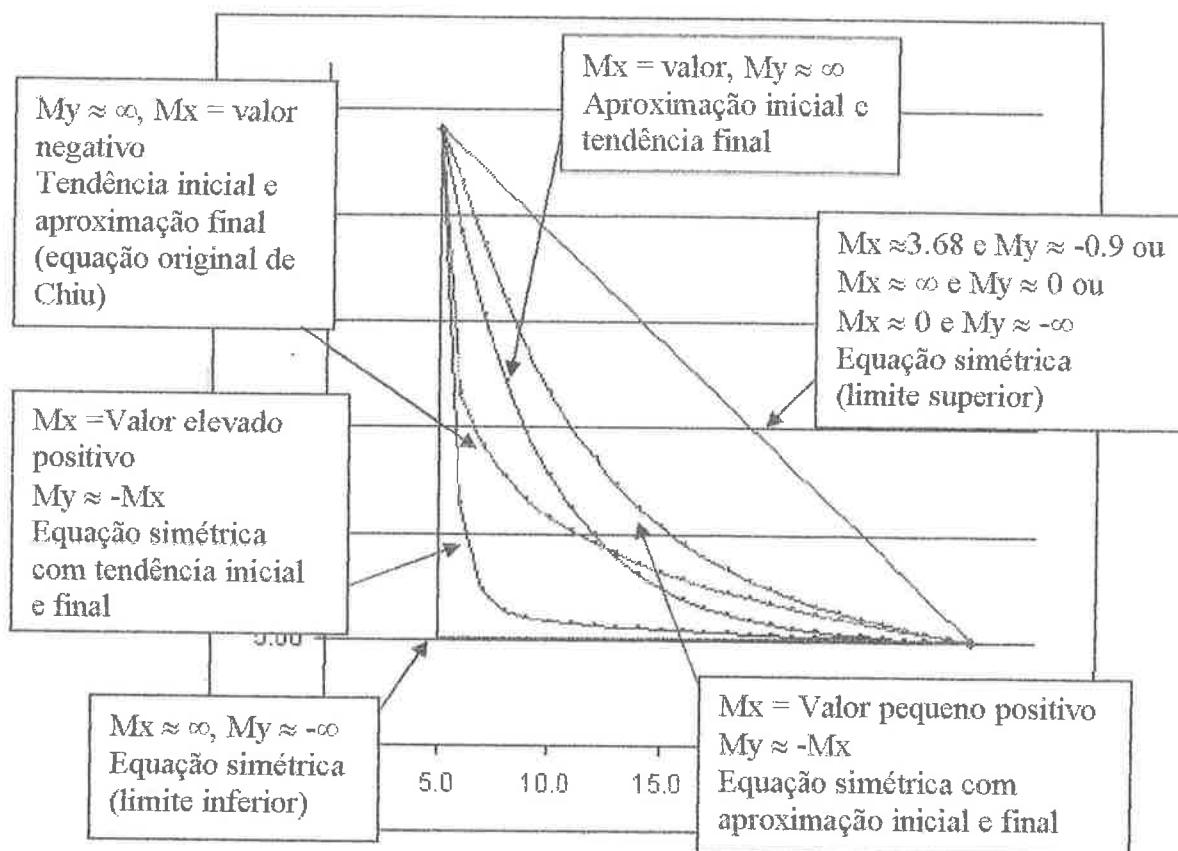


Fig. 3.3 Representação das seis principais distribuições simuladas.

Durante o desenvolvimento do doutorado, nasceu uma outra idéia inédita para melhorar ainda mais o modelo. Sendo que é possível aplicar a entropia aos eixos X e Y então é possível aplicar a entropia em todas as direções existentes. Matematicamente este modelo é ainda mais complexo de ser desenvolvido que o aplicado aos dois eixos, mas foi perfeitamente simulado através de um MÉTODO de aplicação.

3.1.2.6 Desenvolvimento do método Chiu-Ledezma de aplicação da maximização da entropia multidirecional

O método é simples, consiste na rotação dos dados utilizando como centro o ponto 0,0 (fig. 3.4).

O primeiro passo é transformar o sistema de coordenadas retangular num sistema polar. Em continuação itera-se o ângulo alfa até achar o valor ótimo em função do coeficiente de correlação aplicando a fórmula 3.50.

Transformar os novos valores a coordenadas retangulares.

Finalmente o último passo é trabalhar com o novo sistema de coordenadas do ponto de vista do sistema de coordenadas original.

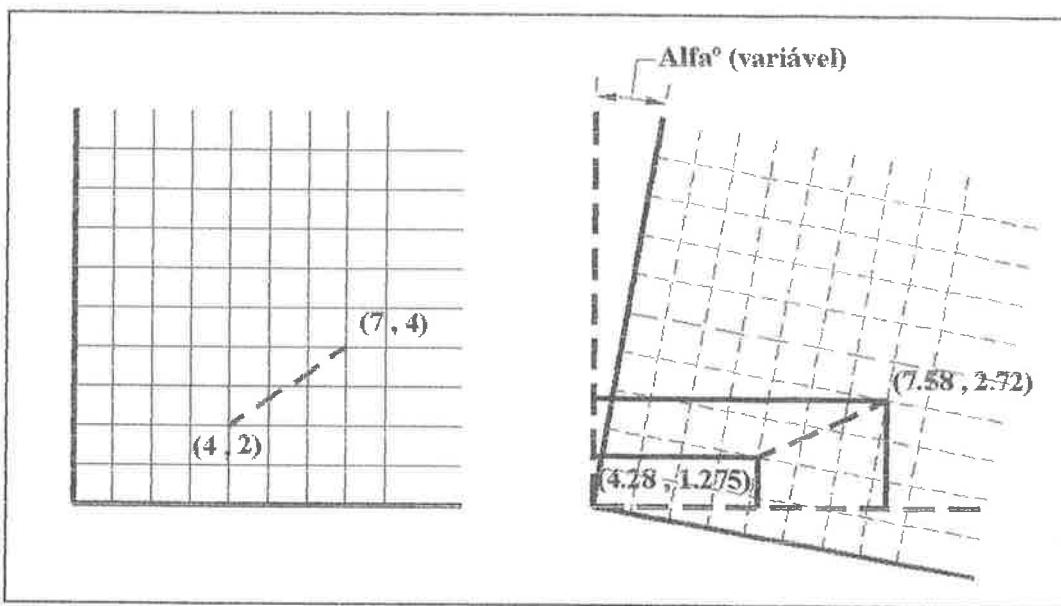


Fig. 3.4 Esquema dos conceitos utilizados na rotação de dados

Os resultados deste método deram na totalidade das provas o maior r^2 com melhorias máximas de 68% e 59% e em média de 9%.

Para evitar que os futuros leitores deste trabalho refaçam tudo do zero, a aplicação do método foi desenvolvida para ser utilizada de forma simples numa planilha eletrônica em formato Excel, por ser mundialmente utilizado hoje, na qual é necessário apenas substituir os dados iniciais, redefinir os limites, caso seja preciso, e finalmente, ativar um botão (que ativa uma macro) que iterará as variáveis necessárias até achar os valores ótimos. Este arquivo está disponível num formato digital aberto adjunto a este trabalho, com o nome de entropia multidirecional (apêndice E). xls e as instruções do uso estão no apêndice E.

3.2 Desenvolvimento do modelo de irrigação

O desenvolvimento do modelo do tipo onda cinemática, e dos outros tipos de modelos citados, baseia-se na simplificação e resolução numérica das equações de Saint-Venant.

As equações de Saint-Venant são classificadas como não lineares, do tipo hiperbólico e relacionam a altura da lâmina de água na superfície com a velocidade média do escoamento em um canal aberto.

Equação de continuidade

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial T} + \frac{\partial Az}{\partial T} = 0 \quad (3.51)$$

Equação da quantidade de movimento

$$\frac{1}{g.A} \cdot \frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{2V}{g.A} + (1 - Fr^2) \cdot \frac{\partial Y}{\partial X} = i - J + Di \quad (3.52)$$

Sendo

$$J = \frac{V^2}{C^2 \cdot Rh} \quad (3.53)$$

$$C = 8\sqrt{g} \left(\frac{Rh}{k} \right)^{\frac{1}{6}} \quad \text{Fórmula CTH} \quad (3.54)$$

$$Di = V \cdot \frac{(\partial Az / \partial T)}{2 \cdot g \cdot A} \quad (3.55)$$

$$Fr = \frac{V}{(g \cdot A / B)^{1/2}} \quad (3.56)$$

Onde:

A = Área da seção transversal de escoamento superficial.

V = Velocidade média do escoamento.

Q = Vazão.

B = Largura da superfície livre.

Az = Área da seção transversal infiltrada.

g = Aceleração da gravidade.

i = Declividade do canal.

J = Declividade da resistência hidráulica.

C = Coeficiente de Chezy

k = Altura da rugosidade

Rh = Raio hidráulico.

Di = Efeito dinâmico da infiltração, aqui considerada como um escoamento lateral saindo do canal.

Fr = Número de Froude.

O modelo onda cinemática despreza, além dos termos de inércia, o terceiro termo da equação dinâmica, o gradiente de pressão da água, desconsiderando os efeitos a jusante, assume também que o declividade da linha de energia é igual ao declividade da superfície de

também que o declive da linha de energia é igual ao declive da superfície de escoamento ficando a equação geral da quantidade de movimento simplificada da seguinte forma:

$$\frac{\partial A}{\partial X} = A.S_o - A.S_f \quad (3.57)$$

Devido à forma de solução utilizada para desenvolver o modelo, e adicionalmente para ser possível simular irrigação por vazão descontínua, é necessário utilizar os seguintes conceitos de onda de choque.

- Distribuição hidrostática a montante e a jusante da onda.
- Perda por cisalhamento na interface água – parede é insignificante no trecho.
- Regime permanente a montante e jusante.
- Distribuição uniforme da velocidade nas secções 1-1 e 2-2.

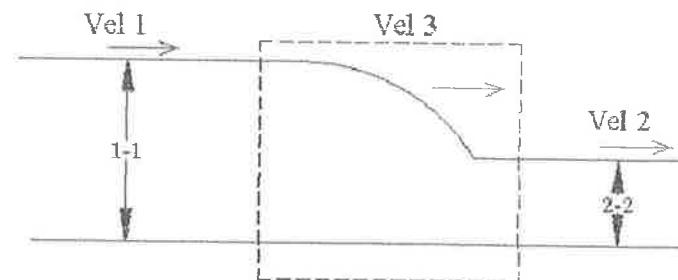


Fig. 3.5 Esquema de onda de choque.

3.2.1 Conceitos usados na infiltração

Para poder aplicar a resolução por elementos finitos nos resultados determinados pela aplicação da entropia multidirecional é necessário integrar numericamente, em intervalos de tempo escolhidos, a equação da velocidade de infiltração (fig. 3.6).

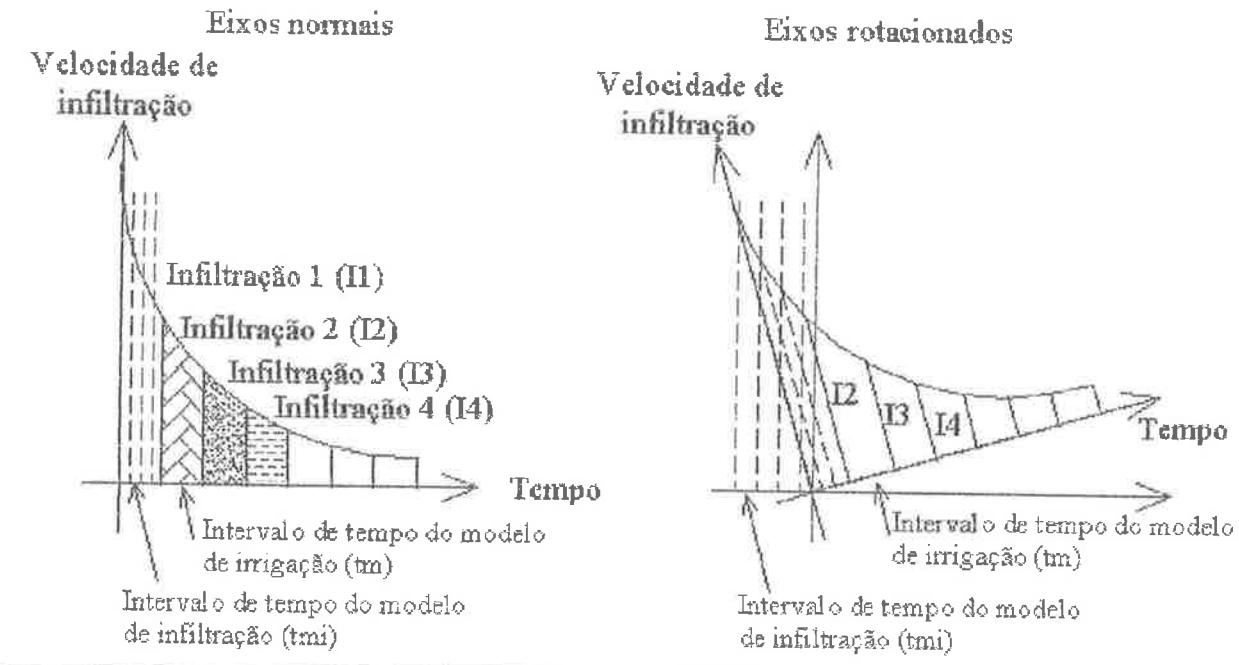


Fig. 3.6 Esquema dos conceitos utilizados na infiltração.

O modelo de irrigação funciona tanto com a fórmula entrópica multidirecional quanto com a fórmula de Kostiakov – Lewis, a livre escolha pelo usuário.

3.2.2 Conceitos usados nos sulcos conectores

Em continuação expõem-se os passos gerais do funcionamento do modelo

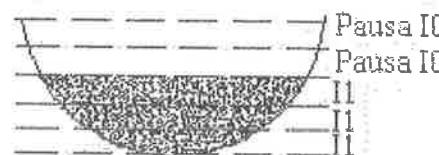
1. A longitude do sulco é dividida em células de tamanho escolhido pelo usuário.
2. O volume de entrada no primeiro intervalo de tempo de modelagem é dividido eqüitativamente entre as primeiras células do sulco.
3. Verifica-se a altura de cada célula em fatias de altura escolhidas.
4. Determina-se a infiltração em cada fatia e, subtraindo o volume infiltrado, determina-se o volume remanescente de cada célula.
5. Calcula-se a velocidade do escoamento de cada célula.
6. Determina-se a distância que os volumes vão percorrer no próximo intervalo de tempo.
7. Calcula-se em até que células percorrem os volumes de água.
8. Verificam-se as ocorrências de onda de choque em todo o sulco e aplica-se a compensação volumétrica indicada no ponto 3.2.2.1.
9. Nos próximos intervalos de tempo repete-se o passo 2 com o novo volume ingressante adicionando o volume remanescente do intervalo de tempo anterior.

10. Repetem-se os passos 3,4,5,6, 7 e 8.

Quando o modelo funciona e encontra uma célula ou fatia seca, mesmo que seja por um único intervalo de tempo, a infiltração acumulada é cessada e não contabilizada, até que estas fiquem molhadas de novo. Nas figuras 3.8 e 3.9 pode-se observar melhor estes passos.

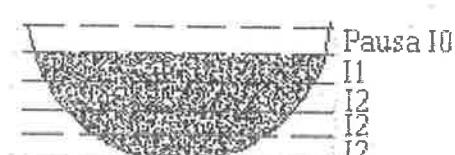
Lapso de tempo 1

Entra um volume de água e calcula-se a infiltração em função da altura de água



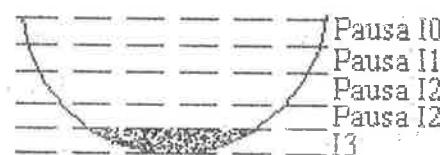
Lapso de tempo 2

Entra um novo volume de água e calcula-se a infiltração em função da nova altura de água



Lapso de tempo genérico

No caso de abaixar o nível no próximo intervalo de tempo



Lapso de tempo genérico

No caso de sobir o nível de água no próximo intervalo de tempo



Pausa significa que a continuidade da infiltração é pausada no intervalo de tempo

I0, I1, I2= Parcelas da infiltração definidas na figura 3.6.

Fig. 3.8 Esquema dos conceitos utilizados na transversal dos sulcos.

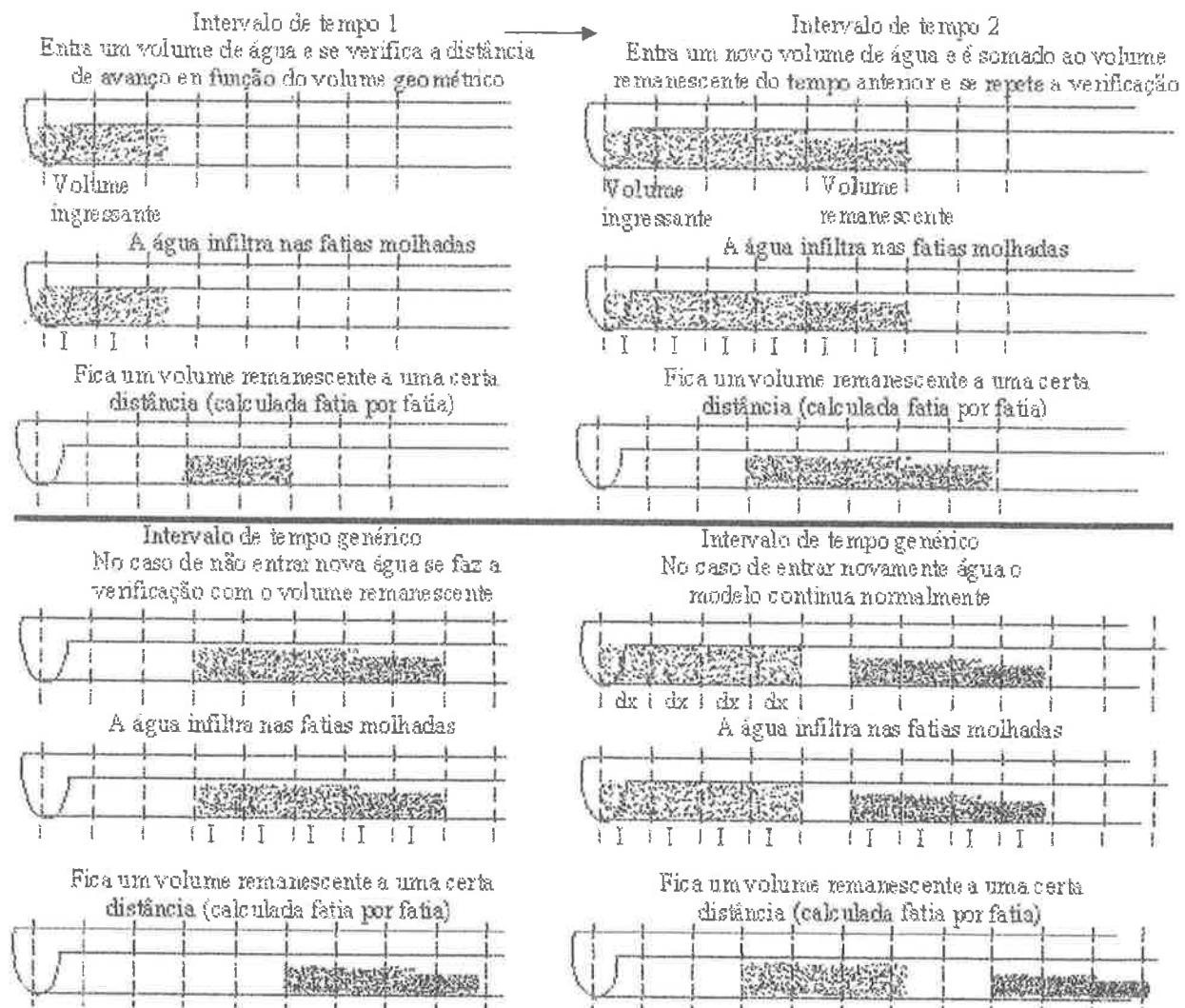


Fig. 3.9 Esquema dos conceitos utilizados no comprimento dos sulcos.

3.2.2.1 Conceitos usados nas ocorrências de onda de choque

Quando, depois de uma vazão pequena estar sendo fornecida, repentinamente, é fornecida uma vazão grande, existe uma superposição de volumes, que o modelo compensa automaticamente utilizando os conceitos de onda de choque; acontece a mesma superposição quando a diferença de distâncias percorridas entre dois intervalos de tempo é menor que o tamanho de uma célula devido à infiltração de água nas fatias.

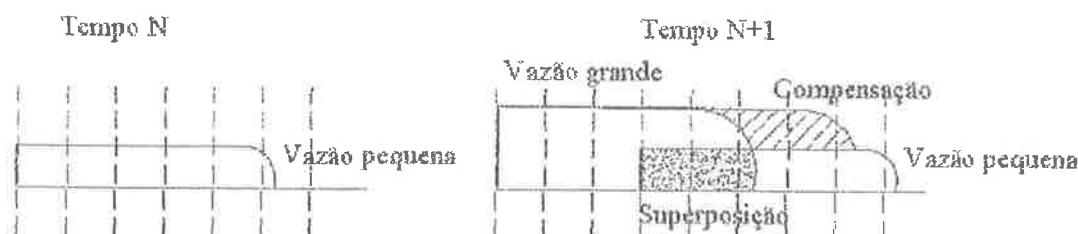


Fig. 3.10 Esquema da compensação de onda de choque.

Quando uma vazão pequena for fornecida depois de uma grande, a mesma compensação deverá ser feita.

3.2.2.2 Simplificação na determinação da altura de água no sulco semicircular

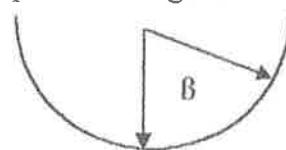
Notações extras:

D = Diâmetro

β = Ângulo

X_e e X_a = Variáveis auxiliares

Esquema do ângulo β



$$\text{Fórmula CTH} = \text{Fórmula recomendada pelo CTH para o cálculo do } C = 8\sqrt{g} \left(\frac{Rh}{k} \right)^{\frac{1}{6}}$$

A fórmula utilizada para determinar a altura de água e a velocidade de escoamento é baseada na equação de Chezy na qual o coeficiente C é determinado através da fórmula CTH que deixa a equação em função da rugosidade k

$$Q = 8\sqrt{g} \left(\frac{Rh}{k} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot A \cdot \sqrt{Rhi} \quad \text{ou} \quad \frac{Q \cdot k^{\frac{1}{6}}}{8\sqrt{g} \cdot \sqrt{i}} = Rh^{\frac{1}{6}} \cdot Rh^{\frac{1}{2}} \cdot A \quad (3.58)$$

exprimindo a fórmula em função do ângulo β

$$\frac{Q \cdot k^{\frac{1}{6}}}{8\sqrt{g} \cdot i} = \left(D \cdot \frac{2\beta - \sin(2\beta)}{8\beta} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{D^2}{8} (2\beta - \sin(2\beta)) \quad (3.59)$$

re-arranjando termos deixando a variável β de um lado, temos

$$\frac{4 \cdot Q \cdot k^{\frac{1}{6}}}{D^{\frac{8}{3}} \sqrt{g} \cdot i} = \frac{(2\beta - \sin(2\beta))^{\frac{5}{3}}}{\beta^{\frac{2}{3}}} \quad (3.60)$$

A resolução desta equação é iterativa, fato que ocupa bastante memória e tempo de execução, razão pela qual desenvolveu-se um método simplificador que consiste em plotar o lado direito da equação anterior e ajustar uma curva que simule os resultados (fig. 3.11).

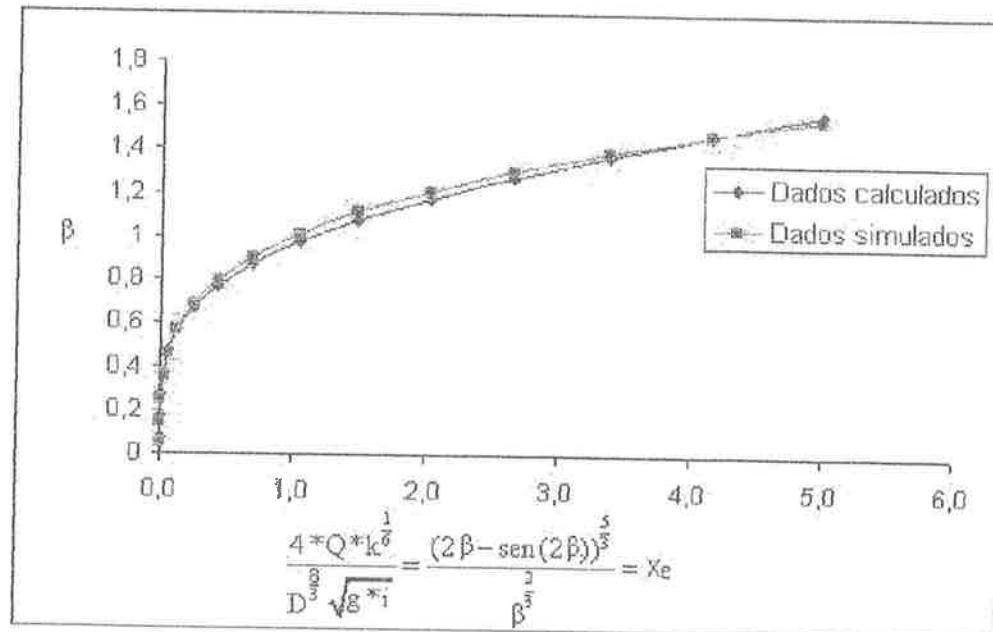


Fig. 3.11 Gráfico simplificador 1.

Várias fórmulas foram utilizadas para simular os resultados dos quais a fórmula potencial teve um erro máximo entre valores calculados e simulados de 0.038 equivalente a 2°, a fórmula entrópica normal tem um maior erro para valores pequenos, a entrópica multidirecional tem um erro de 0.001, mas é complicado trabalhar com sua aplicação, portanto recomenda-se utilizar a fórmula potencial por ser de fácil aplicação e ter um erro aceitável.

$$\beta = X_e^{0.2655} \quad (3.61)$$

Em parte do modelo é preciso calcular o ângulo β só tendo como dado a área, como a resolução deste problema é também iterativa, aplicou-se o mesmo método de resolução.

$$A = \frac{D^2}{8} \cdot (2\beta - \sin(2\beta)) \quad \text{ou} \quad \frac{8A}{D^2} = (2\beta - \sin(2\beta)) \quad (3.62)$$

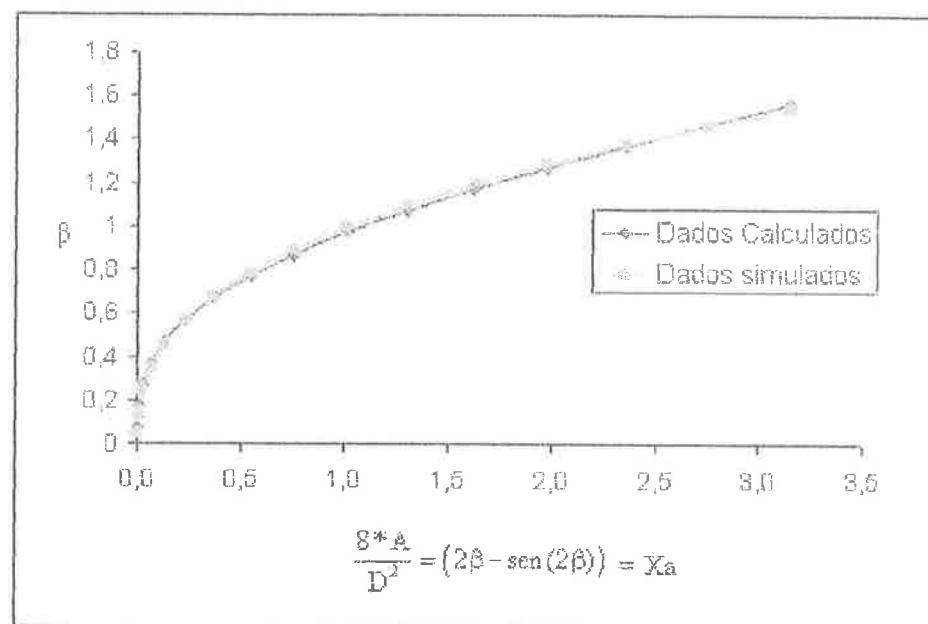


Fig. 3.12 Gráfico simplificador 2.

Usando os mesmos conceitos determina-se a fórmula 3.63 que tem um erro máximo de 0.027, equivalente a 1.6°.

$$\beta = 0.993X_a^{0.385} \quad (3.63)$$

3.2.3 Conceitos usados nas bacias

1. A bacia é dividida em fatias em função de uma altura fornecida e calculam-se suas respectivas áreas parciais, volumes internos e volumes internos acumulados, afetados por um fator de pedras que representa o volume ocupado pelas coberturas radiculares.
2. Usando o volume de saída dos sulcos como volume de entrada da bacia determina-se a infiltração em cada fatia.
3. Calcula-se o volume remanescente de cada intervalo subtraindo o volume infiltrado.
4. Nos próximos intervalos de tempo repete-se o passo 2 com o novo volume ingressante e soma-se ao volume remanescente do intervalo de tempo anterior.
5. Repetem-se os passos 3 e 4.

Quando o modelo encontra uma fatia seca a infiltração para até ficar molhada. Na figura 3.13 pode-se observar melhor estes passos.

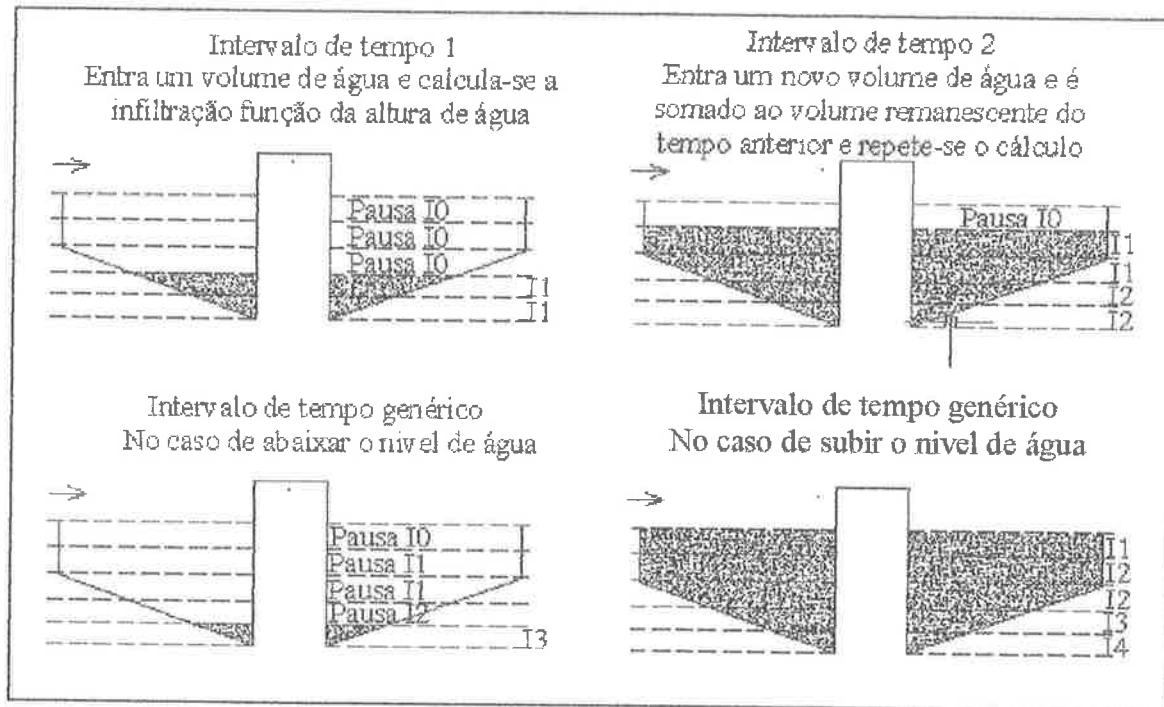


Fig. 3.13 Esquema dos conceitos utilizados nas bacias.

4 RESULTADOS FINAIS E ANÁLISE

4.1 Modelos de infiltração

4.1.1 Modelos de infiltração aplicados ao infiltrômetro de duplo anel (apêndice A)

Na totalidade das provas o modelo entrópico multidirecional (MEM) gerou o maior coeficiente de correlação (r^2).

Enquanto maior a dispersão dos dados o MEM funciona melhor que os outros modelos.

Em longos períodos de tempo o MEM mostra uma marcada tendência ao modelo entrópico aplicado ao eixo Y (exponencial) e uma diminuição da melhoria do r^2 .

No caso deste tipo de irrigação, para uma melhor eficiência do modelo, é recomendado o uso das primeiras horas de dados, faixa onde o MEM funciona melhor, porém para simular o fenômeno da velocidade de infiltração em geral recomenda-se o modelo entrópico aplicado ao eixo Y.

As unidades recomendadas para aplicar o MEM são minutos no eixo X (tempo) e milímetros sobre hora no eixo Y (velocidade de infiltração), para que os valores nos dois eixos fiquem em intervalos similares entre máximos e mínimos.

O modelo entrópico aplicado ao eixo X (Chiu), tem uma porcentagem baixa de ser o melhor modelo, isto devido à natureza logarítmica do fenômeno estudado, enquanto que o modelo entrópico aplicado ao eixo Y tem uma grande porcentagem devido a sua natureza exponencial, assim como o modelo de Horton.

Uma pequena porcentagem das provas tem uma distribuição do tipo logarítmica.

As tendências da curva, quer seja exponencial, logarítmica ou alguma intermediária, pode ser facilmente observada através dos resultados da aplicação do MEM.

A equação de Horton é o melhor modelo dos atualmente utilizados devido a sua natureza exponencial, porém não simula corretamente os valores iniciais, essenciais na simulação das primeiras horas de irrigação.

Nas provas 13 e 16 existem muitos dados e os mesmos mostram bastante dispersão, os modelos tentavam encaixar os dados às distribuições logarítmicas ou exponenciais (modelos atuais), mas os coeficientes de correlação estavam muito baixos; aplicando-se o MEM visualizou-se que os dados das provas mostram uma tendência linear correspondente aos 10 primeiros minutos.

A entropia aplicada aos dois eixos gerou um alto grau de confiabilidade.

Na tabela 4.1 expõem-se os resultados dos modelos aplicados a 39 provas de infiltração por anel duplo.

Philips	Kostiakov	Horton	Entropia aplicada no eixo X	Entropia aplicada no eixo Y	Entropia nos dois eixos	Entropia aplicada a dados rotacionados	
0,00	69,12	43,09	0,00	0,00	0,00	0,00	Diferença entre valores máximos
1,73	8,70	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	Diferença entre valores mínimos
-8,69	-2,76	-1,39	-4,18	-1,65	0,24	8,87	% de melhoria efetiva
20,77	19,45	17,96	20,83	21,81	19,28	10,52	Erro padrão XY

Melhora porcentual média EME =	8,87 %
Máxima melhora porcentual EME =	68,02 %

						100%	Posição
3%		11%	14%	8%	65%		1a
14%	5%	38%	16%	19%	8%		2a
22%	5%	16%	5%	35%	16%		3a
27%	27%	14%	19%	14%			4a
16%	30%	16%	19%	16%	3%		5a
19%	32%	5%	27%	8%	8%		6a
							7a

Tabela 4.1 Resultados estatísticos

O MEM, além de gerar o maior coeficiente de correlação, mostra a tendência que tem o fenômeno físico estudado. Depois de saber a tendência é recomendado usar um modelo entrópico mais simples que se adapte ao fenômeno, para evitar fórmulas complexas. Neste caso específico é recomendado usar o MEM.

O solver do Excel, programa utilizado para iterar os valores entrópicos, itera os resultados até achar um máximo, valor que nem sempre pode ser o melhor. A curva de maximização pode ser bi ou multimodal, tudo dependendo dos valores iniciais de iteração. Por isso é recomendado usar bom senso na determinação dos resultados.

4.1.2 Modelos de infiltração aplicados ao infiltrômetro por sulcos (apêndice B)

Aplicado a 19 provas práticas, na totalidade das provas, o modelo entrópico multidirecional (MEM) gerou o maior coeficiente de correlação (r^2). A melhoria deste valor em todas as provas foi mínima.

O MEM mostra uma marcada tendência ao modelo entrópico aplicado ao eixo X (tipo logarítmico) em curtos e longos períodos de tempo, razão pelo qual recomenda-se este modelo para a simulação deste fenômeno.

As unidades recomendadas para aplicar o MEM são minutos no eixo X (tempo) e milímetros sobre hora no eixo Y (velocidade de infiltração), para que os valores nos dois eixos fiquem em intervalos similares entre máximos e mínimos.

Uma pequena porcentagem das provas tem uma distribuição do tipo logarítmica.

A tendência da curva, quer seja exponencial, logarítmica ou alguma intermediária, pode ser facilmente observada através dos resultados da aplicação do MEM.

A equação de Horton mostra em média os maiores r^2 dentre os modelos atualmente utilizados, por uma pequena margem. Utilizando o método comparativo a equação de Kostiakov demonstra um alto grau de confiabilidade de simulação.

Phillips	Kostiakov	Horton	Entropia aplicada no eixo X	Entropia aplicada no eixo Y	Entropia nos dois eixos	Entropia aplicada a dados rotacionados	
13,21	19,96	39,36	0,00	0,00	0,00	0,00	Diferença entre valores máximos
0,00	4,77	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	Diferença entre valores mínimos
-2,93	-3,28	-1,12	0,24	-1,12	0,97	1,19	% de melhora efetiva
4,94	5,51	3,25	3,12	5,09	1,80	1,66	Erro padrão XY

Melhora porcentual média EME =	1,19 %	Posição
Máxima melhora porcentual EME=	2,45 %	
	5%	1a
16%	5%	2a
32%	28%	3a
11%	32%	4a
5%	18%	5a
37%	21%	6a
	16%	7a
	79%	
	16%	
	5%	
	21%	
	42%	
	100%	

Tabela 4.2 Resultados estatísticos

4.1.2.1 Propriedades do modelo entrópico aplicadas às provas do infiltrômetro por sulcos (apêndice C)

Aplica-se a propriedade da entropia de só precisar três pontos para a determinação da curva de simulação, nas mesmas 19 provas anteriores, além dos pontos limites inicial e final, utilizou-se o ponto inicial+20 minutos, inicial+40 minutos, inicial+60 minutos, inicial+80 minutos, e uma

prova final com quatro pontos em que usou-se os pontos inicial+20 minutos e inicial+40 minutos.

Os melhores resultados foram gerados pela utilização do ponto inicial+20 minutos, gerando um r^2 ainda maior que dos modelos de Kostiakov, Horton e Philips (0.01 em média).

Utilizou-se o modelo de quatro pontos melhoraram-se bastante os r^2 , mas não tanto quanto o de três pontos anterior.

Posição						Coeficientes de correlação								
+20	+40	+60	+80	duas primeiras	Posição	+20	+40	+60	+80	duas primeiras	Philips	Kostiakov	Horton	Número de prova
53%	5%	5%	5%	32%	1a	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,95	0,97	0,97	57
32%	11%	5%	5%	47%	2a	0,99	0,99	0,96	0,94	0,99	0,99	0,98	0,98	58
5%	53%	21%	11%	11%	3a	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,96	0,98	59
5%	32%	47%	11%	5%	4a	1,00	0,99	0,99	0,89	1,00	0,98	0,98	0,96	60
5%		21%	68%	5%	5a	0,99	0,97	0,99	0,90	0,99	0,97	0,98	0,97	61
						0,98	0,98	0,93	0,98	0,98	0,97	0,98	0,96	62
						0,97	0,90	0,97	0,77	0,97	0,97	0,97	0,96	63
						1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,89	0,98	0,99	64
						1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,95	0,98	0,98	65
						0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,96	66
						0,97	0,97	0,88	0,95	0,97	0,96	0,95	0,93	67
						0,98	0,96	0,86	0,86	0,86	0,96	0,95	0,93	68
						1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,98	0,98	69
						0,99	0,98	0,98	0,94	0,98	0,99	0,98	0,99	70
						0,94	0,88	0,86	0,82	0,93	0,96	0,84	0,88	71
						0,96	0,92	0,90	0,87	0,95	0,99	0,95	0,97	72
						0,98	0,94	0,94	0,91	0,97	1,00	0,98	0,97	73
						0,90	0,86	0,76	0,75	0,89	0,94	0,77	0,97	74
						0,95	0,62	0,37	0,36	0,94	0,72	0,83	1,00	75

Coeficientes de correlação médios 0,98 0,94 0,91 0,89 0,97 0,95 0,95 0,97

Tabela 4.3 Resultados estatísticos

4.1.3 Modelo entrópico aplicado aos tipos de solo padrão (apêndice D)

Na irrigação utilizam-se sempre tipos de solo padrão que possuem diversas características físicas padrões com os objetivos de, entre outros, fazer pré-projetos e ajudar na escolha do tipo de irrigação a utilizar-se nas zonas alvo. Os tipos de solo padrão são: arenoso, arenoso siltoso, siltoso, argilo siltoso e argiloso sendo a mais reconhecida padronização a da USNRCS (HUNG; MANDOZA)

Como as curvas padrão são baseados na equação logarítmica de Kostiakov–Lewis para determinar os equivalentes entrópicos aplicou-se o modelo entrópico aplicado ao eixo X.

Solo arenoso $Vel = 50.55 - 12.97 \ln \left(1 + (e^{5.13} - 1) \left(\frac{t - 2.3}{147.80} \right) \right)$ (4.1)

Solo areno siltoso $Vel = 28.45 - 8.81 \ln \left(1 + (e^{5.13} - 1) \left(\frac{t - 2.3}{147.80} \right) \right)$ (4.2)

Solo siltoso $Vel = 15.49 - 5.69 \ln \left(1 + (e^{5.13} - 1) \left(\frac{t - 2.3}{147.80} \right) \right)$ (4.3)

Solo argilo siltoso $Vel = 10.16 - 4.85 \ln \left(1 + (e^{5.13} - 1) \left(\frac{t - 2.3}{147.80} \right) \right)$ (4.4)

Solo argiloso $Vel = 2.79 - 2.38 \ln \left(1 + (e^{5.13} - 1) \left(\frac{t - 2.3}{147.80} \right) \right)$ (4.5)

Onde Vel = Velocidade de infiltração em mm/h

t = tempo em min

Valores entrópicos

Arenoso	Areno siltoso	Siltoso	Argilo siltoso	Argiloso	
117,09	73,66	44,70	35,05	14,99	Velocidade máxima adotada (f_s)
50,55	28,45	15,49	10,16	2,79	Velocidade mínima adotada (f_0)
150,1	150,1	150,1	150,1	150,1	Tempo máximo (t_s)
2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	Tempo mínimo (t_0)
5,13	5,13	5,13	5,13	5,13	Valor entrópico (M_x)
-25,0	-25,0	-25,0	-25,0	-25,0	Valor entrópico (M_y)
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	α

Valores de Kostiakov

138,120	89,454	55,915	46,137	22,569	K^*
-0,196	-0,221	-0,246	-0,286	-0,381	a'

1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	$r^2 =$
------	------	------	------	------	---------

Tabela 4.4 Constantes entrópicas e de Kostiakov dos tipos de solo padrão

4.2 Modelo de irrigação (Apêndice I)

4.2.1 Dispensa dos parâmetros de ajuste

Uma das vantagens do modelo desenvolvido é que permite modelar a curva de avanço, infiltração e até recessão dispensando os parâmetros empíricos de ajuste.

Incrementa a precisão dos resultados porque não utiliza os parâmetros geométricos da secção transversal, constantes geométricas do sulco, parâmetros de ajuste da curva de avanço nem fatores de forma superficial e sub-superficial.

Na figura 4.1 apresenta-se o método tradicional de cálculo destes parâmetros empíricos, onde os valores são ajustados a curvas potenciais que possuem valores de coeficiente de correlação elevados. Nesta técnica existe pouca precisão na fórmula correspondente ao perímetro do sulco numa seção semicircular.

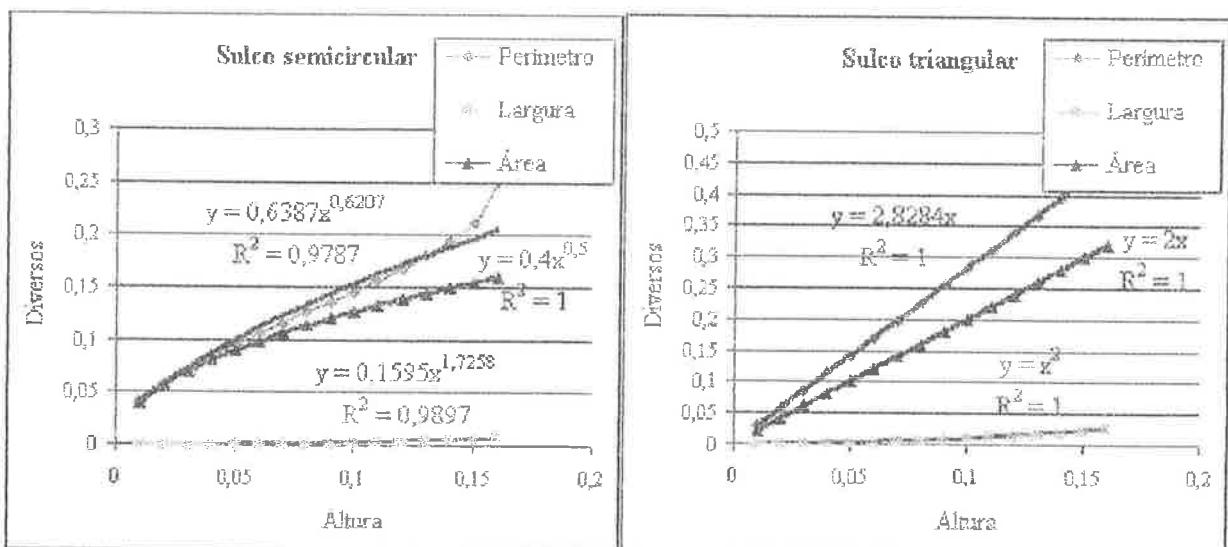


Fig. 4.1 Parâmetros geométricos

4.2.2 Sensibilidade dos parâmetros e variáveis do modelo

Intervalo tempo da infiltração A redução do valor recomendado (0.001 min. = 0.06 seg.) praticamente não afeta a velocidade de escoamento nem o volume infiltrado, o incremento não afeta a velocidade de escoamento, mas incrementa de forma mínima o volume infiltrado.

Intervalo tempo do modelo Este valor não deve ser menor que 0.05 min. (3 seg.) porque a distância de avanço é muito pequena, dando um erro matemático do modelo, valores de até 0.2 min mostram uma variação mínima na redução da velocidade de escoamento enquanto que o volume infiltrado permanece praticamente igual.

Intervalo h nas bacias (altura) A redução deste valor, do valor recomendado de 1 cm., afeta minimamente o incremento do volume infiltrado e a velocidade de escoamento

Intervalo y do sulco (altura) Mesma conclusão que o ponto anterior.

Intervalo x do sulco (distância) A variação deste valor é o que mais afeta os resultados da velocidade de escoamento e o volume infiltrado, se ele for incrementado do valor de 0.025 m.

k (Altura de rugosidade) A diminuição deste valor incrementa a velocidade sem afetar praticamente o valor do volume infiltrado.

Q (Vazão) Vazões maiores tem maior velocidade de escoamento e um leve incremento no volume infiltrado.

Diâmetro do sulco semicircular O incremento do diâmetro acima do recomendado em pequenos valores afeta pouco os valores da velocidade de escoamento e o volume infiltrado, já quando esse incremento é maior a velocidade diminui e praticamente não é afetado o volume infiltrado.

Altura do sulco triangular A variação deste valor não afeta em nada os resultados

Tipo de sulco (raio hidráulico) A forma semicircular, por ter menor raio hidráulico que o sulco triangular, veicula um escoamento de água com maior velocidade e por ter o menor perímetro molhado infiltra menos água. Quando o ângulo β do sulco semicircular é menor que 50° o raio hidráulico é maior que o triangular e veicula um escoamento com maior velocidade. Recomenda-se para sulcos curtos a forma circular e para sulcos médios e longos a forma triangular.

Fator de pedras O fator de pedra é a porcentagem de volume de pedras que existe na bacia, 0 significa sem pedras e 0.8 equivale a totalidade da bacia enchida de pedras, o valor de 1 significaria que não existe uma bacia porque ela está preenchida totalmente. Se esse valor incrementa, o volume efetivo na bacia diminui e a velocidade incrementa.

Tempo recomendado de fornecimento de água Este valor de saída corresponde ao tempo que o escoamento demora em chegar até o final do último sulco e adiciona-se 1 minuto com o intuito que a vazão recessiva aproximadamente preencha a última bacia.

4.2.3 Modelagem com vazão descontínua no sistema proposto (apêndice H)

Analiticamente, o modelo consegue simular a irrigação descontínua diminuindo o volume fornecido e incrementando a uniformidade, mas praticamente não se fez nenhuma prova para validar este tipo de irrigação, por não ser um dos objetivos do presente trabalho.

Na figura 4.2 mostra-se um esquema de como o modelo simula vazão descontínua, simulando primeiro uma vazão maior, depois uma menor e finalmente a mesma vazão inicial.

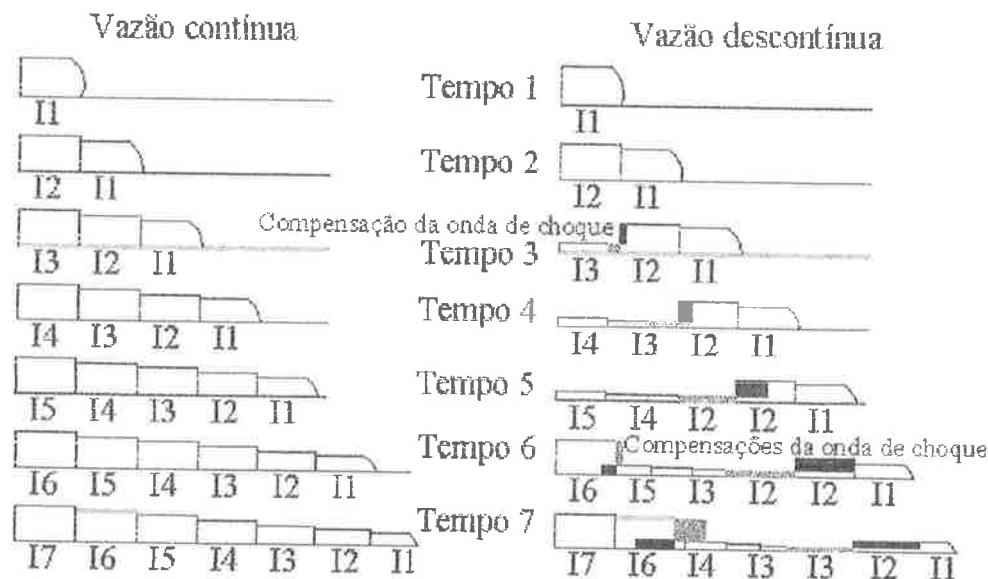


Fig. 4.2 Esquema da irrigação descontínua

Observa-se que a infiltração nas primeiras e últimas células é similar para ambos casos, mas nas células intermédias existe uma maior uniformidade gerada pela vazão descontínua e também uma economia de água.

Os ganhos neste tipo de irrigação são mínimos em comparação com os ganhos na da irrigação descontínua num sulco normal de grande comprimento.

Para aplicar este tipo de irrigação no sistema proposto dever-se-á aplicar uma vazão maior dos pulsos quando a vazão estiver começando em cada sulco, porque quando a água entra nas bacias perde o impulso e, portanto as propriedades da irrigação descontínua.

4.2.3.1 Modelagem com vazão descontínua em sulcos normais (apêndice H)

Para simular este tipo de irrigação num sulco normal com o programa desenvolvido o método consiste em preencher o número de conjunto sulcos – bacias com o valor de 1.

No apêndice H simula-se este tipo de irrigação num sulco de 10 metros de comprimento, tanto com o sulco semicircular quanto com o sulco triangular, resultando que a irrigação por vazão descontinua economiza uma maior quantidade de água e produz uma maior uniformidade de infiltração ao longo do sulco.

No apêndice F (manual de aplicação dos programas desenvolvidos) e G (manual de aplicação prática do sistema) mostra-se a parte prática deste tipo de modelação.

4.3 Validação dos resultados

Valida-se a parte do modelo que simula irrigação por sulcos, comparando os resultados com os obtidos por Ramsey e os simulados pelo modelo Savis (ANDRADE D. V. 1994).

Os dados iniciais do sulco são: comprimento 100 m., vazão constante 1.33 l/s, declividade 0.1032%, constantes de Kostiakov $a'=-0.5$ $K'=37.5$. O modelo Savis assume um fator de Maning de 0.022, parâmetros de forma $c1=1.246$, $c2=0.6993$ e células de 0.125 metros. O modelo desenvolvido neste trabalho e batizado de Meisc+VD (Modelo Entrópico de Irrigação Superficial por Bacias e Vazão Descontínua) utiliza uma altura de rugosidade de 0.001 m. e assume um sulco semicircular equivalente de 1.13 m. de diâmetro, devido a que só é possível simular sulcos semicirculares e triangulares.

O maior erro determinado pelo modelo Savis é de 12% nos primeiros 10 metros de sulco enquanto que o do Meisc+VD é de 4% na metade do sulco. O erro no final do sulco determinado no Savis foi de 0.71% enquanto que o do Meisc+VD foi de 0.3%.

Distância (m)	Tempo observado por Ramsey (min)	Tempo calculado pelo modelo Savis (min)	Tempo calculado pelo modelo Meisc+VC (min)	Diferença de tempos Savis- Ramsey (min)	Diferença de tempos Meisc+VD- Ramsey (min)	% de erro Savis- Ramsey	% de erro Meisc+VD- Ramsey
10	1,130	1,270	1,150	-0,140	0,020	12,389	1,770
20	2,540	2,660	2,500	-0,120	-0,040	4,724	1,575
30	4,090	4,130	3,950	-0,040	-0,140	0,978	3,423
40	5,740	5,630	5,500	0,110	-0,240	1,916	4,181
50	7,460	7,340	7,200	0,120	-0,260	1,609	3,485
60	9,240	9,080	9,000	0,160	-0,240	1,732	2,597
70	11,080	10,910	10,950	0,170	-0,130	1,534	1,173
80	12,960	12,830	12,950	0,130	-0,010	1,003	0,077
90	14,890	14,850	14,950	0,040	0,060	0,269	0,403
100	16,850	16,970	16,900	-0,120	0,050	0,712	0,297

Tabela 4.5 Resultados comparados 1 (dados de Ramsey determinados por regressão numérica).

Os dados usados na tabela 4.5, obtidos por Ramsey, são o resultado de uma regressão numérica, enquanto que os da tabela 4.6 são os obtidos em campo e cujos resultados favorecem ainda mais o modelo Meisc+VD.

Distância (m)	Tempo observado por Ramsey (min)	Tempo calculado pelo modelo Savis (min)	Tempo calculado pelo modelo Meisc+VC (min)	Diferença de tempos Savis- Ramsey (min)	Diferença de tempos Meisc+VD- Ramsey (min)	% de erro Savis- Ramsey	% de erro Meisc+VD- Ramsey
10	1,120	1,270	1,150	-0,150	0,030	13,393	2,679
20	2,580	2,660	2,500	-0,080	-0,080	3,101	3,101
30	4,070	4,130	3,950	-0,060	-0,120	1,474	2,948
40	5,710	5,630	5,500	0,080	-0,210	1,401	3,678
50	7,470	7,340	7,200	0,130	-0,270	1,740	3,614
60	9,240	9,080	9,000	0,160	-0,240	1,732	2,597
70	11,030	10,910	10,950	0,120	-0,080	1,083	0,725
80	12,920	12,830	12,950	0,090	0,030	0,697	0,232
90	14,870	14,850	14,950	0,020	0,080	0,134	0,538
100	16,900	16,970	16,900	-0,070	0,000	0,414	0,000

Tabela 4.6 Resultados comparados 2 (dados de Ramsey experimentais).

Cabe ressaltar que no sistema de irrigação proposto os sulcos serão compactados, a infiltração será mínima e que a distância dos mesmos não será maior que 20 m., razões pelas quais esta validação é mais que suficiente para esta parte do sistema.

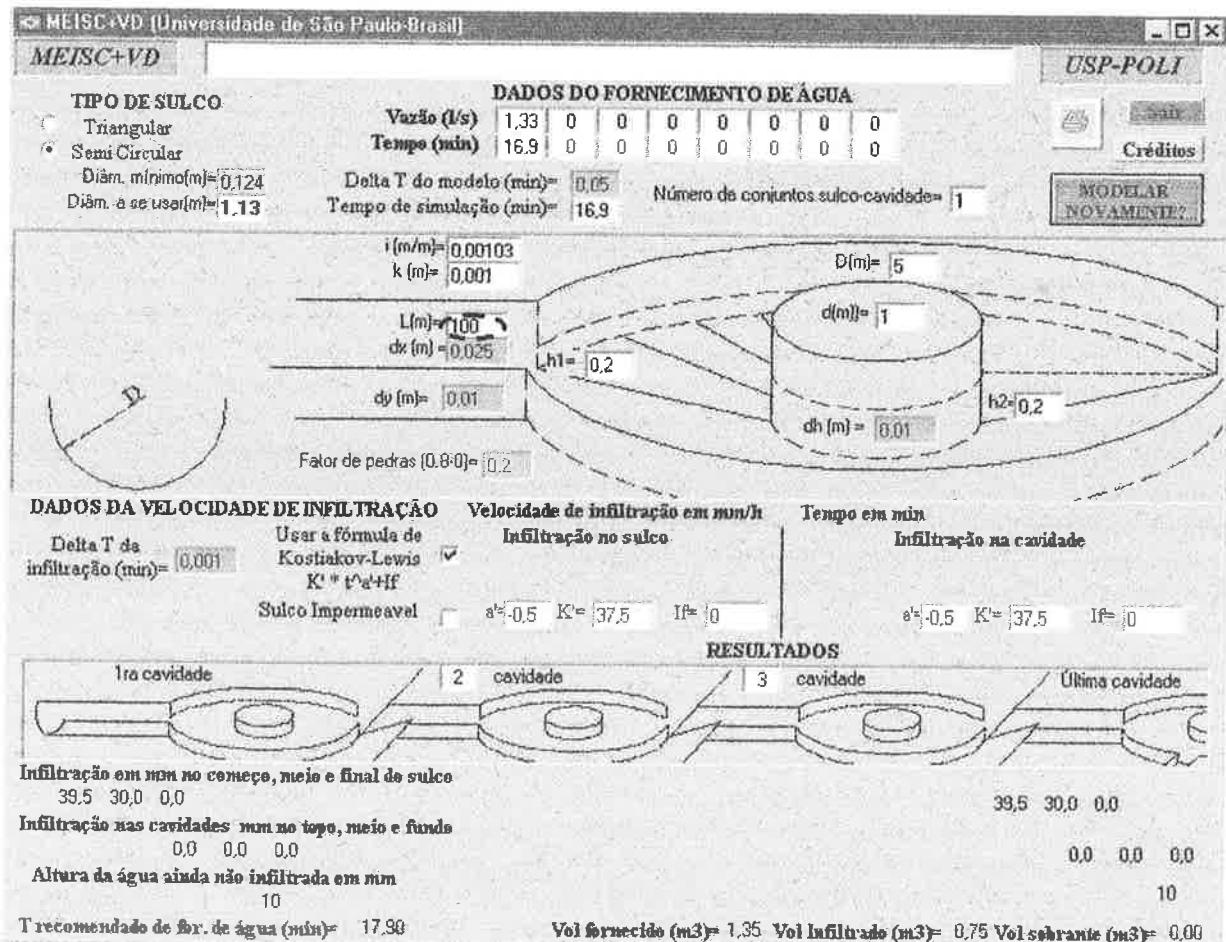


Fig. 4.3 Simulação de sulco normal

Na figura anterior mostra-se a forma em que foi simulado o sulco de precisão de Ramsey.

Para determinar o tempo em que a água atinge as distâncias 10m., 20m., etc substitui-se o valor de comprimento do sulco por estes valores e roda-se o programa uma e outra vez. Para determinar o tempo de simulação em que a água chega no final do sulco soma-se 1 minuto do tempo recomendado de fornecimento de água (o programa subtrai 1 minuto ao tempo que a água chega no final do sulco e recomenda esse como valor de fornecimento de água).

Não é preciso fazer uma validação nas bacias porque o mesmo infiltrômetro de anéis de onde são determinadas as variáveis de infiltração é praticamente uma bacia.

4.4 Outras aplicações do método de irrigação

Aplicando o método à irrigação por aspersão ou gotejamento teoricamente consegue-se:

- Reduzir as perdas por evaporação superficial.
- Incrementar o rendimento da colheita utilizando as coberturas radiculares
- Melhorar a porcentagem de chuva efetiva
- Incrementar a vazão dos aspersores ou gotejadores.

Aplicando o método à irrigação por aspersão conseguem-se as mesmas vantagens. Em continuação analisa-se a última das vantagens aplicada à aspersão.

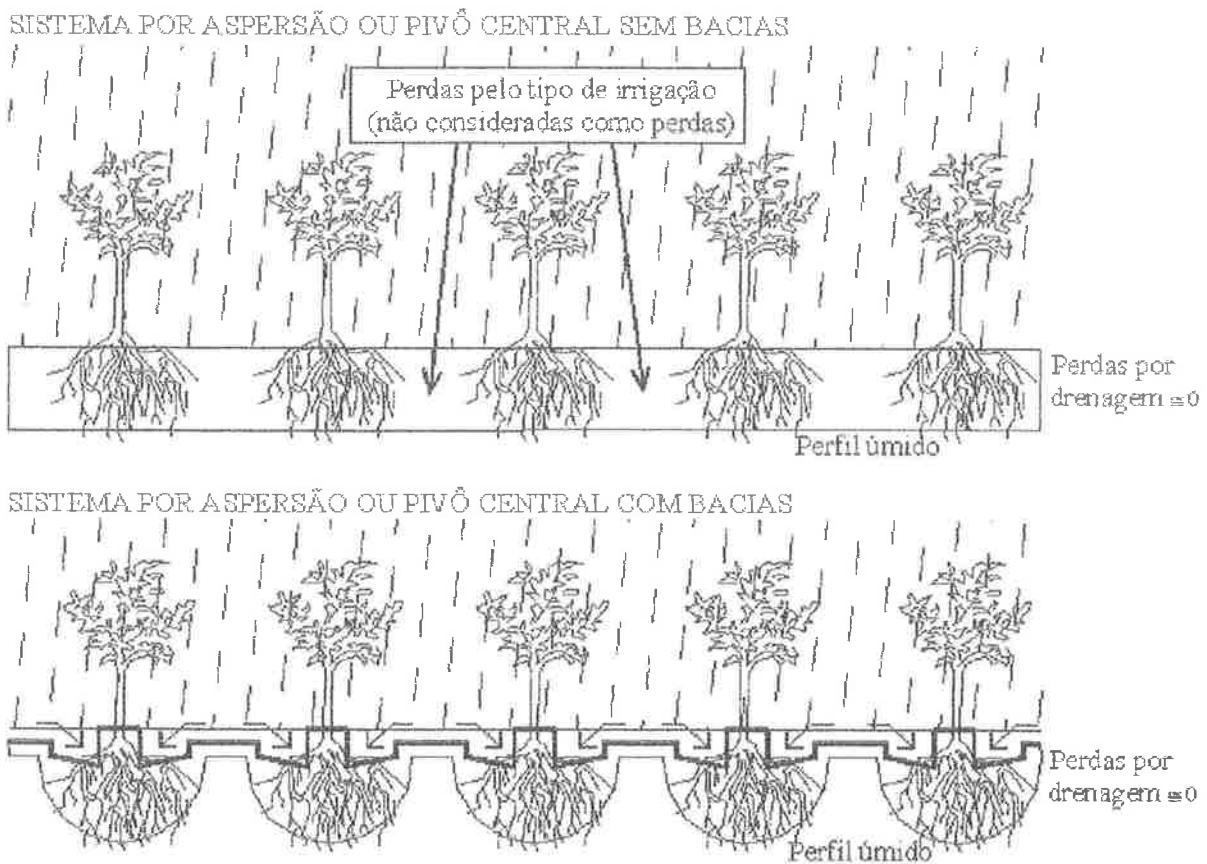


Fig. 4.7 Esquema dos perfis úmidos no sistema de irrigação por aspersão com e sem sistema de bacias

O valor da vazão da irrigação por aspersão é projetado para não ter perdas por escoamento, razão pela qual o incremento desta favorece o escoamento nas partes não irrigadas em direção às bacias, elevando a eficiência do sistema.

$$\%MEf = 100 + \%E \left(\frac{B \cdot L}{\pi \cdot Dr^2} - 1 \right) \quad (4.3)$$

Onde: %MEf = Porcentual de melhoria efetiva (%).

Dr = Diâmetro da zona radicular (m).

B e L = Distância entre plantas (m).

%E = Escoamento da água (%).

Pode-se ainda compactar as zonas não irrigadas diminuindo o valor do %E.

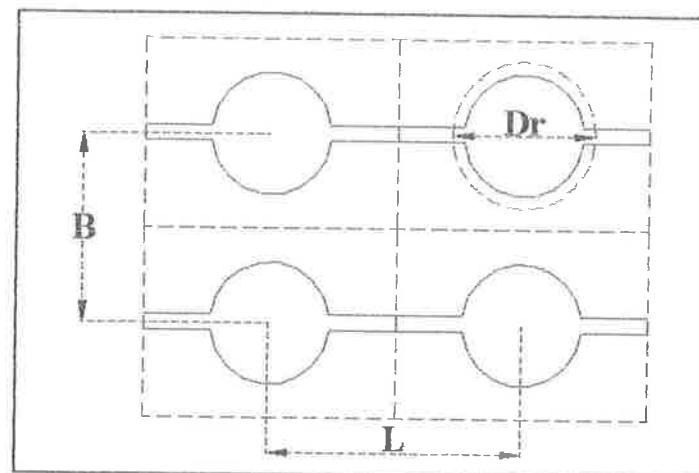


Fig. 4.8 Vista superior do método de irrigação

4.5 Considerações gerais da aplicação do modelo

É recomendado fazer uma prova de infiltração nova cada vez que se utilizar o modelo, devido às diversas variáveis que afetam este fenômeno em função do tempo.

No caso de utilizar coberturas radiculares protetoras, simular as mesmas nos infiltrômetros para uma melhor eficiência dos resultados.

Quanto maior for a vazão fornecida ao sistema, mais rápida será feita a distribuição nas bacias e maior será também a eficiência volumétrica.

Quanto maior for a declividade maior será a eficiência volumétrica.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Estuda-se, nesta pesquisa, o sistema de irrigação alternativo de irrigação localizada por bacias e a possível aplicação sobre os sistemas de gotejamento ou aspersão. Em continuação expõem-se as principais conclusões determinadas da aplicação do sistema.

- Uma irrigação mais eficiente, em água e em energia diretamente, e em dinheiro e em mão de obra indiretamente, sob certas condições.
- Reduz as perdas por evaporação.
- Incrementa o rendimento da colheita, evita o crescimento de ervas daninhas e até incrementa o rendimento da colheita utilizando as coberturas radiculares.
- Incrementa a porcentagem de chuva efetiva.
- É possível modificar a vazão dos gotejadores ou aspersores sem afetar o sistema.
- Evita as perdas por drenagem.

Escreve-se um manual de aplicação prática (apêndice G) e um manual de funcionamento dos programas desenvolvidos que permitem projetar o sistema (apêndice F)

No que se refere ao modelo de irrigação, que tem como característica principal possuir vários conjuntos de sulcos e bacias, onde os dados de saída do primeiro sulco são os dados de entrada da bacia e os dados de saída da bacia são os dados de entrada do próximo sulco e assim sucessivamente, determinou-se que a melhor forma de desenvolver o modelo matemático é utilizando um modelo misto do tipo balanço volumétrico e onda cinemática modificado com a teoria de onda de choque. Do modelo Meisc+VD conclui-se que:

- Simula este tipo de irrigação com um alto grau de confiabilidade
- Simula a irrigação por sulcos com um maior precisão que o modelo Savis, considerado de alta precisão, desenvolvido na ESALQ.
- Consegue simular irrigação descontínua ou intermitente tanto no sistema proposto quanto em sulcos normais, apesar de não ter sido projetado especificamente para isso.
- Permite modelar a curva de avanço, infiltração e até recessão dispensando os parâmetros empíricos de ajuste.

- Incrementa a precisão dos resultados porque não utiliza os parâmetros geométricos da seção transversal, constantes geométricas do sulco, parâmetros de ajustamento da curva de avanço nem fatores de forma superficial e sub-superficial.
- Determina a sensibilidade dos diversos intervalos de tempo, comprimento e altura utilizados pelo modelo na resolução pela técnica dos elementos finitos recomendando certos valores padrões a serem utilizados neste e em outros trabalhos.
- Mostra as vantagens hidráulicas, de funcionamento e manutenção dos sulcos triangulares a 90° em comparação com os semicirculares.
- Tem a versatilidade de usar tanto os inéditos modelos de infiltração entrópicos quanto o modelo de Kostiakow-Lewis.

Adicionalmente criou-se um método de resolução de problemas com solução iterativa, para o cálculo dos diversos parâmetros de uma seção semicircular, igualando os valores não geométricos de um lado da equação e o resto do outro, e posteriormente ajustar uma curva que simule os resultados, determinando equações e constantes padrões de resolução.

Utilizou-se bibliografia mundial, priorizando a bibliografia brasileira, para reunir 39 provas de infiltrômetros por anel duplo e 19 provas de infiltrômetro por sulcos aos quais aplicou-se os modelos de Kostiakov, Philips, Horton, empírico aplicado ao eixo X, empírico aplicado ao eixo Y, empírico aplicado aos dois eixos e finalmente empírico multidirecional. Disso conclui-se que:

- O inédito modelo entrópico multidirecional desenvolvido é o que melhor simula as primeiras horas da curva velocidade de infiltração versus tempo, tanto no infiltrômetro de anel duplo quanto no infiltrômetro de sulcos.
- O modelo entrópico aplicado aos 2 eixos pode determinar as tendências, logarítmicas, exponenciais, potenciais, lineares ou do tipo simétricas dos dados experimentais estudados.
- O modelo entrópico aplicado ao eixo Y é o que se recomenda para simular o fenômeno geral no infiltrômetro de anel.
- O modelo entrópico aplicado ao eixo X é o recomendado para simular os resultados produzidos pelo infiltrômetro por sulcos tanto para tempos curtos quanto para tempos longos. Esta pode ser feita através do uso de três pontos, um inicial, um final e finalmente um ponto intermediário igual ao ponto inicial mais vinte minutos.

- A equação de Horton é o melhor modelo dos atualmente utilizados no infiltrômetro de anel duplo enquanto que o modelo de Kostiakov simula melhor os resultados do infiltrômetro por sulcos.

Adicionalmente determinam-se equações e constantes entrópicas de infiltração para os 5 tipos de solo padronizado pela USNRCS.

Cabe ressaltar que estes modelos podem ser usados para simular diversos fenômenos físicos com a certeza de se obter melhores resultados e respectivas tendências.

Recomendam-se como trabalhos posteriores:

- Estudar especificamente a parte do modelo que simula a irrigação por vazão descontínua utilizando o modelo entrópico multidirecional.
- Estudar a aplicação prática do sistema em campo (sistema superficial, método aplicado aos sistemas por gotejamento e aspersão) avaliando tanto os aspectos técnicos de produtividade, eficiência de aplicação e custos, quanto a parte social de disseminação e aceitação da idéia.

6 LISTA DE REFERÊNCIAS

- ALVARADO M. P. **Calibración in situ de dos modelos de simulación para el diseño de riego superficial.** 2001. 11p. artigo 5as Jornadas de Investigación. Universidad Autónoma de Zacatecas. México
- ANDRADE D. V. de. **Modelo matemático para simulação da fase de avanço na irrigação por sulcos.** 135p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agronomia Luiz Queiroz. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.
- BRANDÃO V.; PRUSKI F. F.; DA SILVA D. D. **Infiltração da água no solo.** Viçosa, Minas Gerais, 2002. 98p.
- BELÁUSTEGUI S. **Riego por caudal discontinuo.** Estación experimental del INTA La Consulta, Mendoza, Argentina. 1999, Artigo 11 p.
- BRUNO RS. **Riego por dosis mínimas administrado con controladores solares computarizados, para caudal discontinuo.** Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Buenos Aires, Argentina. 1999, Artigo 3 p.
- CARVALHO D. F. de. **Simulação da infiltração da água no solo e da Irrigação por Superfície, com Aplicação Intermittente, Utilizando o Modelo Zero-Inércia.** 1994. 83p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 1994.
- CALISTO A. O. E. **Um modelo conceitual de distribuição de velocidades para canais abertos com efeito de curvatura do fundo.** 1996. 110p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.
- CALHEIROS C.B.M. **Vinhaça como possível redutor da infiltração em canais de terra.** 1996. 137p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agronomia Luiz Queiroz. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.
- CASTRO, L. C.; SOUZA, F. **Análise dos parâmetros da equação de infiltração de Kostiakov-Lewis na irrigação por sulcos.** Campina Grande, 1999. v.3, n.2, p.167-172. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental
- CHIRWAM T. S. et al. **Changes in Soil Properties and their Effects on Maize Productivity Following.** Zambia. 24p. Artigo. 2004.
- CISNEROS et al. **Adaptación del sistema de riego por tubería de compuertas en terrenos de altas pendientes (> 12 %).** Ecuador. Projeto “Métodos de Riego y Control de Erosión en suelos Andinos”. 2004.

- DAKER A. A água na agricultura. 3º Vol. 3.cd. São Paulo: Livraria Frciras Bastos S.A., 1970. 448p.
- DEPARTAMENT OF ENVIROMENTAL SCIENCES AND LAND USE PLANNING – UCL. Apresentação power point M. Vanclooster Hydrologie agricole: Infiltration .2003
- ESFANDIARI M.; MAHESHWARI B. L. Field Evaluation of Furrow Irrigation Models. School of Environment and Agriculture, University of Western Sydney, Richmond NSW 2753, Australia. 2001
- FOLEGATTI M. V.; PAZ V. P.; OLIVEIRA A. S. Rendimento do feijoeiro irrigado submetido a diferentes lâminas de água com irrigação por sulco. Campina Grande, 1999. v.3, n.3, p.281-285. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,
- GARRIDO, M. A. T. Influência do regime de fluxo sobre infiltração e avanço de água em sulcos de irrigação. 1992. 92p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agronomia Luiz Queiroz. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.
- Gráfico representativo das perdas por evapotranspiração diferenciadas por perdas por evaporação e por transpiração. Disponível em <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 17 de mar. 2005.
- HIDALGO A.G. Métodos modernos de riego por superficie. 1.cd. Madrid: Aguilar S.A., 1971. 463p.
- HORNBUCKLE J.W. ; CHRISTEN E.W. ; FAULKNER R.D. Improving the Efficiency and Performance of Furrow Irrigation using Simulation Modeling in South-Eastern Australia. Australia. 18p. Artigo. 2003.
- HUNG J.Y.T.; MANDOZA A. Maximum sprinkler irrigation runtime without runoff. Agricultural Engineering/Irrigation Science Department. University of Ezequiel Zamora, Venezuela. Artigo 4 p.
- INGARAMO O. E. et al. Caracterización del proceso de infiltración en la serie Las Breñas (durustalf éntico), bajo labranza cero. Argentina. 2000. 4p. Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos; Universidad Nacional del Nordeste.
- JUANJUAN M; XIHUAN S. Analysis on the Infiltration Character of Water Storage Pit. Artigo. 12ava Conferencia da ISCO. Beijing. 2002. 4p.
- KOTTWITZ E. R. Irrigation Component. Cap 12. Estados Unidos. 1995. 13p.
- KUNST C. et al. Rolado de ‘fachinales’ e infiltración de agua en suelo en el chaco Occidental. 2003. 21 p. Pesquisa do Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.

- LEDEZMA B. Estudio del bulbo húmedo generado por riego localizado a través de anillas contenedoras y riego volumétrico. 2001. 122p. Tese (Mestrado) – Centro de Levantamientos aeroespaciales y aplicaciones SIG, Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia 2001.
- MARCHETTI F. E. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. 2003. Mato Grosso do Sul. Trabalho de iniciação científica.10p.
- MARQUES P. A. A. Desenvolvimento de um software para dimensionamento de irrigação por sulcos. 2000. 73p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agronomia Luiz Queiroz. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- MATEOS L.; OYONARTE N. A. A spreadsheet to evaluate furrow irrigation. Instituto de Agricultura Sostenible, Espanha. Artigo. 3p. 2003.
- MINEI N. Um método expedito para a medição de vazão em rios e canais abertos. 1999. 123p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.
- MONSERRAT V. J. Solución al problema inverso del riego por tablones mediante un modelo hidrológico mixto. Espanha. Artigo. 1994.
- NAÇÕES UNIDAS. Informe sobre o crescimento da população mundial 2005-2050. Disponível em :<<http://www.brazzilport.com>>. Acesso em 28 de abr. 2005.
- NÁVAR J.; SYNNOTT T. Infiltración y Uso del Suelo en Linares. 2000. Parte de Tese, p255-262. México, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Resultados de quatro provas utilizando o infiltrômetro de anel nos minutos iniciais. Information collected on Feb 3 in the arboretum on infiltration rates using single ring infiltrometers.. Disponível em <<http://www.cfr.washington.edu>>. Acesso em: 17 de mar. 2005.
- Resultado de provas utilizando o infiltrômetro de anel. Disponível em <<http://www.ag.unr.edu>>, <<http://www.snow.ag.uidaho.edu>>. Acesso em: 17 de mar. 2005.
- Resultado de provas utilizando o infiltrômetro de anel. Disponível em <<http://www.agriculturadeprecision.org>>, <<http://www.geo.ucalgary.ca>>. Acesso em: 1 de abr. 2003.
- REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, Efeito das Variações Espaço-Temporais dos Parâmetros de Kostiakov-Lewis na Infiltração Acumulada. v.3, n.3, p.268-275, 1999. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. Joaquim José de Carvalho.

- SOBRINHO T. A.; MARCHETTI F. E. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. 2003., Departamento de Ciências Agrárias da UFMS. Artigo 10p.
- SPIEGEL M.R. Estatística. Brasil: McGraw-Hill, 1975. 580p.
- TRENTIN C. V. Diagnóstico voltado ao planejamento do uso de águas residuárias para irrigação nos cinturões verdes da região metropolitana de Curitiba – PR. 2005. Curso de pós-graduação.
- WANG et al. Two-phase flow infiltration equations. Decembro, 1997. Parte de livro pág. 2759-2767.
- WILLIANS J.R. Estimation of infiltration rate in the vadose zone: Application of selected mathematical models United States Environmental Protection Agency. Estados Unidos. February, 1998. Vol II.

6.1 Bibliografia consultada

- DIAS, A. S. Modelo estatístico para padronização da velocidade de infiltração básica (VIB), usando-se o infiltrômetro de anel. 1977. 39p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agronomia Luiz Queiroz. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1977.
- DOMINGOS R. N. Infiltração de água em solos inicialmente úmidos. 1978. 61p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agronomia Luiz Queiroz. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1978.
- GUARACI, F.C. de. Efeito de três tipos de cobertura vegetal sobre a velocidade de infiltração básica (VIB). 1976. 32p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agronomia Luiz Queiroz. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1976.
- HOGG R. V. LEDOLTER J. Applied statistics for engineers and physical scientists. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1987. 472p.
- MARQUES J. S. Modelo computacional para simular a equação da velocidade de infiltração da água no solo. 1993. 83p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agronomia Luiz Queiroz. Universidade de São Paulo. São Paulo 1993.
- NAIME M.J. Um novo método para estudos dinâmicos, in situ, da infiltração da água na região não – saturada do solo. 1999. 123p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

- OLITTA A. F. L. *Estudo da infiltração da água em sulcos de irrigação: variação de características hidráulicas com o crescimento de plantas.* 1970. 75p. Tese (doutorado) - Escola Superior de Agronomia Luiz Queiroz. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1970.
- RAJU R. K.G. *Flow though open channels.* Nova Delhi: McGraw-Hill, 1981. 330p.
- SERRANO, S.E. *Appendix F Infiltration Modelling,* 1997.

Apêndices

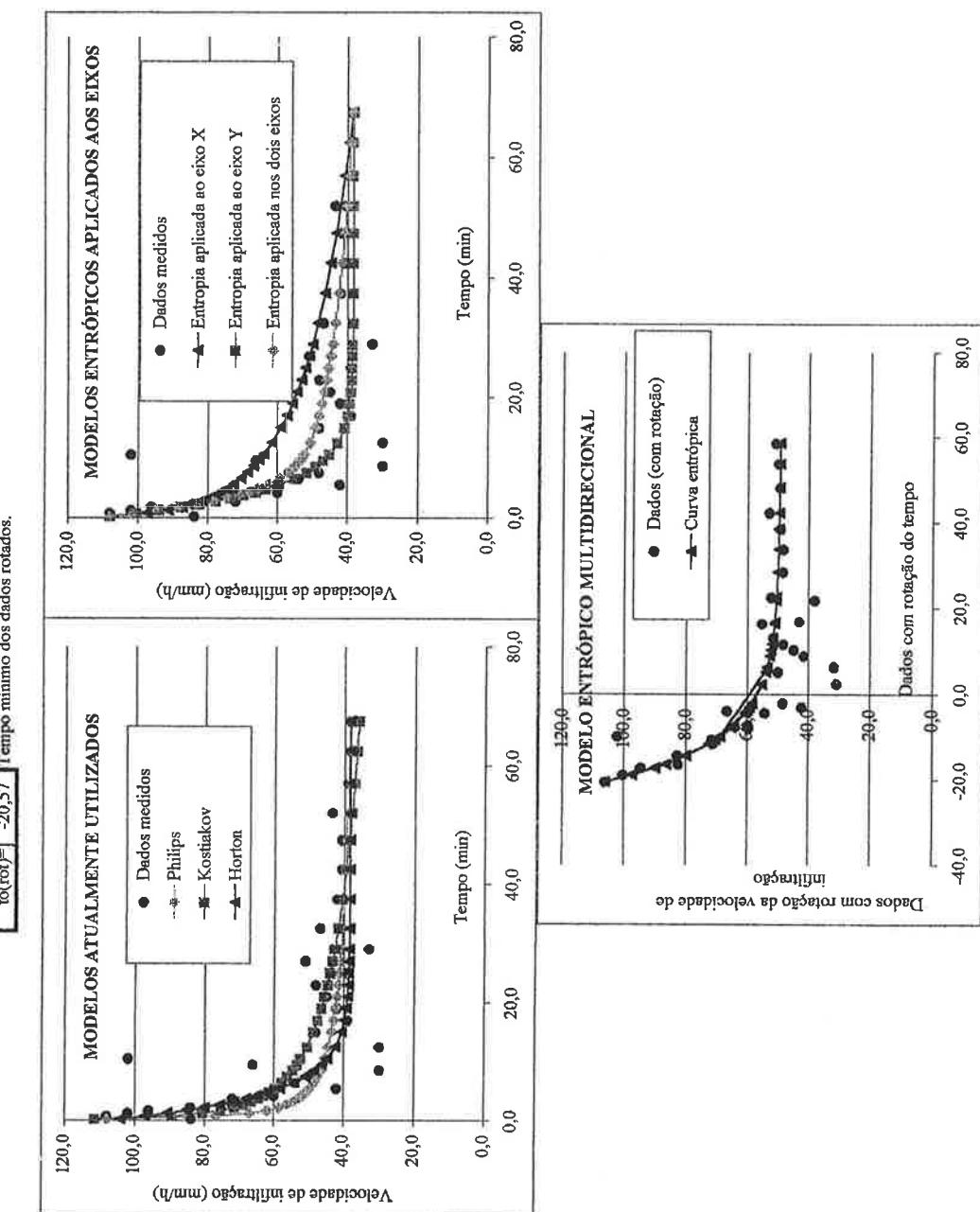
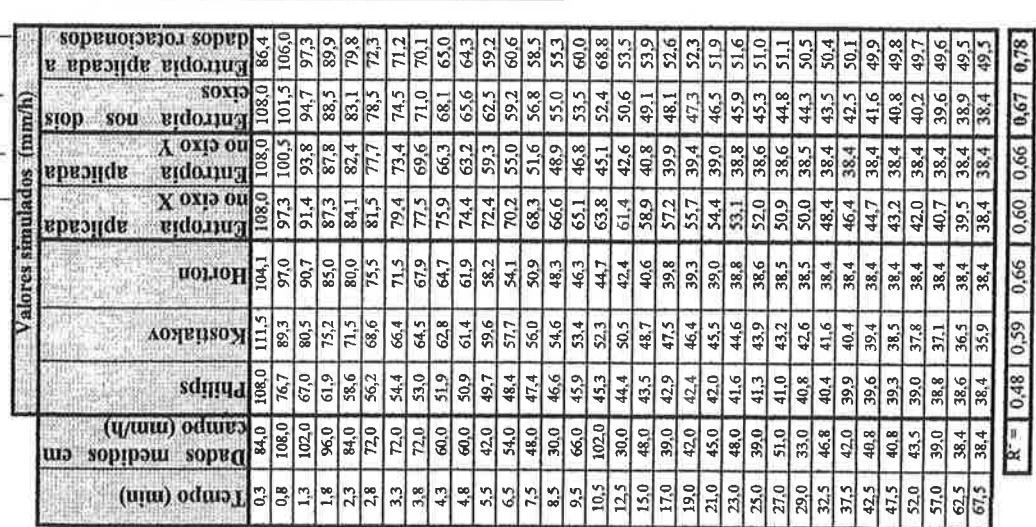
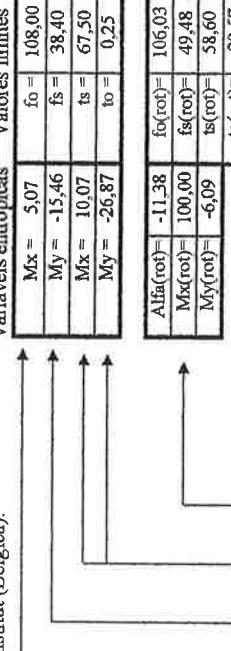
Apêndice A

PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

XIII. évfolyam, I. szám (Bélgia)

XIII. évfolyam, I. szám (Bélgia)

1	anterior de prova.
Constantes	
Philips	
f ₁ = 74,1	f ₂ = 33,9
Kostikov	
K = 105,6	a = 0,80
Horton	
b = 0,23	



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. Brandão; Pruski; Da Silva, 2002

Número de prova.

Constantes	
Phillips	
$f_1 = 404,4$	$E = 82,0$
Kostikov	
$K = 232,1$	$a = 0,85$
Horton	
$b = 0,16$	

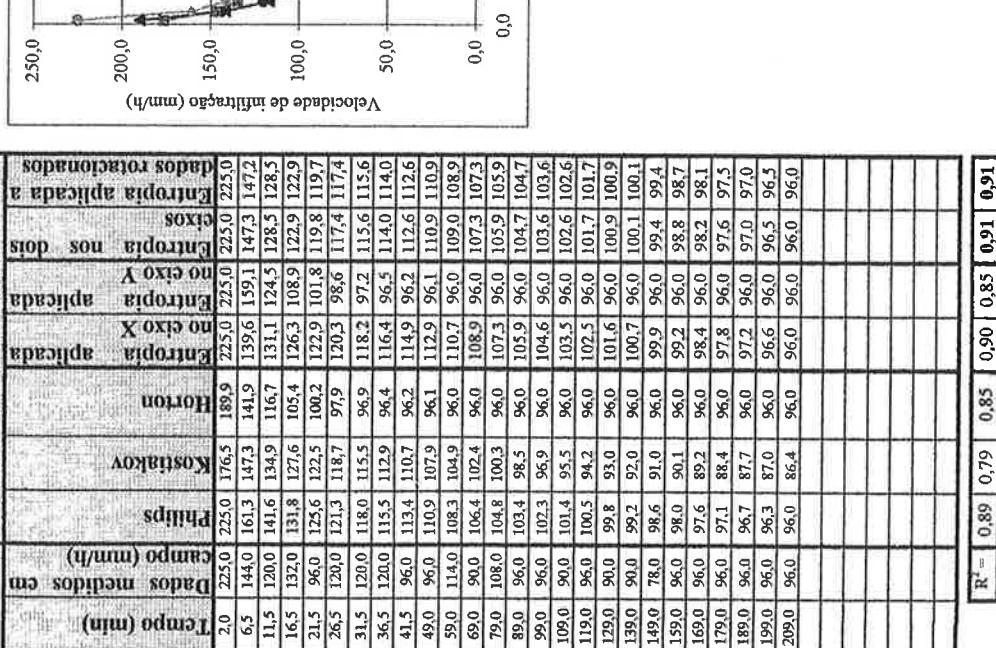
Variáveis entrópicas

	$M_x = 11,32$	$f_0 = 225,00$	Valores limites
	$M_y = -33,22$	$f_s = 96,00$	Velocidade mínima adotada.
	$M_x = 12,84$	$f_s = 209,00$	Velocidade máxima adotada.
	$M_y = -90,88$	$t_0 = 2,00$	Tempo máximo.

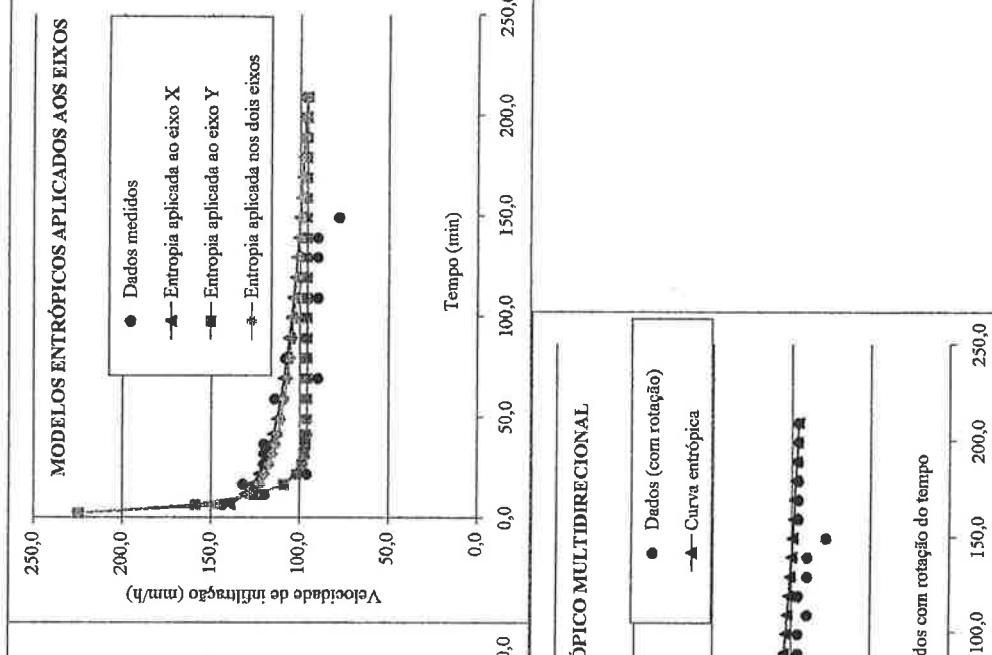
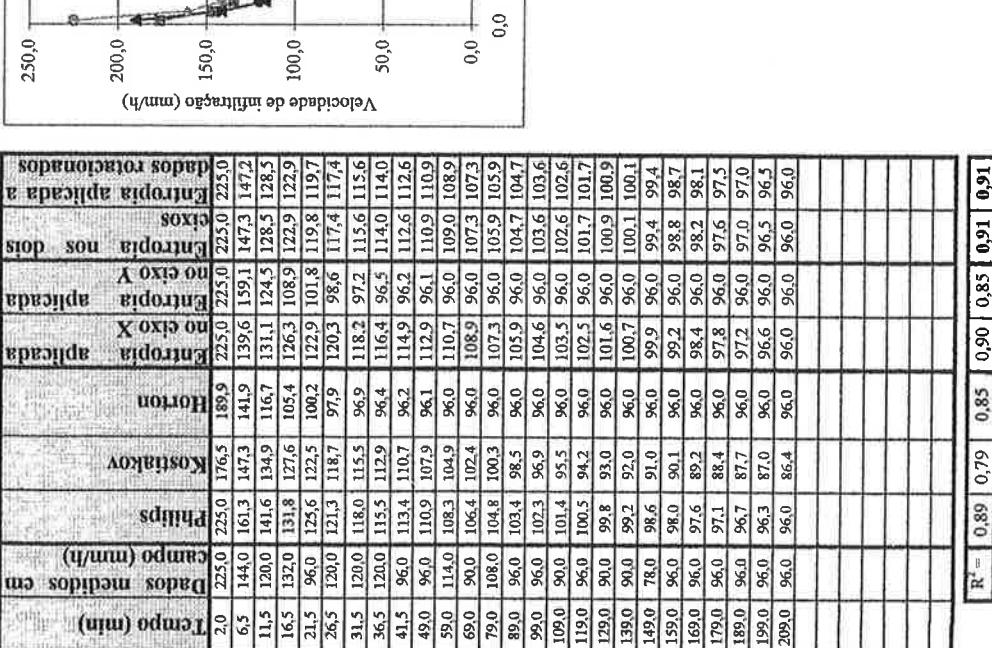
	$\alpha(\text{rot}) = 0,01$	$f_0(\text{rot}) = 225,00$	Velocidade mínima adotada dos dados rotados.
	$M_x(\text{rot}) = 12,83$	$f_s(\text{rot}) = 95,96$	Velocidade máxima adotada dos dados rotados.
	$M_y(\text{rot}) = -91,30$	$t_0(\text{rot}) = 209,02$	Tempo máximo dos dados rotados.

.

Dados com rotação da velocidade de infiltração.



Valores simulados



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. KU Leuven Instituut (Bélgica).

Número de prova. 3

Constantes	Philips
$f_1 = 195,2$	$D = 0,0$
$b = 0,05$	
Kostakov	

$K = 290,9$ $a = 0,43$

Horton

$f_1 = 0,05$

Kostakov

$M_x = 290,9$

$a = 0,43$

$f_1 = 0,05$

Kostakov

Variáveis entropicas

$M_y = -9,55$

$M_x = 112,23$

$M_y = -9,81$

Valores limites

$f_0 = 138,00$

$f_s = 7,12$

$t_s = 186,00$

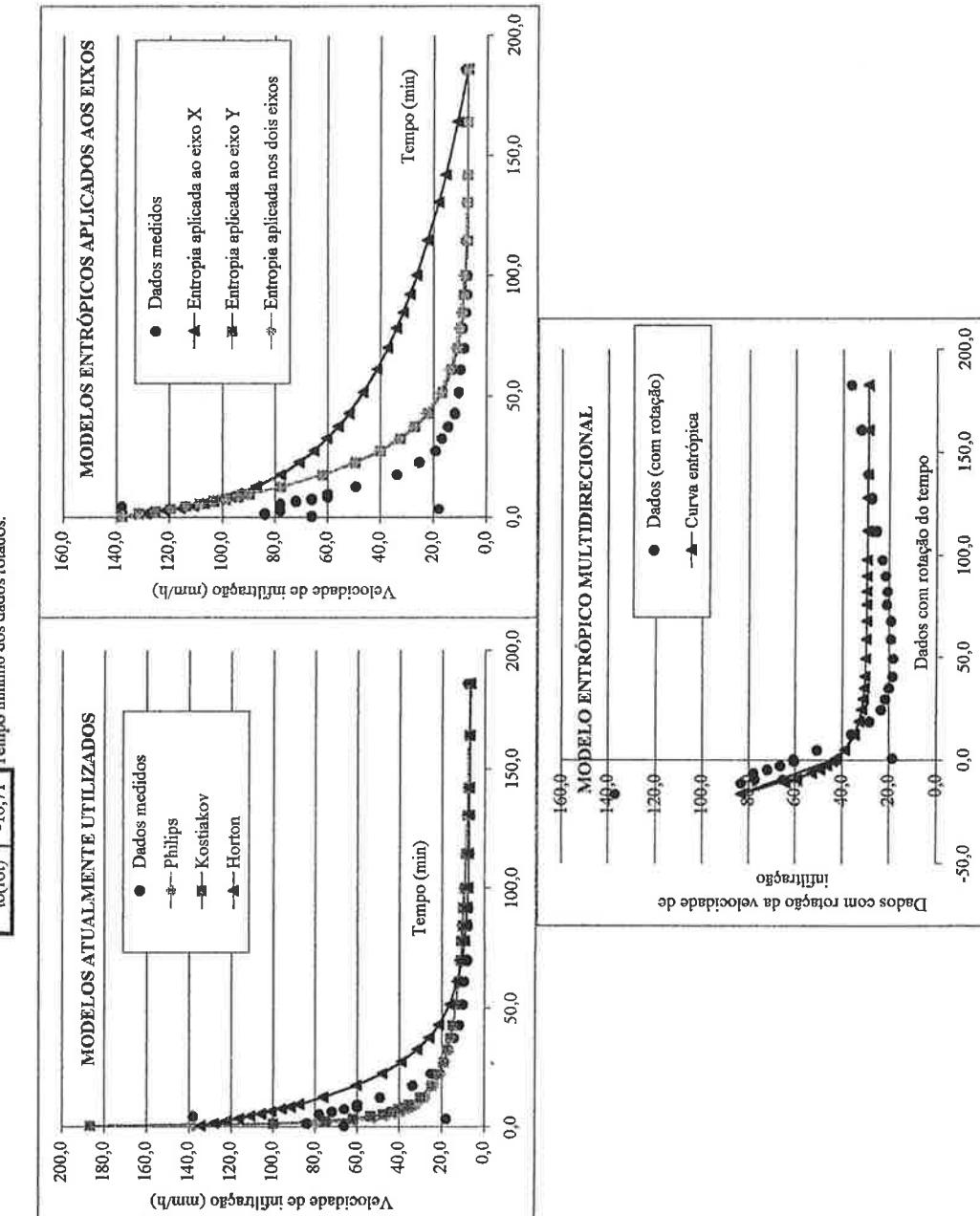
Velocidade mínima adotada.

Velocidade máxima adotada.

Tempo máximo.

Tempo mínimo.

Tempo (min)	Dados medidos	Curva entropica	Modelo Kostakov	Modelo Horton	Modelo Philips
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
30,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
40,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
50,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
60,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
70,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
80,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
90,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
100,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
110,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
120,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
130,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
140,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
150,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
160,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
170,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
180,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
190,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
200,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0



$$R^2 = 0,42 \quad 0,38 \quad 0,74 \quad 0,68 \quad 0,74 \quad 0,74 \quad 0,89$$

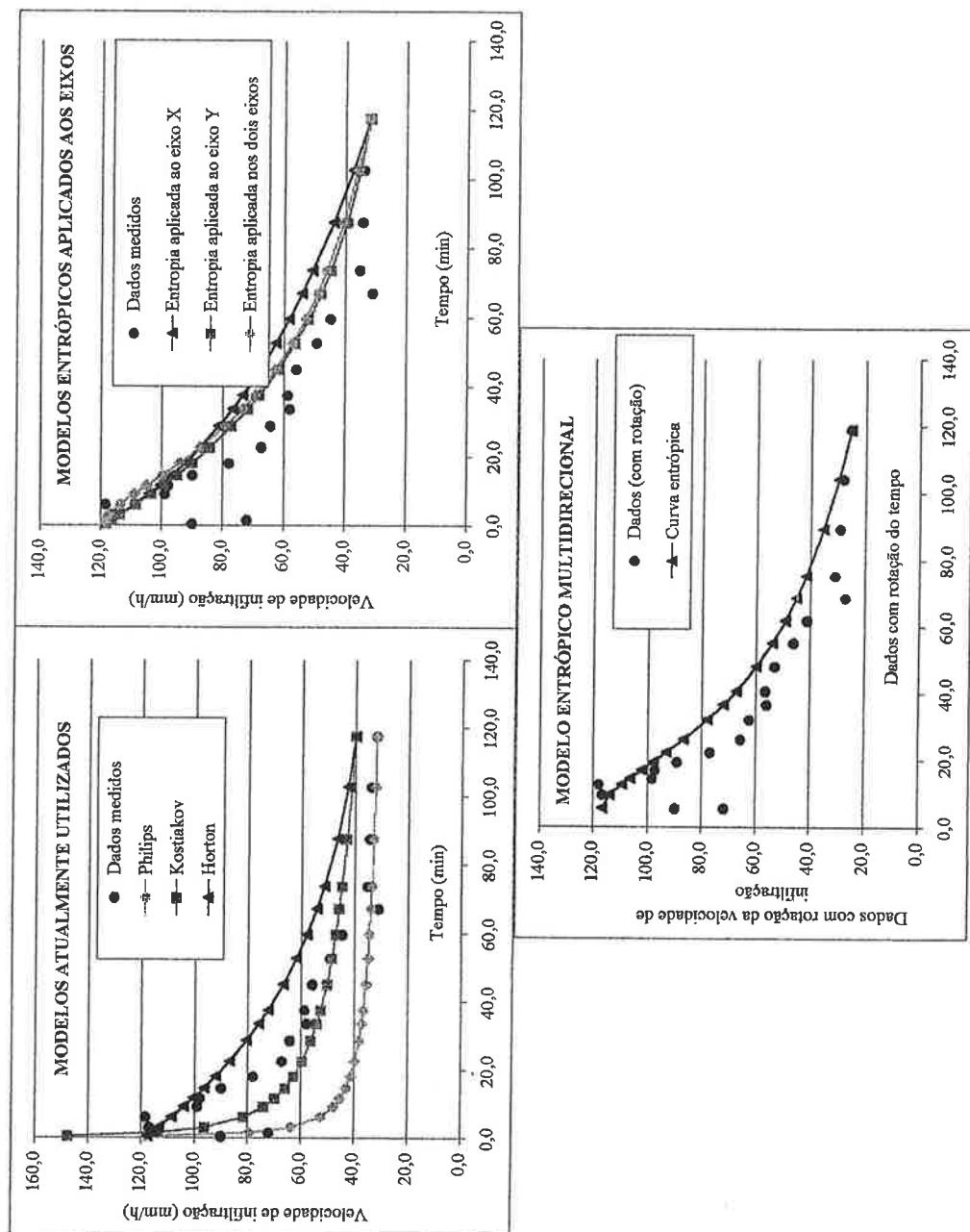
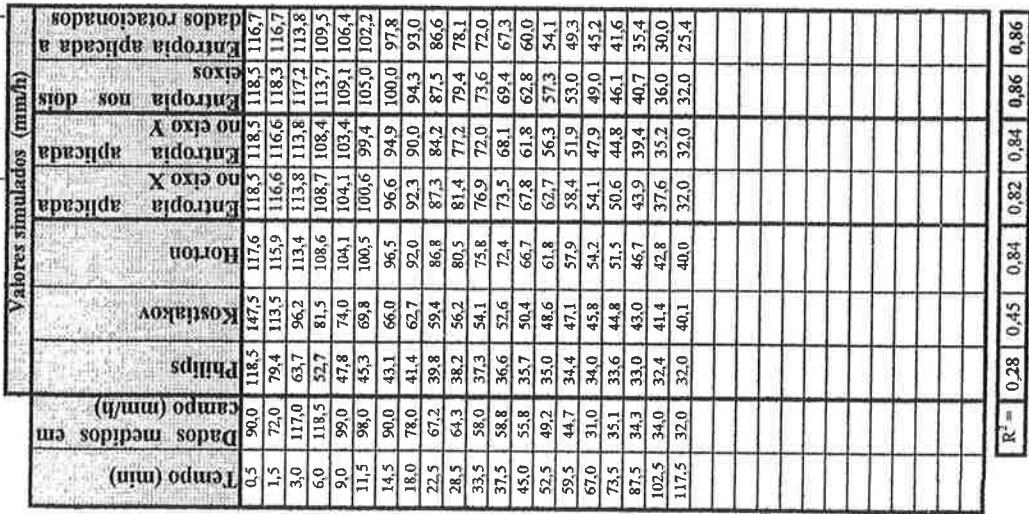
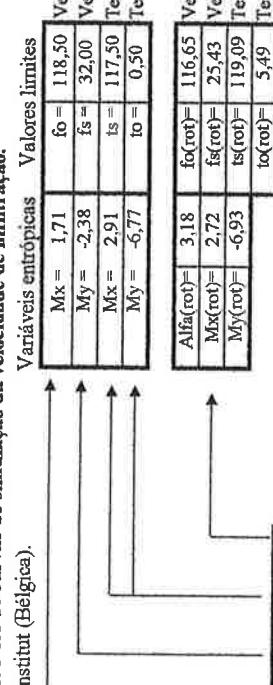
PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. KU Leuven Institut (Bélgica).

KU Leuven Instituut (Bélgica).

Constantes		
Phillips		
$f_1 = 130,9$	$f_2 = 26,0$	
Kostinkov		
$K = 164,2$	$a = 0,76$	
Horton		
$b = 0,02$		

Fonte de dados. KU Leuven Institut (Bélgica). Valores límites variáveis entrônicas e variáveis de influência exógena.



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. KU Leuven Institut (Bélgica).

Número de prova. 5

Constantes	
Philips	
$f_1 = 63,0$	$f_2 = 3,4$
Kostjukov	
$K = 85,4$	$a = 0,66$
Horton	
$b = 0,03$	

Variáveis entropicas

Valores limites

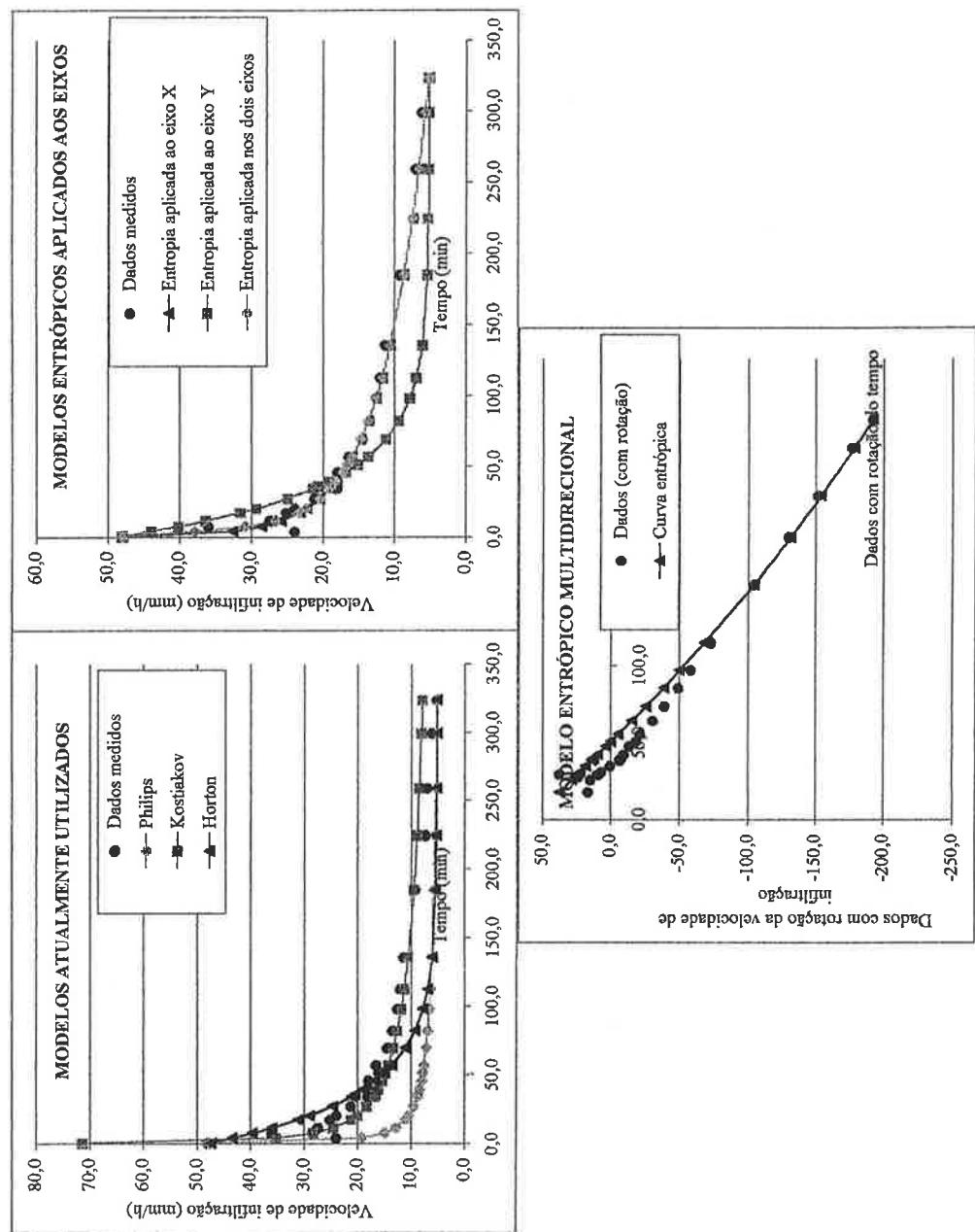
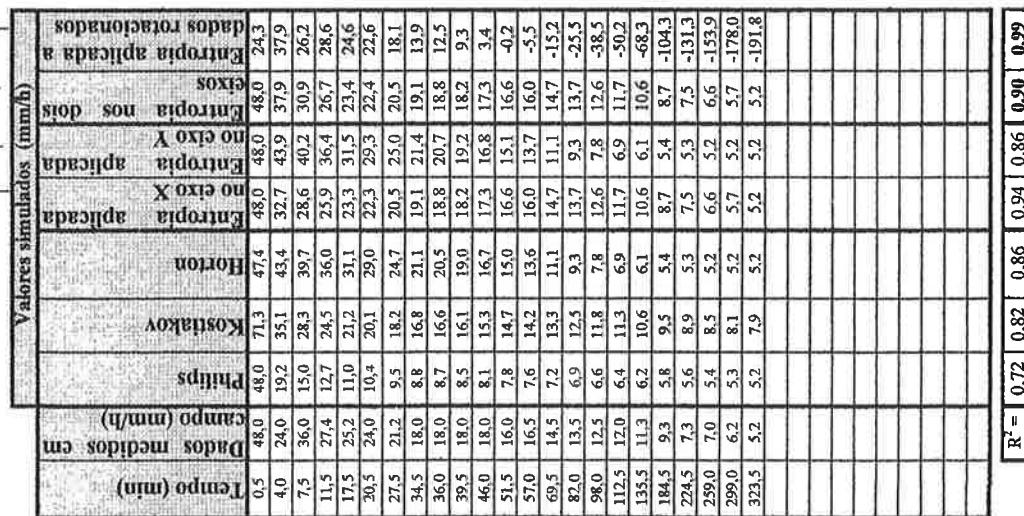
$M_x = 6,92$	$f_0 = 48,00$	Velocidade mínima adotada.
$M_y = -9,26$	$f_s = 5,20$	Velocidade máxima adotada.
$M_x = 6,92$	$t_s = 323,50$	Tempo máximo.
$M_y = -99,00$	$t_0 = 0,50$	Tempo mínimo.

$\text{Alfa}(rot) = 37,27$ $f_0(rot) = 37,89$ Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

$M_x(rot) = 50,00$ $f_s(rot) = -191,77$ Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

$M_y(rot) = -0,64$ $t_s(rot) = 260,59$ Tempo máximo dos dados rotados.

$t_0(rot) = 17,72$ Tempo mínimo dos dados rotados.



$$R^2 = 0,72 \quad 0,82 \quad 0,86 \quad 0,94 \quad 0,86 \quad 0,90 \quad 0,99$$

PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. www.geo.ucalgary.ca

Número de prova... 7

Constantes

Philips

$f_1 = 314,4$

$f_2 = 39,7$

Horton

$b = 0,08$

Variáveis entrópicas

Valores limites

$M_x = 3,27$

$M_y = -4,57$

$f_0 = 110,00$

$f_s = 60,00$

$t_0 = 5,00$

$t_s = 60,00$

$t_máx = 60,00$

$t_mín = 5,00$

$Kostitakov$

$K = 212,1$

$a = 0,76$

$\alpha = 0,98$

$M_{x(rot)} = 3,64$

$M_{y(rot)} = 4,18$

$f_0(rot) = 109,46$

$f_s(rot) = 60,06$

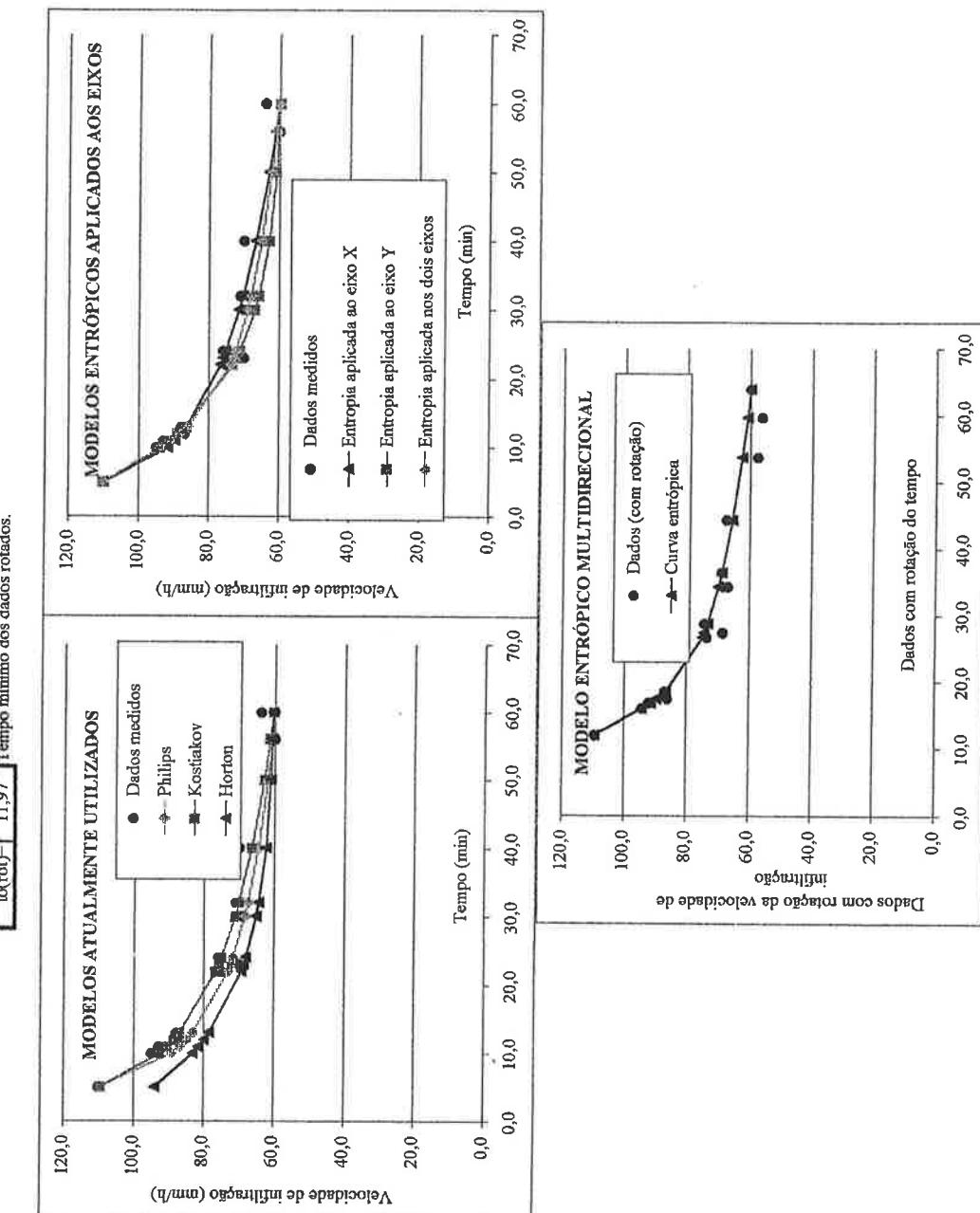
$t_0(rot) = 11,97$

$t_s(rot) = 63,94$

$t_máx(rot) = 63,94$

$t_mín(rot) = 11,97$

Tempo (min)	Dados medidas em campo (mm/h)	Kostitakov	Philips	Horton	Entropia aplicada nos dois eixos	Entropia aplicada ao eixo Y no eixo X	Entropia aplicada ao eixo X no eixo Y	Entropia aplicada a rotacionados	Dados com rotação da velocidade de infiltração
5,0	110,0	110,0	109,5	94,2	110,0	110,0	109,5	94,3	100,0
10,0	95,0	89,4	92,7	83,3	91,8	93,9	93,9	94,3	109,46
11,0	93,0	87,1	90,6	81,6	89,8	91,4	91,0	91,4	109,46
12,0	87,0	85,1	88,7	80,0	88,0	89,0	88,4	89,5	109,46
13,0	88,0	83,3	87,0	78,6	86,4	86,8	86,0	86,7	109,46
22,0	75,0	73,2	76,7	69,3	76,7	73,1	73,8	74,9	100,0
23,0	70,0	72,5	75,9	68,7	75,9	72,1	73,0	74,3	100,0
24,0	76,0	71,8	75,1	68,0	75,2	71,2	72,3	73,2	100,0
36,0	69,0	68,4	71,2	65,1	71,4	66,8	68,9	69,8	100,0
32,0	71,0	67,5	70,1	64,4	70,3	65,7	68,0	68,8	100,0
40,0	70,0	64,6	66,4	62,4	66,6	62,8	65,0	65,5	100,0
50,0	61,0	61,9	62,9	61,1	62,9	60,9	62,2	62,6	100,0
56,0	60,0	60,7	61,3	60,7	61,1	60,3	60,8	61,1	100,0
60,0	64,0	60,0	60,2	60,5	60,0	60,0	60,0	60,1	100,0



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. Email contendo prova de campo

Número de prova.

Constantes

Philips

$f_1 = 71,5,6$

$\Omega = -13,0$

Kostiakov

$K = 400,0$

$a = 0,45$

Horton

$b = 0,07$

Variáveis entrópicas

Valores limites

$M_{xx} = 5,30$

$M_y = -6,00$

$t_0 = 240,00$

$f_0(rot) = 233,72$

Velocidade mínima adotada.

$f_s = 27,00$

Velocidade máxima adotada.

$M_{xx} = 5,30$

$t_s = 80,00$

Tempo máximo.

$M_y = -50,00$

$t_0 = 2,00$

Tempo mínimo.

$\alpha_{xx}(rot) = -13,63$

$M_x(rot) = 50,03$

$f_s(rot) = 40,37$

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

$M_y(rot) = -1,67$

$t_s(rot) = 71,39$

Tempo máximo dos dados rotados.

$t_0(rot) = -54,59$

Tempo mínimo dos dados rotados.

Valores simulados (mm/h)

Dados medidos em

tempo (min)

Dados medidos em

tempo (min)

Entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia nos dois

eixos

entropia X

entropia Y

entropia aplicada

no eixo X

entropia no eixo Y

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada

nos dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

eixo Y

entropia aplicada nos

dois eixos

entropia aplicada a

dados rotacionados

entropia aplicada ao

eixo X

entropia aplicada ao

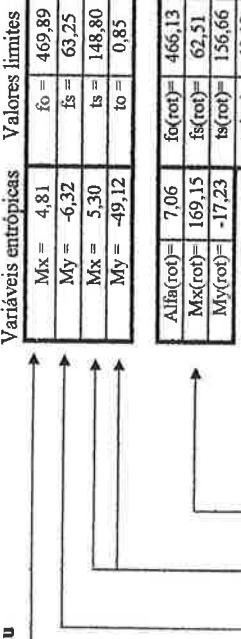
eixo Y

PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

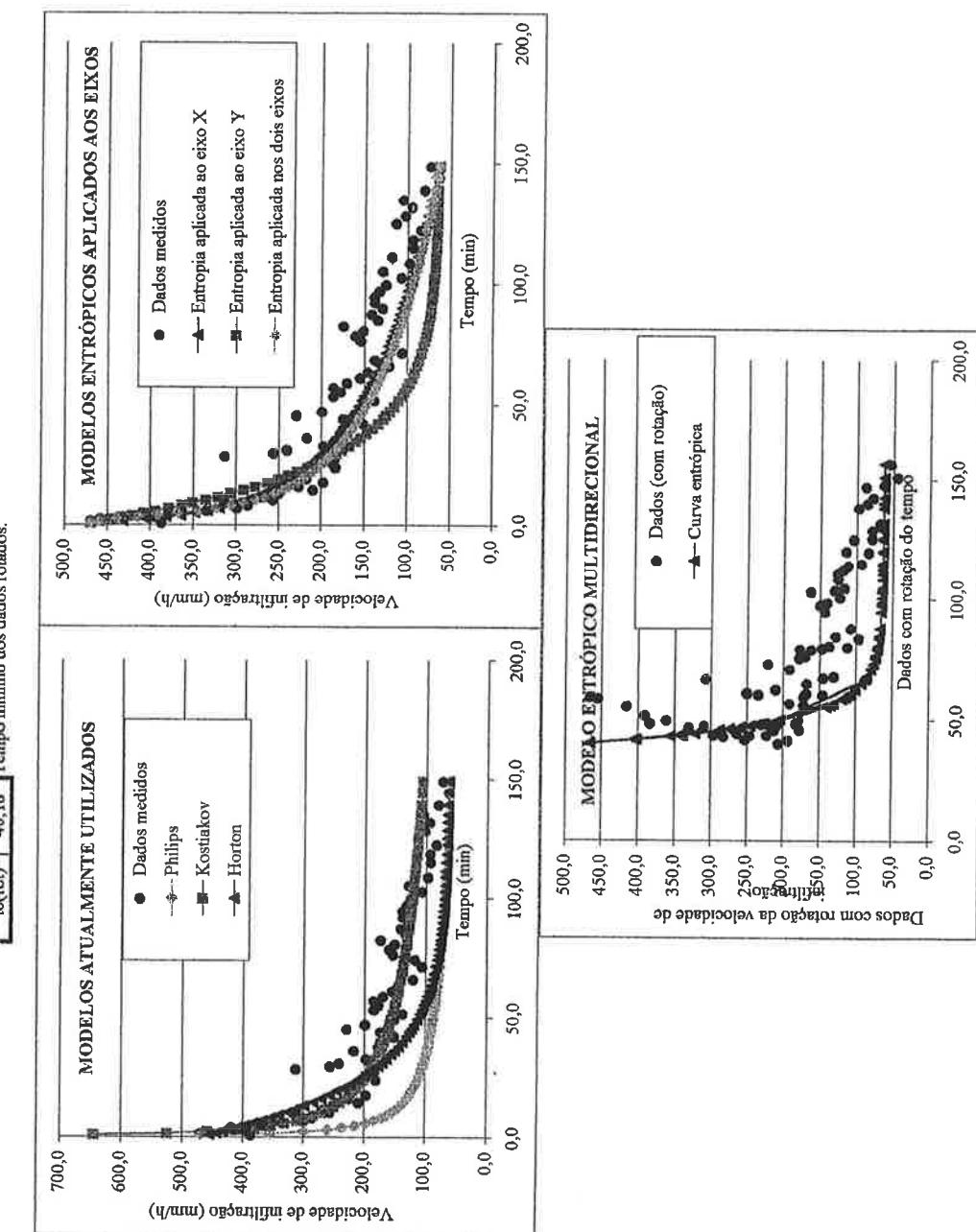
Fonte de dados: [IBGE](#) (2010). Comparação entre as duas taxas de inflação.

www.agr.mur.gov

Constituantes	$f_1 = 811,1$	$f_2 = 30,0$
Philips		
Kostylev	$K = 936,2$	$a = 0,65$
Hofson		
	$b = 0,04$	



Valores simulados	Kostakow									
	Tempo (min)	Camargo (mm/h)	Dados medidas em	Phillips	Horton	Eutrofia X	Eutrofia Y	Eutrofia Z	Eutrofia nos doss	Eutrofia aplicada a doss rotacionados
0,9	387,0	469,9	645,2	455,5	469,9	469,9	469,9	229,0	115,4	115,4
1,6	468,9	355,8	523,2	444,0	431,4	458,6	459,4	119,0	62,7	62,7
2,3	459,0	289,4	458,3	432,6	404,6	446,1	459,4	119,0	62,7	62,7
3,1	394,7	260,3	410,8	419,7	381,3	432,8	413,8	181,1	62,6	62,6
3,9	419,9	255,8	379,8	408,1	364,1	420,7	390,9	141,3	62,6	62,6
4,8	365,5	215,4	335,2	395,1	347,8	407,2	367,1	208,1	62,6	62,6
5,8	334,5	198,9	330,9	381,6	233,1	329,1	344,7	239,6	62,6	62,6
6,9	299,0	184,8	311,3	367,0	319,1	378,0	323,6	342,5	62,6	62,6
8,0	286,0	173,2	295,0	352,6	306,6	365,0	305,3	336,6	62,6	62,6
9,1	313,3	164,7	282,6	340,0	296,7	349,9	291,4	246,1	62,6	62,6
10,4	256,3	156,1	269,8	325,3	285,9	334,7	277,2	402,1	62,6	62,6
11,6	266,7	149,2	259,4	311,9	276,7	320,8	265,8	322,0	62,6	62,6
12,9	249,8	142,9	249,9	298,4	267,8	306,7	255,4	344,4	62,6	62,6
14,5	269,9	136,6	240,1	283,3	258,4	291,0	245,0	466,1	62,6	62,6
15,9	226,8	131,7	232,2	270,1	250,5	277,4	236,7	339,3	62,6	62,6
17,6	197,4	126,7	224,3	256,0	242,3	265,7	228,4	404,7	62,6	62,6
135,0	105,5	64,9	110,2	64,6	71,5	63,9	70,7	62,7	62,7	62,7
139,1	80,2	64,4	109,0	64,4	68,9	63,6	68,4	62,7	62,7	62,7
144,3	63,3	63,8	107,6	64,1	65,8	63,4	65,6	62,6	62,6	62,6
148,3	73,1	63,3	106,5	64,0	63,3	63,3	63,3	62,5	62,5	62,5



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados, www.ag.unir.edu

11

Número de prova.

Constantes	
Philipps	
$f_1 = 782,9$	$\Sigma = -4,5$
Kostjakov	
$K = 844,4$	$a = 0,49$
Horton	
$b = 0,16$	

Variáveis entrópicas

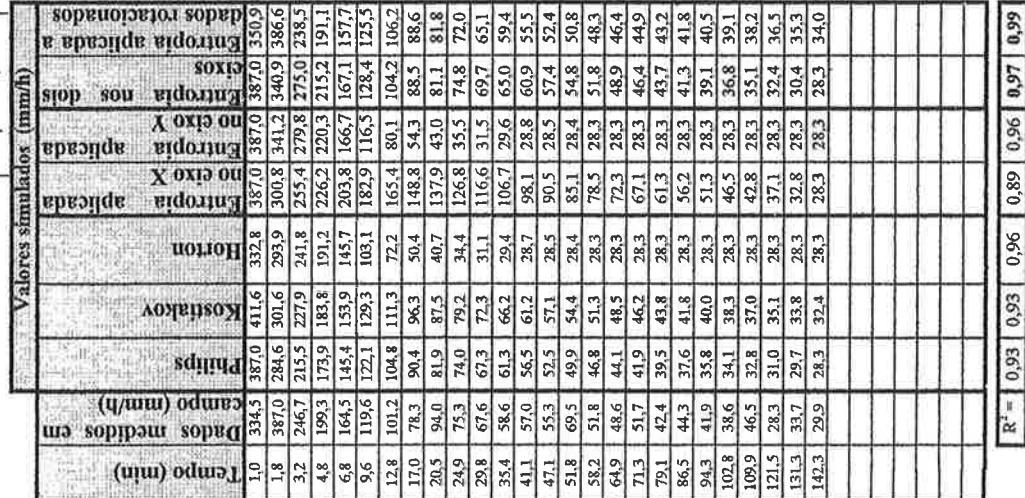
$M_x = 6,44$	$f_0 = 386,97$	Valores limites
$M_y = -23,30$	$f_s = 28,31$	Velocidade mínima adotada.
$M_x = 13,83$	$t_s = 142,27$	Velocidade máxima adotada.
$M_y = -38,95$	$t_0 = 1,90$	Tempo mínimo.

$\text{Alfa(rot)} = -2,70$ $f_0(rot) = 386,62$ Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

$M_x(rot) = 20,20$ $f_s(rot) = 34,01$ Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

$M_y(rot) = -12,02$ $t_s(rot) = 140,70$ Tempo máximo dos dados rotados.

$t_0(rot) = -16,42$ Tempo mínimo dos dados rotados.

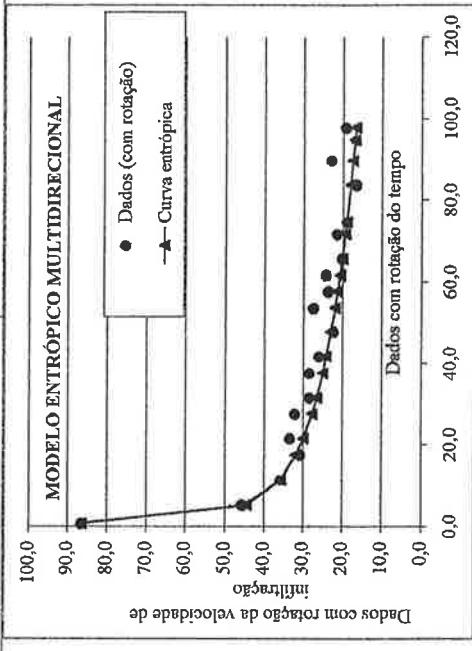
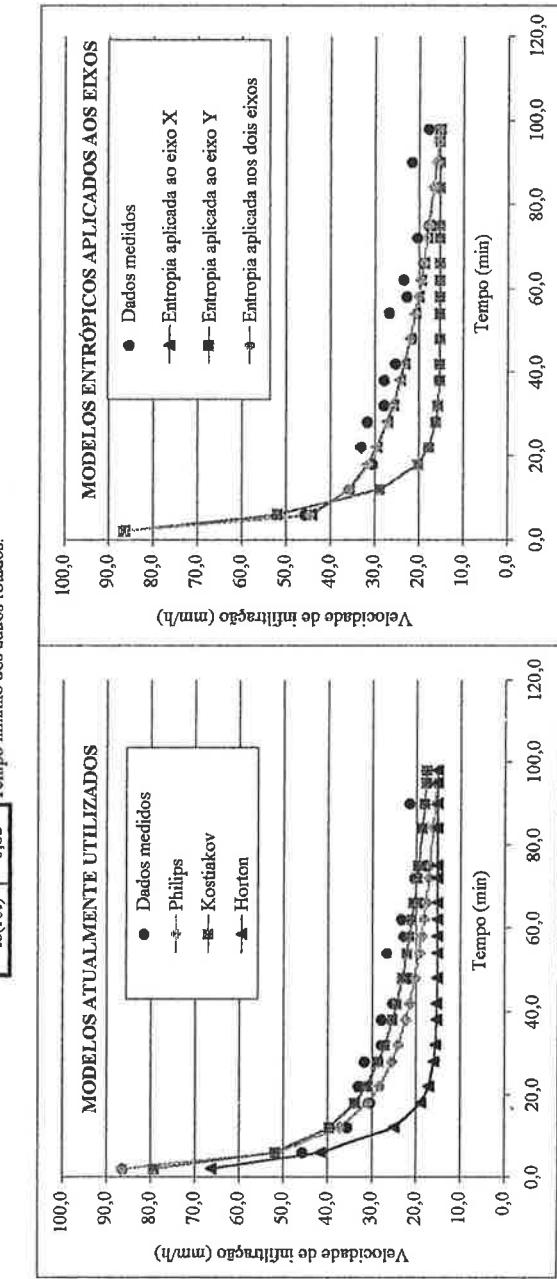
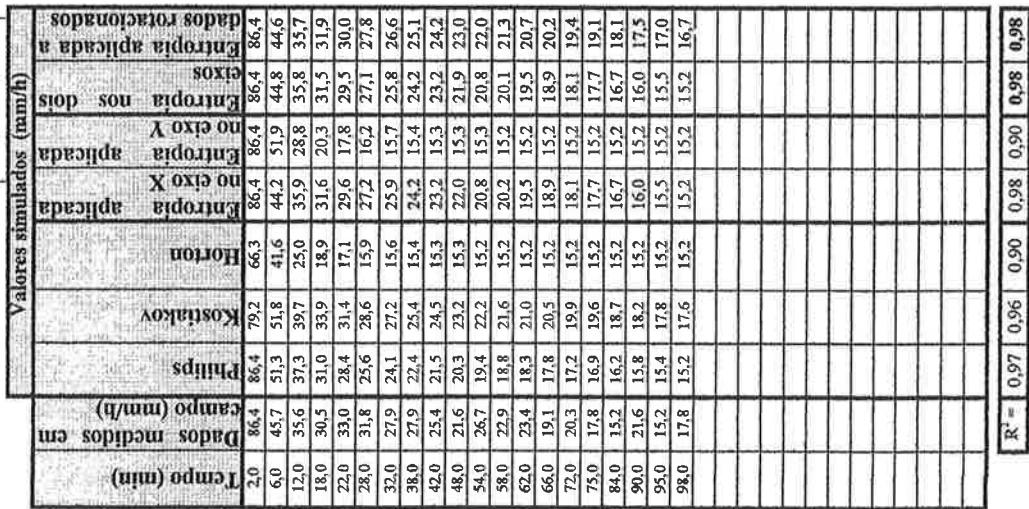
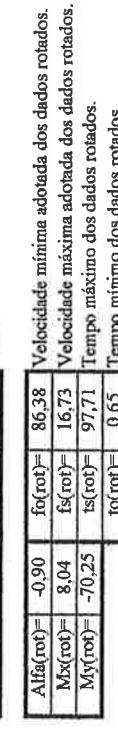
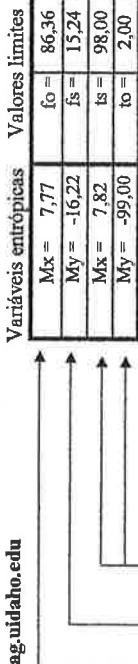


PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

www.snow.org/midaho.edu

www.snow.org/midaho.edu

Constants		
Phillips		
$f_1 = 234,7$	$f_2 = 3,4$	
Kostikov		
$K = 168,6$	$a = 0,61$	
Horton		
$b = 0,17$		



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. www.erf.washington.edu

Número de prova. 13

Constantes	$f_1 = 418,9$	$a = 0,75$
Philips		
Horton		
Kostiakov		$b = 0,54$

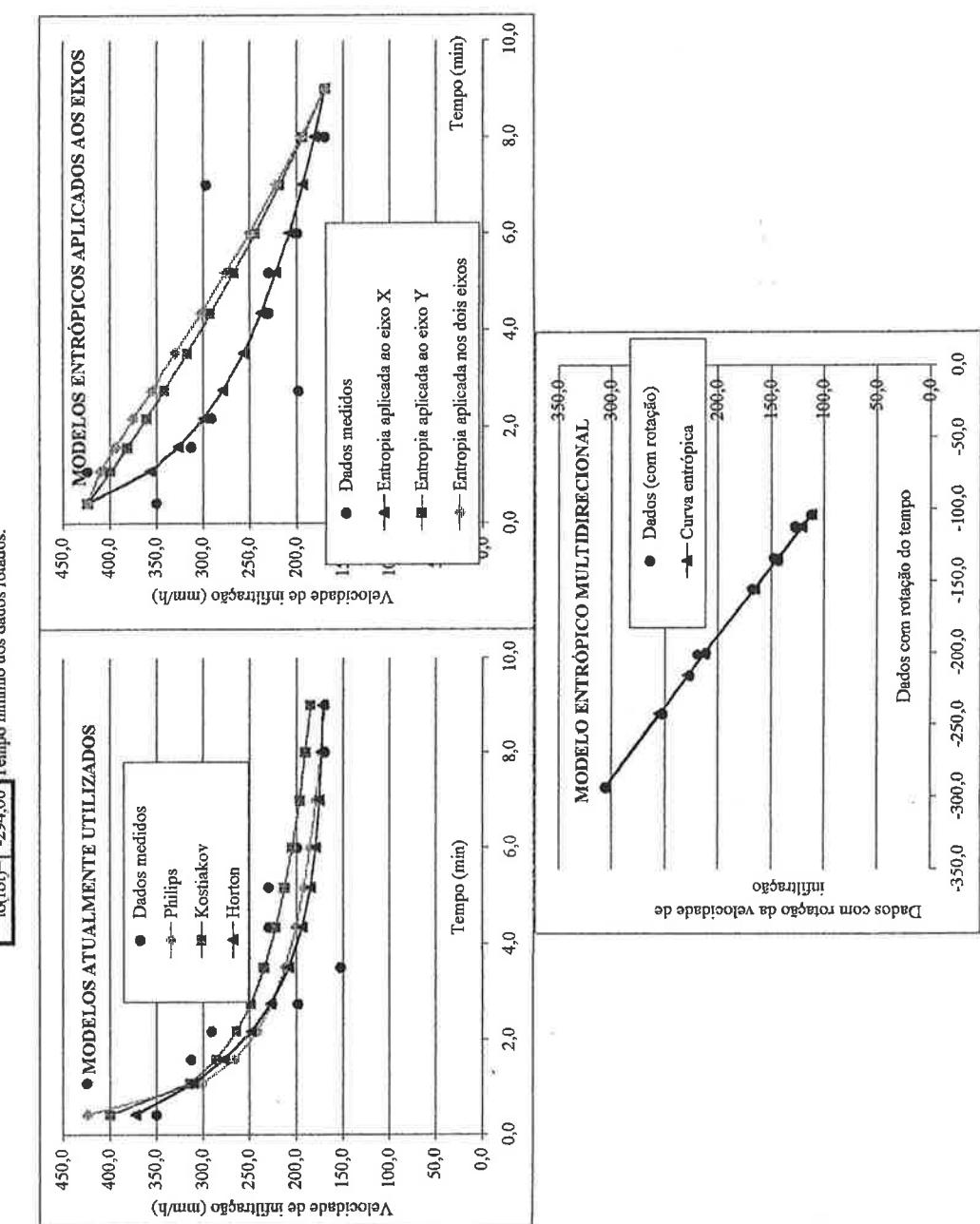
Variações entrópicas

Valores limites

$$\begin{aligned} M_x &= 2,64 & f_0 &= 424,41 & \text{Velocidade mínima adotada.} \\ M_y &= -0,54 & f_s &= 169,77 & \text{Velocidade máxima adotada.} \\ M_x &= 4,73 & t_s &= 9,00 & \text{Tempo máximo.} \\ M_y &= -0,99 & t_0 &= 0,42 & \text{Tempo mínimo.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha(\text{rot}) &= -43,99 & f_0(\text{rot}) &= 306,09 & \text{Velocidade mínima adotada dos dados rotados.} \\ M_x(\text{rot}) &= 50,00 & f_s(\text{rot}) &= 112,35 & \text{Velocidade máxima adotada dos dados rotados.} \\ M_y(\text{rot}) &= 0,00 & t_s(\text{rot}) &= -103,60 & \text{Tempo máximo dos dados rotados.} \\ t_0(\text{rot}) &= -294,00 & t_0 &= -294,00 & \text{Tempo mínimo dos dados rotados.} \end{aligned}$$

Tempo (min)	Dados medidos	Curva entrópica no eixo X	Curva entrópica no eixo Y	Curva entrópica aplicada ao eixo X	Curva entrópica aplicada ao eixo Y
0,4	350,1 424,4	399,5 372,8	424,4 424,4	235,5 235,5	112,4 112,4
1,1	424,4 301,2	311,1 357,1	310,3 399,6	410,3 306,1	169,7 169,7
1,6	312,9 266,4	285,7 277,5	326,3 381,6	394,8 228,3	103,6 103,6
2,2	291,0 242,2	264,1 248,3	299,5 361,3	375,5 212,4	80,0 80,0
2,8	198,1 226,2	248,7 236,9	278,6 341,7	355,6 145,5	50,0 50,0
3,5	152,8 211,9	234,1 207,8	257,0 317,5	330,1 112,4	21,9 21,9
4,3	229,2 200,6	221,9 194,0	237,6 291,8	302,4 166,6	100,0 100,0
5,2	229,2 192,1	212,3 185,2	221,5 267,4	275,8 166,0	50,0 50,0
6,0	199,5 185,5	184,5 204,5	179,6 207,7	244,2 250,4	144,1 144,1
7,0	297,1 179,1	196,7 175,4	193,3 217,9	221,6 213,1	21,9 21,9
8,0	169,8 174,0	190,2 173,1	180,8 193,1	194,7 121,2	100,0 100,0
9,0	169,8 169,8	184,7 171,7	169,8 169,8	169,8 4,3	50,0 50,0



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. www.agriculturadeprecision.org

Número de prova. 14

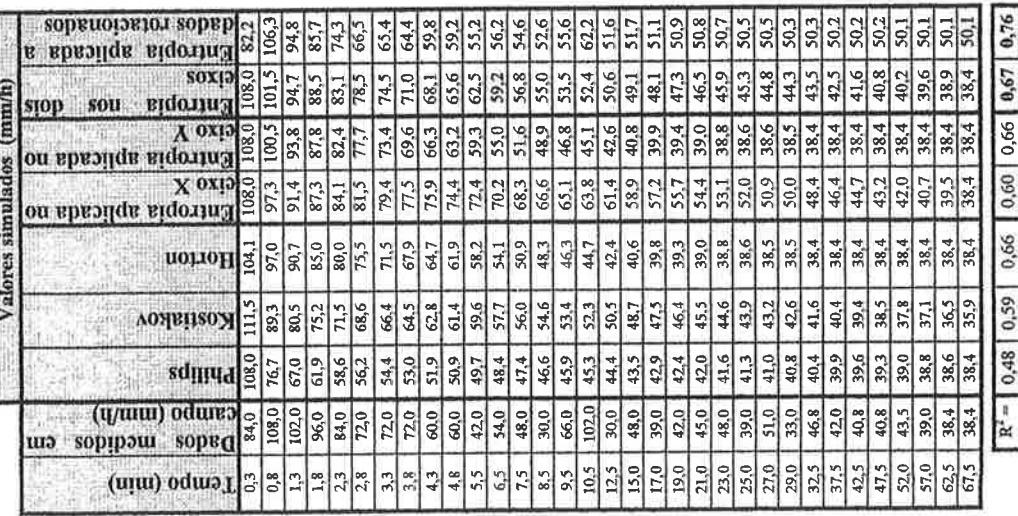
Constantes	$K = 105,6$	$a = 0,80$
Philips	$f_1 = 74,1$	$E_2 = 33,9$
Horton	$b = 0,23$	
Kostiakov		

Variáveis entropias Valores limites

$M_x = 5,07$	$f_0 = 108,00$
$M_y = -15,46$	$f_s = 38,40$
$M_x = 10,07$	$t_s = 67,50$
$M_y = -26,87$	$t_0 = 0,25$

$\alpha(\text{rot}) = -10,56$	$f_0(\text{rot}) = 106,31$
$M_x(\text{rot}) = 500,00$	$f_s(\text{rot}) = 50,12$
$M_y(\text{rot}) = -8,60$	$t_s(\text{rot}) = 59,32$
	$t_0(\text{rot}) = -19,05$

Valores simulados (mm/h)



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. 15 WANG, 1997

Número de prova.

Constantes

Philips

$f_1 = 463,4$

$\Omega = 85,7$

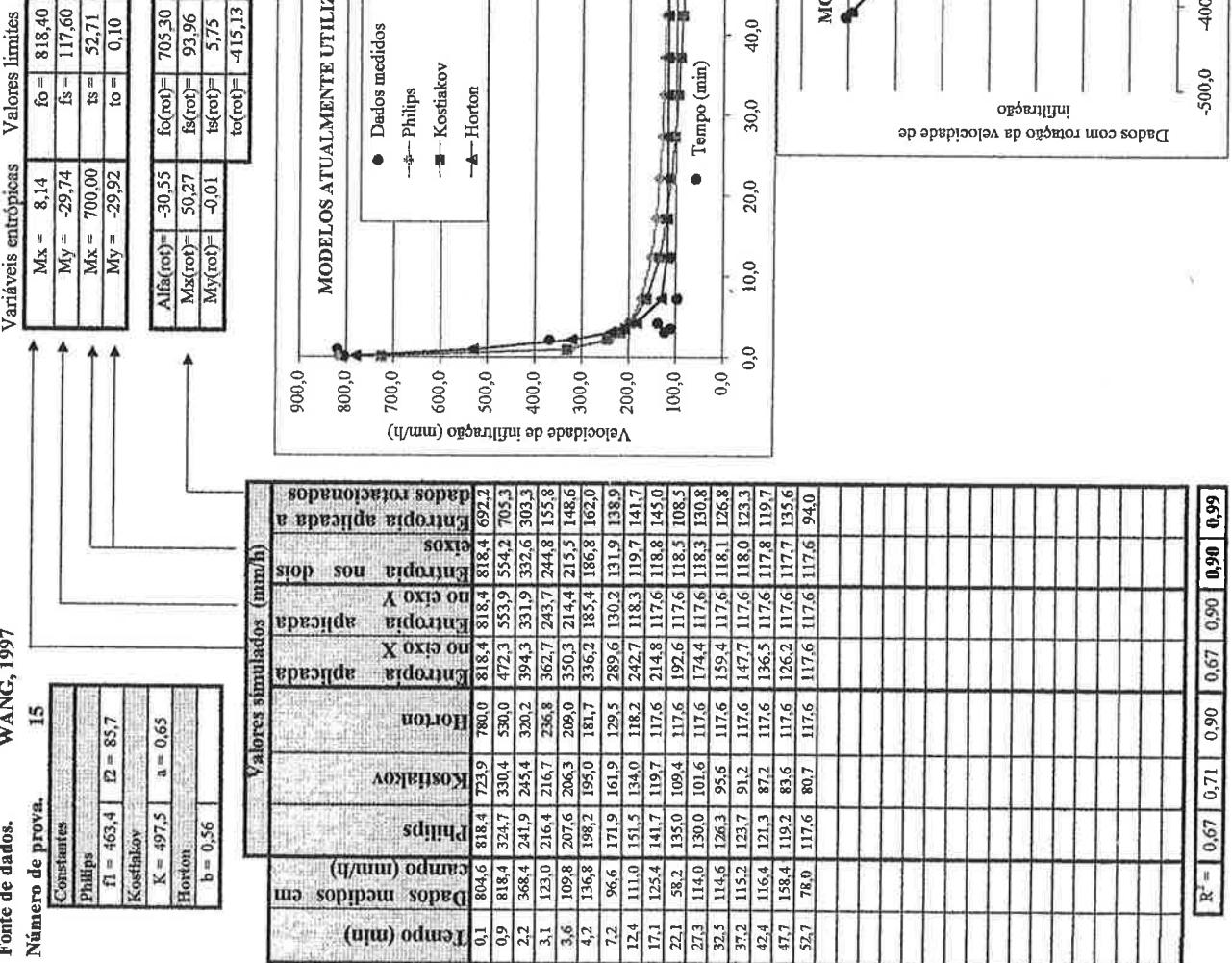
Kostikov

$K = 497,5$

$a = 0,65$

Horton

$b = 0,56$



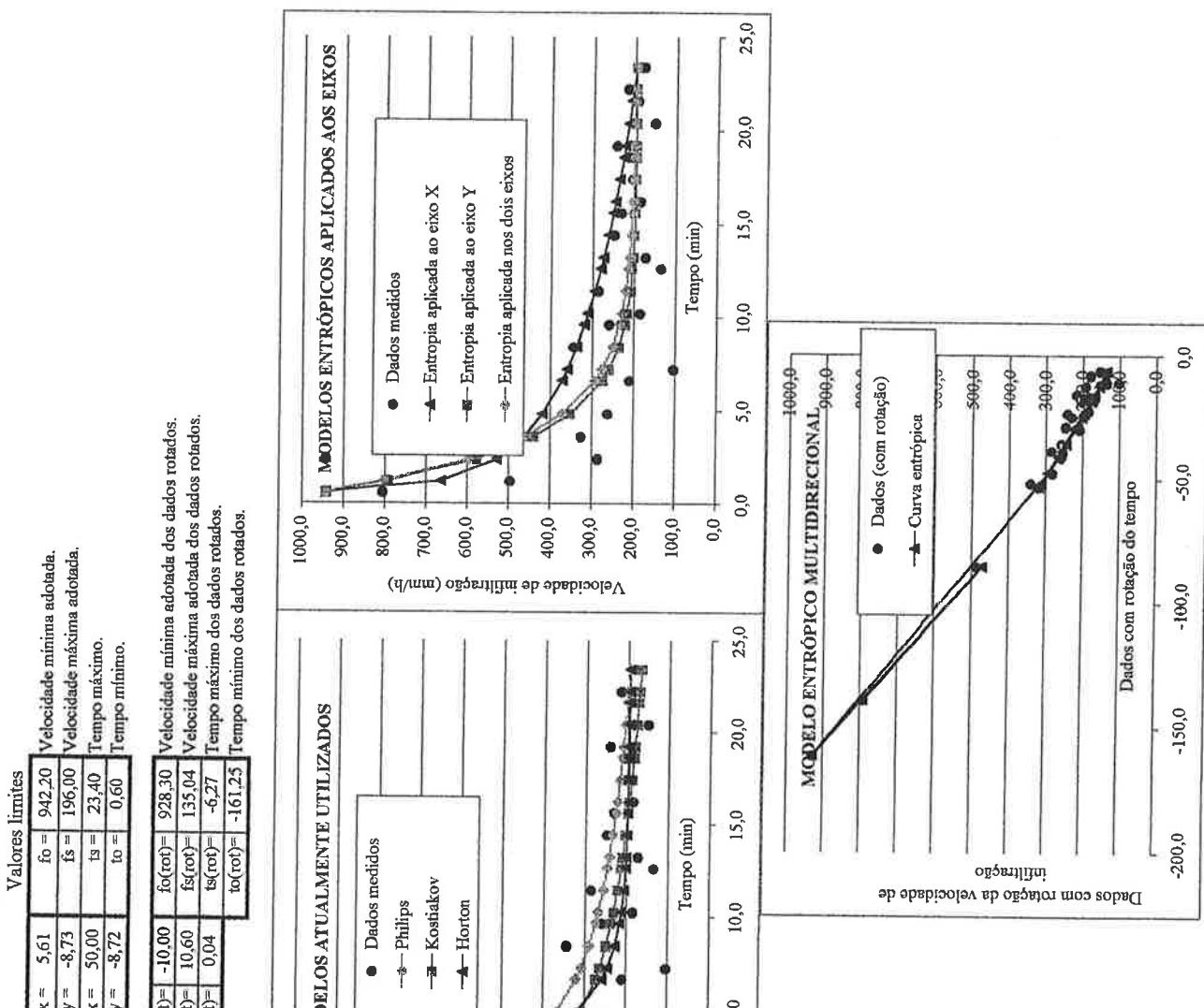
PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. Email (Dados de prova)

Número de prova. 16

Constantes	$M_x = 5,61$	$f_0 = 942,20$	Valores limites
Philips	$M_y = -8,73$	$f_s = 196,00$	Velocidade mínima adotada.
$f_1 = 1376$	$f_2 = 53,7$	$f_3 = 23,40$	Velocidade máxima adotada.
Kostiakov	$M_x = 50,00$	$t_0 = 0,60$	Tempo máximo.
$K = 915,9$	$a = 0,62$	$t_1 = 0,60$	Tempo mínimo.
Horton	$b = 0,37$		

Tempo (min)	Dados medidas em campo (mm)			Valores simulados (mm/min)		
	Philipps	Kostiakov	Horton	Entropia aplicada no eixo X	Entropia aplicada nos dois eixos	Entropia aplicada ao eixo Y
0,6	894,8	942,2	687,0	792,6	942,2	942,2
1,2	496,4	682,0	526,7	672,9	663,0	791,9
2,4	942,2	498,0	403,8	500,8	528,2	472,7
2,4	286,7	498,0	403,8	500,8	528,2	577,2
3,6	315,3	416,4	345,7	390,8	462,6	439,6
4,8	262,7	367,9	309,6	320,5	418,9	351,7
6,6	321,6	274,0	259,6	372,2	275,5	293,4
7,2	103,6	310,2	265,0	246,9	359,7	239,5
8,4	344,6	291,2	249,8	228,5	337,8	276,5
9,6	260,2	275,8	237,4	216,8	318,9	221,9
10,2	185,5	269,2	231,9	212,6	310,4	216,6
11,4	286,7	257,6	222,2	206,6	294,9	209,1
12,6	134,9	247,6	213,9	202,8	281,0	204,3
13,2	173,5	243,2	210,1	201,4	274,5	202,6
14,4	248,2	235,1	203,2	199,5	262,5	200,2
15,6	221,3	228,0	197,1	198,2	251,5	198,6
16,2	185,5	224,7	194,2	197,8	246,3	198,1
17,4	204,8	218,7	189,0	197,1	236,5	197,3
18,6	207,2	213,3	184,2	196,7	227,3	196,8
19,2	243,4	210,8	182,0	196,6	223,0	196,6
20,4	151,8	206,1	177,8	196,4	214,7	196,3
21,6	192,8	201,8	174,0	196,2	206,9	196,1
22,2	216,9	199,8	172,1	196,2	203,2	196,1
23,4	178,3	196,0	168,7	196,1	196,0	196,0



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. NÁVAR, SYNNOTT , 2000.

Número de prova. 17

Constantes.

Phillips	$f_1 = 169,0$	$f_2 = 20,5$
Kostalov	$a = 0,76$	

Horton

$b = 0,26$

Variáveis entropicas

Valores limites

$M_X = 8,14$	$f_0 = 99,99$	Velocidade mínima adotada.
$M_Y = -32,18$	$f_S = 28,06$	Velocidade máxima adotada.
$M_X = 8,98$	$f_S = 125,29$	Tempo máximo.
$M_Y = -99,00$	$t_0 = 1,13$	Tempo mínimo.

$$\alpha(f_0) = -1,13 \quad f_0(f_0) = 99,99 \quad \text{Velocidade mínima adotada dos dados rotados.}$$

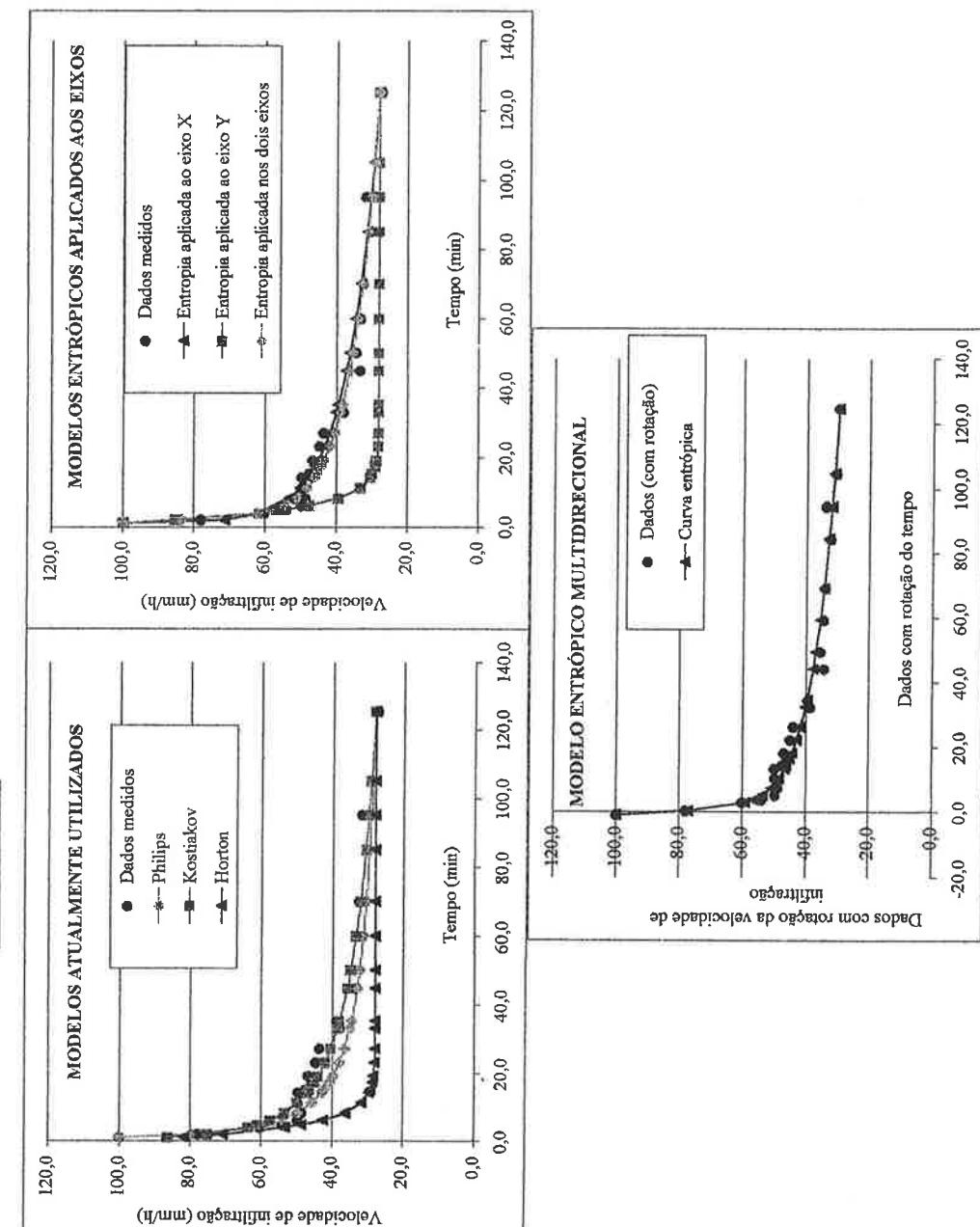
$$M_X(f_0) = 9,12 \quad f_S(f_0) = 29,93 \quad \text{Velocidade máxima adotada dos dados rotados.}$$

$$M_Y(f_0) = -99,53 \quad f_S(f_0) = 124,72 \quad \text{Tempo máximo dos dados rotados.}$$

$$t_0(f_0) = -0,85 \quad t_0(t_0) = -0,85 \quad \text{Tempo mínimo dos dados rotados.}$$

Tempo (min)	Dados medidos	Valores simulados (min/h)			
		Phillips	Kostalov	Horton	Entropia aplicada nos dois eixos
1,1	100,0	100,0	86,5	81,9	100,0
2,0	78,1	80,0	75,3	70,9	71,3
4,1	60,1	62,3	63,6	53,3	83,6
4,9	54,0	58,8	61,0	48,7	59,1
6,2	49,7	54,4	57,5	42,6	56,4
8,3	48,7	49,8	53,6	36,5	53,2
11,3	49,6	45,6	49,8	32,0	50,1
14,3	49,7	42,8	47,1	29,9	47,8
15,3	47,4	42,1	46,4	29,5	46,0
17,4	45,6	40,8	45,0	28,9	45,5
19,2	46,7	39,8	43,9	28,6	46,2
23,2	44,7	38,1	42,0	28,2	43,3
27,1	43,6	36,7	40,4	28,1	41,9
33,0	38,1	35,2	38,6	28,1	40,6
35,3	38,8	34,7	38,0	28,1	41,7
44,9	33,5	33,1	35,9	28,1	39,4
50,1	34,6	32,4	34,9	28,1	37,3
60,0	33,3	31,4	33,5	28,1	36,3
70,1	32,7	30,6	32,2	28,1	34,6
85,1	30,8	29,7	30,8	28,1	31,2
95,2	31,9	29,2	30,0	28,1	30,5
105,2	28,7	28,7	29,3	28,1	29,6
125,3	27,5	28,1	28,1	28,1	29,5

$$R^2 = 0,96 \quad 0,94 \quad 0,85 \quad 0,97 \quad 0,85 \quad 0,98 \quad 0,99$$

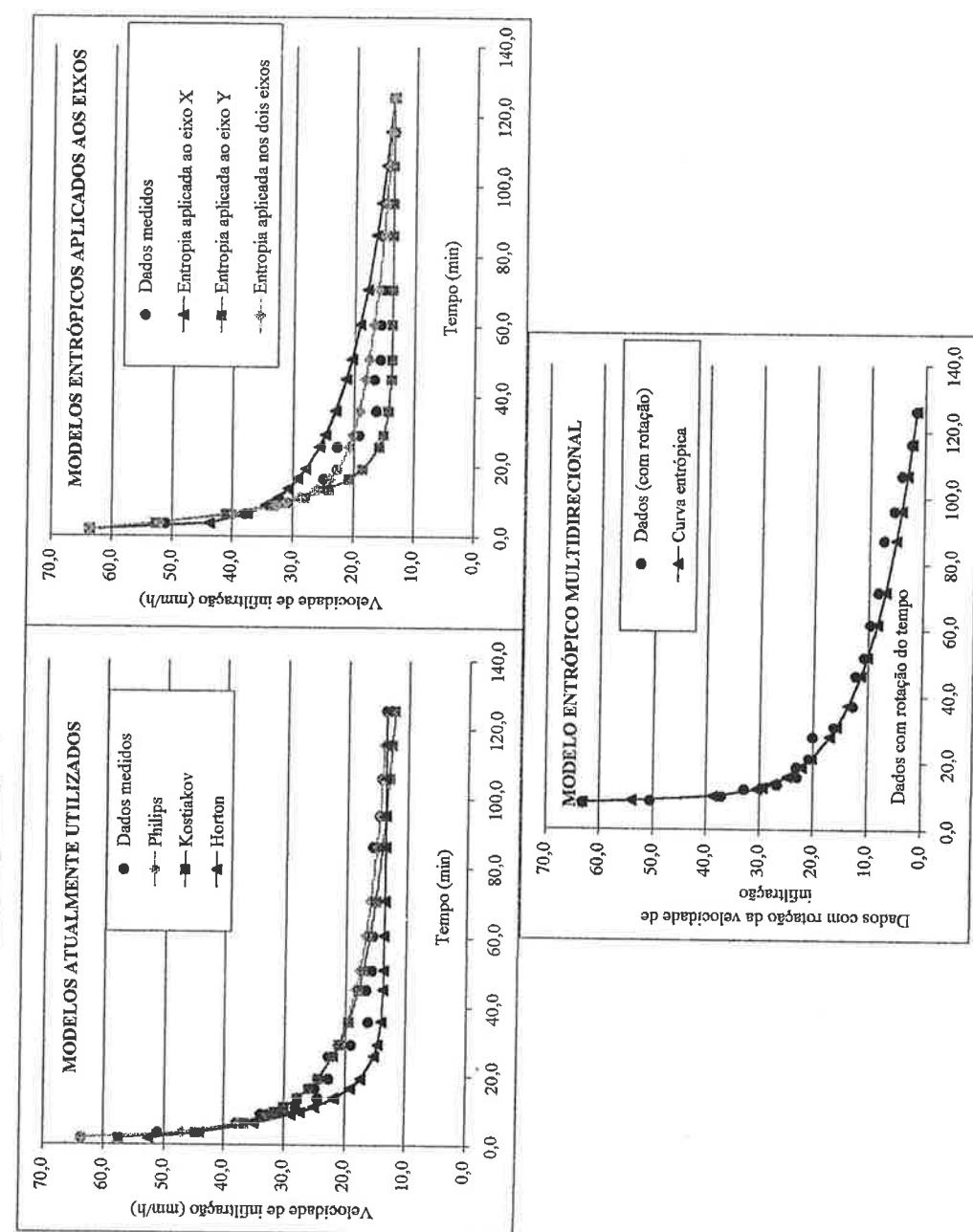
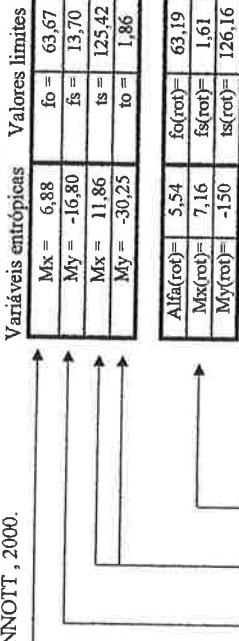


PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

NÁVAR ; SYNNOTT, 2000.

NAVAR; SYNNOTT, 2000.

10	Constituantes
	Philips
	$f_1 = 155,2$
	$f_2 = 6,8$
	Kostikov
	$K = 113,8$
	$a = 0,63$
	Horton
	$b = 0,13$



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. NÁVAR ; SYNNOTT , 2000.

Número de prova. 19

Constantes	
Philips	
$f_1 = 109,2$	$f_2 = 4,8$
Kostinakov	

$$\begin{aligned} K &= 69,6 \quad a = 0,65 \\ \text{Horton} \quad b &= 0,12 \end{aligned}$$

Variáveis entropicas

Valores limites

Velocidade mínima adotada.

Velocidade máxima adotada.

Tempo máximo.

Tempo mínimo.

$$\begin{aligned} M_x &= 6,56 \quad f_0 = 36,54 \\ M_y &= -14,59 \quad f_5 = 9,57 \\ M_k &= 12,11 \quad f_8 = 125,65 \\ M_y &= -24,65 \quad t_0 = 2,96 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Alfa(rot)} &= 5,12 \quad f_0(rot) = 36,13 \\ M_x(rot) &= 5,35 \quad f_5(rot) = -1,95 \\ M_y(rot) &= -99,00 \quad f_8(rot) = 125,98 \\ M_k(rot) &= - \quad t_0(rot) = 6,21 \end{aligned}$$

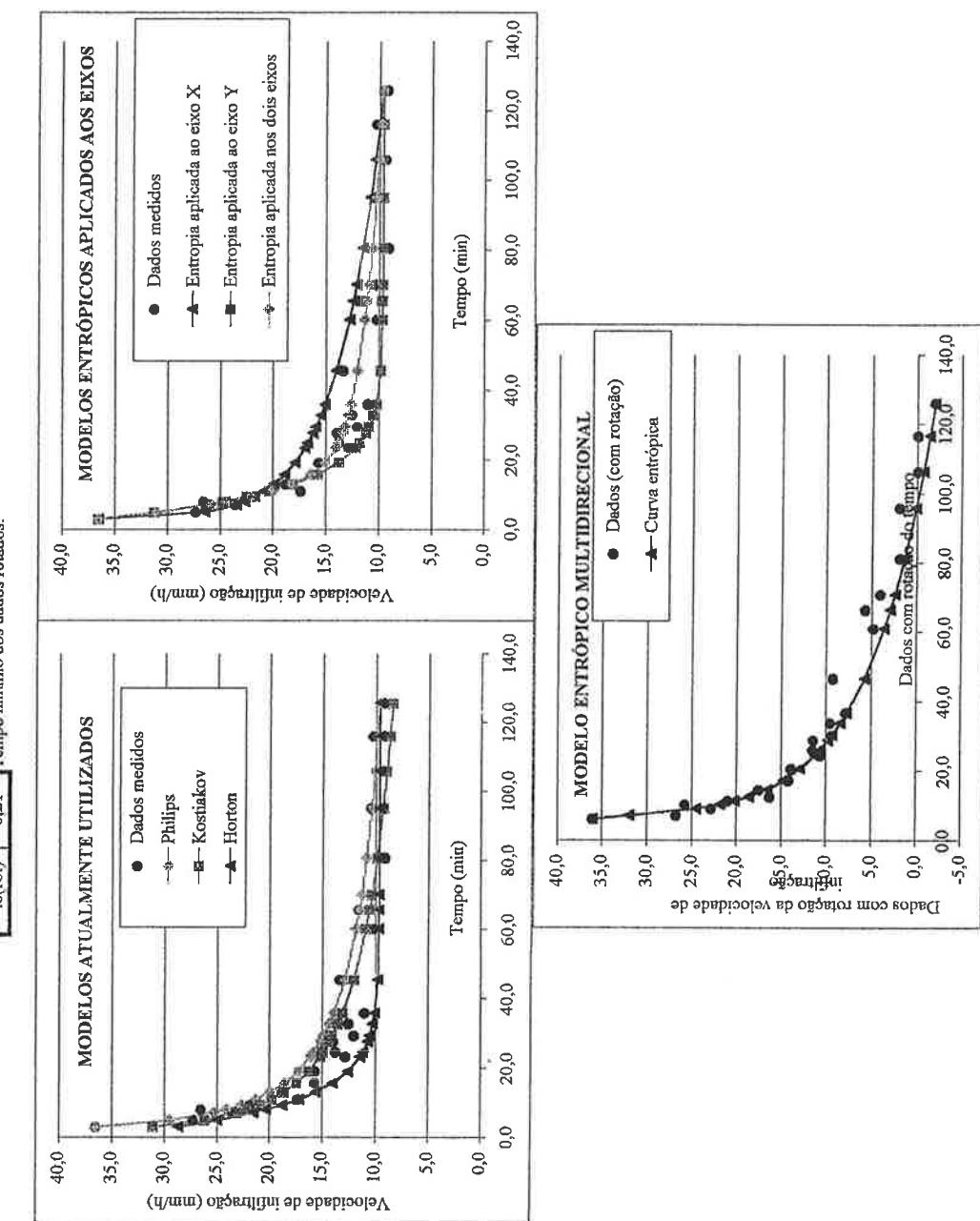
Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

Tempo máximo dos dados rotados.

Tempo mínimo dos dados rotados.

Tempo (min)	Dados medidos	Valores simulados (min/h)		
		Philips	Kostinakov	Horton
3,0	36,5	36,5	31,1	28,7
4,8	27,3	29,6	26,2	25,0
7,1	23,5	25,3	23,0	21,5
8,0	26,6	24,2	22,1	20,3
9,3	21,9	22,7	20,9	18,8
11,0	17,4	21,3	19,7	17,2
13,0	18,8	20,0	18,6	15,6
15,8	15,7	18,6	17,4	14,0
19,2	15,7	17,3	16,3	12,6
23,4	12,8	16,1	15,2	11,5
24,8	13,8	15,8	14,9	11,2
27,7	14,0	15,2	14,3	10,8
29,3	12,1	14,9	14,0	10,6
32,7	12,5	14,3	13,5	10,3
35,8	11,1	13,9	13,1	10,1
45,5	13,4	12,9	12,0	9,8
60,2	10,2	11,8	10,9	9,7
65,6	11,6	11,5	10,6	9,7
70,1	10,4	11,3	10,4	9,7
80,6	9,1	10,9	9,9	9,7
95,1	10,4	10,4	9,3	9,7
105,8	9,4	10,1	9,0	9,7
116,0	10,3	9,9	8,7	9,7
125,7	9,3	9,7	8,5	9,7



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. NÁVAR : SYNNOTT , 2000.

Número de prova. 20

Constantes	
Philips	
$f_1 = 140,0$	$f_2 = 4,7$
Kostakay	

$$K = 85,9 \quad a = 0,65$$

$$Boron \quad b = 0,08$$

$$\begin{array}{ll} M_x = & 5,54 \\ M_y = & -9,96 \\ M_x(t) = & 4,14 \\ M_y(t) = & -75,00 \end{array}$$

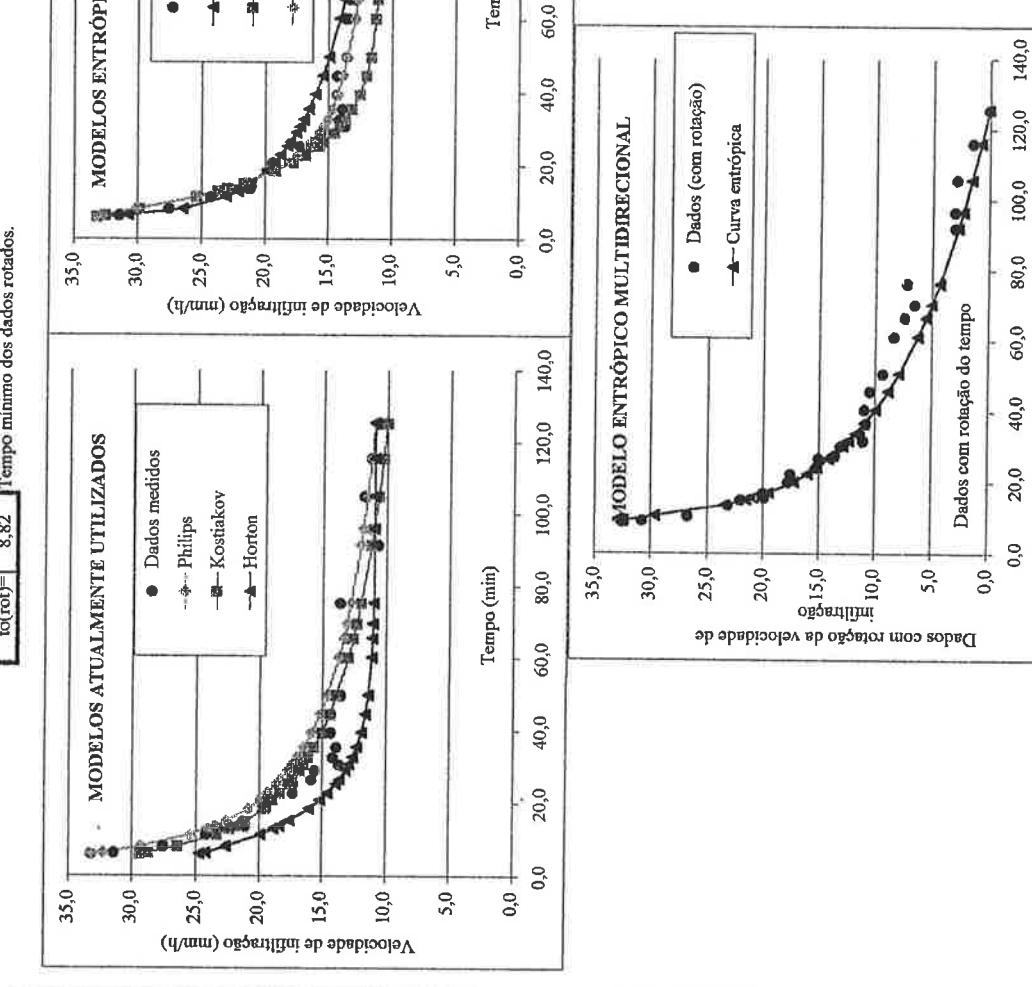
$$\begin{array}{ll} f_0(\text{rot}) = & 4,84 \\ f_0(\text{rot}) = & 4,14 \\ f_0(\text{rot}) = & 75,00 \\ f_0(\text{rot}) = & -18,01 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} f_0 = & 33,21 \\ f_0 = & 10,98 \\ f_0 = & 125,10 \\ f_0 = & 6,04 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} V_{\min} = & 32,58 \\ V_{\max} = & 0,12 \\ V_{\max} = & 125,56 \\ V_{\min} = & 8,82 \end{array}$$

Tempo (min)	Dados medidas cm	Kostakay										Horton										Philips															
		Entropia aplicada nos dois eixos					Entropia X aplicada a cada eixo					Entropia Y aplicada a cada eixo					Entropia aplicada nos dois eixos					Entropia aplicada ao eixo X															
6,0	33,2	33,2	29,3	24,7	33,2	33,2	32,6	32,7	32,7	32,7	32,7	29,3	26,4	22,6	20,7	30,7	32,5	32,4	32,4	32,4	32,4	32,4	32,4	32,4	32,4	32,4	32,4	32,4	32,4	32,4	32,4	32,4					
6,5	31,4	32,3	28,7	24,3	30,7	32,5	32,7	32,7	32,7	32,7	32,7	29,3	26,4	22,6	20,7	30,1	29,8	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7					
8,1	27,5	29,3	26,4	22,6	29,3	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	26,4	23,4	19,9	23,1	25,4	25,3	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4					
11,5	24,2	25,4	23,4	19,9	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	20,9	18,9	15,1	22,1	23,7	23,6	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5				
13,0	23,3	24,1	22,3	18,9	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	18,4	15,1	12,9	21,7	22,9	22,8	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9				
13,8	21,1	23,5	21,9	18,4	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	18,4	15,1	12,9	21,1	22,6	21,6	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5				
15,3	21,4	22,6	21,1	17,6	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	17,6	14,4	12,9	21,1	22,6	21,6	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5				
18,6	19,5	20,9	19,7	16,0	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	16,0	13,2	10,7	19,9	19,1	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3					
20,9	19,4	20,0	18,9	15,2	18,9	18,9	15,2	18,9	15,2	18,9	15,2	18,9	15,2	12,9	19,2	17,8	18,2	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0				
22,9	17,3	19,4	18,3	14,6	18,3	14,6	18,3	14,6	18,3	14,6	18,3	14,6	11,1	8,7	16,8	17,4	15,2	18,7	16,8	17,4	15,2	18,7	16,8	17,4	15,2	18,7	16,8	17,4	15,2	18,7	16,8	17,4					
25,4	17,3	18,6	17,6	13,9	18,6	17,6	13,9	18,6	17,6	13,9	18,6	17,6	13,9	10,7	18,2	15,7	16,6	14,1	18,2	15,7	16,6	14,1	18,2	15,7	16,6	14,1	18,2	15,7	16,6	14,1	18,2	15,7	16,6				
26,5	15,9	18,3	17,4	13,7	18,3	17,4	13,7	18,3	17,4	13,7	18,3	17,4	13,7	10,7	18,0	15,3	16,3	13,7	18,0	15,3	16,3	13,7	18,0	15,3	16,3	13,7	18,0	15,3	16,3	13,7	18,0	15,3	16,3				
29,1	15,6	17,7	16,8	13,2	17,7	16,8	13,2	17,7	16,8	13,2	17,7	16,8	13,2	10,7	17,5	14,5	15,7	12,8	17,5	14,5	15,7	12,8	17,5	14,5	15,7	12,8	17,5	14,5	15,7	12,8	17,5	14,5	15,7				
30,8	13,7	17,3	16,5	13,9	17,3	16,5	13,9	17,3	16,5	13,9	17,3	16,5	13,9	10,7	17,2	14,1	15,4	12,4	17,2	14,1	15,4	12,4	17,2	14,1	15,4	12,4	17,2	14,1	15,4	12,4	17,2	14,1	15,4				
32,8	14,2	17,0	16,1	12,6	16,1	12,6	12,6	16,1	12,6	12,6	16,1	12,6	10,7	16,9	13,6	15,1	11,7	16,9	13,6	15,1	11,7	16,9	13,6	15,1	11,7	16,9	13,6	15,1	11,7	16,9	13,6	15,1	11,7				
35,6	13,9	16,5	15,7	12,3	16,5	13,1	14,7	11,0	16,5	13,1	14,7	11,0	10,7	13,7	11,2	12,7	5,5	13,7	11,2	12,7	5,5	13,7	11,2	12,7	5,5	13,7	11,2	12,7	5,5	13,7	11,2	12,7	5,5	13,7	11,2	12,7	
39,6	14,4	15,9	15,1	11,9	16,0	12,5	14,3	10,0	14,4	15,1	16,0	12,5	10,0	11,1	13,5	11,1	12,5	5,0	14,4	15,1	16,0	12,5	14,4	15,1	16,0	12,5	14,4	15,1	16,0	12,5	14,4	15,1	16,0	12,5	14,4	15,1	16,0
44,7	14,3	15,2	14,4	11,6	14,4	11,6	14,4	11,6	14,4	11,6	14,4	11,6	10,7	15,5	12,0	13,9	8,9	15,5	12,0	13,9	8,9	15,5	12,0	13,9	8,9	15,5	12,0	13,9	8,9	15,5	12,0	13,9	8,9	15,5	12,0	13,9	
49,8	13,6	14,6	13,9	11,4	13,9	11,4	13,9	11,4	13,9	11,4	13,9	11,4	10,7	15,0	11,7	13,5	7,9	15,0	11,7	13,5	7,9	15,0	11,7	13,5	7,9	15,0	11,7	13,5	7,9	15,0	11,7	13,5	7,9	15,0	11,7	13,5	7,9
60,2	13,5	13,7	13,0	11,2	13,0	11,2	13,0	11,2	13,0	11,2	13,0	11,2	10,7	14,1	11,3	12,9	6,3	14,1	11,3	12,9	6,3	14,1	11,3	12,9	6,3	14,1	11,3	12,9	6,3	14,1	11,3	12,9	6,3	14,1	11,3	12,9	6,3
65,6	13,0	13,4	12,6	11,1	13,4	12,6	11,1	13,4	12,6	11,1	13,4	12,6	10,0	14,3	10,0	12,5	5,0	14,3	10,0	12,5	5,0	14,3	10,0	12,5	5,0	14,3	10,0	12,5	5,0	14,3	10,0	12,5	5,0	14,3	10,0	12,5	5,0
69,6	12,5	13,1	12,3	11,1	13,1	12,3	11,1	13,1	12,3	11,1	13,1	12,3	10,0	13,1	11,1	12,3	4,3	13,1	11,1	12,3	4,3	13,1	11,1	12,3	4,3	13,1	11,1	12,3	4,3	13,1	11,1	12,3	4,3	13,1	11,1	12,3	4,3
75,3	13,6	12,8	12,0	11,0	13,6	12,8	12,0	13,6	12,8	12,0	13,6	12,8	10,0	13,1	11,1	12,3	4,3	13,1	11,1	12,3	4,3	13,1	11,1	12,3	4,3	13,1	11,1	12,3	4,3	13,1	11,1	12,3	4,3	13,1	11,1	12,3	4,3
91,4	10,7	12,0	11,2	10,0	10,7	12,0	11,2	10,0	10,7	12,0	11,2	10,0	9,0	12,3	11,0	11,8	2,7	12,3	11,0	11,8	2,7	12,3	11,0	11,8	2,7	12,3	11,0	11,8	2,7	12,3	11,0	11,8	2,7	12,3	11,0	11,8	2,7
95,9	11,2	11,9	11,0	11,0	11,2	11,9	11,0	11,2	11,9	11,0	11,2	11,9	10,0	12,1	11,0	11,7	2,3	12,1	11,0	11,7	2,3	12,1	11,0	11,7	2,3	12,1	11,0	11,7	2,3	12,1	11,0	11,7	2,3	12,1	11,0	11,7	2,3
105,0	11,8	11,6	10,7	11,0	10,7	11,6	10,7	11,0	10,7	11,0	10,7	11,0	10,0	11,7	11,0	11,4	1,6	11,7	11,0	11,4	1,6	11,7	11,0	11,4	1,6	11,7	11,0	11,4	1,6	11,7	11,0	11,4	1,6	11,7	11,0	11,4	1,6
115,5	11,3	11,2	10,3	11,0	10,3	11,2	10,3	11,0	10,3	11,0	10,3	11,0	10,0	11,3	11,0	11,2	0,8	11,3	11,0	11,2	0,8	11,3	11,0	11,2	0,8	11,3	11,0	11,2	0,8	11,3	11,0	11,2	0,8	11,3	11,0	11,2	0,8
125,1	10,7	11,0	10,0	11,0	10,0	11,0	10,0	11,0	10,0	11,0	10,0	11,0	10,0	11,0	11,0	11,0	0,1	11,0	11,0	11,0	0,1	11,0	11,0	11,0	0,1	11,0	11,0	11,0	0,1	11,0	11,0	11,0	0,1	11,0	11,0	11,0	0,1

$$R^2 = 0,97 \quad 0,96 \quad 0,98 \quad 0,97 \quad 0,98 \quad 0,99$$



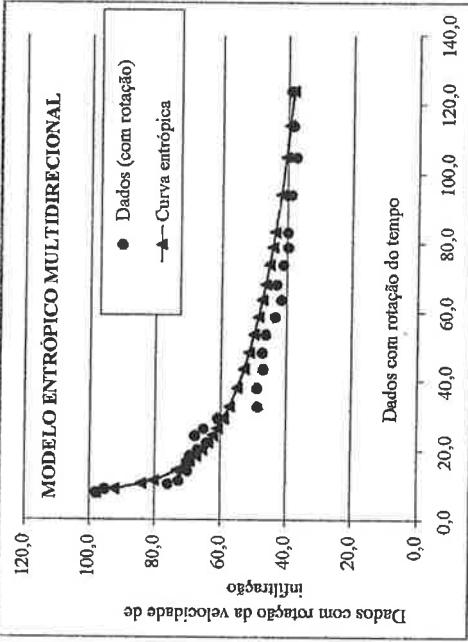
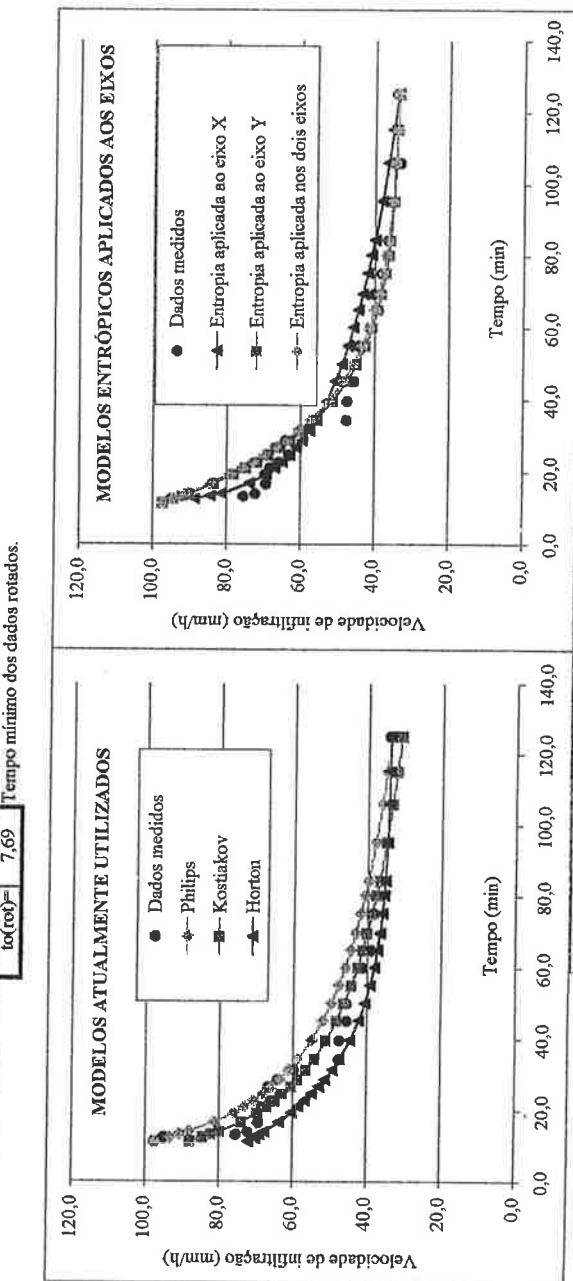
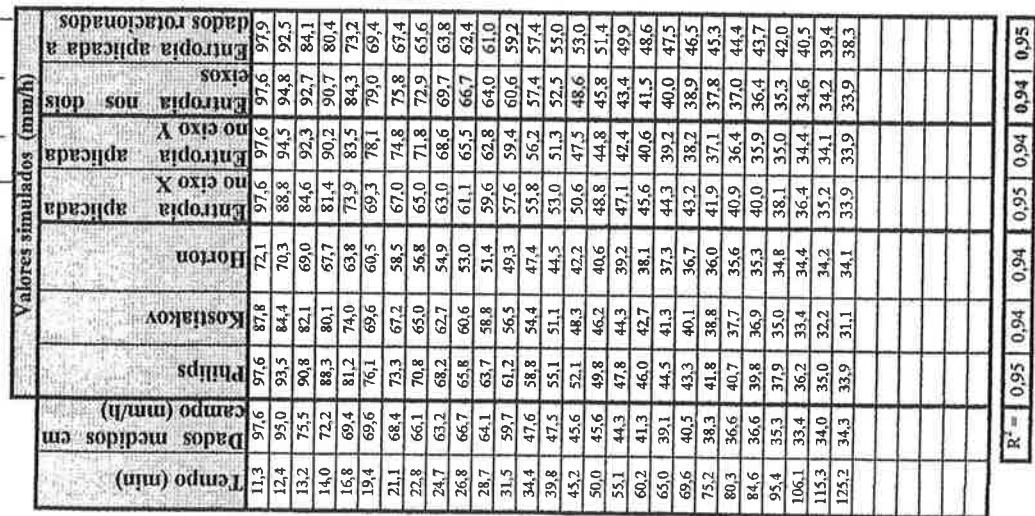
PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados: NAVAR; SYNNOTT 2000

אַתָּה תְּבִרֵךְ נַעֲמָן בְּנֵי יִשְׂרָאֵל

21	ano de prova.	Constantes	Phillips	$f_1 = 613,4$	$\Omega = 6,5$
Kostikov					
$K = 441,6$					$a = 0,57$
Horton					
$b = 0,04$					

Válidas e inválidas		Válidas inválidas	Válidas inválidas
Mx =	4,52	fo =	97,56
My =	-5,63	f ₃ =	33,89
Mx =	50,00	fs =	125,22
My =	-5,67	to =	11,34



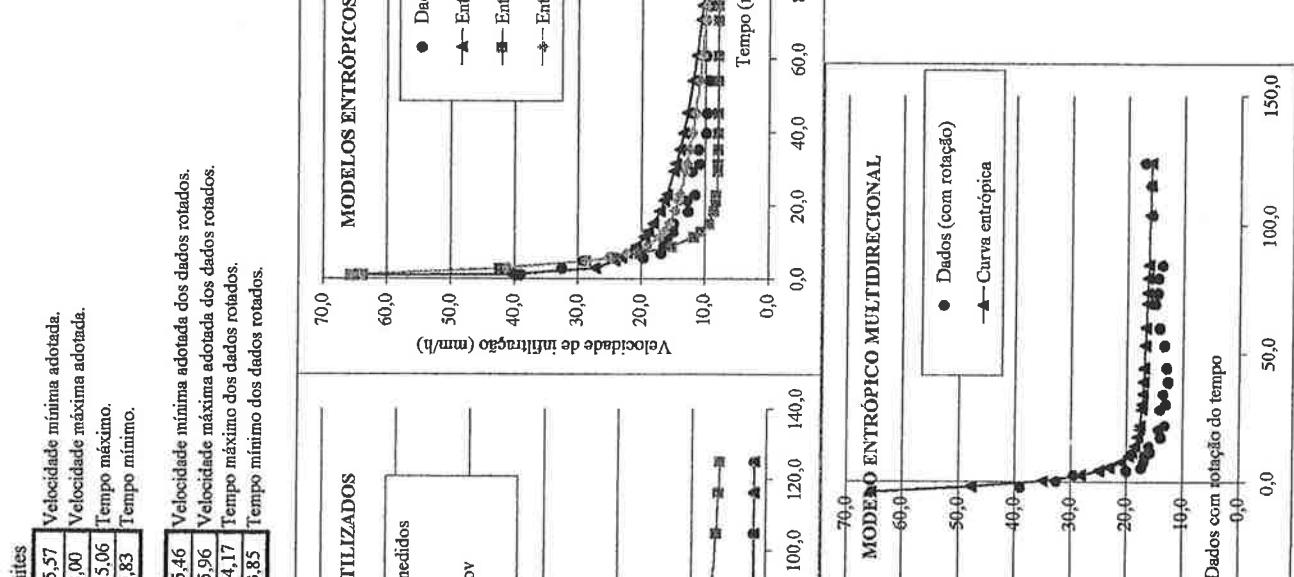
PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. NÁVAR ; SYNNOTT , 2000.

Número de prova. 22

Constantes	
Philips	
$f_1 = 114,2$	$f_2 = 2,9$
Kostitakov	

Tempo (min)	Dados medidos cm		Dados Philips (mm/h)		Kostitakov		Horton		Entropia aplicada a cada eixo		Entropia aplicada nos dois eixos		Entropia Y do eixo X		Entropia X do eixo Y		Entropia aplicada ao eixo X		Entropia aplicada ao eixo Y		Dados medidos					
	Tempo simulados (min)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Campo de medida	Tempo (min)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Campo de medida	Tempo (min)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Campo de medida	Tempo (min)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Campo de medida	Tempo (min)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Campo de medida	Tempo (min)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Campo de medida	Tempo (min)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Campo de medida	Tempo (min)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Campo de medida	Tempo (min)	
0,8	65,6	65,6	271,8	54,5	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6	65,6
1,0	39,1	61,5	256,4	53,0	40,5	63,8	63,9	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7
2,8	32,5	36,8	160,0	35,7	27,3	42,3	41,0	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1
4,8	29,3	29,0	127,7	24,8	24,2	28,8	28,7	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2
5,7	19,7	26,7	117,9	21,1	23,1	24,2	25,1	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9
6,8	16,9	24,7	109,3	17,9	22,2	20,2	22,3	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1
8,8	16,4	22,1	97,9	13,9	20,8	15,3	19,2	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1
11,4	15,9	19,8	87,7	11,0	19,6	11,8	17,1	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6
12,8	15,0	18,9	83,4	10,1	19,0	10,6	16,4	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1
15,1	15,0	17,6	77,7	9,2	18,1	9,5	15,6	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5
18,4	12,6	16,2	71,2	8,5	17,1	8,6	14,8	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
21,3	12,8	15,3	66,9	8,2	16,4	8,3	14,2	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7
23,0	11,6	14,8	64,7	8,2	16,1	8,2	14,0	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
29,2	12,0	13,5	58,3	8,0	14,9	8,0	13,1	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3
31,2	10,9	13,1	56,7	8,0	14,6	8,0	12,9	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3
35,2	11,0	12,5	53,8	8,0	14,0	8,0	12,4	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2
39,7	9,8	12,0	51,1	8,0	13,4	8,0	12,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
45,1	9,8	11,4	48,3	8,0	12,8	8,0	11,6	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9
53,9	9,5	10,7	44,8	8,0	12,0	8,0	10,9	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8
60,8	9,9	10,2	42,5	8,0	11,4	8,0	10,5	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7
70,5	10,0	9,7	39,9	8,0	10,7	8,0	10,0	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
74,4	9,3	9,5	38,9	8,0	10,5	8,0	9,8	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
80,4	8,7	9,3	37,7	8,0	10,1	8,0	9,5	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
85,2	7,8	9,1	36,7	8,0	9,8	8,0	9,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3
104,9	8,3	8,5	33,6	8,0	8,8	8,0	8,6	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1
116,2	7,7	8,2	32,1	8,0	8,3	8,0	8,3	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
125,1	8,1	8,0	31,1	8,0	8,0	8,0	8,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.
Fonte de dados. NÁVAR, SYNNOTT, 2000.

23

Número de prova.

PLANTILLA #1 Comparación entre modelos de curvas de simulación da velocidad de infiltración.

NÁVAR, SYNNOTT, 2000.

Fonte de dados.

Número de prova.

23

Constantes

Philips

$f_1 = 248,5$

$f_2 = 5,4$

$b = 0,19$

Kostikov

$K = 150,9$

$a = 0,60$

Horton

$t_0 = 1,91$

$t_{\text{mín}} = 1,91$

$t_{\text{máx}} = 124,51$

$t_{\text{rot}} = 2,77$

$t_{\text{rotado}} = 18,86$

$M_x(\text{rot}) = 50,00$

$M_y(\text{rot}) = -18,86$

$\alpha(\text{rot}) = -2,81$

$M_x(\text{rotado}) = 21,52$

$M_y(\text{rotado}) = 16,53$

$f_0 = 95,33$

$f_s = 16,53$

$t_s = 125,49$

$t_{\text{rot}} = 1,91$

$t_{\text{rotado}} = 1,91$

$Velocidade mínima adotada dos dados rotados.$

$Velocidade máxima adotada dos dados rotados.$

$Tempo máximo.$

$Tempo mínimo.$

$t_{\text{rot}} = 1,91$

$t_{\text{rotado}} = 1,91$

$Velocidade mínima adotada dos dados rotados.$

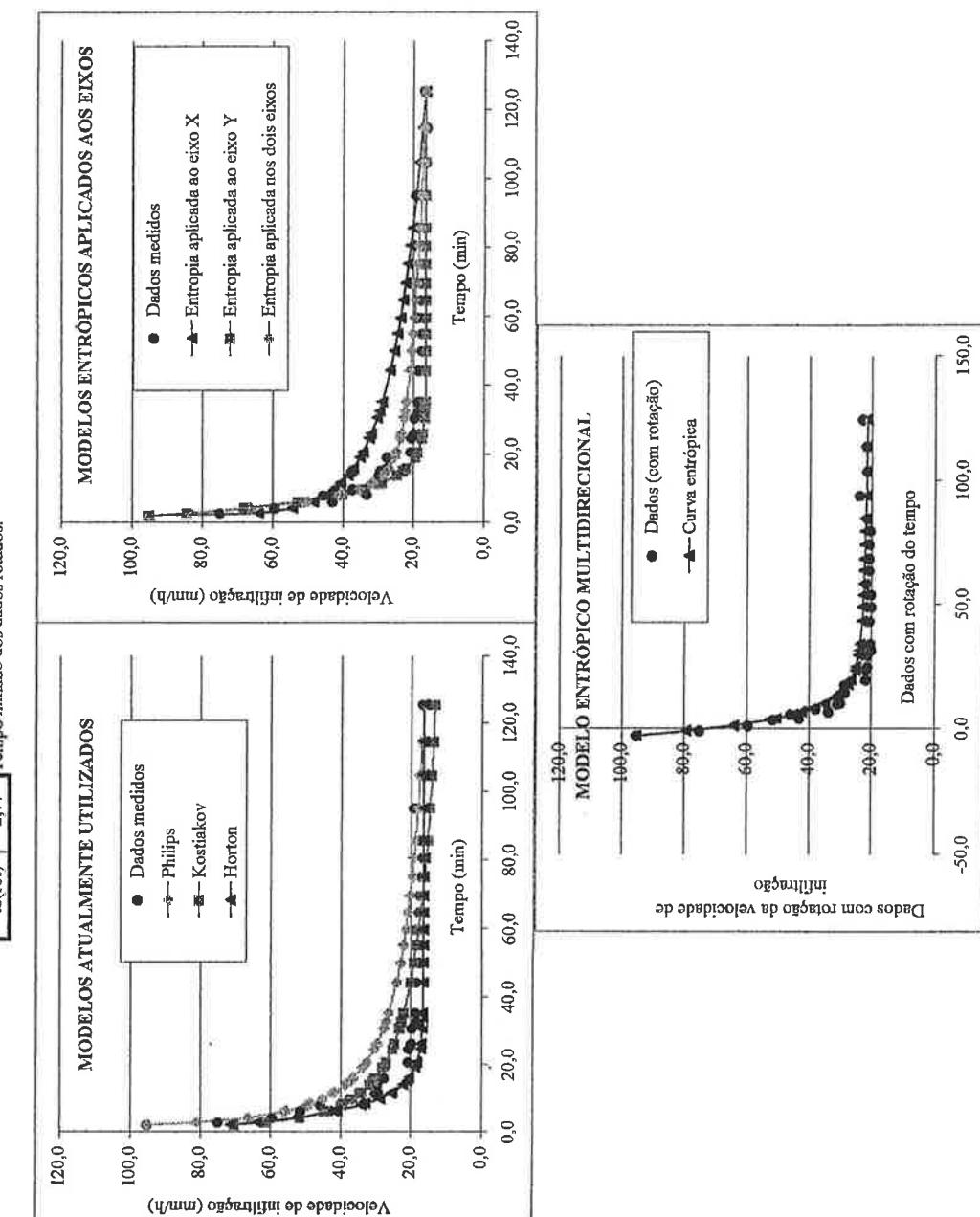
$Velocidade máxima adotada dos dados rotados.$

$Tempo máximo dos dados rotados.$

$Tempo mínimo dos dados rotados.$

Tempo (min)	Valores medidos cm/h	Kostikov	Philips	Horton
1,9	95,3	95,3	70,2	71,4
2,7	75,1	81,0	61,1	63,8
4,2	59,5	66,4	51,5	52,5
6,0	51,6	56,2	44,5	41,8
6,1	43,0	55,6	44,1	41,2
7,9	45,7	49,7	39,9	34,2
8,3	33,4	48,7	39,2	33,1
9,7	37,3	45,2	36,7	29,0
11,3	30,4	42,3	34,5	25,8
11,6	29,4	41,9	41,9	25,3
13,9	29,9	38,8	31,9	22,2
15,0	29,4	37,5	30,9	21,1
15,8	27,8	36,7	30,2	20,5
19,0	27,3	34,0	28,1	18,7
20,6	20,7	32,8	24,9	21,2
24,5	20,7	30,5	25,4	17,3
26,0	20,0	29,8	24,8	17,1
30,5	19,7	27,9	23,3	16,8
32,5	18,5	27,2	22,7	16,7
35,0	18,7	26,4	22,0	16,6
44,1	18,6	24,1	20,1	16,5
49,8	17,6	23,0	19,2	16,5
54,9	17,6	22,2	18,4	16,5
59,5	18,9	21,5	17,8	16,5
64,6	17,5	20,9	17,3	16,5
69,4	17,5	20,3	16,8	16,5
75,1	17,2	19,8	16,3	16,5
80,5	16,6	19,3	15,8	16,5
85,7	17,3	18,9	15,4	16,5
95,1	19,3	18,2	14,8	16,5
104,7	16,4	17,6	14,2	16,5
114,7	16,3	17,0	13,7	16,5
123,5	16,9	16,5	13,3	16,5

$$R^2 = 0,95 \quad 0,92 \quad 0,97 \quad 0,91 \quad 0,97 \quad 0,98 \quad 0,98$$



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. NÁVAR ; SYNCTT , 2000.

Número de prova. 24

Constantes	
Philips	
$f_1 = 310,0$	$f_2 = 30,3$

Varáveis entrópicas

Valores limites

$M_x = 5,42$	$f_0 = 89,23$	Velocidade mínima adotada.
$M_y = -11,02$	$f_s = 44,21$	Velocidade máxima adotada.
$M_x = 6,47$	$t_s = 125,07$	Tempo máximo.
$M_y = -46,35$	$t_0 = 6,93$	Tempo mínimo.

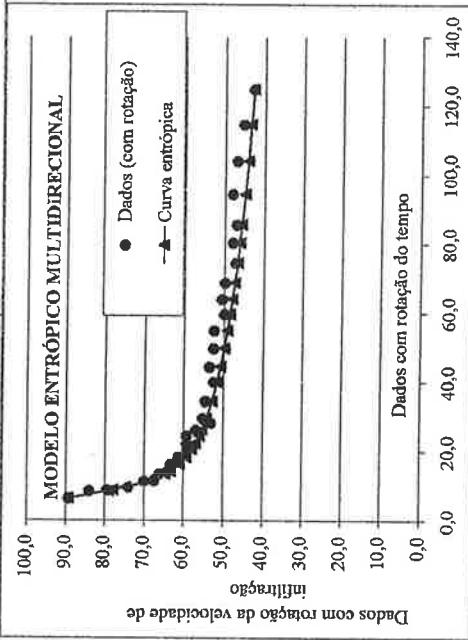
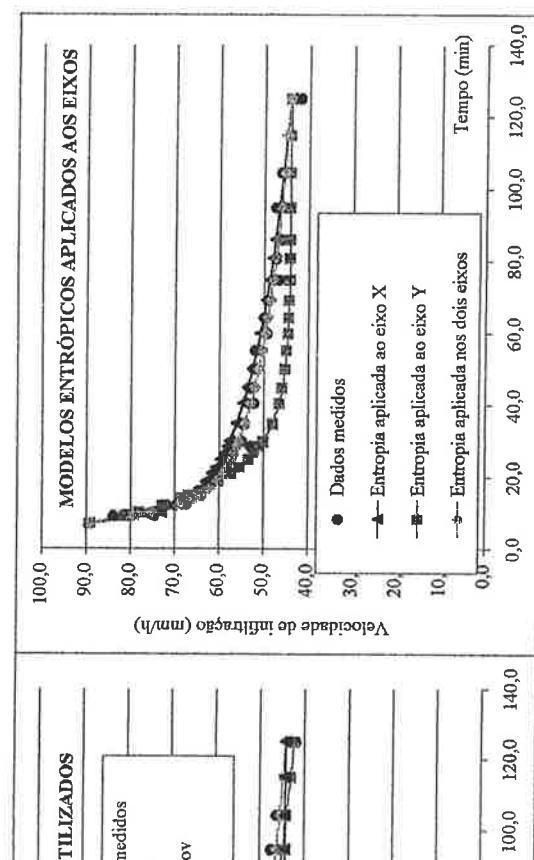
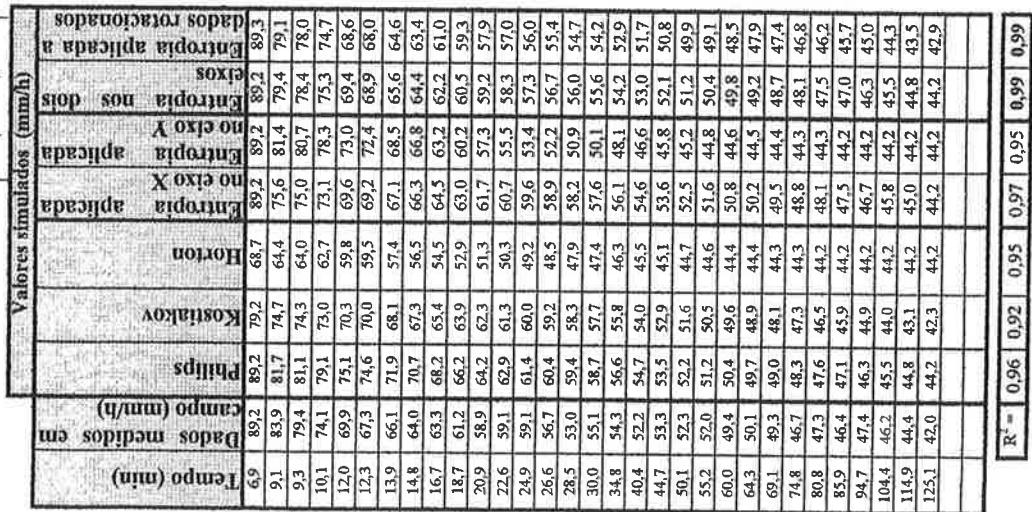
 $Af(\text{rot}) = -0,42$ $Mx(\text{rot}) = 6,65$ $My(\text{rot}) = -42,94$ $f_0(\text{rot}) = 89,28$ $f_s(\text{rot}) = 42,92$ $t_s(\text{rot}) = 124,76$ $t_0(\text{rot}) = 6,28$

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

Tempo máximo dos dados rotados.

Tempo mínimo dos dados rotados.



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. NÁVAR ; SYNNOTT , 2000.

Número de prova. 25

Constantes

Phillips

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

f1 = 220,8 I2 = 3,4

Kostikov

MK = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

K = 121,5 a = 0,62

Horton

b = 0,33

Kostikov

Variáveis entrópicas

Velocidade mínima adotada.

Velocidade máxima adotada.

Tempo mínimo.

Tempo máximo.

Alfa(rot) = -2,65

fo(rot) = 90,90

fs = 13,70

ts = 114,45

to = 1,59

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

Tempo máximo dos dados rotados.

Tempo mínimo dos dados rotados.

Dados rotados

Entropia ao eixo X

Entropia ao eixo Y

Entropia nos dois eixos

Dados rotacionados

Entropia aplicada a

entropia nos dois

eixos

Entropia X

Entropia Y

Entropia Z

Dados medidos

Phillips

Kostikov

Horton

Dados rotacionados

Phillips

Kostikov

Horton</p

PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

NÁVAR ; SYNNOTT , 2000.

Fonte de dados.

26

Constantes

Philips

Horton

b = 0,11

Kostikov

K = 233,8

a = 0,65

E1 = 417,5

E2 = 15,2

Variáveis entropicas

Mx = 5,86

fo = 99,03

Velocidade mínima adotada.

My = -14,29

fs = 33,92

Velocidade máxima adotada.

Mx = 700,00

ts = 124,30

Tempo máximo.

My = -14,37

to = 6,20

Tempo mínimo.

PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração

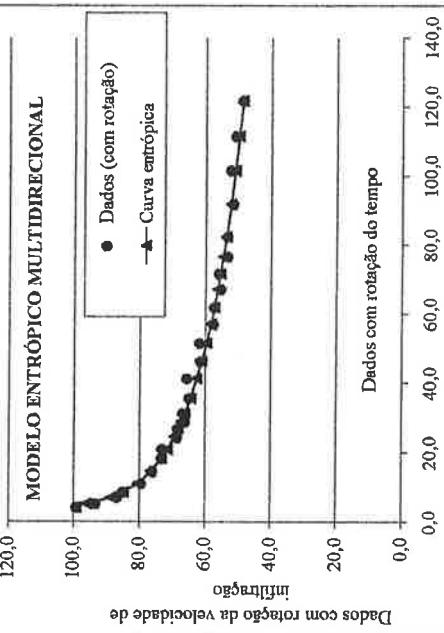
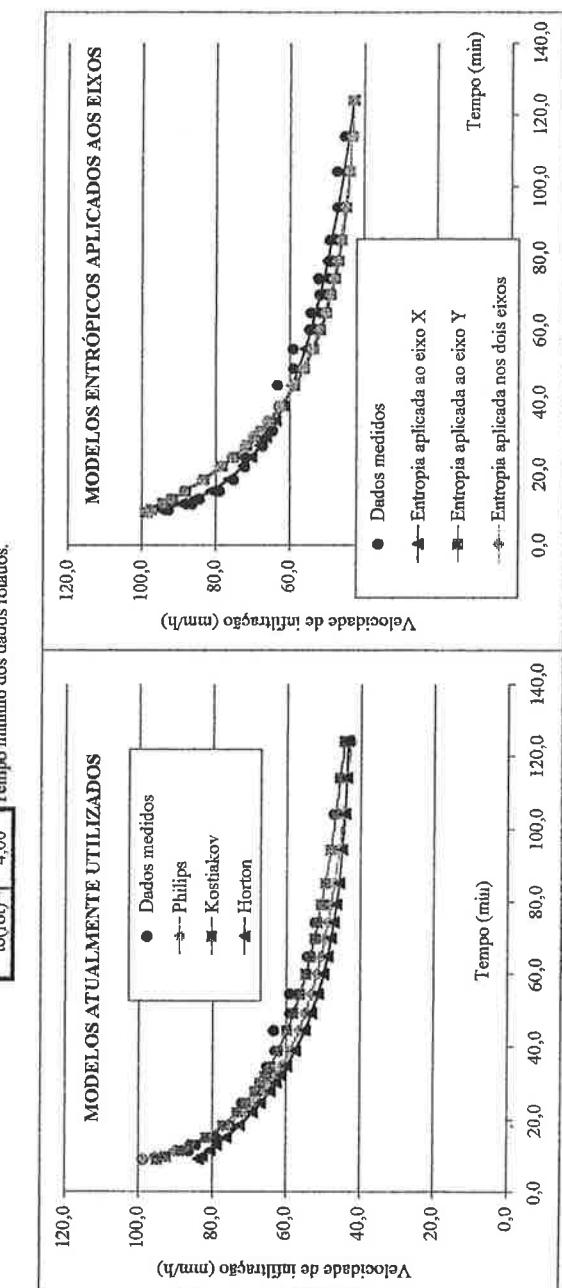
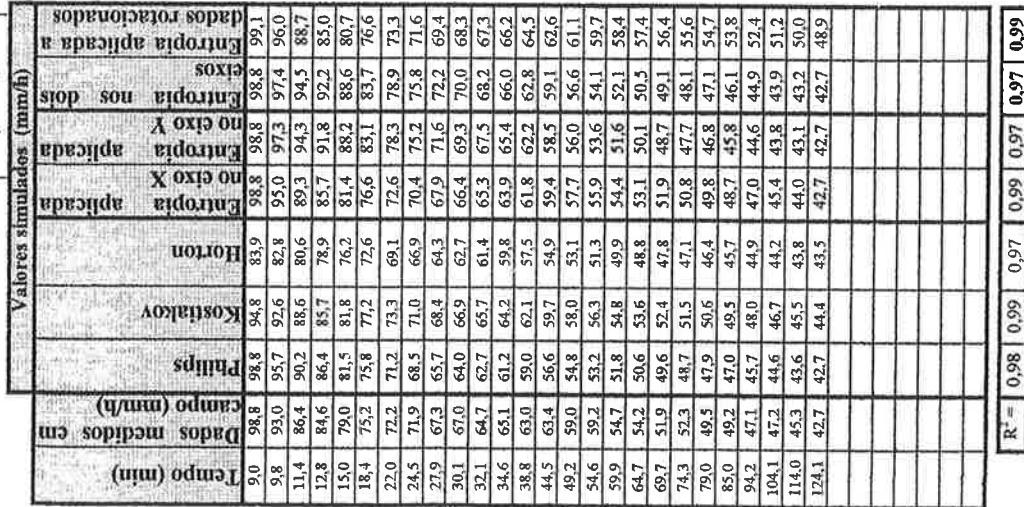
NAVAR : SYNNOTT 2000

VOLUME 1, 2000

Número de prova. 27

Constantes	
Phillips	
$f_1 = 461,5$	$f_2 = 21,9$
Kondrat'ev	
$K = 252,5$	$a = 0,71$
Horton	
$b = 0,03$	

Valores en euros	Valores límites
$Mx = 3,78$	$f_0 = 98,78$
$My = -4,25$	$f_3 = 42,66$
$Mz = 50,00$	$t_3 = 124,11$
$My = -4,34$	$f_0 = 9,02$



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. NÁVAR ; SYNNOTT , 2000.

Número de prova. 29

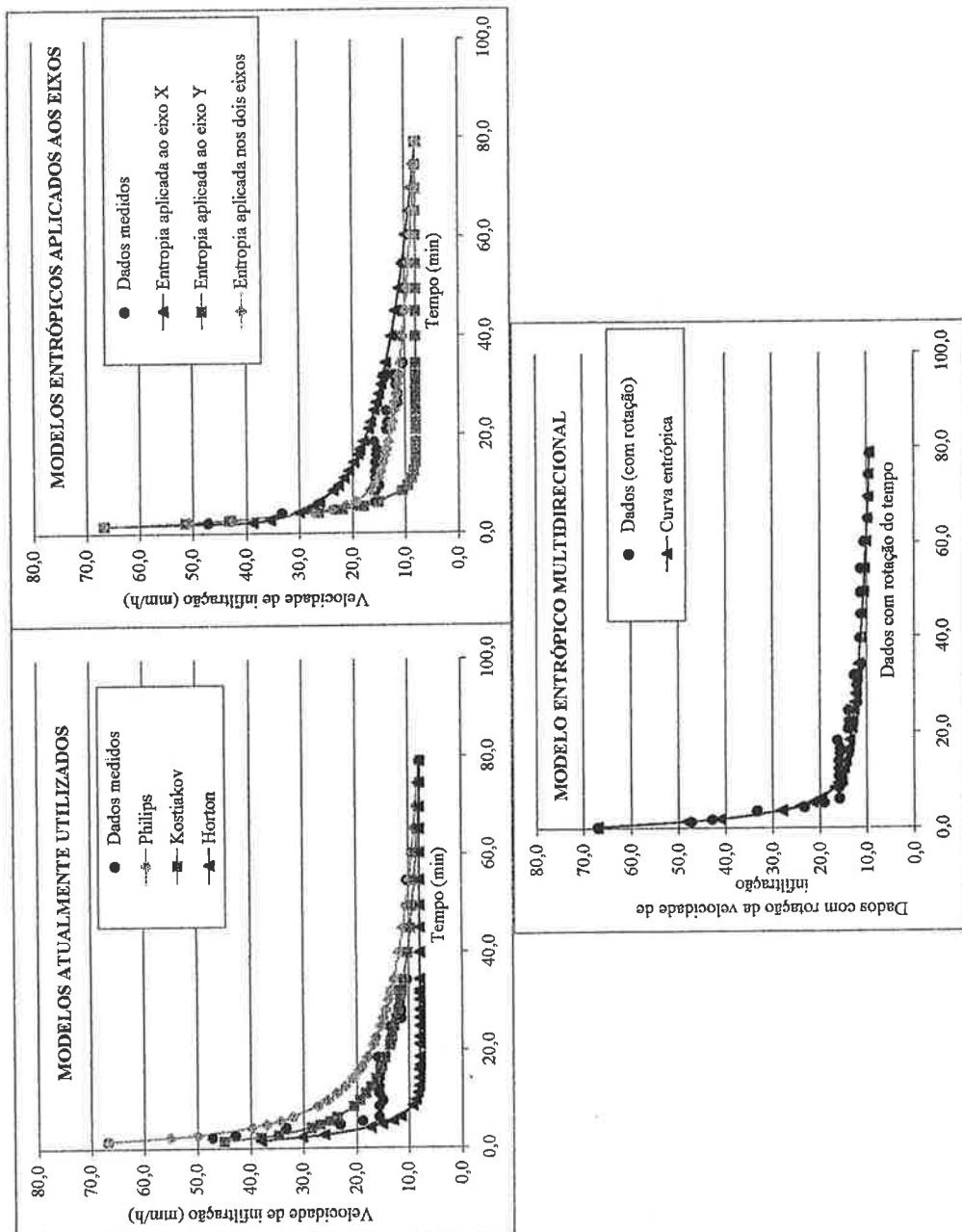
Constantes:	
Philips	
$f_1 = 168,8$	$f_2 = -1,6$
Kostikov	
$K = 99,6$	$a = 0,55$
Horton	
$b = 0,44$	

	M _x	M _y	f ₀	f _s	Valores limites
	8,97	-34,77	66,89	7,94	Velocidade mínima adotada.
	16,99	-39,08	7,94	79,00	Velocidade máxima adotada.
	-54,37		1,52		Tempo máximo.
					Tempo mínimo.

	$\alpha_{f(\text{rot})}$	$f_{\text{c}(\text{rot})}$	$f_{\text{s}(\text{rot})}$	$t_{\text{c}(\text{rot})}$	$t_{\text{s}(\text{rot})}$	
	-1,10	20,09	66,91	66,91	7,94	Velocidade mínima adotada dos dados rotados.
	-39,08	78,84	9,32	9,32	79,00	Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

Tempo (min)	Dados medidos cm ³ /min	Philipps cm ³ /min	Kostikov cm ³ /min	Horton cm ³ /min
1,5	66,9	45,0	38,1	66,9
2,2	47,2	55,2	38,0	38,9
2,7	42,8	50,0	34,8	26,1
4,2	33,3	39,8	28,5	17,3
4,8	23,1	37,0	26,7	15,1
5,6	18,9	34,3	25,0	13,1
6,3	15,7	32,0	23,6	11,6
8,6	15,7	27,2	20,5	9,3
9,7	15,0	25,5	19,4	8,8
11,2	15,7	23,7	18,2	8,4
12,6	15,7	22,2	17,2	8,2
14,3	15,7	20,8	16,3	8,0
16,0	15,4	19,5	15,5	8,0
16,9	15,4	19,0	15,1	8,0
18,6	15,9	18,0	14,5	8,0
21,1	13,5	16,6	13,6	7,9
22,5	13,3	16,2	13,2	7,9
24,8	13,5	15,4	12,7	7,9
26,4	11,4	14,9	12,3	7,9
28,2	11,4	14,4	12,0	7,9
30,1	11,6	13,8	11,6	7,9
31,6	11,6	13,5	11,4	7,9
32,1	12,1	13,3	11,3	7,9
34,4	10,4	12,8	10,9	7,9
39,8	10,6	11,8	10,2	7,9
44,9	10,4	11,0	9,7	7,9
49,5	10,3	10,4	9,3	7,9
54,6	10,3	9,9	8,9	7,9
60,3	9,3	9,3	8,5	7,9
65,1	8,4	8,9	8,2	7,9
69,6	8,1	8,6	7,9	7,9
74,5	8,1	8,2	7,7	7,9
79,0	7,8	7,9	7,5	7,9

$$R^2 = 0,90 \quad 0,89 \quad 0,96 \quad 0,91 \quad 0,96 \quad 0,98 \quad 0,98$$



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

NÁVAR ; SYNNOTT , 2000.

Número de prova. 30

Fonte de dados.

Constantes

Philips

$f_1 = 203,8$

$\Sigma = 17,0$

Kostialkov

$K = 110,7$

$a = 0,74$

Horton

$b = 0,29$

Variáveis entropicas

$M_x = 8,04$

$f_0 = 92,58$

Velocidade mínima adotada.

$M_y = -29,92$

$f_5 = 27,01$

Velocidade máxima adotada.

$M_z = 14,22$

$f_8 = 104,75$

Tempo máximo.

$M_w = -51,98$

$t_0 = 1,82$

Tempo mínimo.

$\alpha(\text{rot}) = -1,95$

$f_0(\text{rot}) = 92,59$

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

$M_x(\text{rot}) = 19,31$

$f_5(\text{rot}) = 29,85$

Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

$M_y(\text{rot}) = -32,18$

$f_8(\text{rot}) = 103,79$

Tempo máximo dos dados rotados.

$M_w(\text{rot}) = -1,33$

Tempo mínimo dos dados rotados.

Valores simulados (mm/h)

Valores rotacionados a eixos

Entropia nos dois eixos

Entropia X no eixo X

Entropia Y no eixo Y

Entropia Z no eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

MODELOS ATUALMENTE UTILIZADOS

Dados medidos

Philips

Kostialkov

Horton

VALORES ENTROPOICOS APLICADOS AOS EIXOS

Dados medidos

Entropia aplicada ao eixo X

Entropia aplicada ao eixo Y

Entropia aplicada nos dois eixos

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

Entropia aplicada a eixo X

Entropia aplicada a eixo Y

Entropia aplicada a eixo Z

Entropia aplicada a todos os eixos

VALORES LÍMITES

$M_x = 8,04$

$f_0 = 92,58$

Velocidade mínima adotada.

$M_y = -29,92$

$f_5 = 27,01$

Velocidade máxima adotada.

$M_z = 14,22$

$f_8 = 104,75$

Tempo máximo.

$M_w = -51,98$

$t_0 = 1,82$

Tempo mínimo.

$\alpha(\text{rot}) = -1,95$

$f_0(\text{rot}) = 92,59$

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

$M_x(\text{rot}) = 19,31$

$f_5(\text{rot}) = 29,85$

Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

$M_y(\text{rot}) = -32,18$

$f_8(\text{rot}) = 103,79$

Tempo máximo dos dados rotados.

$t_0(\text{rot}) = -1,33$

Tempo mínimo dos dados rotados.

VALORES LÍMITES

$M_x = 8,04$

$f_0 = 92,58$

Velocidade mínima adotada.

$M_y = -29,92$

$f_5 = 27,01$

Velocidade máxima adotada.

$M_z = 14,22$

$f_8 = 104,75$

Tempo máximo.

$M_w = -51,98$

$t_0 = 1,82$

Tempo mínimo.

$\alpha(\text{rot}) = -1,95$

$f_0(\text{rot}) = 92,59$

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

$M_x(\text{rot}) = 19,31$

$f_5(\text{rot}) = 29,85$

Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

$M_y(\text{rot}) = -32,18$

$t_0(\text{rot}) = -1,33$

Tempo mínimo dos dados rotados.

$$R^2 = 0,93 \quad 0,87 \quad 0,95 \quad 0,91 \quad 0,95 \quad 0,98 \quad 0,98$$

VALORES LÍMITES

$M_x = 8,04$

$f_0 = 92,58$

Velocidade mínima adotada.

$M_y = -29,92$

$f_5 = 27,01$

Velocidade máxima adotada.

$M_z = 14,22$

$f_8 = 104,75$

Tempo máximo.

$M_w = -51,98$

$t_0 = 1,82$

Tempo mínimo.

$\alpha(\text{rot}) = -1,95$

$f_0(\text{rot}) = 92,59$

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

$M_x(\text{rot}) = 19,31$

$f_5(\text{rot}) = 29,85$

Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

$M_y(\text{rot}) = -32,18$

$t_0(\text{rot}) = -1,33$

Tempo mínimo dos dados rotados.

$\alpha(\text{rot}) = -1,95$

$f_0(\text{rot}) = 92,59$

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

$M_x(\text{rot}) = 19,31$

$f_5(\text{rot}) = 29,85$

Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

$M_y(\text{rot}) = -32,18$

$t_0(\text{rot}) = -1,33$

Tempo mínimo dos dados rotados.

$\alpha(\text{rot}) = -1,95$

$f_0(\text{rot}) = 92,59$

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

$M_x(\text{rot}) = 19,31$

$f_5(\text{rot}) = 29,85$

Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

$M_y(\text{rot}) = -32,18$

$t_0(\text{rot}) = -1,33$

Tempo mínimo dos dados rotados.

$\alpha(\text{rot}) = -1,95$

$f_0(\text{rot}) = 92,59$

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

$M_x(\text{rot}) = 19,31$

$f_5(\text{rot}) = 29,85$

Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

$M_y(\text{rot}) = -32,18$

$t_0(\text{rot}) = -1,33$

Tempo mínimo dos dados rotados.

VALORES LÍMITES

$M_x = 8,04$

$f_0 = 92,58$

Velocidade mínima adotada.

$M_y = -29,92$

$f_5 = 27,01$

Velocidade máxima adotada.

$M_z = 14,22$

$f_8 = 104,75$

Tempo máximo.

$M_w = -51,98$

$t_0 = 1,82$

Tempo mínimo.

$\alpha(\text{rot}) = -1,95$

$f_0(\text{rot}) = 92,59$

Velocidade

PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. NÁVAR ; SYNNOTT , 2000.

Número de prova. 31

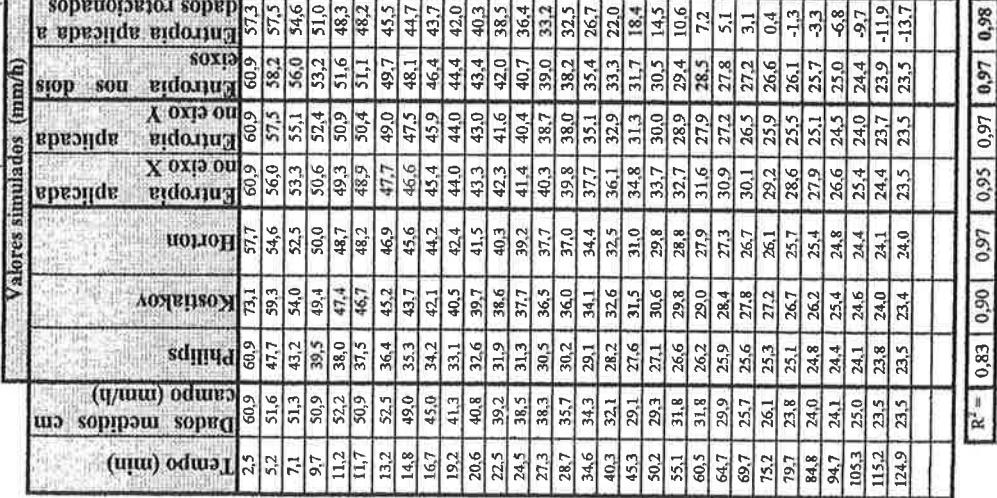
Constantes	
Philips	
$f_1 = 138,2$	$f_2 = 17,3$
Kostikov	
$K = 135,0$	$a = 0,71$
Horton	
$b = 0,04$	

Variáveis entrópicas

Valores limites

$M_x = 3,23$	$f_0 = 60,86$
$M_y = -4,43$	$f_s = 23,51$
$M_x = 8,58$	$t_s = 124,88$
$M_y = -6,37$	$t_0 = 2,52$

$\alpha(\text{rot}) = 16,82$	$f_0(\text{rot}) = 57,53$
$M_x(\text{rot}) = 50,22$	$f_s(\text{rot}) = -13,65$
$M_y(\text{rot}) = -2,83$	$t_s(\text{rot}) = 126,33$



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.
 Fonte de dados. NÁVAR; SYNNOTT, 2000.

Número de prova. 32

Constântes	
Phillips	
$f_1 = 125,5$	$f_2 = 30,5$
Kostiakov	
$K = 89,8$	$a = 0,84$
Horton	
$b = 0,11$	

Variáveis entrópicas

Valores limites

$M_K = 6,49$	$f_0 = 74,99$	Velocidade mínima adotada.
$M_Y = -13,64$	$f_S = 36,13$	Velocidade máxima adotada.
$M_X = 7,94$	$f_S = 124,59$	Tempo máximo.
$M_Y = -60,35$	$t_0 = 1,99$	Tempo mínimo.

$\alpha f(t) = -0,68$

$M_X(t) = 8,56$

$f_S(t) = 37,23$

$M_Y(t) = -52,22$

$f_S(t) = 124,15$

$t_0(t) = 1,10$

Tempo mínimo dos dados rotados.

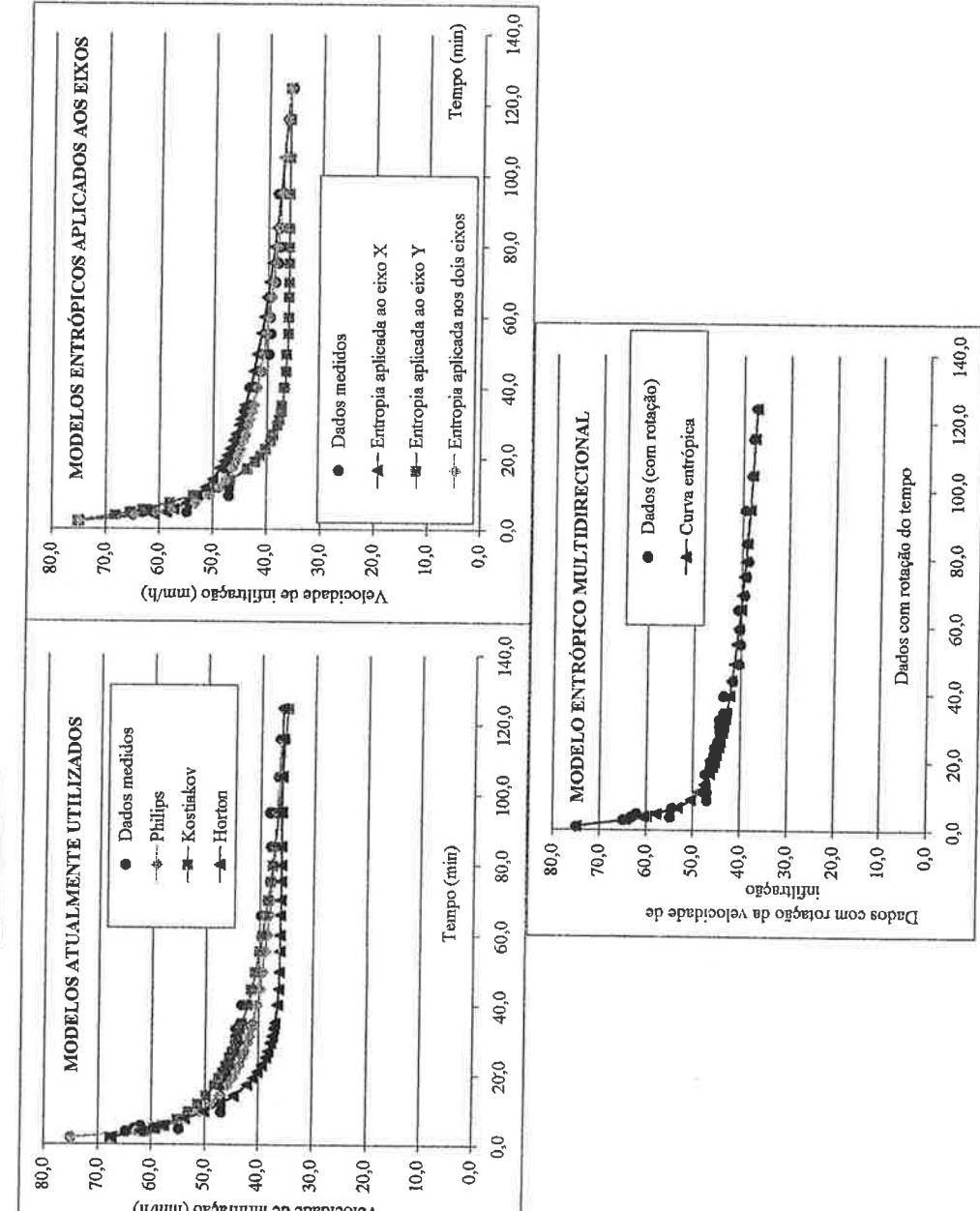
Tempo máximo dos dados rotados.

Tempo médio dos dados rotados.

Valores simulados (mm/h)

Tempo (min)	Dados medida	Entrópia X aplicada a dois eixos	Entrópia Y aplicada a dois eixos	Entrópia Z aplicada a dois eixos	Dados medida	Entrópia X aplicada ao eixo X	Entrópia Y aplicada ao eixo Y	Entrópia Z aplicada aos dois eixos	Dados medida
2,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0
3,8	64,8	62,9	61,3	61,9	61,0	68,2	64,5	64,4	64,4
4,6	63,2	59,9	59,4	59,7	58,8	65,4	60,7	60,7	60,7
5,4	62,0	57,5	57,8	57,6	57,3	62,9	57,7	57,8	57,8
4,7	54,8	59,6	59,2	59,5	58,7	65,1	60,3	60,0	60,0
7,2	53,9	55,2	53,8	54,8	56,1	53,4	53,4	53,4	53,4
9,3	46,9	51,1	53,0	50,1	52,9	53,5	50,6	50,5	50,5
11,6	46,9	48,9	51,2	47,0	51,3	49,7	48,8	48,7	48,7
13,9	47,1	47,3	49,8	44,6	50,0	46,7	47,6	47,6	47,6
17,0	47,1	45,7	48,2	42,2	48,6	43,6	46,4	46,5	46,5
19,0	46,2	45,9	47,4	41,0	47,9	42,2	45,8	45,9	45,9
20,7	46,2	44,3	46,7	40,2	47,3	41,2	45,3	45,5	45,5
22,7	45,5	43,7	46,1	39,4	46,7	40,2	44,8	45,0	45,0
24,9	45,2	43,1	45,4	38,7	46,1	39,3	44,3	44,6	44,6
26,6	44,5	42,7	44,9	38,2	45,7	38,7	44,0	44,3	44,3
29,2	44,0	42,1	44,3	37,7	45,1	38,1	43,5	43,8	43,8
30,9	44,2	41,8	43,9	37,4	44,8	37,8	43,2	43,6	43,6
33,2	44,2	41,4	43,4	37,2	44,3	37,4	42,8	43,2	43,2
34,9	43,3	41,1	43,0	37,0	44,0	37,2	42,6	43,0	43,0
40,0	43,3	40,4	42,1	36,6	43,1	36,7	41,9	42,4	42,4
44,5	41,1	39,9	41,4	36,4	42,5	36,5	41,3	41,9	41,9
49,3	39,7	39,4	40,7	36,3	41,8	36,3	40,8	41,4	41,4
53,3	39,5	38,9	40,0	36,2	41,1	36,2	40,2	40,9	40,9
59,8	39,7	38,6	39,5	36,2	40,6	36,2	39,8	40,5	40,5
65,5	39,8	38,3	38,9	36,2	40,1	36,2	39,3	40,1	40,1
69,7	38,7	38,0	38,5	36,1	39,7	36,1	39,0	39,8	39,8
75,1	38,2	37,7	38,1	36,1	39,2	36,1	38,7	39,5	39,5
79,7	37,7	37,5	37,7	36,1	38,9	36,1	38,4	39,2	39,2
85,1	38,1	37,3	37,4	36,1	38,5	36,1	38,0	38,9	38,9
94,8	38,3	36,9	36,7	36,1	37,8	36,1	37,5	38,5	38,5
105,0	36,8	36,6	36,1	37,2	36,1	37,0	38,0		
115,8	36,5	36,3	35,6	36,1	36,6	36,1	37,6		
124,6	35,8	36,1	35,2	36,1	36,1	36,1	37,2		

$$R^2 = 0,96 \quad 0,93 \quad 0,90 \quad 0,95 \quad 0,90 \quad 0,97 \quad 0,97$$



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. NÁVAR ; SYNNOTT , 2000.

Número de prova. 33

Constantes

Philips

$f_1 = 1.431$

$E_2 = 98,8$

Kostikov

$K = 783,7$

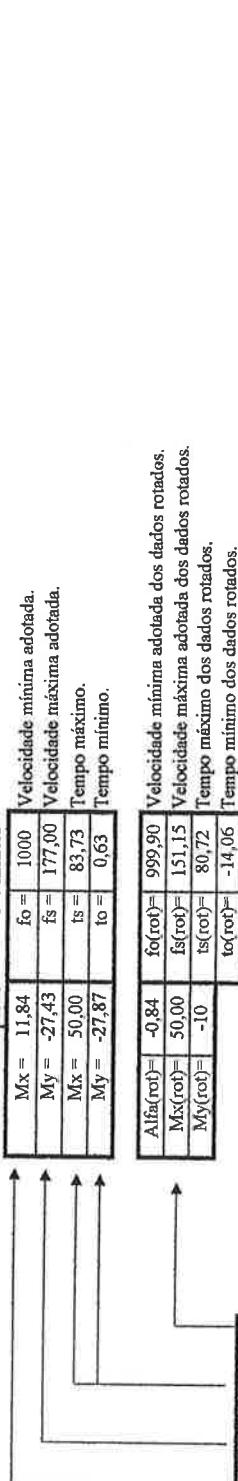
$a = 0,70$

Horton

$b = 0,33$

Variáveis entropícas

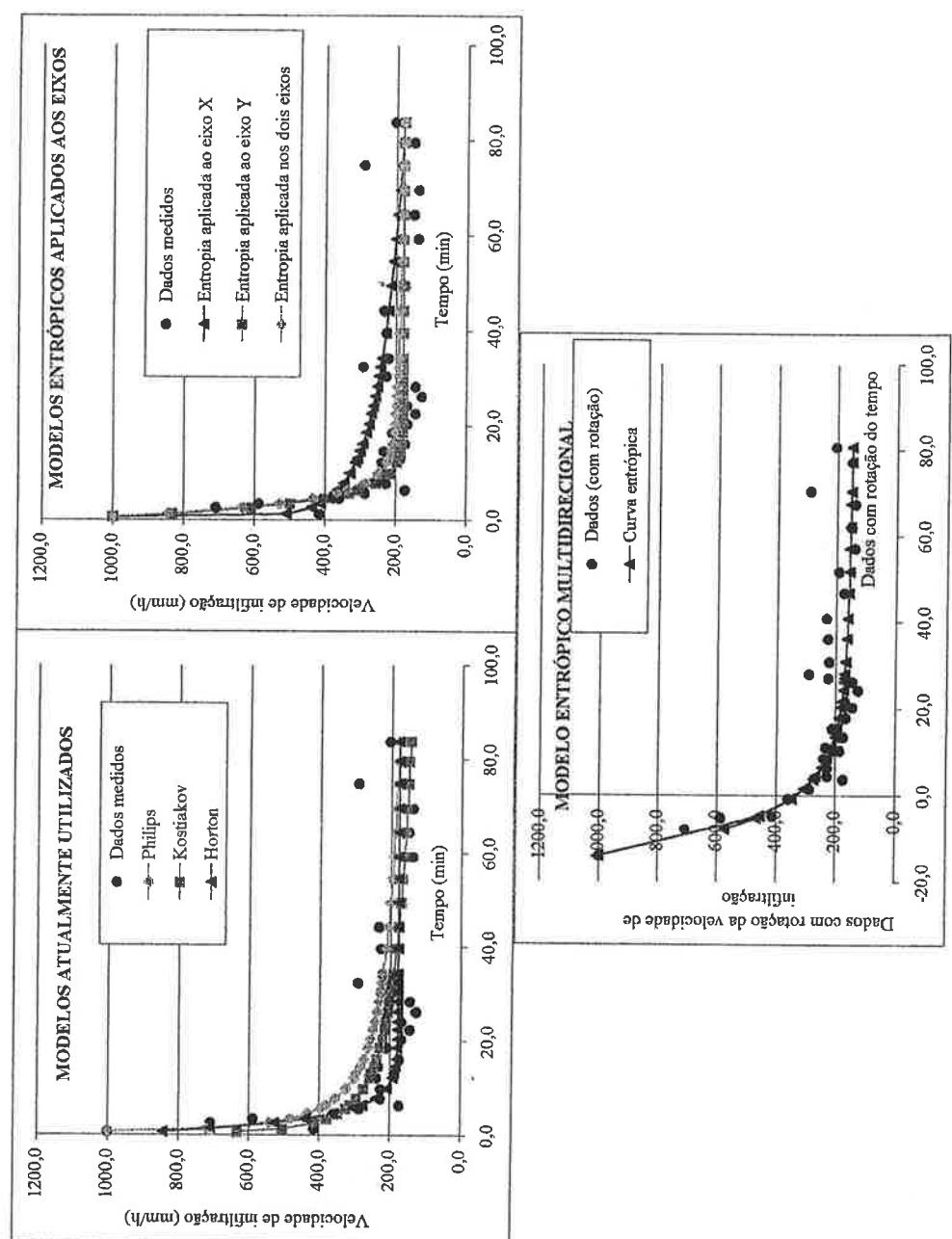
Valores limites



Valores simulados (mm/h)

Tempo (min)	Dados medidas em campo (mm/h)	Horton	Kostikov	Philips
0,6	1000,0	630,3	816,5	1000,0
1,3	414,0	719,1	503,8	709,3
2,6	541,6	411,6	527,0	436,7
3,5	598,0	481,2	376,9	438,5
4,6	366,0	433,1	347,7	369,6
5,7	397,9	325,3	303,4	371,1
6,4	174,0	382,0	314,8	278,8
7,8	228,0	354,9	296,4	240,9
9,9	228,0	326,2	276,0	209,1
12,2	249,0	303,3	259,0	191,9
13,2	186,0	296,0	253,4	188,0
14,6	234,0	286,2	245,7	183,9
16,2	174,0	276,6	238,1	181,1
18,5	210,0	265,0	228,7	178,9
20,4	168,0	257,2	222,2	178,0
22,5	144,0	249,7	215,8	177,5
24,1	168,0	244,4	211,3	177,3
26,2	126,0	238,5	208,1	177,2
28,3	144,0	233,2	201,4	177,1
30,5	228,0	228,4	197,9	177,0
32,4	294,0	224,6	193,5	177,0
34,2	222,0	221,1	190,3	177,0
36,6	228,0	212,5	182,2	177,0
44,3	234,0	206,4	176,2	177,0
49,4	174,0	209,6	170,5	177,0
54,5	192,0	193,7	165,5	177,0
59,2	138,0	191,8	161,5	177,0
64,3	150,0	188,0	157,5	177,0
69,5	138,0	184,7	153,9	177,0
74,7	294,0	181,6	150,6	177,0
79,5	150,0	179,1	147,8	177,0
83,7	204,0	177,0	145,5	177,0

$$R^2 = 0,76 \quad 0,71 \quad 0,78 \quad 0,75 \quad 0,78 \quad 0,78 \quad 0,90$$



MODELOS ENTROPÍCOS APLICADOS AOS EIXOS

MODELOS ATUALMENTE UTILIZADOS

MODELO ENTROPÍCICO MULTIDIRECIONAL

Alfa(rot)= -0,84
Mix(rot)= 50,00
My(rot)= -10

fs(rot)= 999,90
fs(rot)= 151,15
ts(rot)= 80,72
ts(rot)= -14,06

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.
Velocidade máxima adotada dos dados rotados.
Tempo máximo dos dados rotados.
Tempo mínimo dos dados rotados.

Velocidade de infiltração (mm/h)

Tempo (min)

Velocidade de infiltração (mm/h)

Tempo (min)

Velocidade de infiltração (mm/h)

Tempo (min)

Dados medidos

Entropia aplicada ao eixo X

Entropia aplicada ao eixo Y

Entropia aplicada nos dois eixos

• Dados medidos

—▲— Entropia aplicada ao eixo X

—■— Entropia aplicada ao eixo Y

—×— Entropia aplicada nos dois eixos

• Dados medidos

—▲— Philips

—■— Kostikov

—▲— Horton

• Dados medidos

—▲— Entropia aplicada a dados rotacionados

—■— Entropia aplicada a dados rotacionados

—×— Entropia aplicada a dados rotacionados

• Dados medidos

—▲— Dados com rotação da velocidade de infiltração

—■— Curva entropica

—×— Dados com rotação do tempo

• Dados medidos

—▲— Dados (com rotação)

—■— Curva entropica

—×— Dados com rotação do tempo

PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados.

NÁVAR ; SYNNOTT , 2000.

Número de prova.

34

Constantes

Phillips

$f_1 = 1666,8$

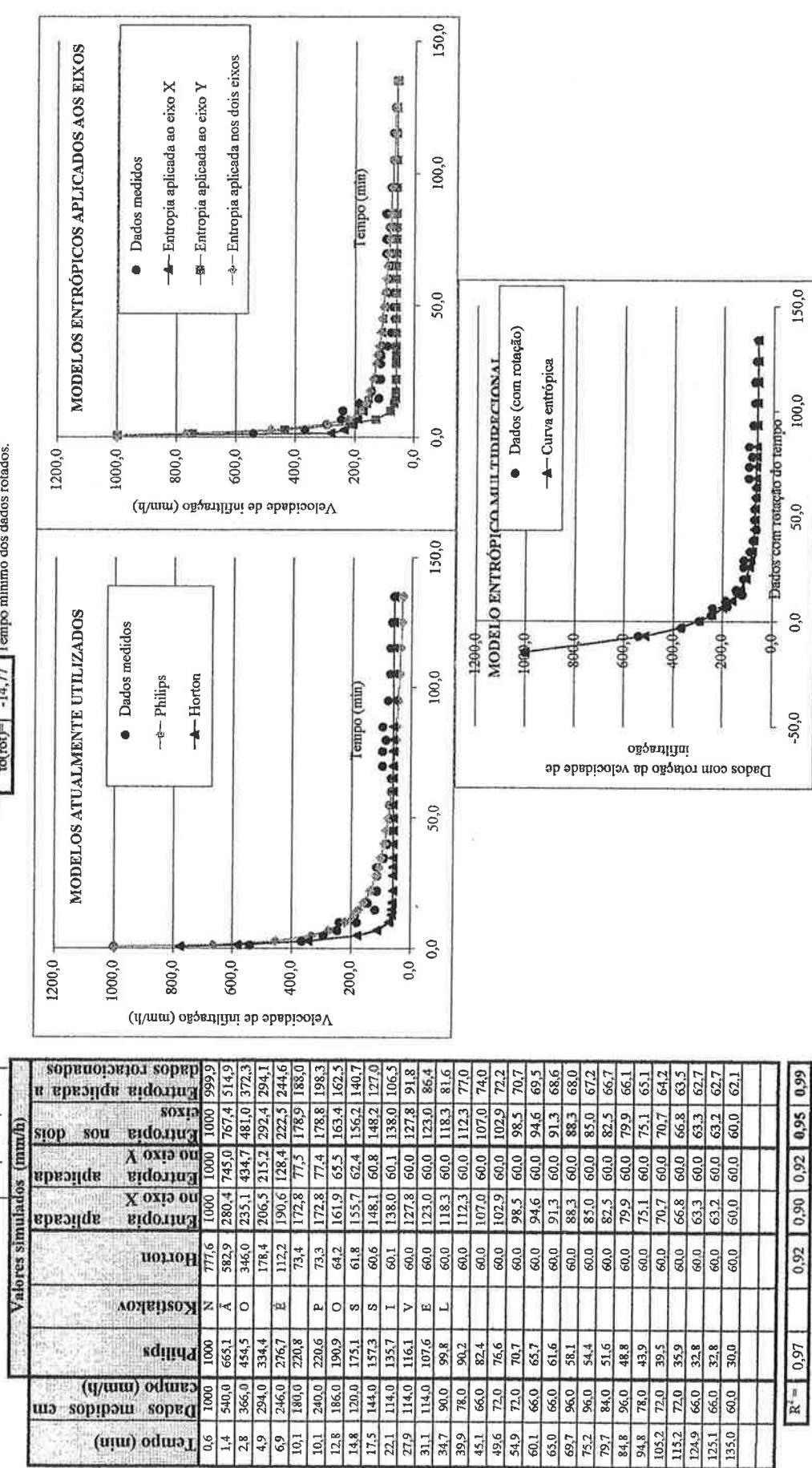
$f_2 = -41,7$

$b = 0,42$

Kostiakov

Horton

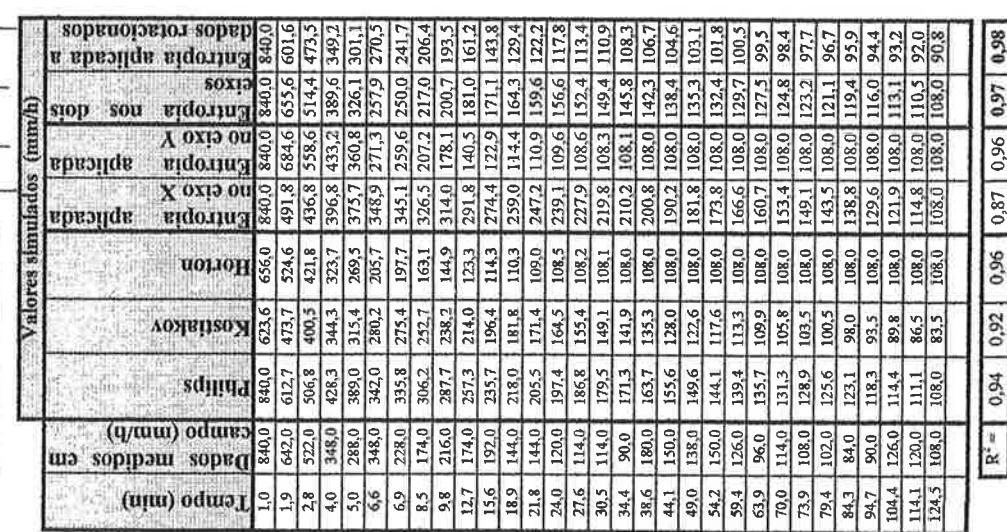
Velocidade de infiltração (mm/h)



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.
Fonte de dados. NÁVAR , SYNOTT , 2000.

35

Constantes	
Philips	
$f_1 = 1.563,5$	$f_2 = 37,9$
Kostikov	



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. NÁVAR ; SYNNOTT , 2000.

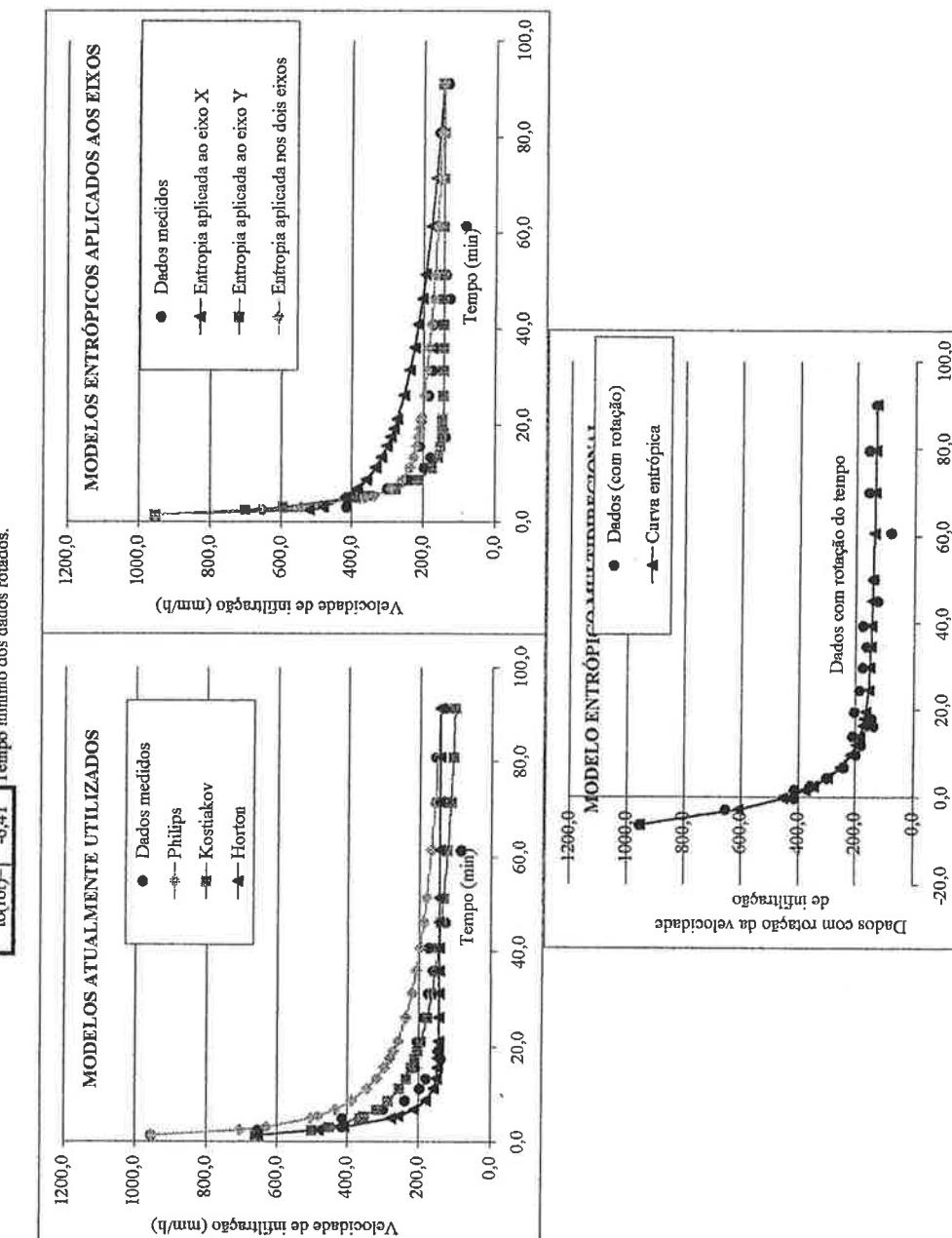
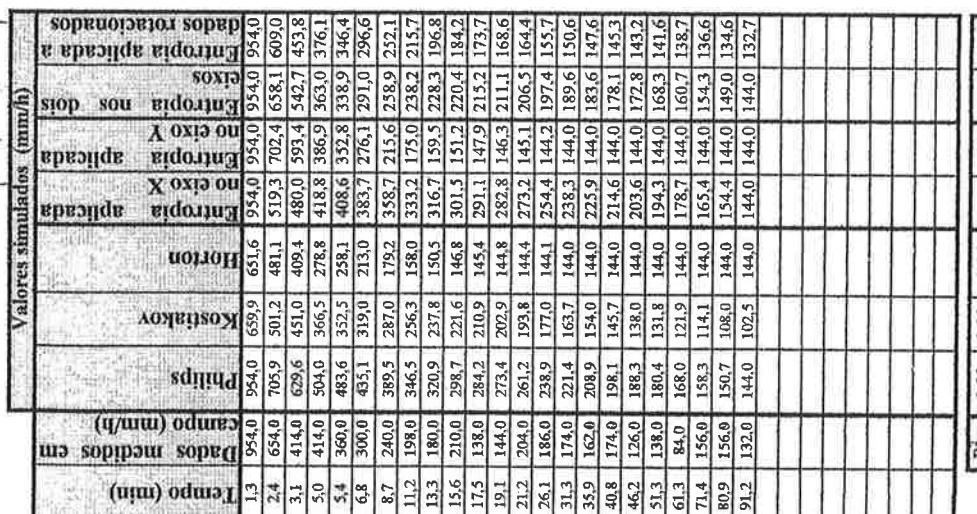
Número de prova. 36

Constantes	
Philips	
$f_1 = 2088,4$	$\Omega = 34,6$
Kostikov	
$K = 1311$	$a = 0,56$
Horton	
$b = 0,36$	

Variáveis entropicas

Valores limites

$M_x = 9,43$	$f_0 = 954,00$	Velocidade mínima adotada.
$M_y = -30,00$	$f_s = 144,00$	Velocidade máxima adotada.
$M_x = 19,51$	$t_s = 91,16$	Tempo máximo.
$M_y = -51,37$	$t_0 = 1,29$	Tempo mínimo.

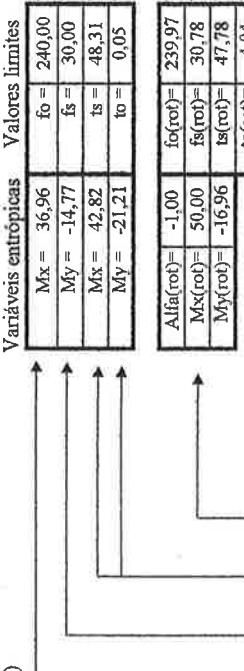


PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

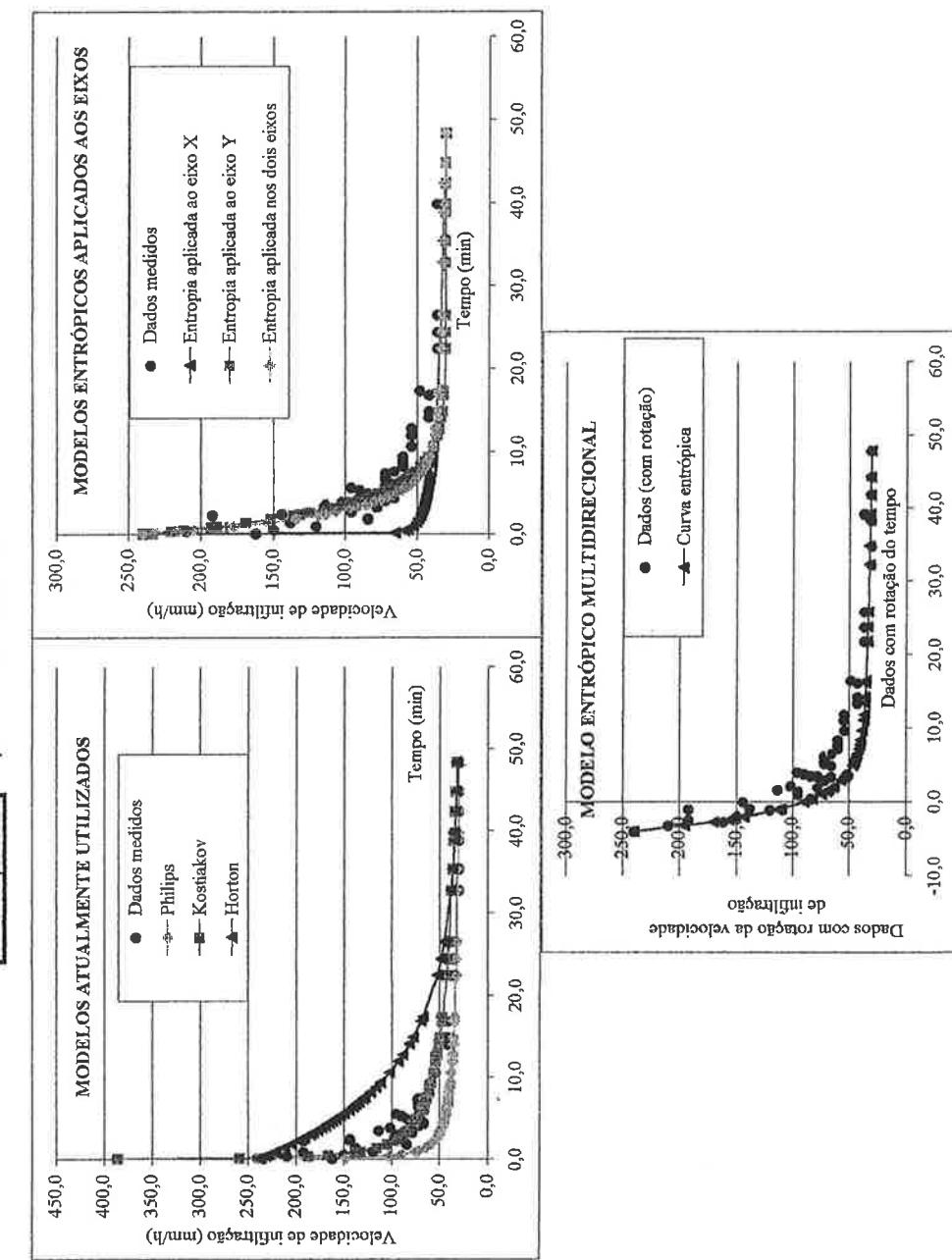
Fonte de dados Email (Central)

Email (excel)

<i>Constituantes</i>	<i>Phillips</i>	<i>Kastilskay</i>
$f_1 = 97,0$	$f_2 = 23,0$	
$K = 204,80$		$a = 0,64$
	<i>Horton</i>	$b = 0,10$



		Temps (min)	Dades medides en camp (mm/h)	Kostaloy	Hortom	Empotria X	Empotria Y	Entropia aplicada	Entropia aplicada a dades rotacionades
		Valors simulados							
R = 0.71	0.1	0.59	0.68	0.64	0.77	0.78	0.79		
0.2	162.0	240.0	383.7	239.0	240.0	240.0	240.0	170.1	
0.3	148.3	240.0	259.5	236.9	65.1	233.7	237.3	240.0	
0.4	210.0	102.8	187.4	232.4	58.5	220.4	215.7	195.6	
0.5	150.0	90.3	165.8	229.4	56.3	211.9	205.1	142.6	
0.6	192.0	74.7	131.1	222.3	53.1	192.9	182.0	156.9	
0.7	120.0	72.5	132.9	220.8	52.6	189.0	177.3	113.1	
0.8	138.0	64.0	116.0	212.6	50.3	169.0	153.9	109.9	
0.9	84.0	58.8	105.1	204.7	48.7	151.5	134.5	82.6	
1.0	192.0	55.2	97.3	197.2	47.5	136.2	118.3	111.5	
1.1	144.0	54.1	95.1	194.7	47.1	131.4	113.4	90.3	
1.2	96.0	52.8	92.1	191.1	46.6	124.8	106.8	74.2	
1.3	96.0	50.9	87.9	185.3	45.8	114.7	97.0	69.8	
1.4	78.0	50.0	85.7	181.9	45.4	109.2	91.8	64.3	
1.5	114.0	48.8	83.1	177.5	44.9	102.5	85.7	67.7	
1.6	102.0	47.8	80.7	173.2	44.5	96.1	80.1	62.8	
1.7	72.0	46.9	78.6	169.1	44.0	90.5	75.0	56.5	
1.8	66.0	46.1	76.6	165.0	43.6	85.2	70.9	54.0	
1.9	78.0	45.4	74.9	161.1	43.3	80.5	67.1	53.5	
2.0	84.0	44.9	73.7	158.3	43.0	77.2	64.6	52.9	
2.1	22.4	36.0	33.3	42.7	52.4	34.4	30.2	33.8	33.7
2.2	24.4	36.0	32.8	41.4	48.4	33.9	30.1	33.4	33.4
2.3	26.4	36.0	32.5	40.2	44.9	33.4	30.1	33.0	33.1
2.4	32.8	30.0	31.5	37.2	37.9	32.2	30.0	31.9	32.3
2.5	35.4	30.0	31.2	36.2	31.8	30.0	31.5	32.0	
2.6	38.8	30.0	30.8	35.0	34.3	31.2	30.0	31.1	
2.7	39.8	36.0	36.7	34.7	33.9	31.1	30.0	31.0	31.5
2.8	42.3	30.0	30.5	33.9	33.0	30.8	30.0	30.6	31.3
2.9	44.8	30.0	30.3	33.2	32.4	30.4	30.0	30.4	31.1
3.0	48.3	30.0	30.0	32.3	31.7	30.0	30.0	30.0	30.8



Apêndice B

PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. ESALQ

38

Número de prova.

Constantes

Philips

$f_1 = 445,6$

$\Omega = -9,8$

Kostikov

$K = 580,6$

$a = 0,36$

Horton

$b = 0,13$

Variáveis entropícas

Valores limites

$M_x = 9,25$

$f_0 = 91,26$

$M_y = -14,60$

$f_s = 11,03$

$M_x = 9,26$

$t_s = 114,94$

$M_y = -100,00$

$t_0 = 4,87$

$\alpha(\text{rot}) = 1,46$

$f_0(\text{rot}) = 91,11$

$M_x(\text{rot}) = 8,94$

$f_s(\text{rot}) = 8,10$

$M_y(\text{rot}) = -100,00$

$t_s(\text{rot}) = 115,18$

$t_0(\text{rot}) = 7,19$

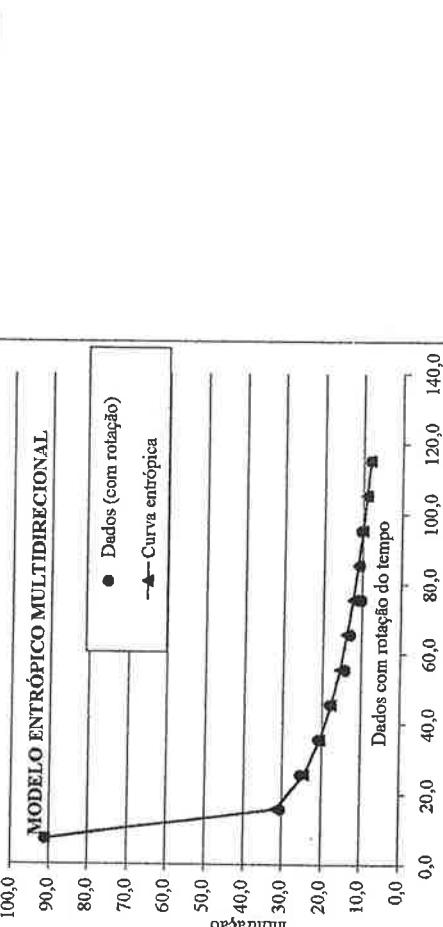
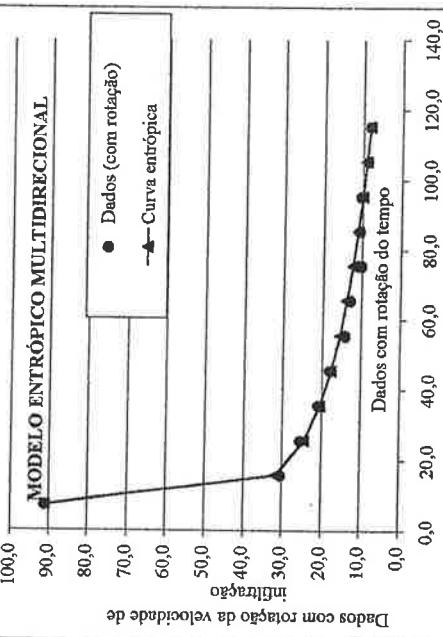
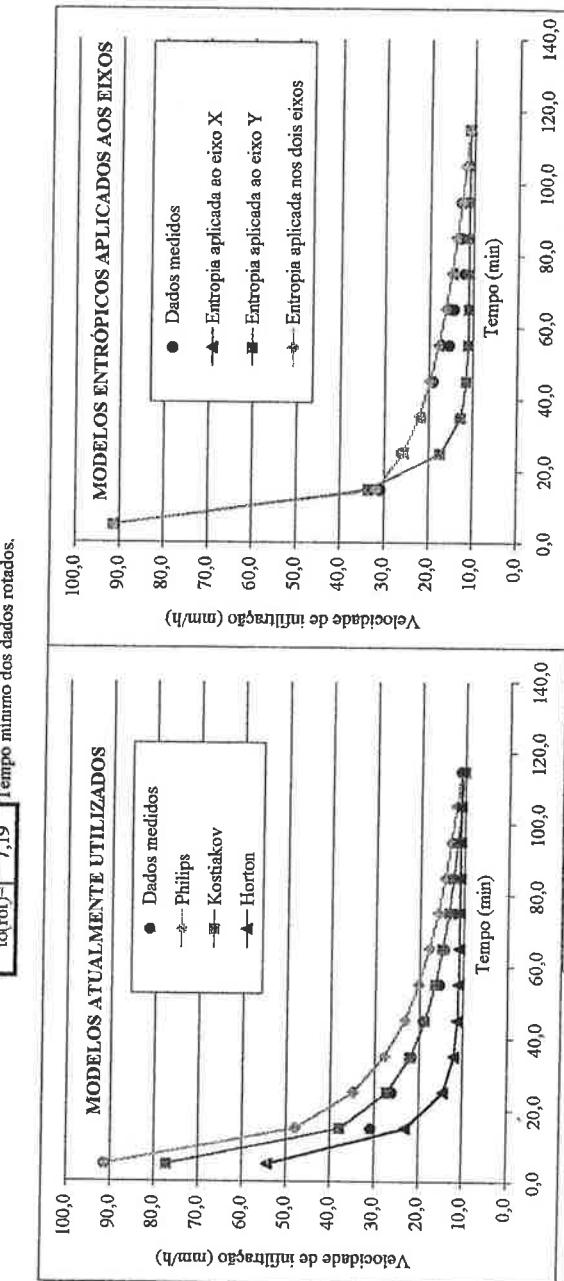
Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

Tempo máximo dos dados rotados.

Tempo mínimo dos dados rotados.

Tempo (min)	Dados com rotação da velocidade de infiltração (mm/h)			
	Phillips	Horton	Kostikov	Philips
0,0	90,0	90,0	90,0	90,0
10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0



$$R^2 = 0,95 \quad 0,97 \quad 0,97 \quad 1,00 \quad 0,97 \quad 1,00 \quad 1,00$$

PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. ESALQ

ESALQ

30

Glossary

Número d

63

1

TARDI

DOCUMENT

二

Vestíčko zemědělského 1

Values

卷之三

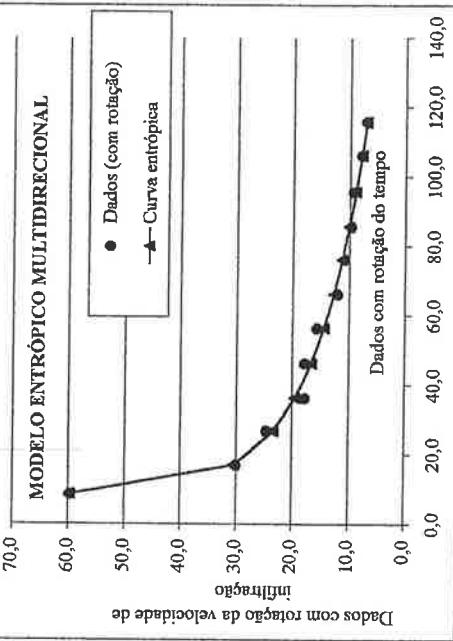
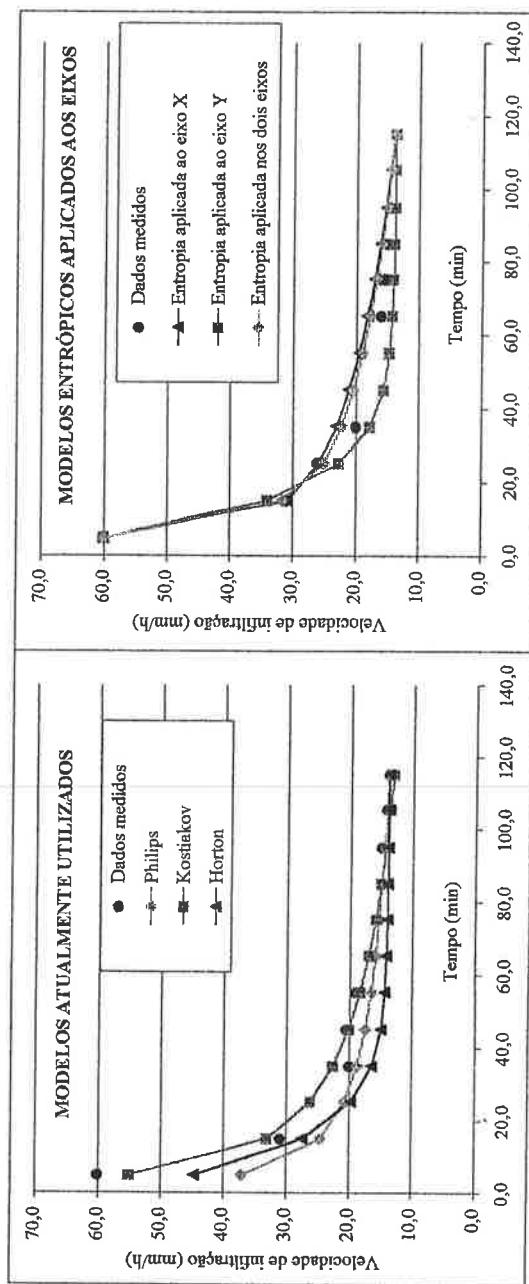
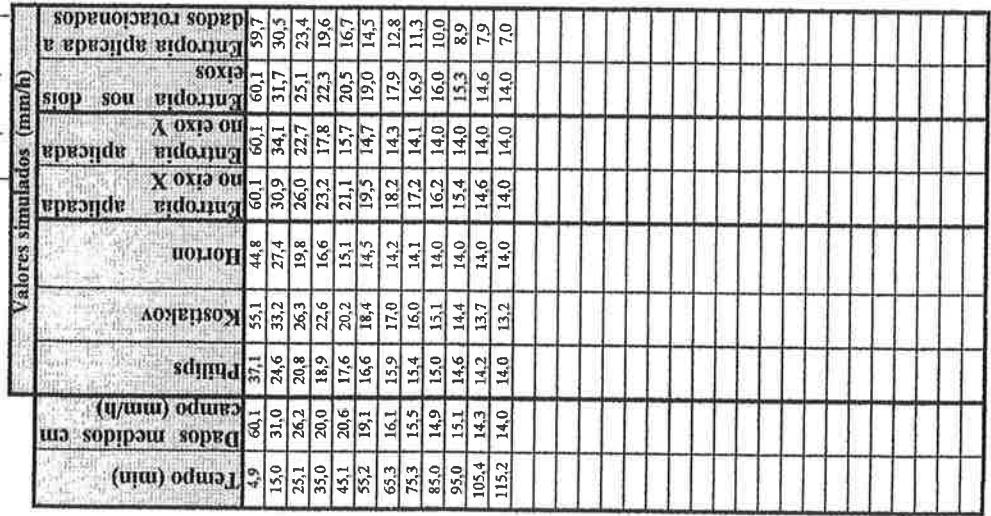
Le prova 39

Número 0

ESALQ

Número d

Constants	
PhBrige	
$\Omega = 128.9$	$\Omega = 8.0$
Kostalkov	
$K = 207.0$	$a = 0.55$
Horton	
$b = 0.08$	



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. ESALQ Q 40

Número de prova.

Constantes

Philips

$f_1 = 456,3$

$f_2 = -8,1$

Kostakoy

$K = 1842$

$a = 0,27$

Horton

$b = 0,13$

Variáveis entrópicas

Valores limites

$M_K = 9,66$	$f_0 = 173,64$
$M_Y = -15,38$	$f_S = 13,11$
$M_K = 10,02$	$t_S = 115,16$
$M_Y = -45,80$	$t_0 = 5,05$

$Af(x)rot = -3,74$

$Mx(rot) = 11,02$

$My(rot) = -17,63$

$fo(rot) = 173,60$

$fs(rot) = 20,59$

$ts(rot) = 114,06$

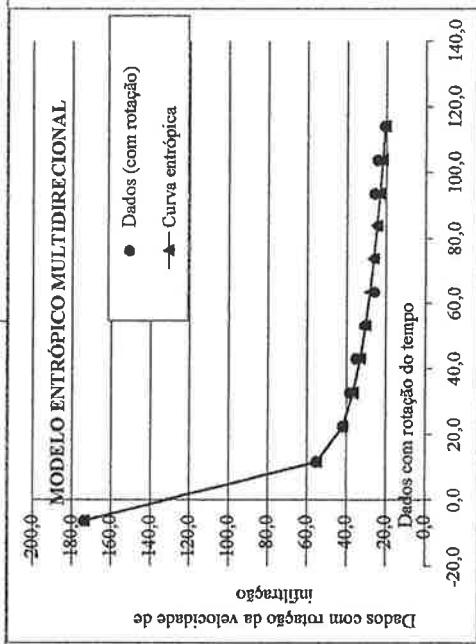
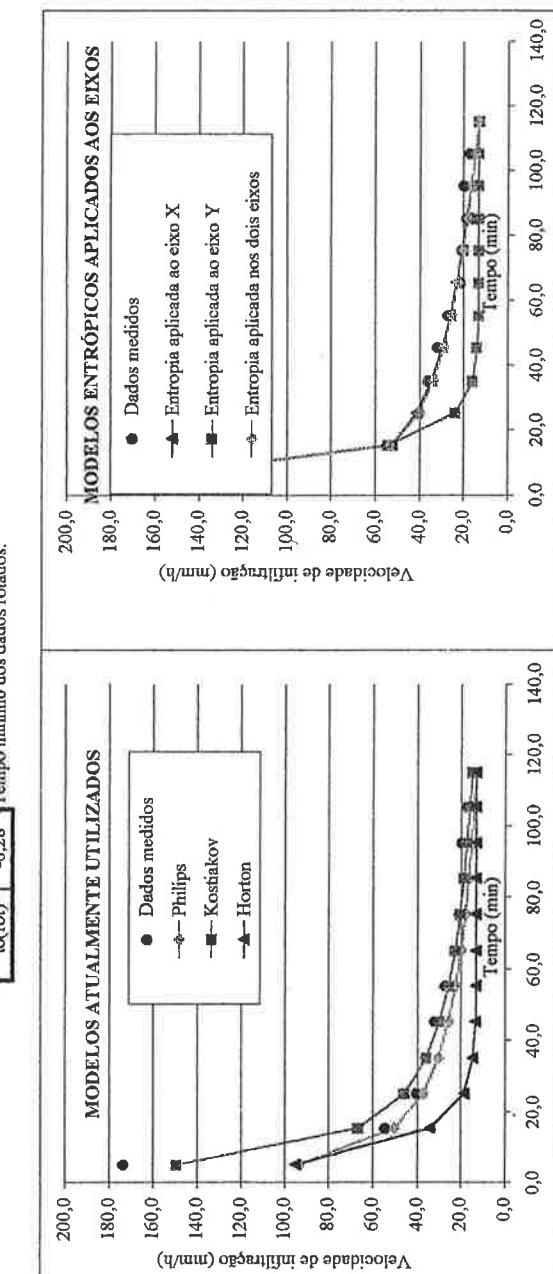
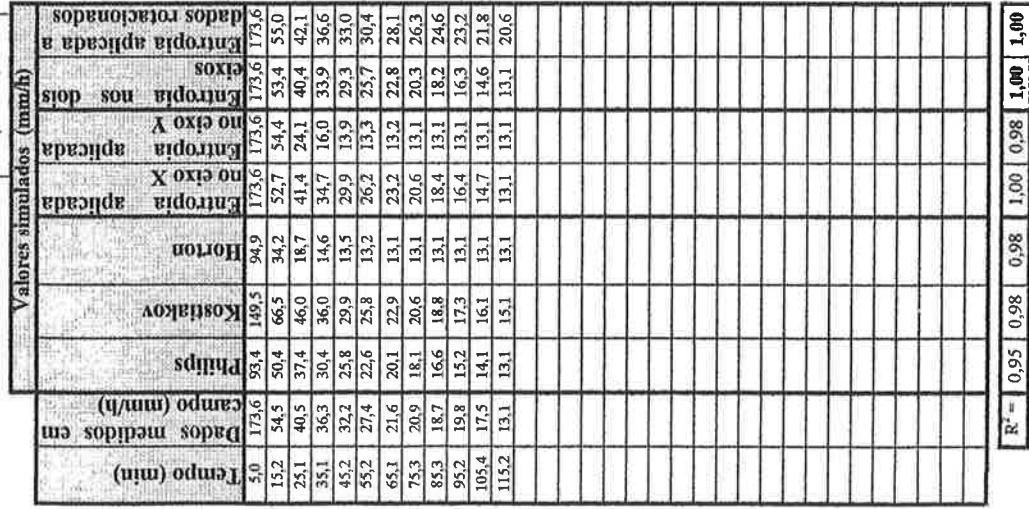
$to(rot) = -6,28$

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

Tempo máximo dos dados rotados.

Tempo mínimo dos dados rotados.



$$R^2 = 0,95 \quad 0,98 \quad 0,98 \quad 1,00 \quad 0,98 \quad 1,00$$

PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. ESALQ

Número de prova. 41

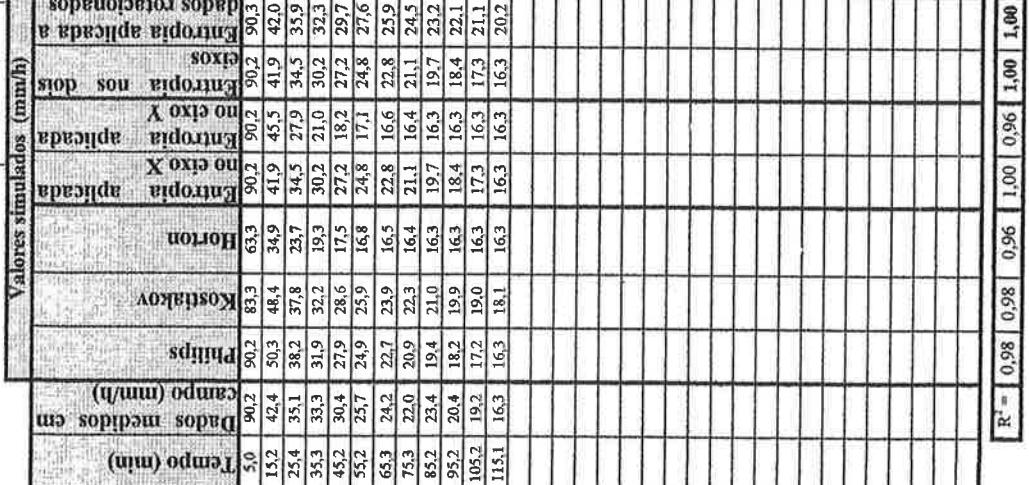
Constaates	
Philips	
$f_1 = 417,0$	$D = -3,1$
Kostikov	
$K = 353,1$	$a = 0,51$
Horton	
$b = 0,09$	

Variáveis entrópicas

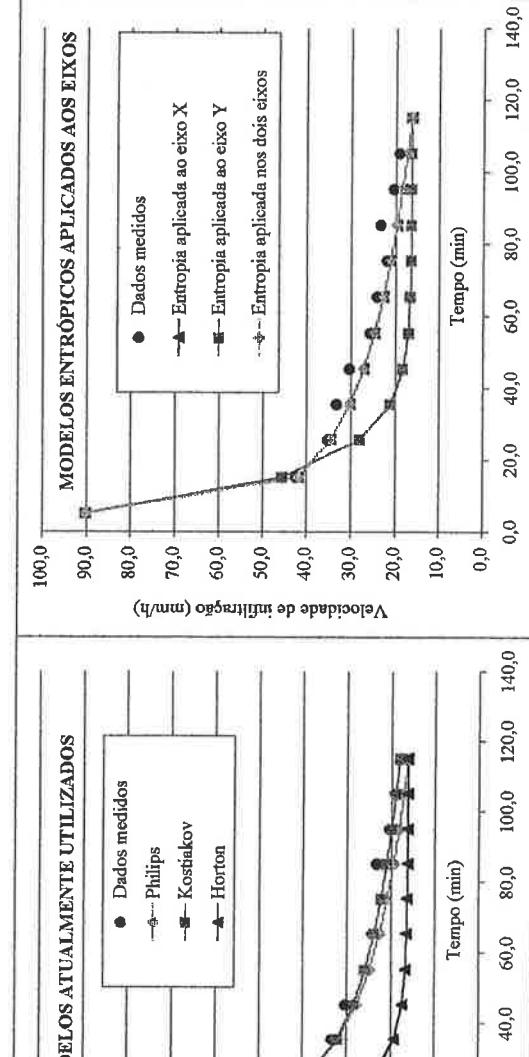
Valores limites

$Mx = 6,82$	$f_0 = 90,18$	Velocidade mínima adotada.
$My = -10,44$	$f_3 = 16,28$	Velocidade máxima adotada.
$Mx = 6,82$	$t_3 = 115,13$	Tempo máximo.
$My = -100,00$	$t_0 = 4,99$	Tempo mínimo.

$\alpha_{fif}(rot) = -1,97$	$f_0(rot) = 90,30$	Velocidade mínima adotada dos dados rotados.
$Mx(rot) = 7,23$	$f_3(rot) = 20,23$	Velocidade máxima adotada dos dados rotados.
$My(rot) = -67,75$	$t_3(rot) = 114,50$	Tempo máximo dos dados rotados.
	$t_0(rot) = 1,39$	Tempo mínimo dos dados rotados.



$$R^2 = 0,98 \quad 0,98 \quad 0,96 \quad 1,00 \quad 1,00 \quad 1,00$$



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. ESALQ

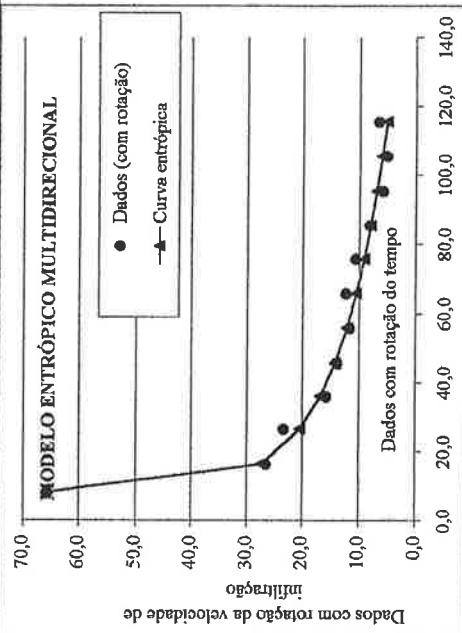
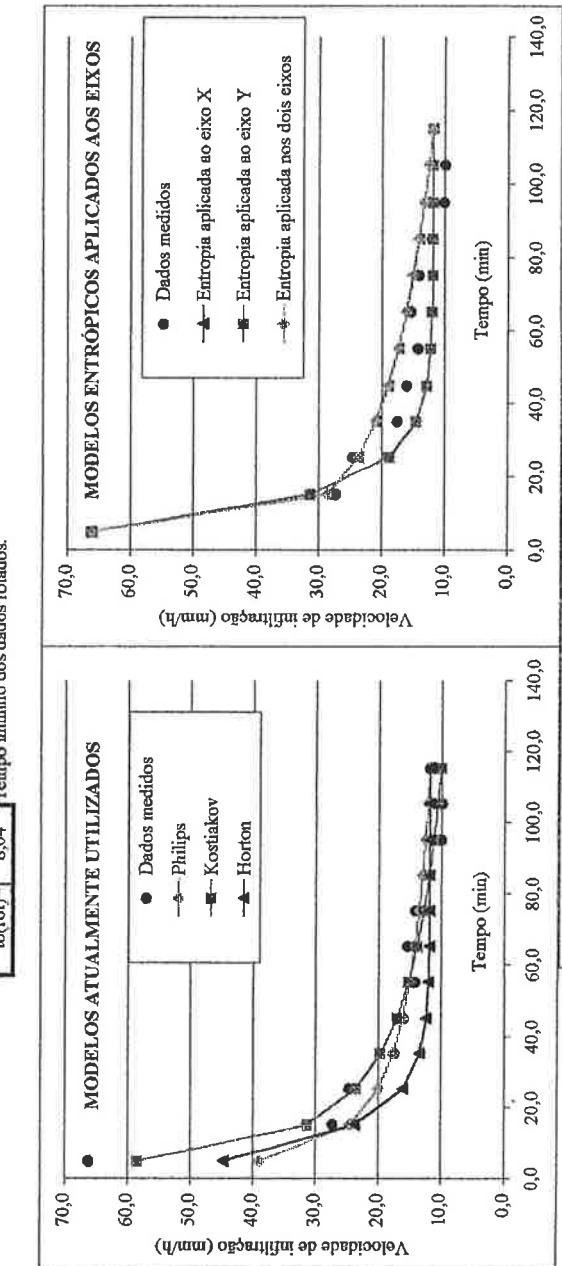
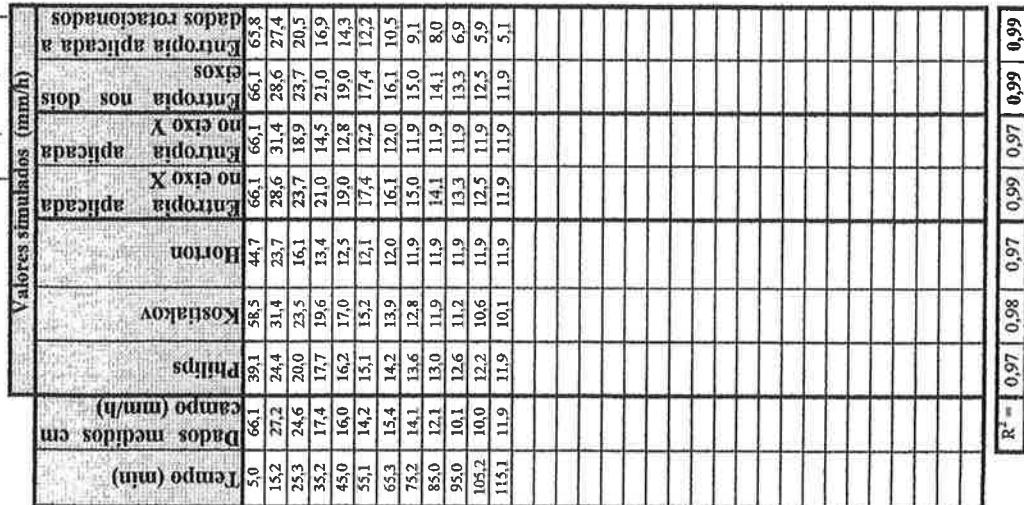
42

Constantes	
Philips	
$f_1 = 153,3$	$D = 4,7$
Kostakov	
$K = 327,6$	$a = 0,44$
Horton	
$b = 0,10$	

Variáveis entrópicas

$M_K = 7,71$	$f_0 = 66,13$	Velocidade mínima adotada.
$M_y = -11,60$	$f_s = 11,83$	Velocidade máxima adotada.
$M_K = 7,72$	$t_s = 115,10$	Tempo máximo.
$M_y = -77,91$	$t_0 = 4,99$	Tempo mínimo.

$\text{Alfa(rot)} = 2,65$	$f_0(rot) = 65,83$	Velocidade mínima adotada dos dados rotados.
$M_K(rot) = 6,94$	$f_s(rot) = 5,09$	Velocidade máxima adotada dos dados rotados.
$M_y(rot) = -271,29$	$t_s(rot) = 115,53$	Tempo máximo dos dados rotados.
	$t_0(rot) = 8,04$	Tempo mínimo dos dados rotados.



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

ESALQ

43

Fonte de dados.

Número de prova.

Constantes

Philipps

$f_1 = 197,8$

$\Sigma = 5,5$

Kostjakov

$K = 390,1$

$a = 0,31$

Horton

$b = 0,09$

Variáveis entropícas

Valores limites

$M_x = 6,75$

$M_y = -10,21$

$f_0 = 39,26$

$f_s = 3,77$

Velocidade mínima adotada.

$M_x = 6,80$

$M_y = 6,66$

$f_s = 114,84$

Velocidade máxima adotada.

$t_s = 4,89$

Tempo máximo.

$t_0 = 4,89$

Tempo mínimo.

$\alpha(\text{rot}) = 2,19$

$M_x(\text{rot}) = 5,79$

$f_0(\text{rot}) = 39,05$

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

$M_y(\text{rot}) = -164,51$

$f_s(\text{rot}) = -0,61$

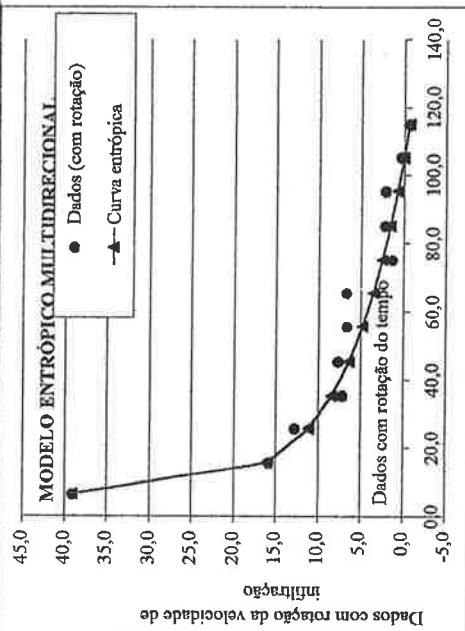
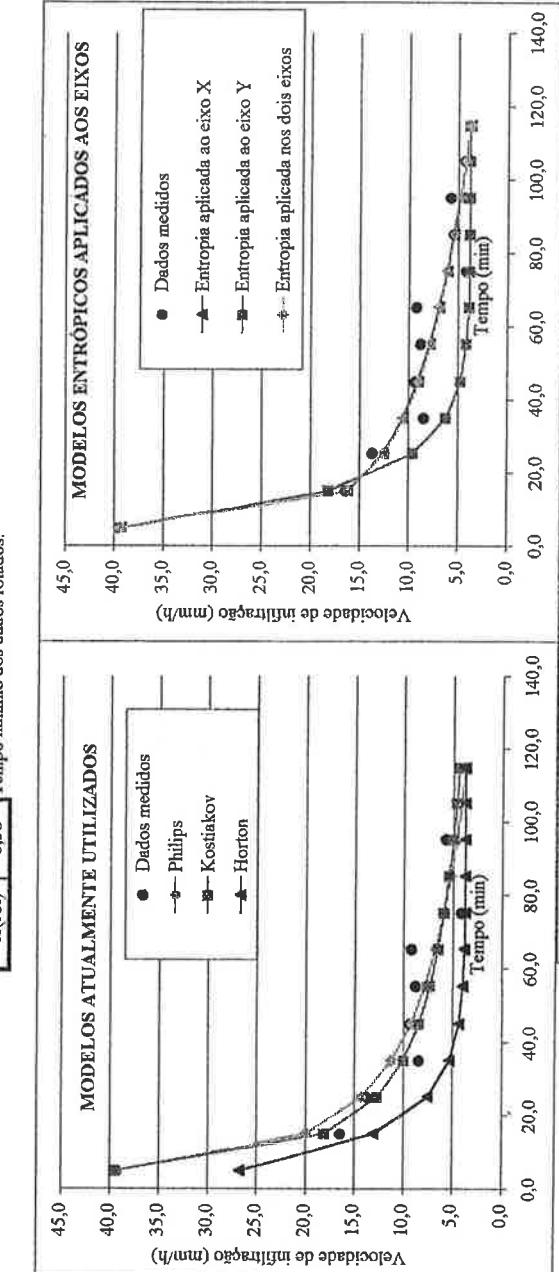
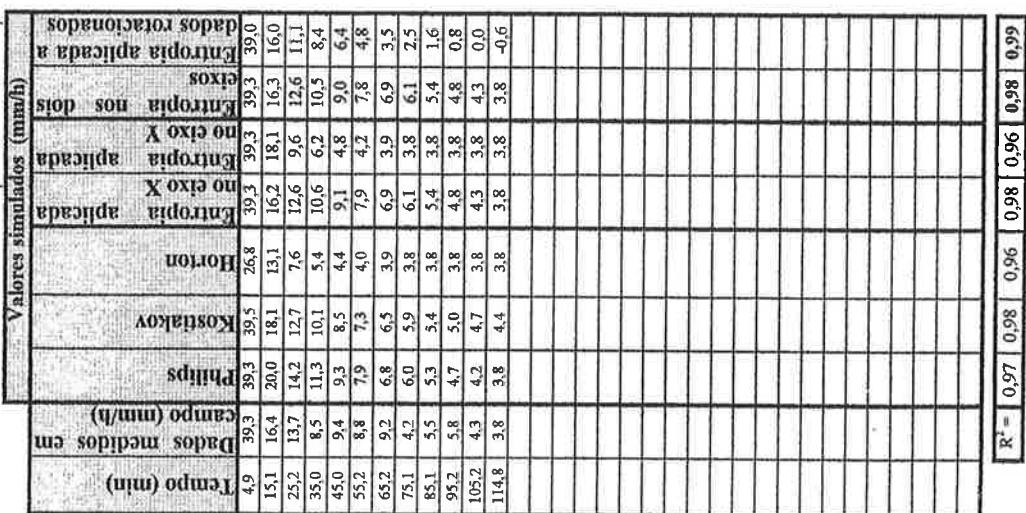
Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

$t_s(\text{rot}) = 114,90$

Tempo máximo dos dados rotados.

$t_0(\text{rot}) = 6,38$

Tempo mínimo dos dados rotados.



PLANILHA #1 C Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. **ESALQ**

Número de prova. **45**

Constantes

Philips	
$f_1 = 972,3$	$f_2 = -37,3$
Kostitakov	
$K = 18280$	$a = 0,03$

Horton

$b = 0,17$

Variáveis entrópicas

Valores limites

$M_x = 14,79$	$f_0(rot) = 175,79$
$M_y = -19,94$	$f_s = 7,99$
$M_x = 19,08$	$t_s = 115,26$
$M_y = -31,67$	$t_0 = 5,21$

Alfa(rot)= 0,00

$M_x(rot) = 19,08$

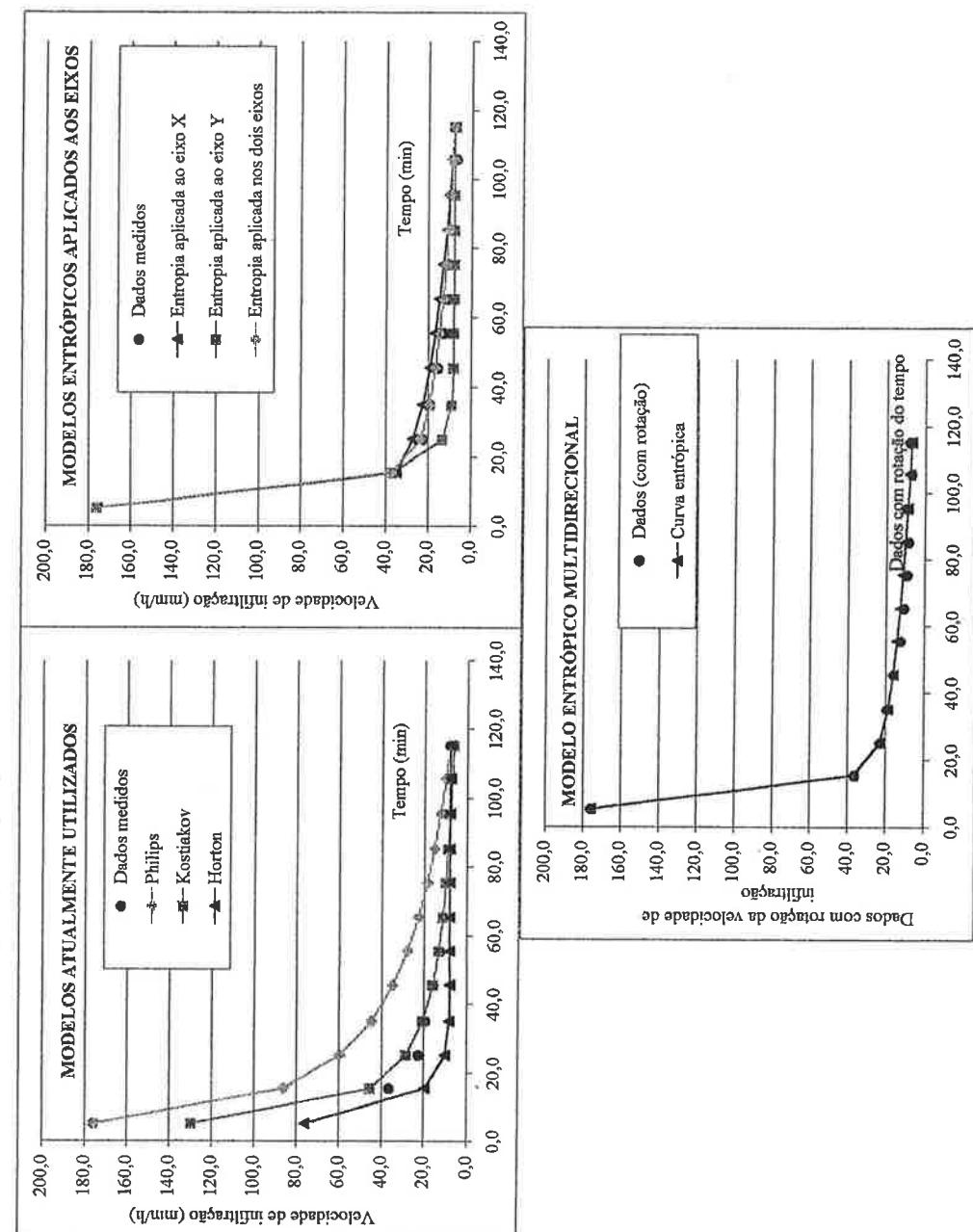
$M_y(rot) = -31,68$

$f_0(rot) = 175,79$ Velocidade mínima adotada dos dados rotados.
 $f_s(rot) = 7,21$ Velocidade máxima adotada dos dados rotados.
 $t_s(rot) = 115,26$ Tempo máximo dos dados rotados.
 $t_0(rot) = 5,21$ Tempo mínimo dos dados rotados.

Valores simulados (mm/h)

Tempo (min)	Dados medidas em campo (mm/h)	Kostitakov		Horton		Entrópica aplicada nos dois eixos		Entrópica no eixo Y		Entrópica no eixo X		Dados medidos		
		Entrópica aplicada a cada eixo	Entrópica aplicada a ambos os eixos	Entrópica aplicada nos dois eixos	Entrópica aplicada ao eixo Y	Entrópica aplicada ao eixo X	Dados medidos	Philips	Kostitakov	Horton	Entrópica no eixo Y	Entrópica no eixo X	Entrópica aplicada a ambos os eixos	Entrópica aplicada a cada eixo
5,2	175,8	175,8	175,8	175,8	175,8	175,8	175,8	175,8	175,8	175,8	175,8	175,8	175,8	175,8
15,4	36,5	86,5	45,3	19,6	34,9	36,6	37,7	37,1	37,1	37,1	37,1	37,1	37,1	37,1
25,1	22,6	59,8	28,4	10,2	27,4	13,4	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
35,0	19,3	44,8	20,5	8,4	22,8	9,0	19,5	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8
45,5	15,8	34,8	16,0	8,1	19,4	8,1	16,8	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1
55,4	12,4	28,0	13,2	8,0	16,9	8,0	14,9	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1
65,3	10,7	22,9	11,3	8,0	14,9	8,0	13,3	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
75,4	9,0	18,7	9,8	8,0	13,1	8,0	12,0	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
85,2	8,6	15,4	8,7	8,0	11,6	8,0	10,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
95,5	9,6	12,5	7,8	8,0	10,2	8,0	9,7	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
105,8	7,2	10,0	7,1	8,0	9,0	8,0	8,8	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
115,3	8,0	8,0	6,5	8,0	8,0	8,0	8,0	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2

$$R^2 = 0,89 \quad 0,98 \quad 0,99 \quad 1,00 \quad 0,99 \quad 1,00 \quad 1,00$$



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. ESALQ

Número de prova. 46

Constantes:

Philips

$f_1 = 715,1$

$f_2 = -21,7$

Kostikov

$K = 1562$

$a = 0,25$

Horton

$b = 0,13$

Variáveis entrópicas

Valores limites

$M_x = 9,46$

$f_0 = 135,26$

$M_y = -14,56$

$f_3 = 115,59$

$M_x = 10,00$

$t_s = 115,49$

$M_y = -45,90$

$t_0 = 5,19$

$\alpha_{f(rot)} = 1,85$

$f_0(rot) = 135,02$

$M_x(rot) = 9,78$

$f_3(rot) = 7,84$

$M_y(rot) = -173,38$

$t_s(rot) = 115,80$

$t_0(rot) = 9,57$

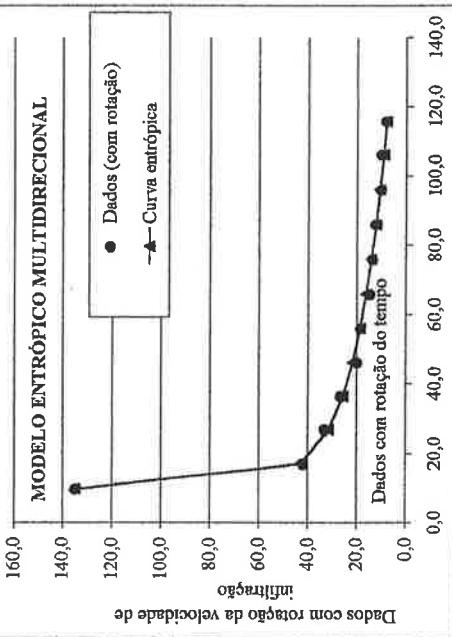
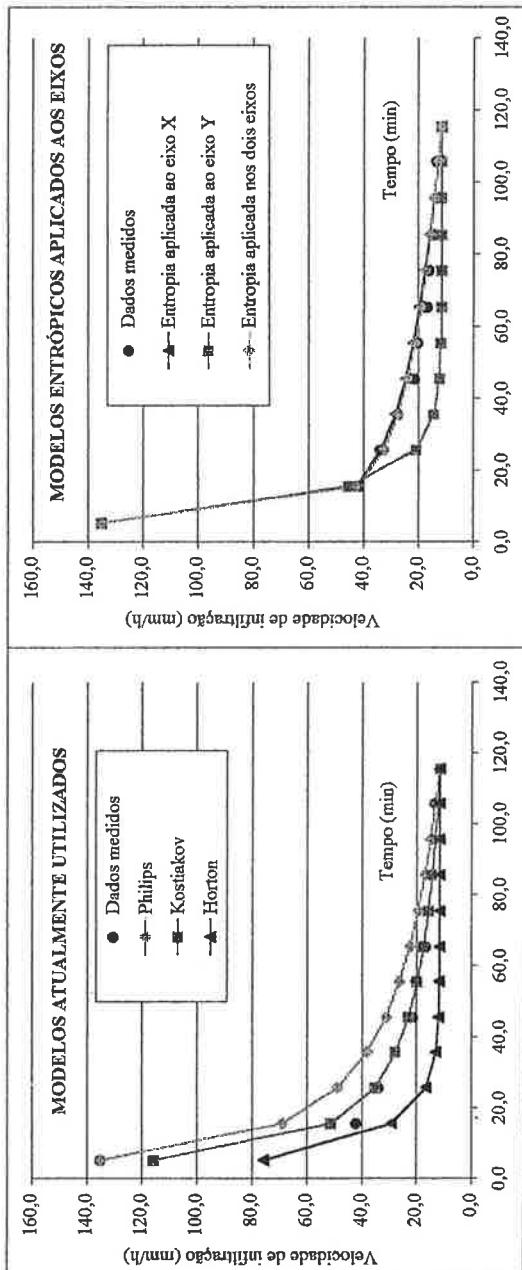
$Velocidade mínima adotada dos dados rotados.$

$Velocidade máxima adotada dos dados rotados.$

$Tempo máximo dos dados rotados.$

$Tempo mínimo dos dados rotados.$

Tempo (min)	Dados medidos		Curva entrópica			
	Philips	Kostikov	Horton	Entrópica aplicada a todos os eixos		
5,2	135,3	135,3	75,9	135,3	135,3	135,0
15,5	42,4	69,2	51,3	42,6	45,4	42,5
25,6	34,0	49,0	35,2	16,5	33,6	21,0
35,5	27,7	38,3	27,6	13,0	28,5	14,3
45,4	21,4	31,4	23,0	12,0	24,1	21,7
55,4	20,2	26,4	19,8	11,7	21,9	11,8
65,3	16,6	22,6	17,5	11,6	19,5	11,7
75,4	16,0	19,5	15,7	11,6	17,5	11,6
85,5	15,1	17,0	14,3	11,6	15,7	11,6
95,7	13,2	14,9	13,2	11,6	14,2	11,6
105,9	13,3	13,1	12,2	11,6	12,8	11,6
115,5	11,6	11,6	11,4	11,6	11,6	11,6
						7,8



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados, ESALQ

47

Número de prova.

Constantes

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 224,7$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

$a = 0,61$

$b = 0,07$

$f_1 = 5,6$

$f_2 = 5,6$

$Kostikov$

$K = 160,02$

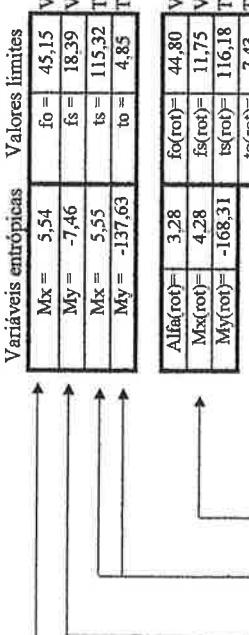
$a = 0,61$

PLANEJAMENTO Hídrico #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

ESALQ

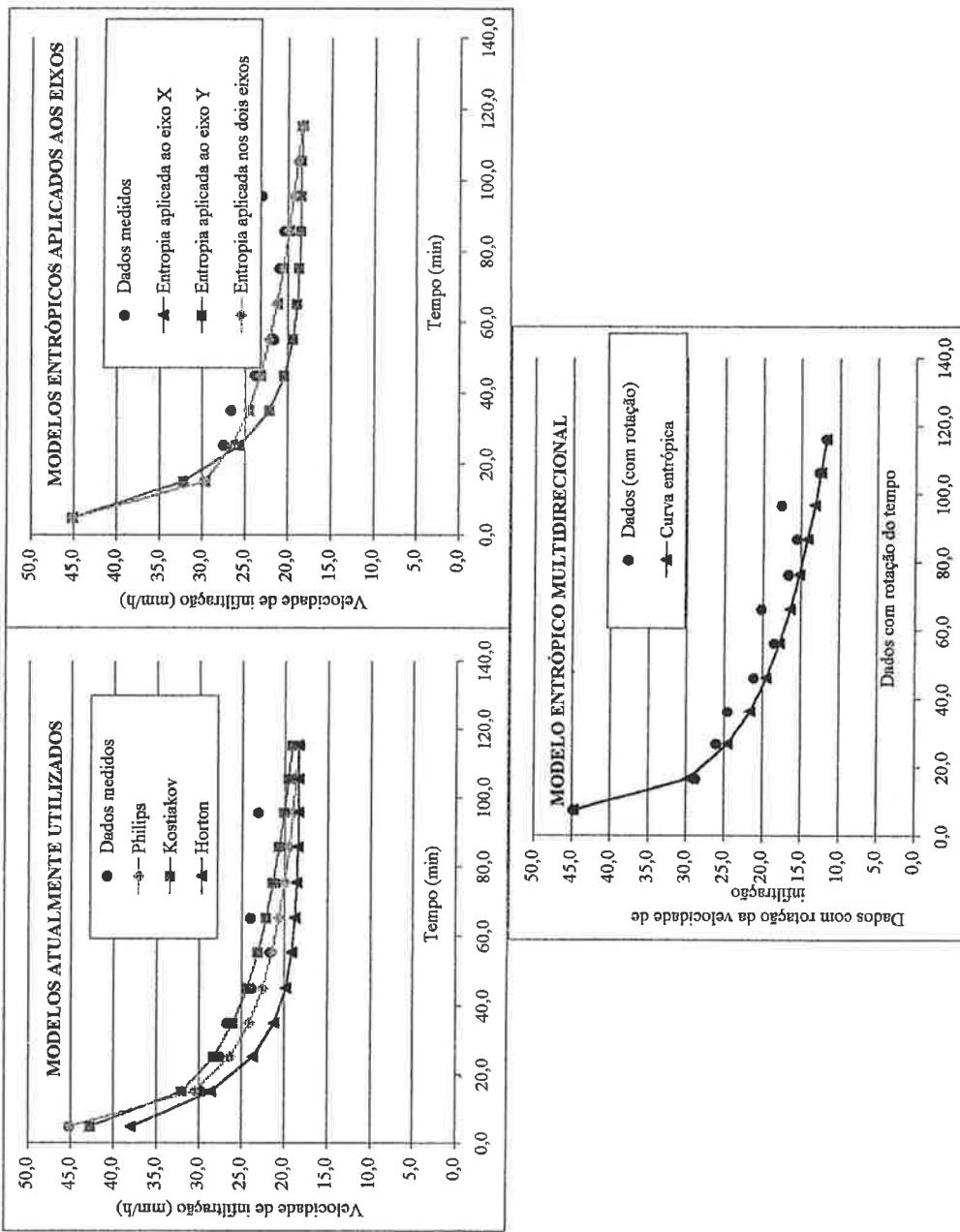
ESALQ

Constituantes	Constantes
Phillips	
$\Pi = 148,3$	$F_2 = 11,5$
Kostikov	
$K = 85,42$	$a = 0,75$
Horton	
$b = 0,06$	



Valores simulados (mm/h)	Tempo (min)	Dades medidas cm	Tempo (min/h)	Kostakov	Horion	Eutrofia aplicada		Eutrofia nos doss		Eutrofia aplicada a doss rotacionadas	
						no exó X	no exó Y	no exó X	no exó Y	no exó X	no exó Y
4,9	45,2	45,2	42,8	37,9	45,2	45,2	45,2	45,2	45,2	44,8	44,8
15,1	29,7	30,6	32,1	28,5	29,7	32,2	29,7	32,2	29,7	29,7	29,7
25,2	27,5	26,3	28,2	23,6	26,5	25,5	26,5	25,5	26,5	24,6	24,6
35,0	26,6	24,0	25,9	21,2	24,6	22,2	24,6	22,2	24,6	21,7	21,7
45,0	23,8	22,5	24,3	19,8	23,2	20,4	23,2	20,4	23,2	19,5	19,5
55,1	21,7	21,5	23,1	19,1	22,2	19,4	22,2	19,4	22,2	17,8	17,8
65,2	24,0	20,7	22,1	18,8	21,3	18,9	21,3	18,9	21,3	16,4	16,4
75,3	21,0	20,0	21,3	18,6	20,5	18,6	20,5	18,6	20,5	15,2	15,2
85,7	20,5	19,5	20,7	18,5	19,9	18,5	19,9	18,5	19,9	14,1	14,1
95,7	23,1	19,1	20,1	18,4	19,3	18,4	19,3	18,4	19,3	13,2	13,2
105,5	18,7	18,7	19,6	18,4	18,8	18,4	18,8	18,4	18,8	12,5	12,5
115,3	18,4	18,4	19,2	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	11,8	11,8

R

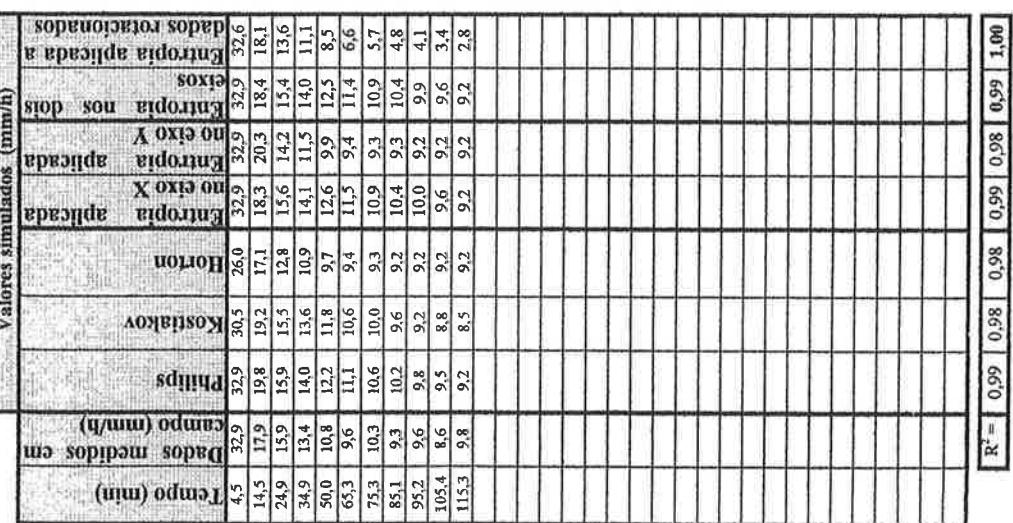


PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. ESALQ

Número de prova. 49

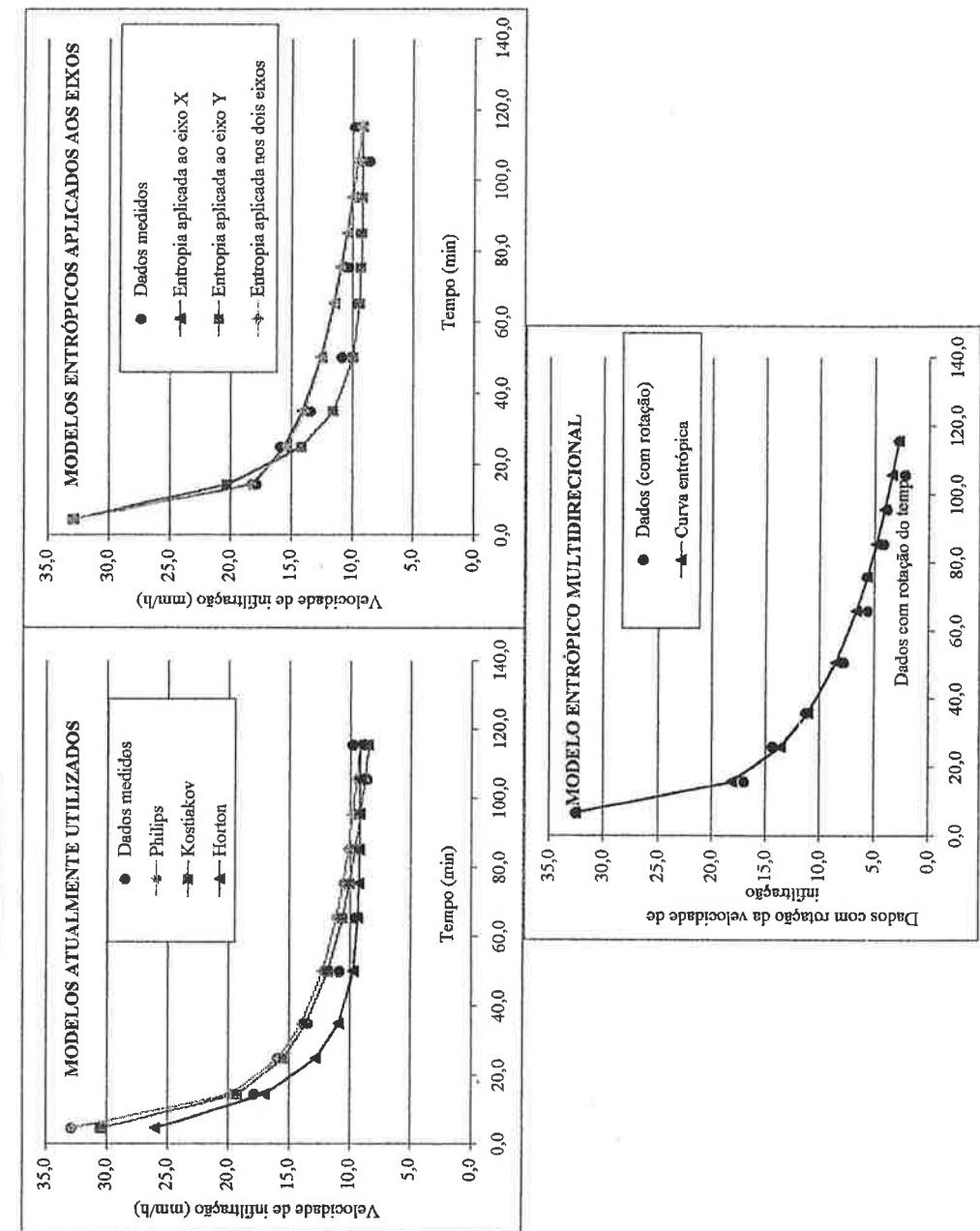
Constantes	
Philips	
$f_l = 124,6$	$f_2 = 3,4$
$b = 0,08$	



PLANILHA #2 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Variáveis entópicas Valores limites

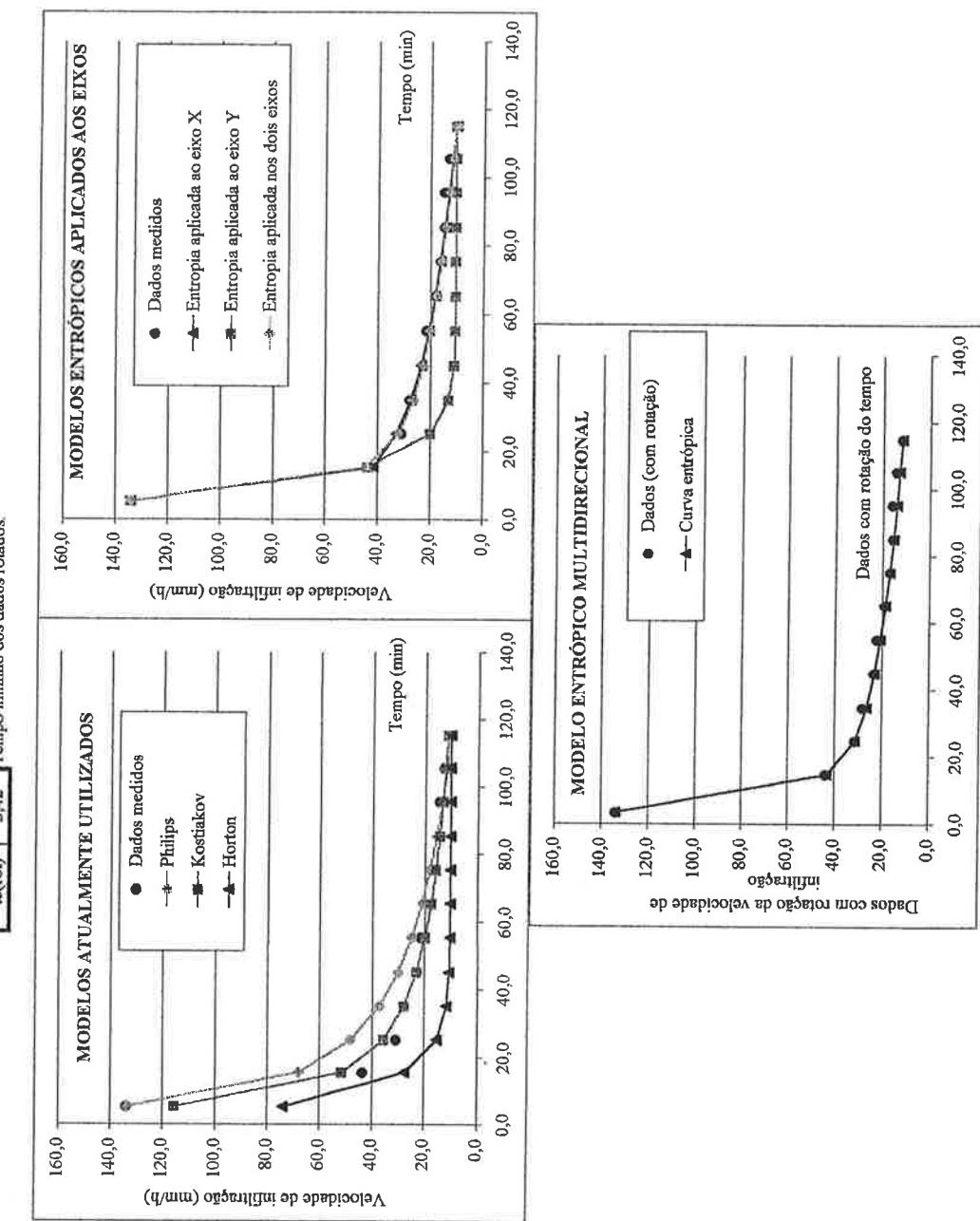
	$M_x = 6,24$	$f_0 = 32,89$	Velocidade mínima adotada.
$M_y = -8,79$	$f_5 = 9,21$	Velocidade máxima adotada.	
$M_x = 6,40$	$t_s = 115,26$	Tempo máximo.	
$M_y = -43,85$	$t_0 = 4,47$	Tempo mínimo.	



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados.		Número de prova.	ESALQ
Constantes		50	
Phillips			
$f_1 = 713,6$		$f_2 = -22,9$	
Kostialov			
$K = 1.524$		$a = 0,26$	
Horton			
$b = 0,13$			

Variáveis entropicas	Valores limites
Mx = 9,43	fo = 133,91
My = -14,76	fs = 10,31
Mx = 9,90	ts = 11,517
My = -35,00	to = 5,18



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. ESALQ

Número de prova. 51

Constantes

Philips

$f_1 = 1966$

$\Omega = 140,0$

Kostikov

$K = 1001$

$a = 0,75$

Horton

$b = 0,02$

Variáveis entropícas

Valores limites

$M_x = 3,82$

$M_y = -5,74$

$f_0 = 345,00$

Velocidade mínima adotada.

$M_x = 4,01$

$M_y = -68,13$

$f_5 = 201,00$

Velocidade máxima adotada.

$t_s = 260,00$

Tempo máximo.

$t_0 = 40,92$

$t_{min} = 23,00$

Tempo mínimo.

$t_{max} = 42,29$

Tempo mínimo dos dados rotados.

$\alpha f_0 = 3,21$

$f_0(\text{rot}) = 343,17$

Velocidade mínima adotada dos dados rotados.

$M_x(\text{rot}) = 3,96$

$f_5(\text{rot}) = 189,48$

Velocidade máxima adotada dos dados rotados.

$M_y(\text{rot}) = -68,13$

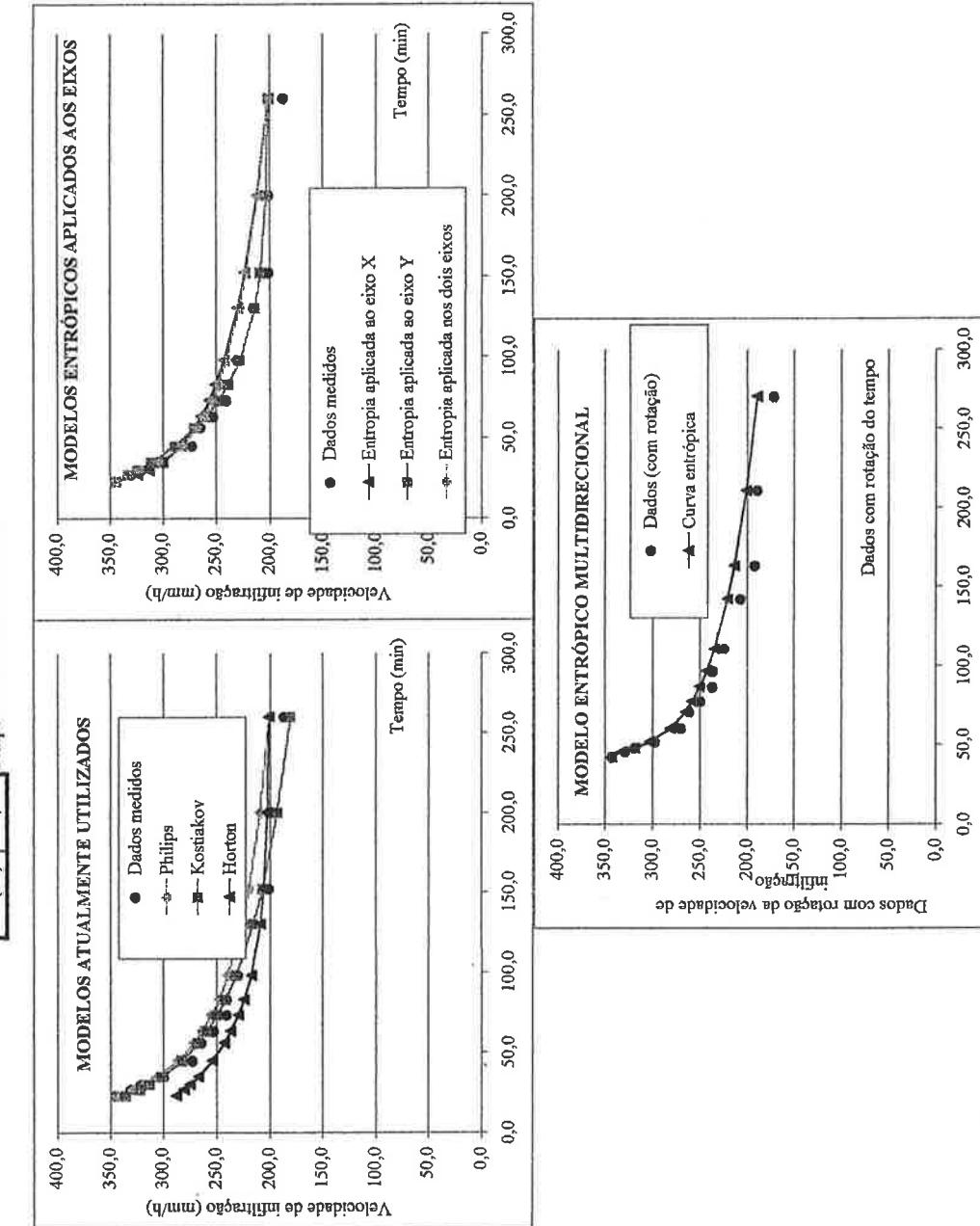
$t_s(\text{rot}) = 270,07$

Tempo máximo dos dados rotados.

$t_0(\text{rot}) = 42,29$

Tempo mínimo dos dados rotados.

Tempo (min)	Dados medidas cm	Valores simulados (mm/h)		
		Entropia aplicada a eixo X	Entropia aplicada a eixo Y	Entropia aplicada a dois eixos
23,0	345,0	345,0	345,0	345,0
27,0	331,0	329,2	322,0	320,3
30,0	321,0	319,5	313,4	275,2
35,0	300,0	306,2	301,4	267,5
45,0	273,0	286,6	282,7	284,3
56,0	265,0	271,4	267,3	242,8
63,0	253,0	263,9	259,4	236,8
73,0	241,0	255,1	249,9	229,7
83,0	241,0	247,9	241,8	224,0
98,0	230,0	239,3	231,8	217,5
130,0	215,0	215,0	215,7	209,2
152,0	201,0	219,8	207,3	206,0
200,0	201,0	209,5	193,3	202,7
260,0	187,0	201,0	180,8	201,5
290,0	230,0	230,0	213,9	227,9
320,0	215,0	215,0	209,2	228,8
350,0	201,0	219,8	207,3	206,0
380,0	201,0	209,5	193,3	202,7
400,0	201,0	201,0	180,8	201,0



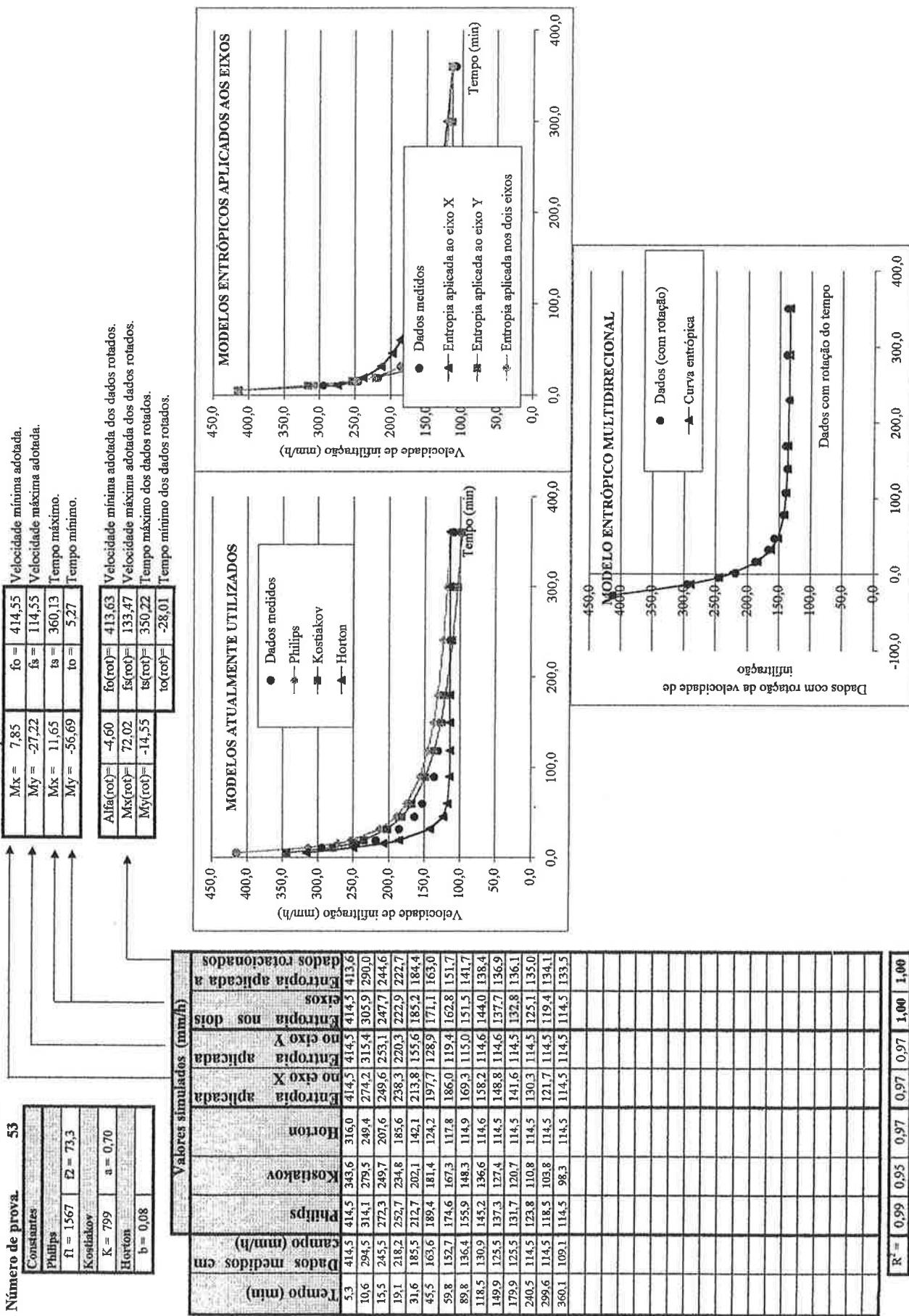
Digitized by Google v 1000

卷之三

23	Constance	
	Phillips	
	$f_1 = 1567$	$\bar{D} = 73,3$
	Kostikov	
	$K = 799$	$a = 0,70$
	Horton	
	$b = 0,08$	

Valores límites Variáveis entropicas

Valores limites



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. CASTRO; SOUZA, 1999

Número de prova. 54

Constantes

Philips

 $f_1 = 487$ $f_2 = 104,5$

Kostialkov

 $K = 565$ $a = 0,76$

Horton

 $b = 0,05$

Variáveis entrópicas

Valores limites

$M_x = 6,90$	$f_0 = 338,18$
$M_y = -19,19$	$f_s = 117,27$
$M_k = 8,64$	$t_0 = 361,03$
$M_y = -59,50$	$t_0 = 3,88$

Velocidade mínima adotada.

Velocidade máxima adotada.

Tempo máximo.

Tempo mínimo.

Alfa(rot)= -6,02

f0(rot)= 336,72

fs(rot)= 143,73

ts(rot)= 347,03

tempo mínimo dos dados rotados.

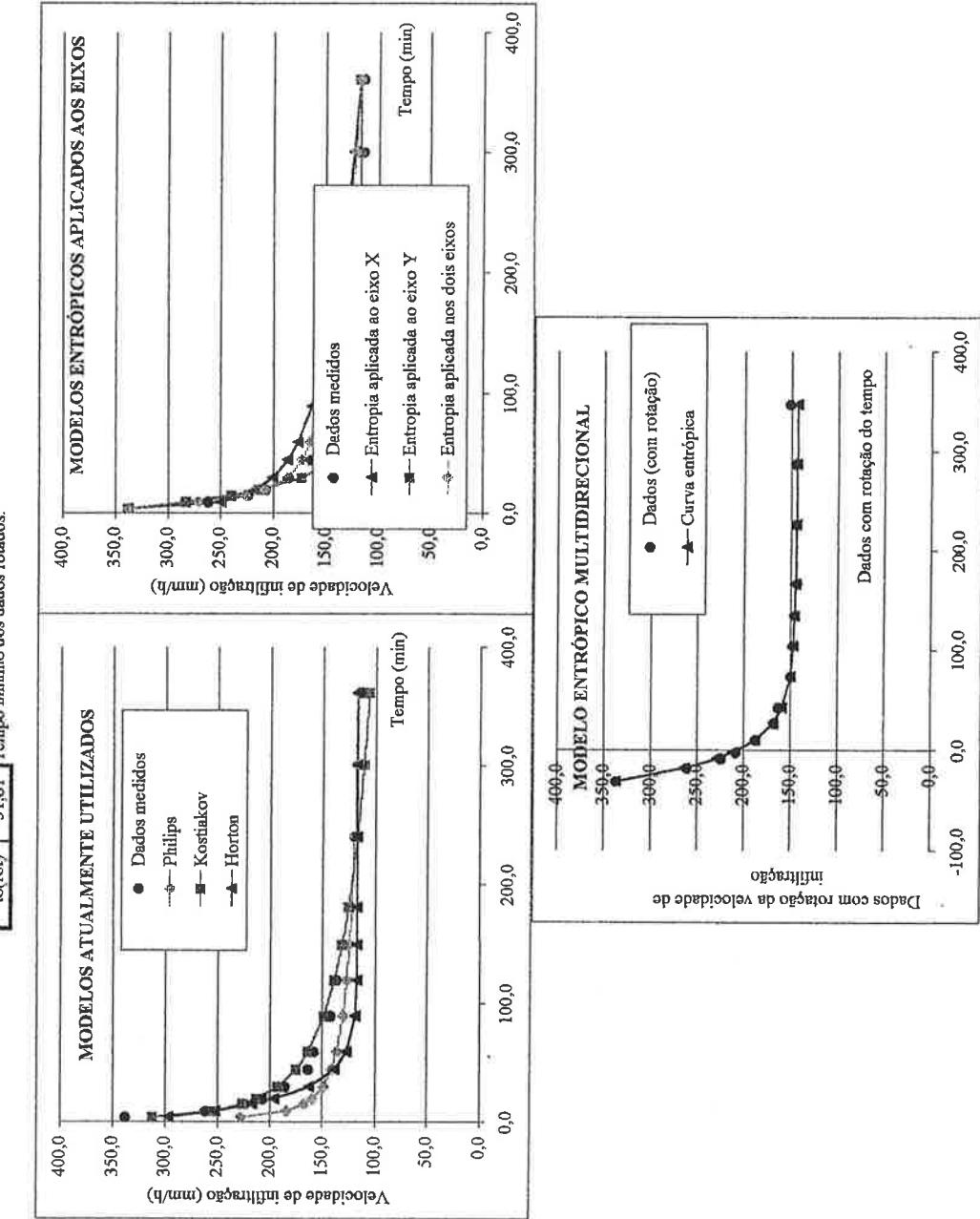
Mx(rot)= 80,00

f1(rot)= 13,10

My(rot)= -31,61

tempo mínimo dos dados rotados.

Tempo (min)	Dados com rotação da velocidade de infiltração			Dados medidos
	Modelo Kostialkov	Modelo Horton	Modelo Philips	
3,9	338,2	228,1	312,2	297,0
9,2	261,8	184,7	254,2	252,6
15,0	177,3	123,6	167,3	226,4
19,5	207,3	159,6	212,8	216,7
29,8	185,5	149,1	192,4	162,6
44,6	163,6	140,9	174,9	137,9
59,4	158,2	136,1	163,4	126,7
89,4	141,8	130,2	148,2	119,2
119,4	136,4	126,7	138,4	117,7
149,5	130,9	124,4	131,2	117,4
180,8	125,5	122,6	125,4	117,3
240,0	120,0	120,2	117,3	117,3
361,0	114,5	117,3	106,4	117,3
				117,3
				117,3
				143,7



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

Fonte de dados. CASTRO, SOUZA, 1999

55

Número de prova.

Constantes

Horton	$a = 0,94$
b = 0,10	

Phillips

$f_1 = 252$

$E = 129,7$

Kostiakov

$K = 200$

$a = 0,94$

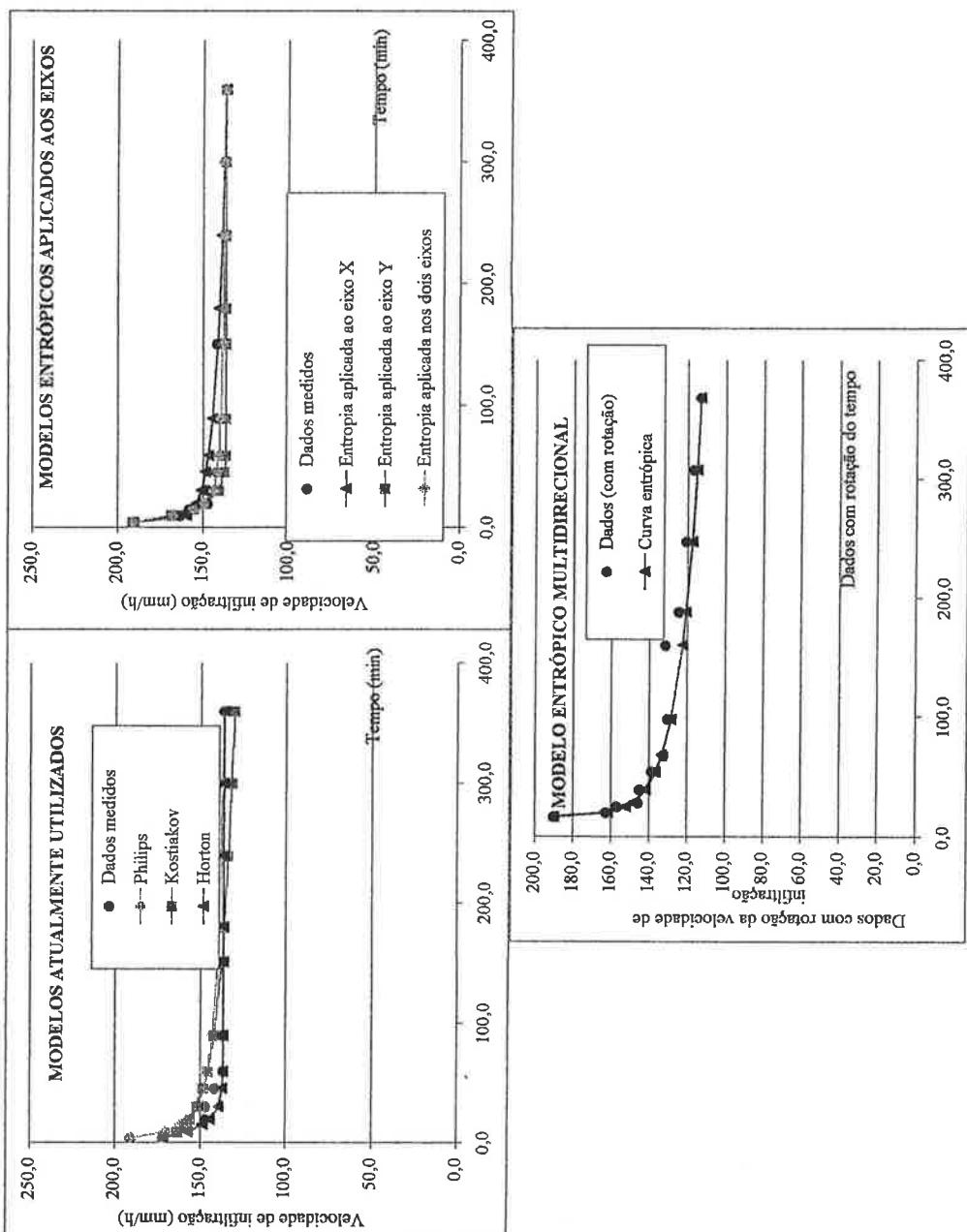
$b = 0,10$

Variáveis entropícas	Valores limites	
$M_x = 9,76$	$t_0 = 190,91$	Velocidade mínima adotada.
$M_y = -35,35$	$t_0 = 136,36$	Velocidade máxima adotada.
$M_x = 23,38$	$t_0 = 359,70$	Tempo máximo.
$M_y = -48,98$	$t_0 = 4,25$	Tempo mínimo.

$\alpha f(\text{rot}) =$	Velocidade mínima adotada dos dados rotados.	
	$M_x(\text{rot}) =$	$M_y(\text{rot}) =$
$3,66$	$7,28$	$-390,09$
$f_0(\text{rot}) =$	$f_1(\text{rot}) =$	$t_0(\text{rot}) =$
$190,25$	$113,10$	$367,68$
$Velocidade máxima adotada dos dados rotados.$	$Velocidade máxima adotada dos dados rotados.$	$Tempo máximo dos dados rotados.$
$16,44$	$16,44$	$16,44$
$\text{Tempo mínimo dos dados rotados.}$	$\text{Tempo mínimo dos dados rotados.}$	$\text{Tempo mínimo dos dados rotados.}$

Tempo (min)	Dados medidos em campo (mm/h)		Entropia aplicada nos dois eixos
	Phillips	Kostiakov	
4,3	190,9 190,9 171,7	172,3 190,9 190,9	Entropia aplicada a dados rotacionados
9,6	163,6 170,4 163,2	157,6 159,8 168,6	Entropia X
15,0	158,2 162,3 158,3	148,9 155,9 155,3	Entropia Y
19,5	147,3 158,3 156,2	144,4 154,0 148,6	Dados medidos
30,2	147,3 152,7 152,0	152,0 159,2 151,0	Dados rotados
45,5	141,8 148,4 148,2	131,0 148,4 131,3	Entropia aplicada ao eixo X
59,4	136,4 146,1 145,7	136,5 146,8 136,6	Entropia aplicada ao eixo Y
89,4	136,4 143,1 142,0	136,4 144,4 136,4	Dados com rotação do tempo
150,8	141,8 140,0 137,5	140,0 141,3 136,4	Dados com rotação da velocidade de infiltração
179,5	136,4 139,1 136,0	136,4 149,3 136,4	Dados com rotação da velocidade de infiltração multidirecional
239,1	136,4 137,9 133,6	136,4 138,7 136,4	Dados com rotação da velocidade de infiltração
299,6	136,4 137,0 131,8	136,4 137,4 136,4	Dados com rotação da velocidade de infiltração
359,7	136,4 136,4 130,3	136,4 136,4 136,4	Dados com rotação da velocidade de infiltração

$$R^2 = 0,94 \quad 0,77 \quad 0,97 \quad 0,93 \quad 0,97 \quad 0,98$$



PLANILHA #1 Comparação entre modelos de curvas de simulação da velocidade de infiltração.

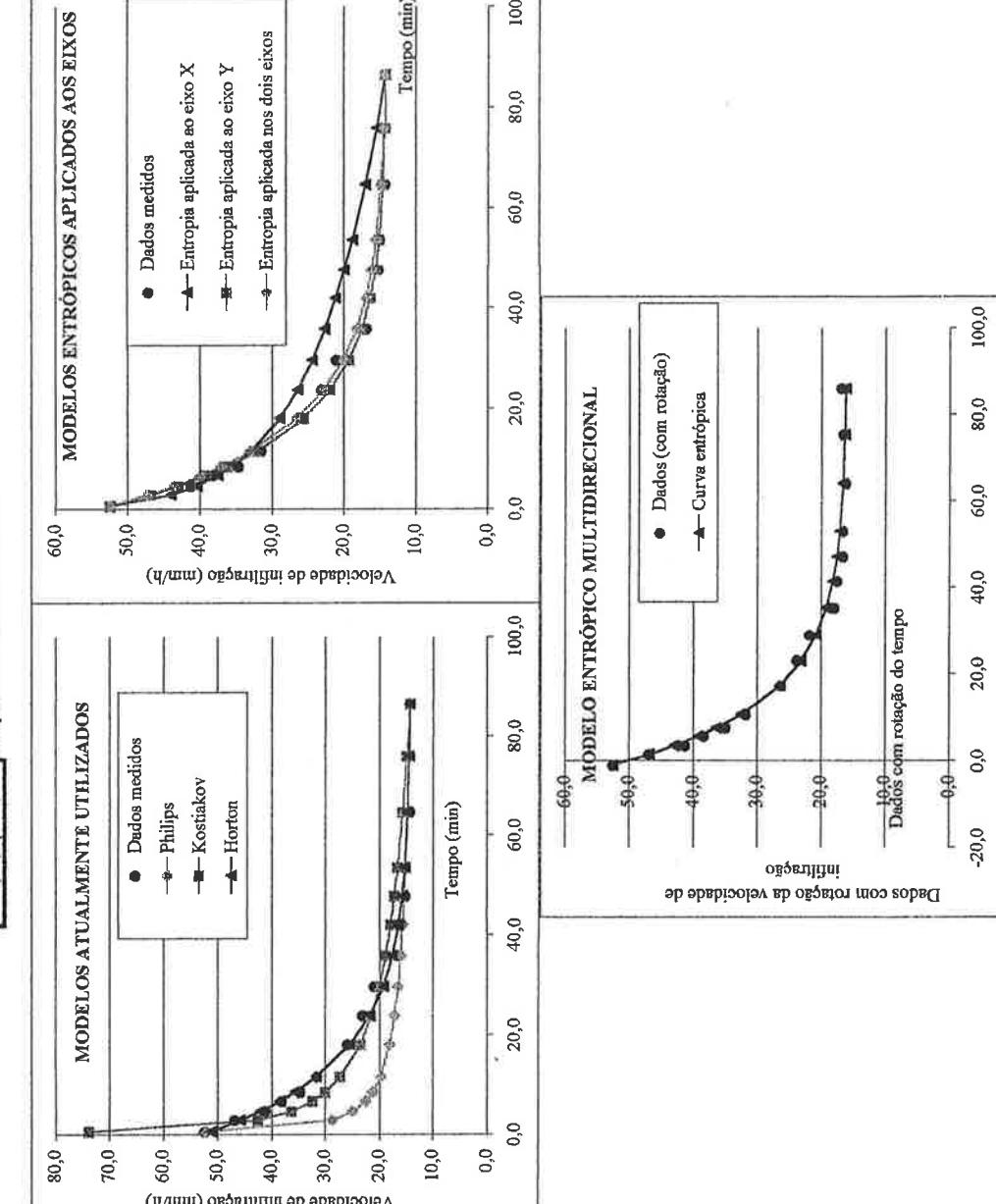
Fonte de dados. SOBRUNHO T. A.; MARCHETTI F. E

Número de prova. 56

Constantes	
Philips	
$f_1 = 59$	$\Omega = 11,1$
Kostialkov	

56

Tempo (min)	Dados medidos		Kostialkov		Philips	
	Velocidade de infiltração (mm/h)	Tempo (min)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Tempo (min)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Tempo (min)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0
22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0
30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0
32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0
33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0
34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0	36,0
37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0
38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0
39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0
40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
41,0	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0	41,0
42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0	42,0
43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0
44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0
45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0
46,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0
47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0
48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0
49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0
50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
51,0	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0
52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0
53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0
54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0
55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0
56,0	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0	56,0
57,0	57,0	57,0	57,0	57,0	57,0	57,0
58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0
59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0
60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0	61,0
62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0
63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0
64,0	64,0	64,0	64,0	64,0	64,0	64,0
65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0	65,0
66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0
67,0	67,0	67,0	67,0	67,0	67,0	67,0
68,0	68,0	68,0	68,0	68,0	68,0	68,0
69,0	69,0	69,0	69,0	69,0	69,0	69,0
70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0
72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0
73,0	73,0	73,0	73,0	73,0	73,0	73,0
74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0
75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0
76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0
77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0
78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0
79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0
80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0



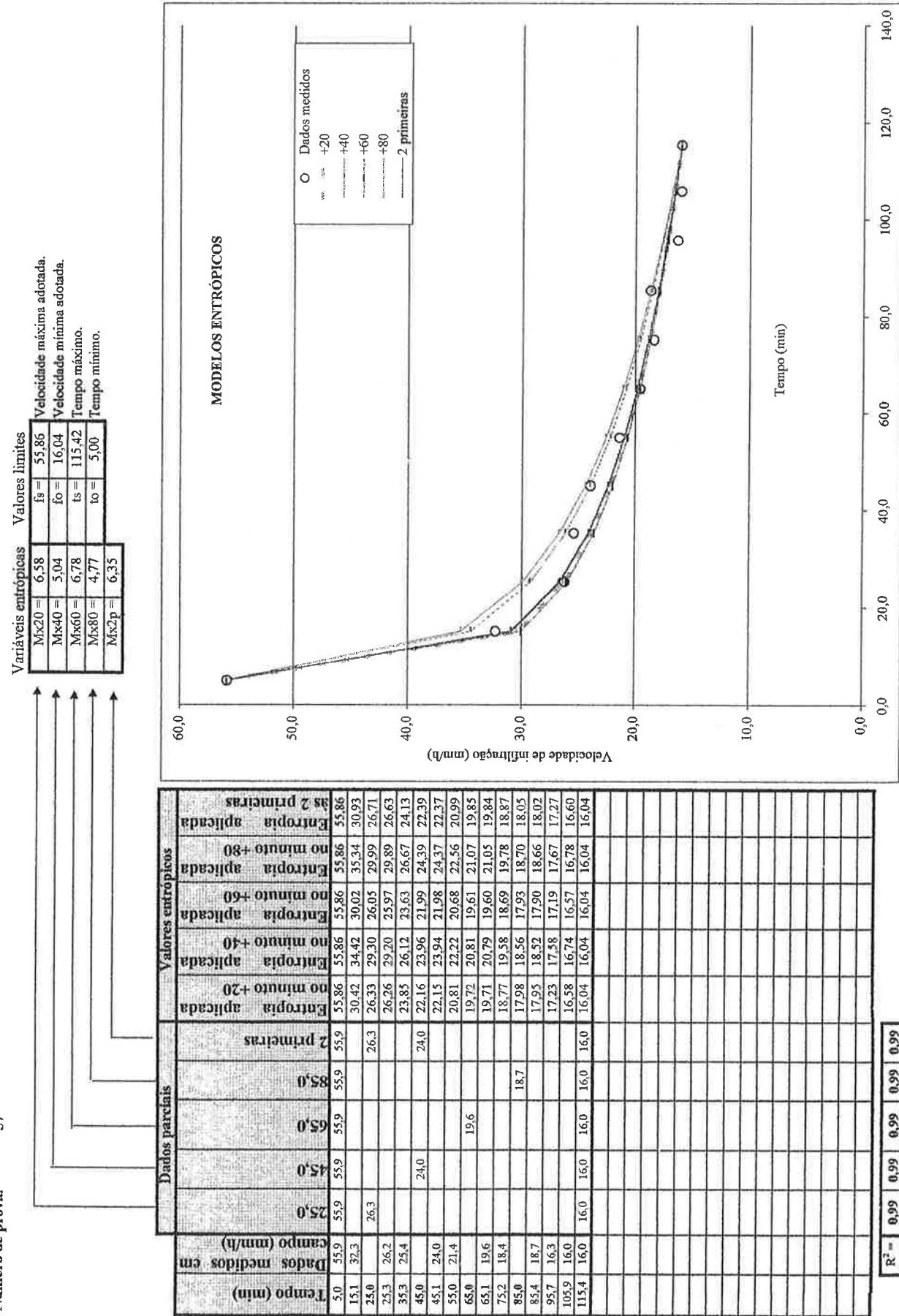
$$R^2 = 0,72 \quad 0,83 \quad 1,00 \quad 0,98 \quad 1,00 \quad 1,00 \quad 1,00$$

Apêndice C

PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltrômetro por sulcos.

Fonte de dados. GARRIDO, 1992

Número de prova. 57

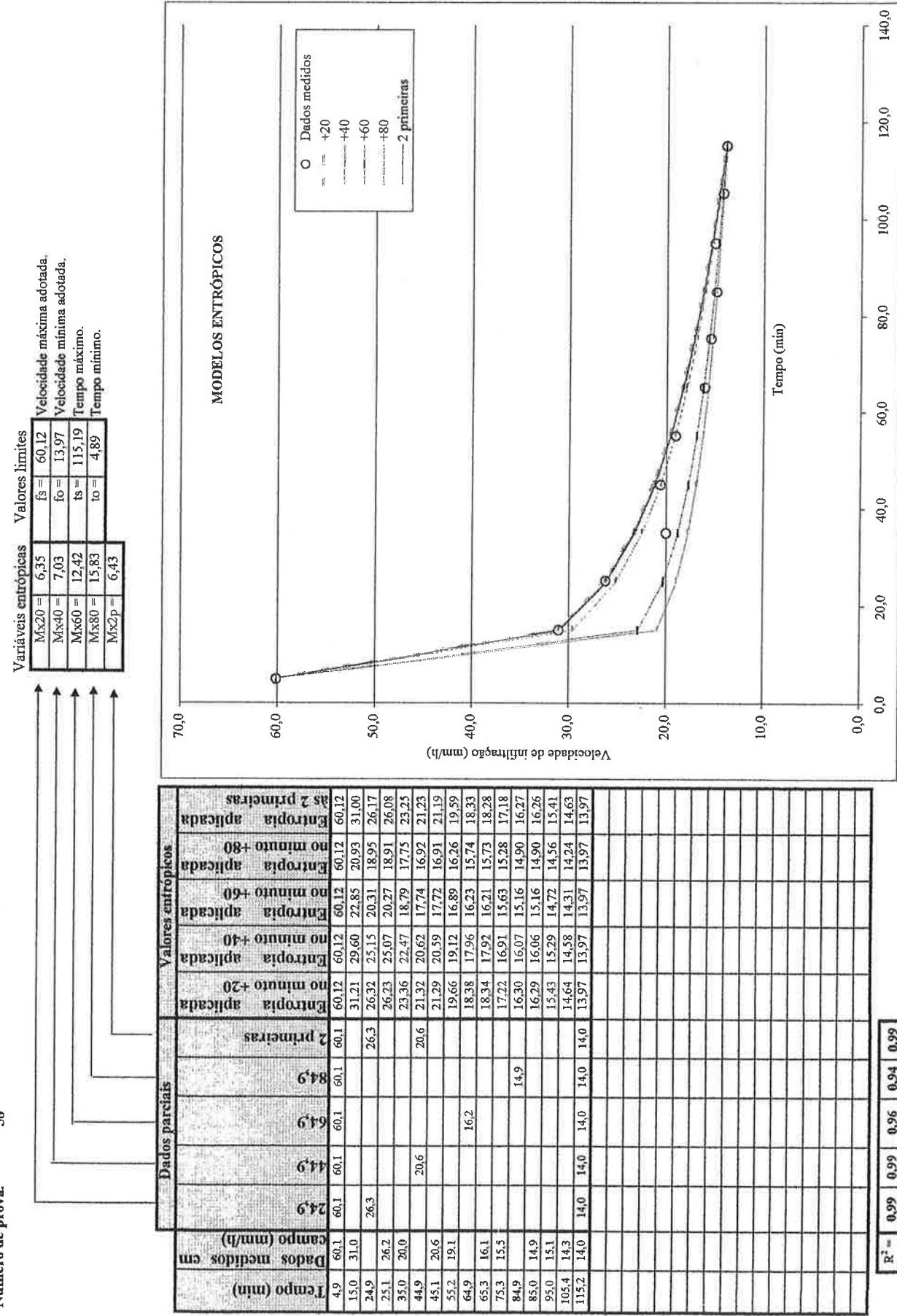


$$R^2 = 0,99 \quad 0,99 \quad 0,99 \quad 0,99 \quad 0,99$$

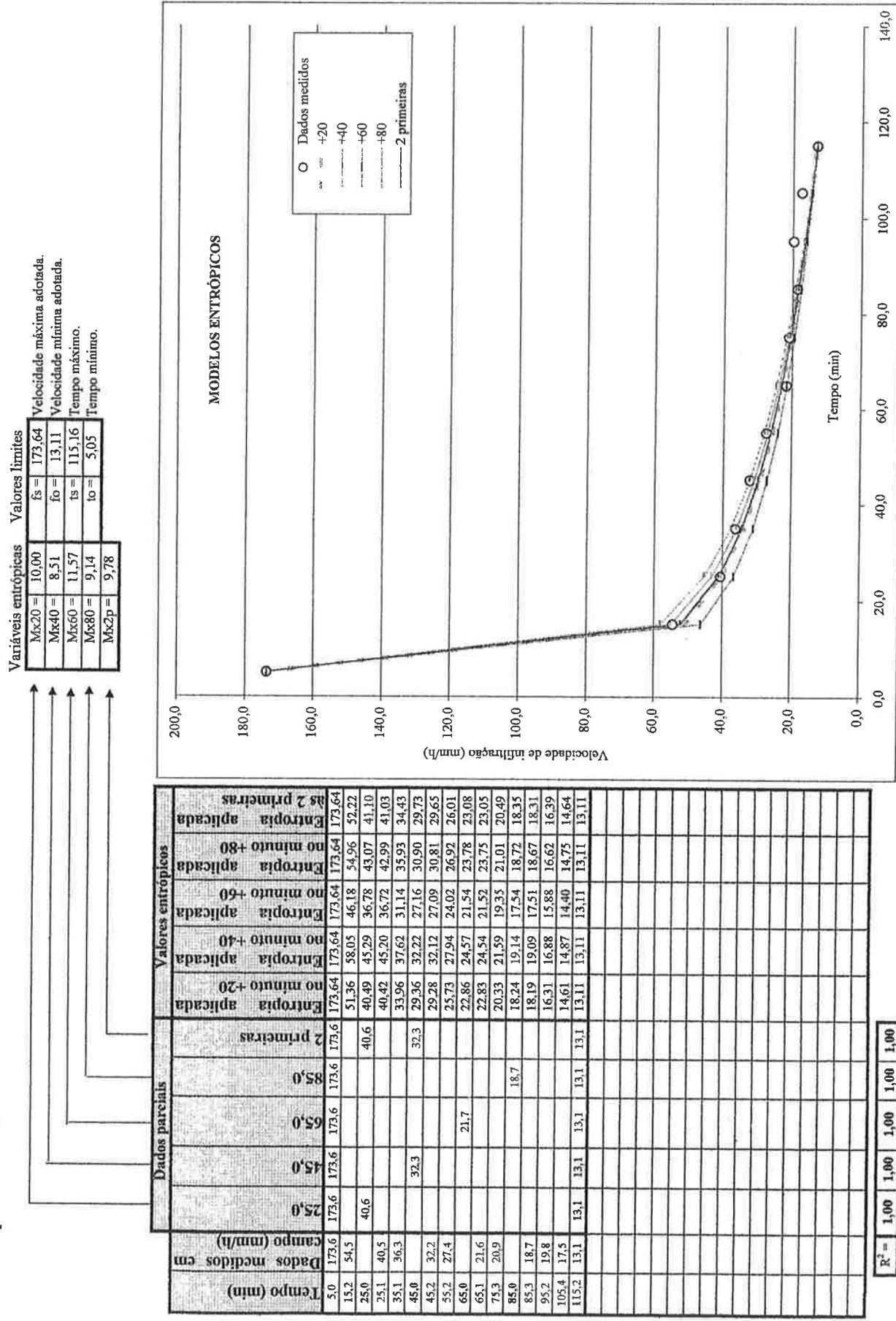
PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltrômetro por sulcos.

Fonte de dados. GARRIDO, 1992

Número de prova. 58



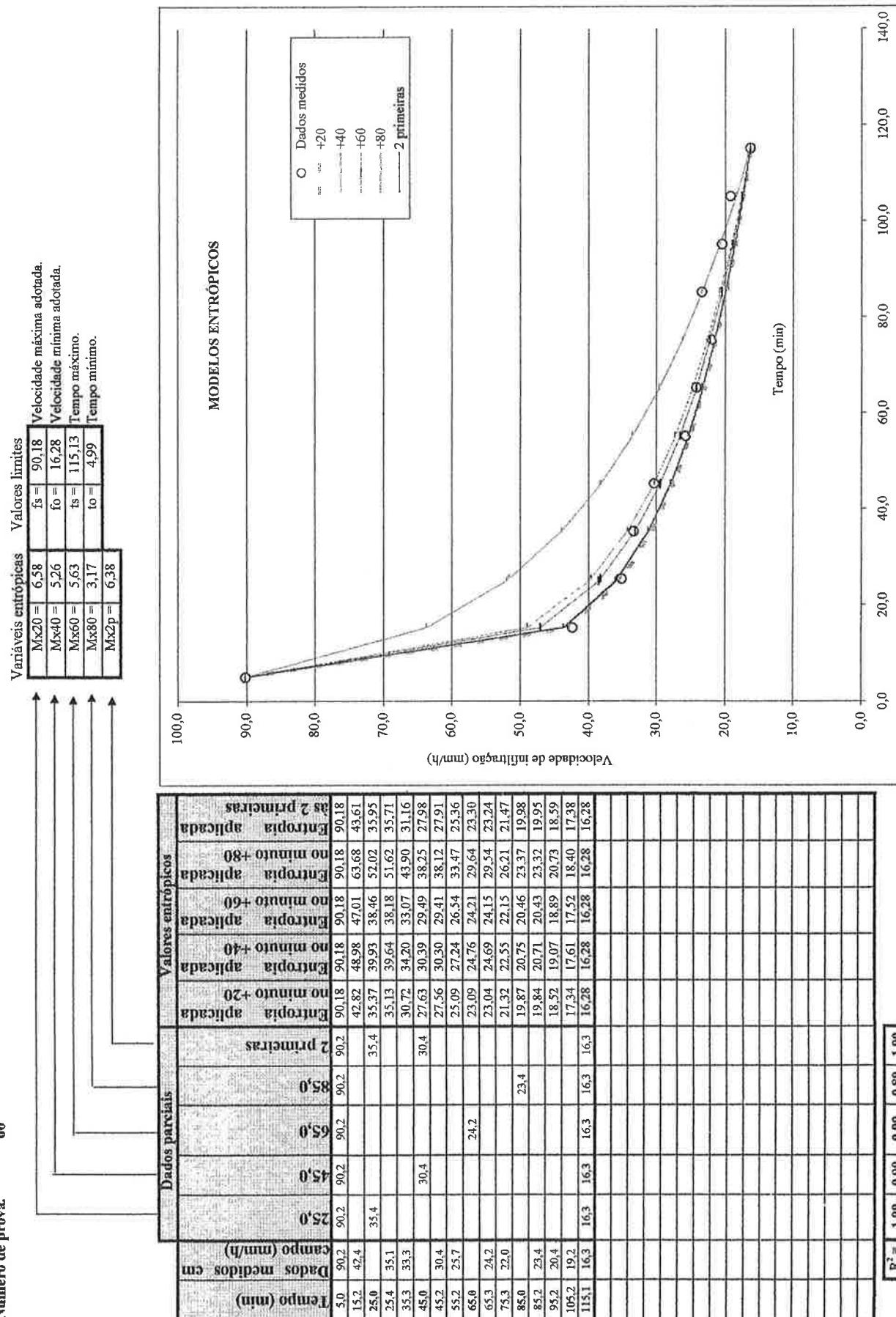
PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltrômetro por sulcos.
 Fonte de dados. GARRIDO, 1992
 Número de prov. 59



PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltriômetro por sulcos.

Fonte de dados. GARRIDO, 1992

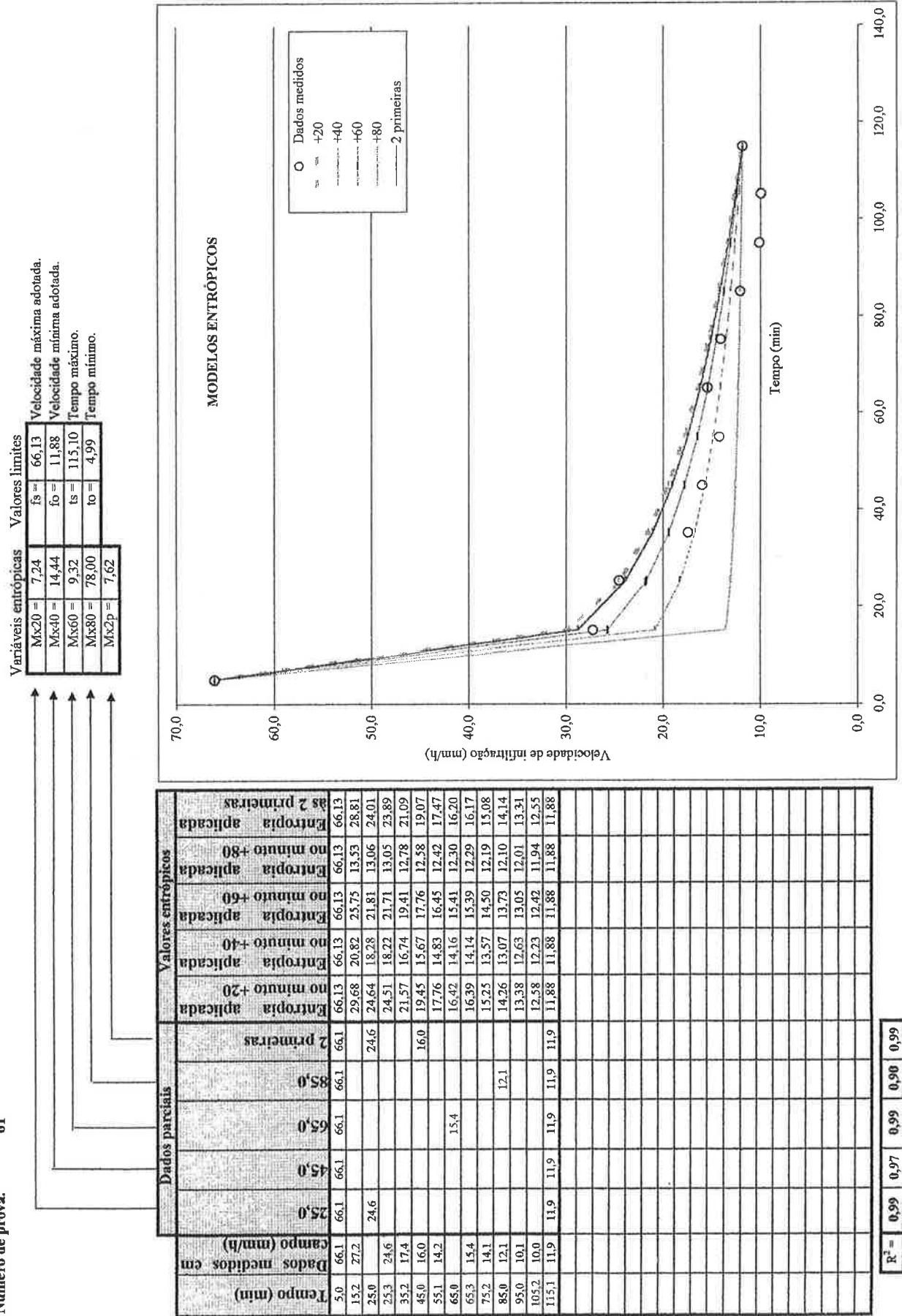
Número de prova. 60



PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltrômetro por sulcos.

Fonte de dados, GARRUDO, 1992

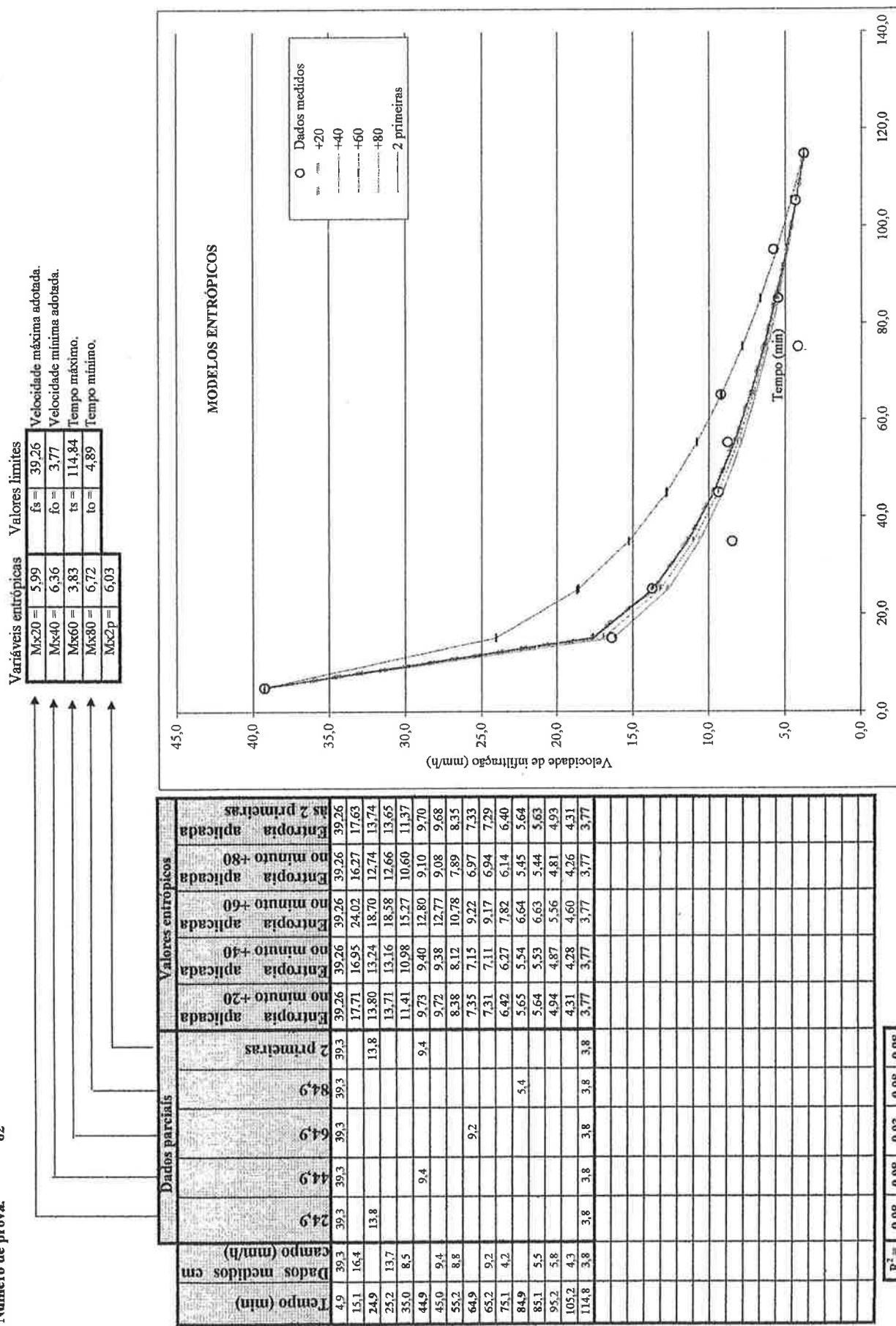
Número de prova. 61



PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltriômetro por sulcos.

Fonte de dados. GARRIDO, 1992

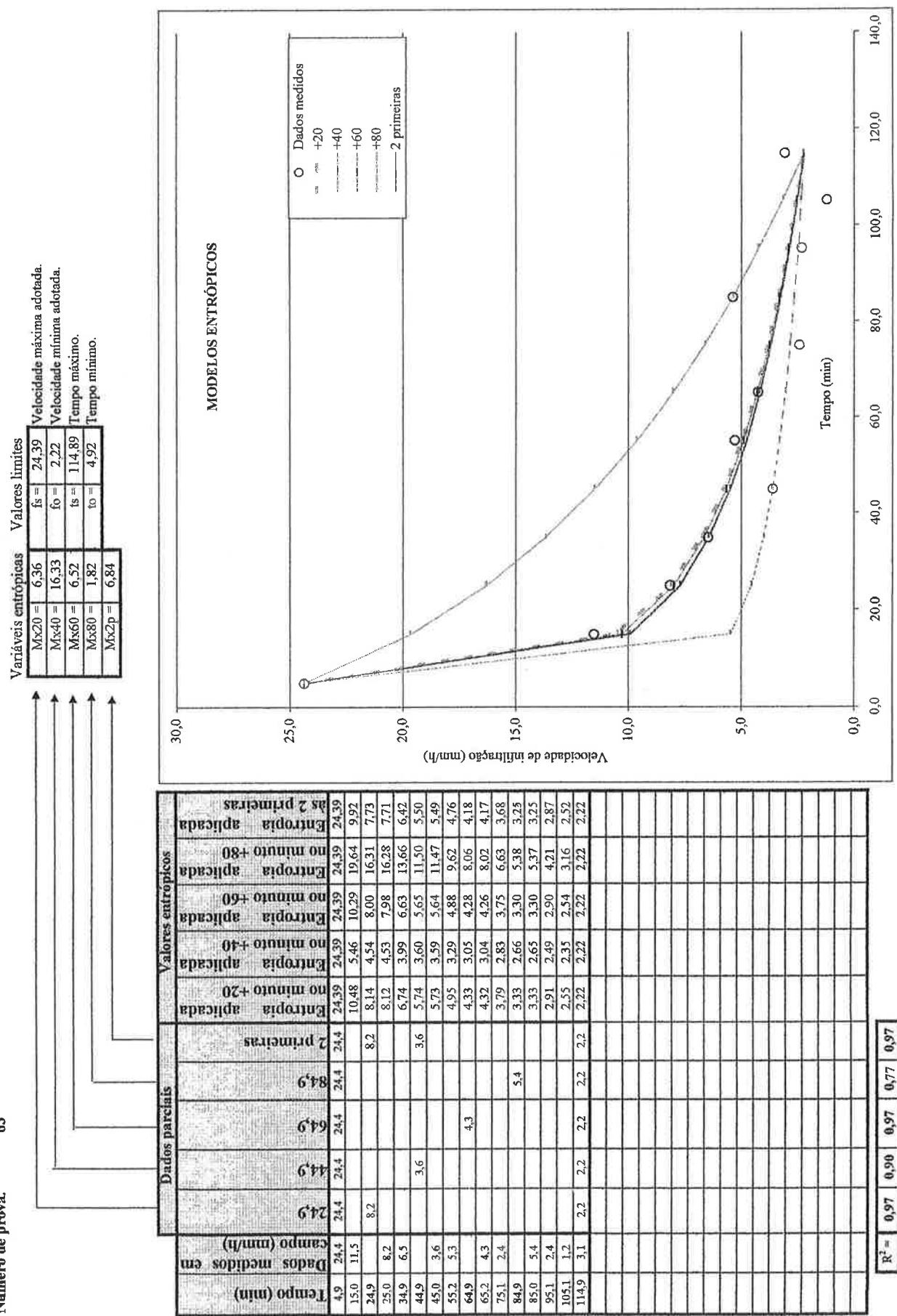
Número de prova. 62



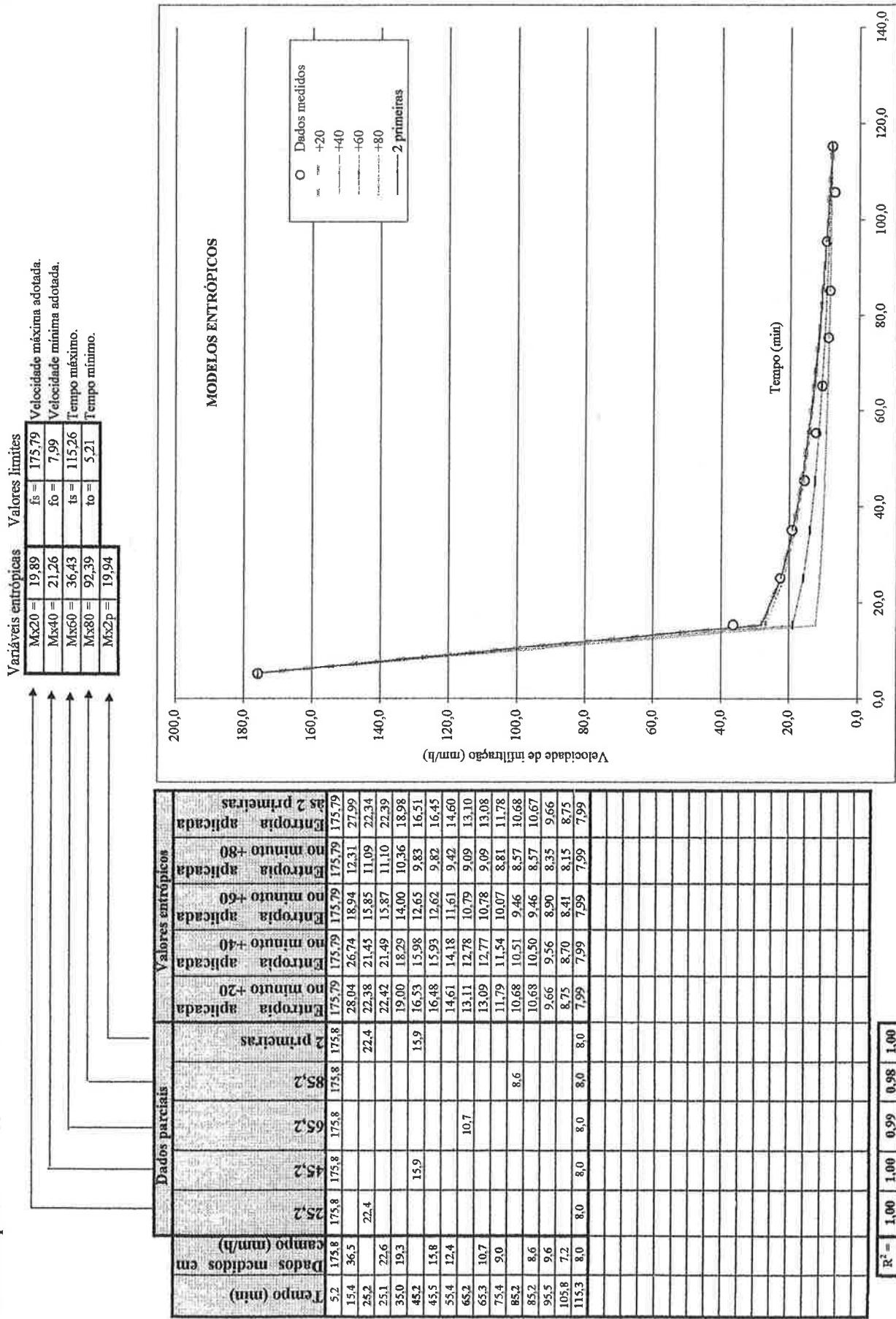
PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltrômetro por sulcos.

GARIBDO 1997

卷之三



PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltrômetro por sulcos.
Fonte de dados. GARRIDO, 1992
Número de prova. 64

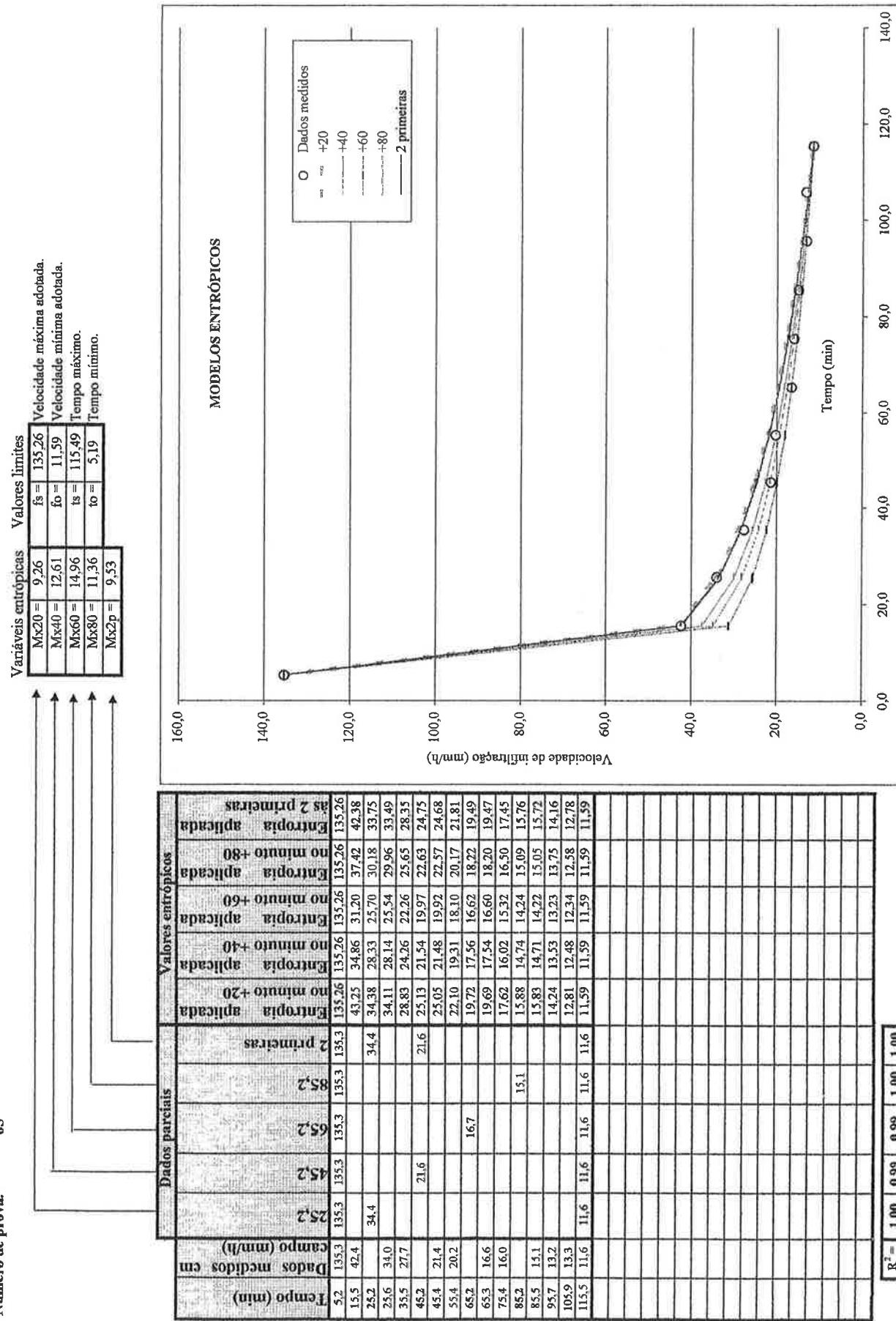


PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltrômetro por sulcos.

Fonte de dados. GARRIDO, 1992

Número de prova. 65

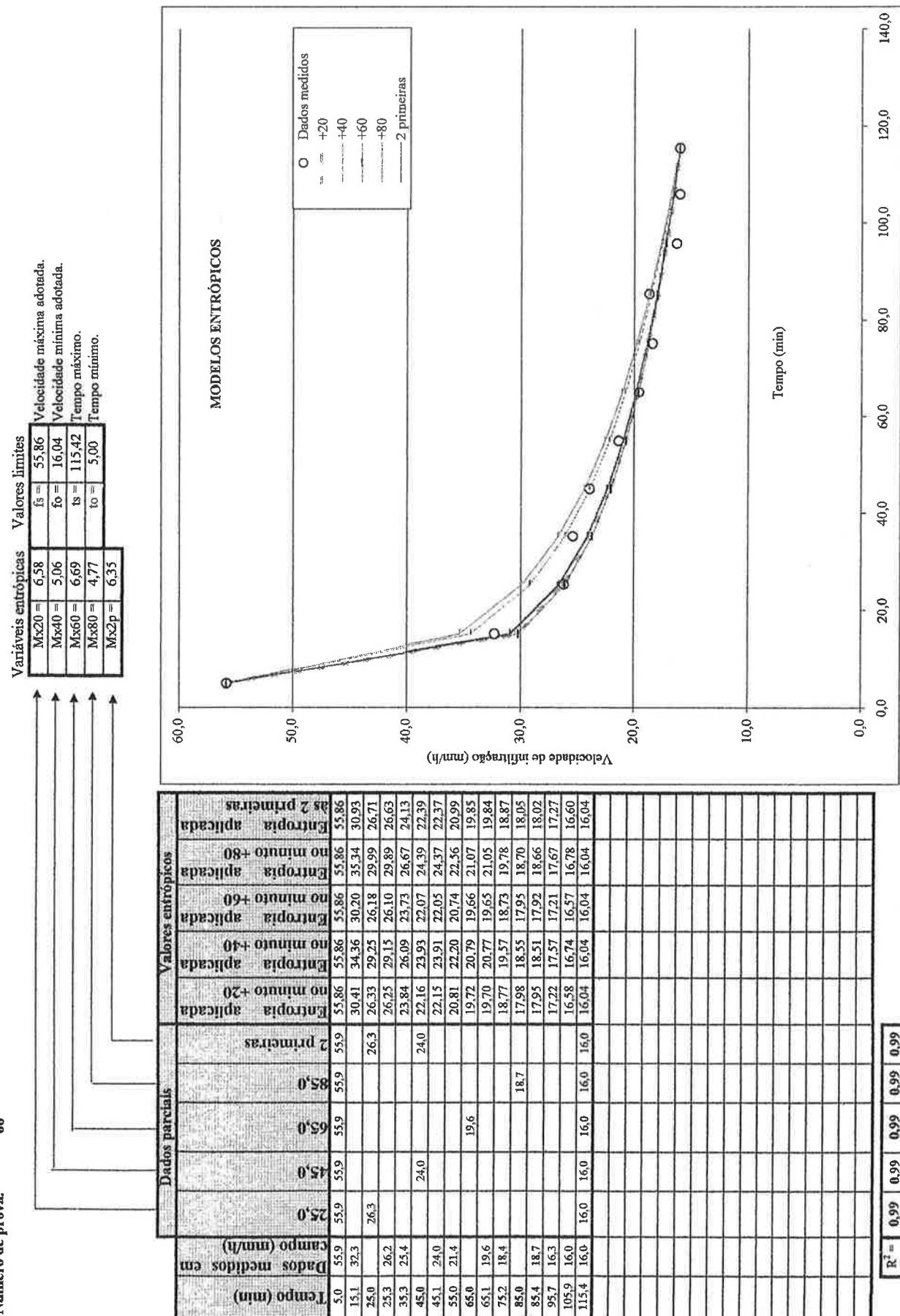
Variáveis entrópicas		Valores limites	
Mx20 =	9,26	$f_s =$	135,26 Velocidade máxima adotada.
Mx40 =	12,61	$f_0 =$	11,59 Velocidade mínima adotada.
Mx60 =	14,96	$f_s =$	115,49 Tempo máximo.
Mx80 =	11,36	$t_0 =$	5,19 Tempo mínimo.
Mx2p =	9,53		



PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltração por sulcos.

Fonte de dados. GARRIDO, 1992

Número de prova. 66

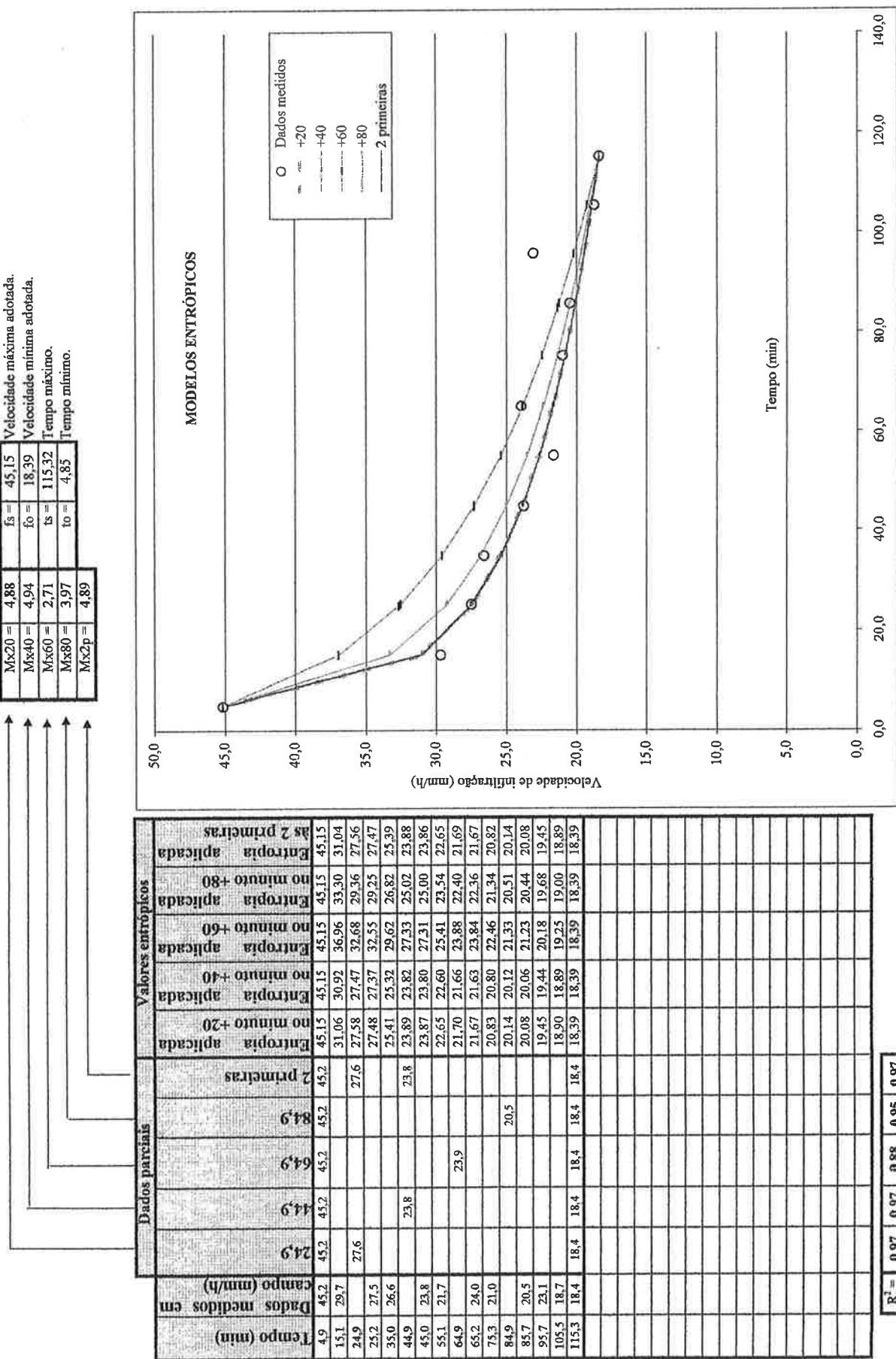


PLANEJAMENTO #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltrômetro por sulcos.

© סטודיו 1003

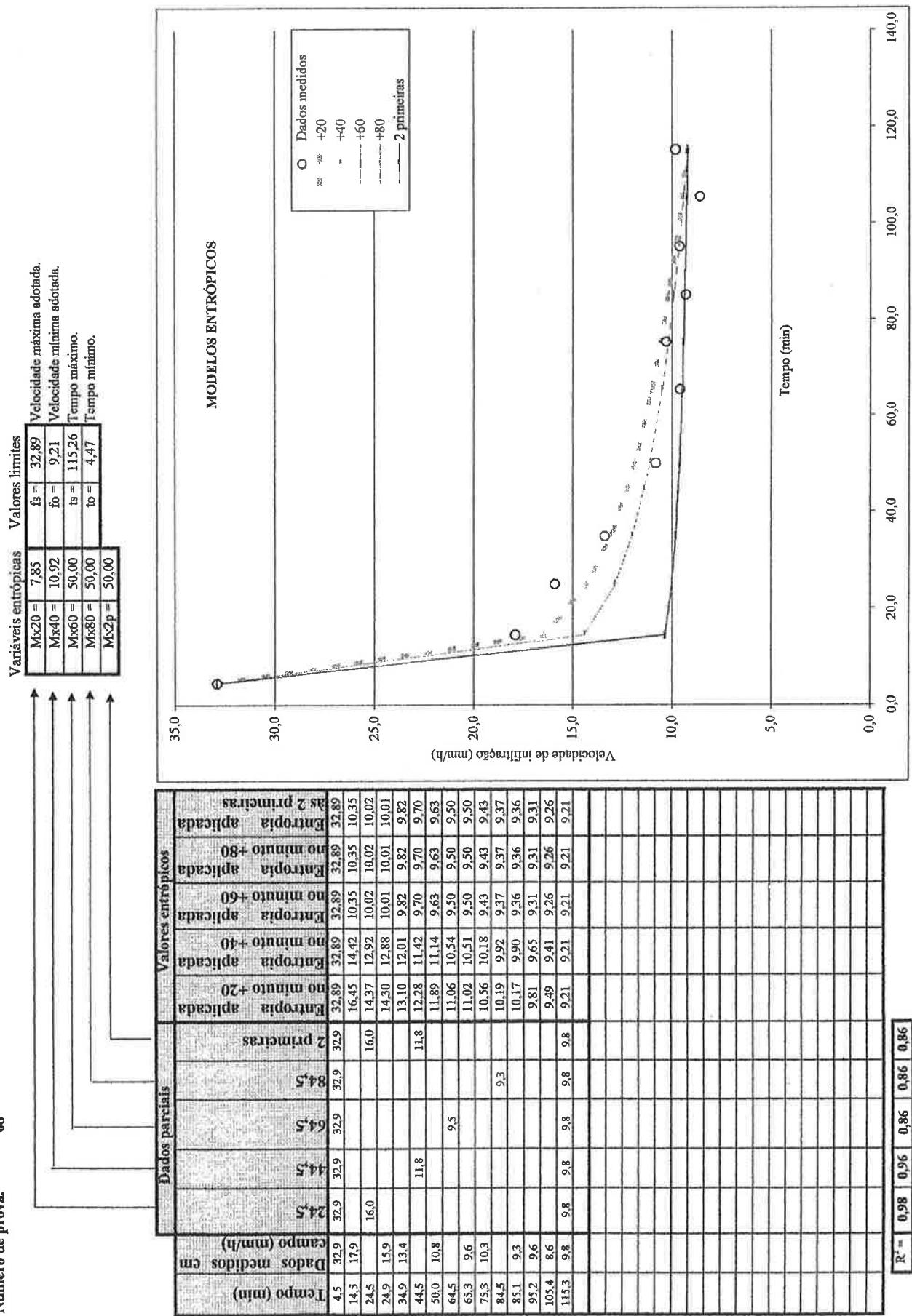
GARKIJO, 1992

Généralité de drogues.



PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltrômetro por sulcos.

Fonte de dados. ESALQ
Número de prova. 68

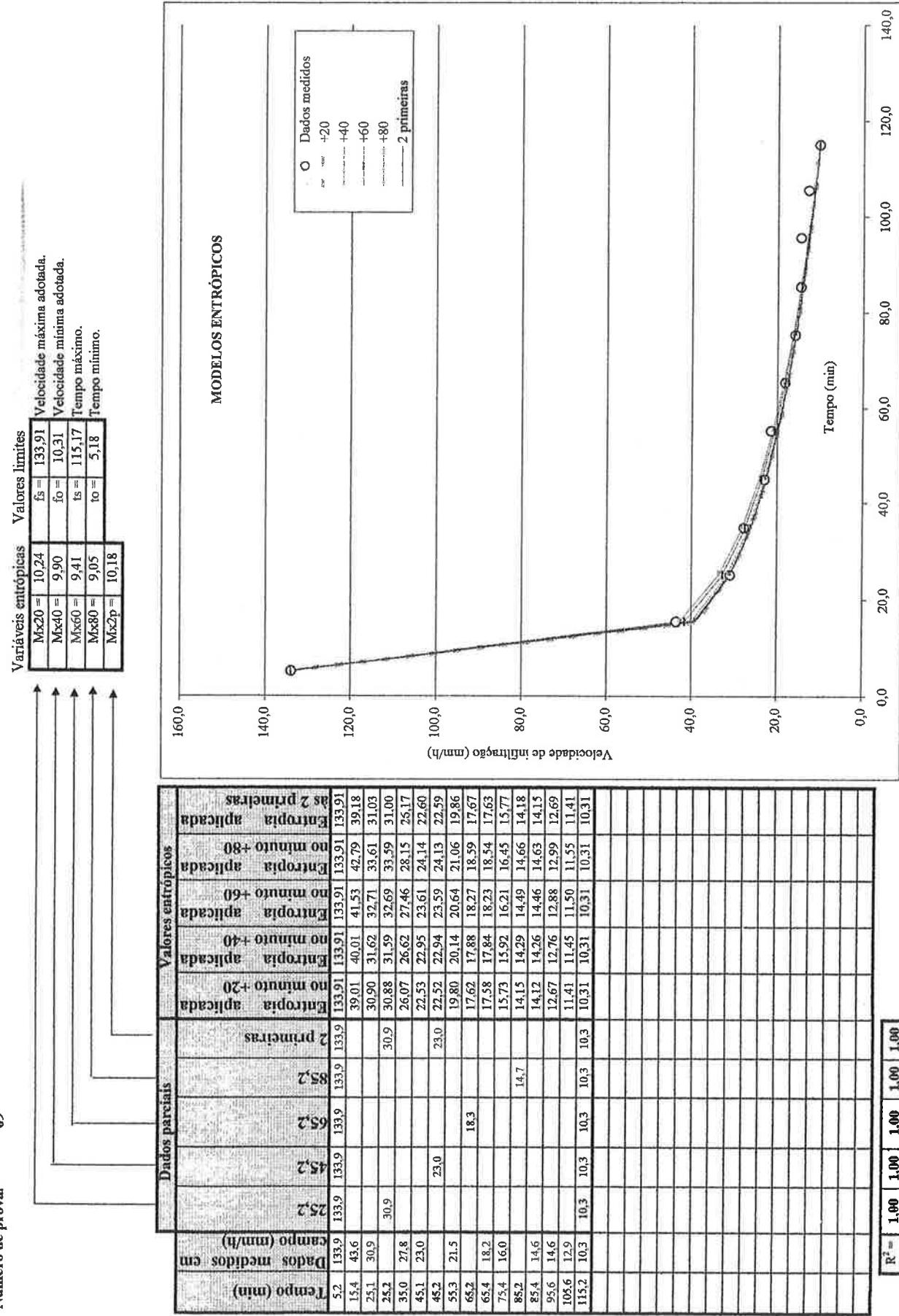


PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltrômetro por sulcos.

Fonte de dados.

ESALQ

Número de prova. 69



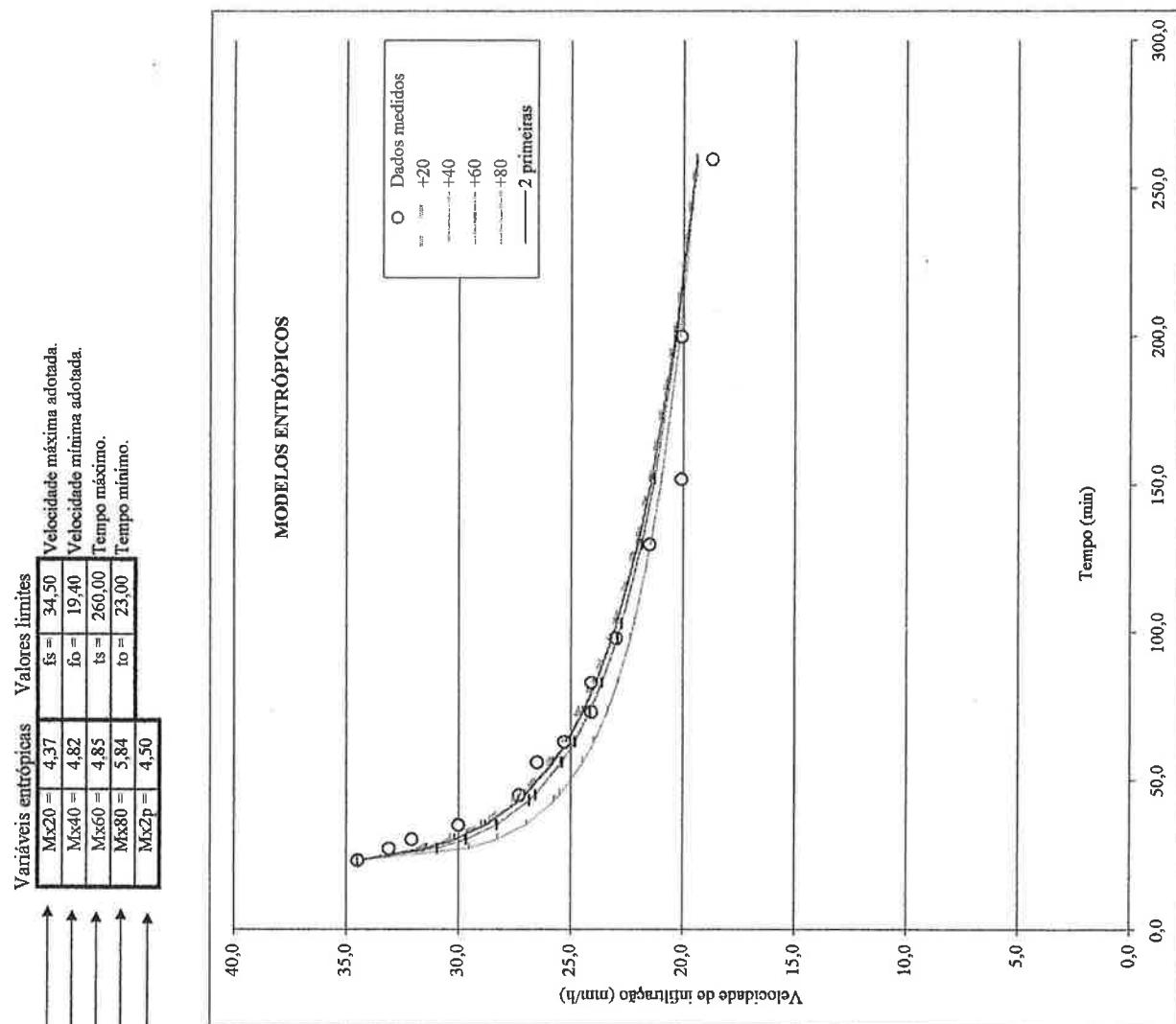
PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltrômetro por suco.

Fonte de dados ESALQ

L'UNION DES CHAMPS

Número de prova.

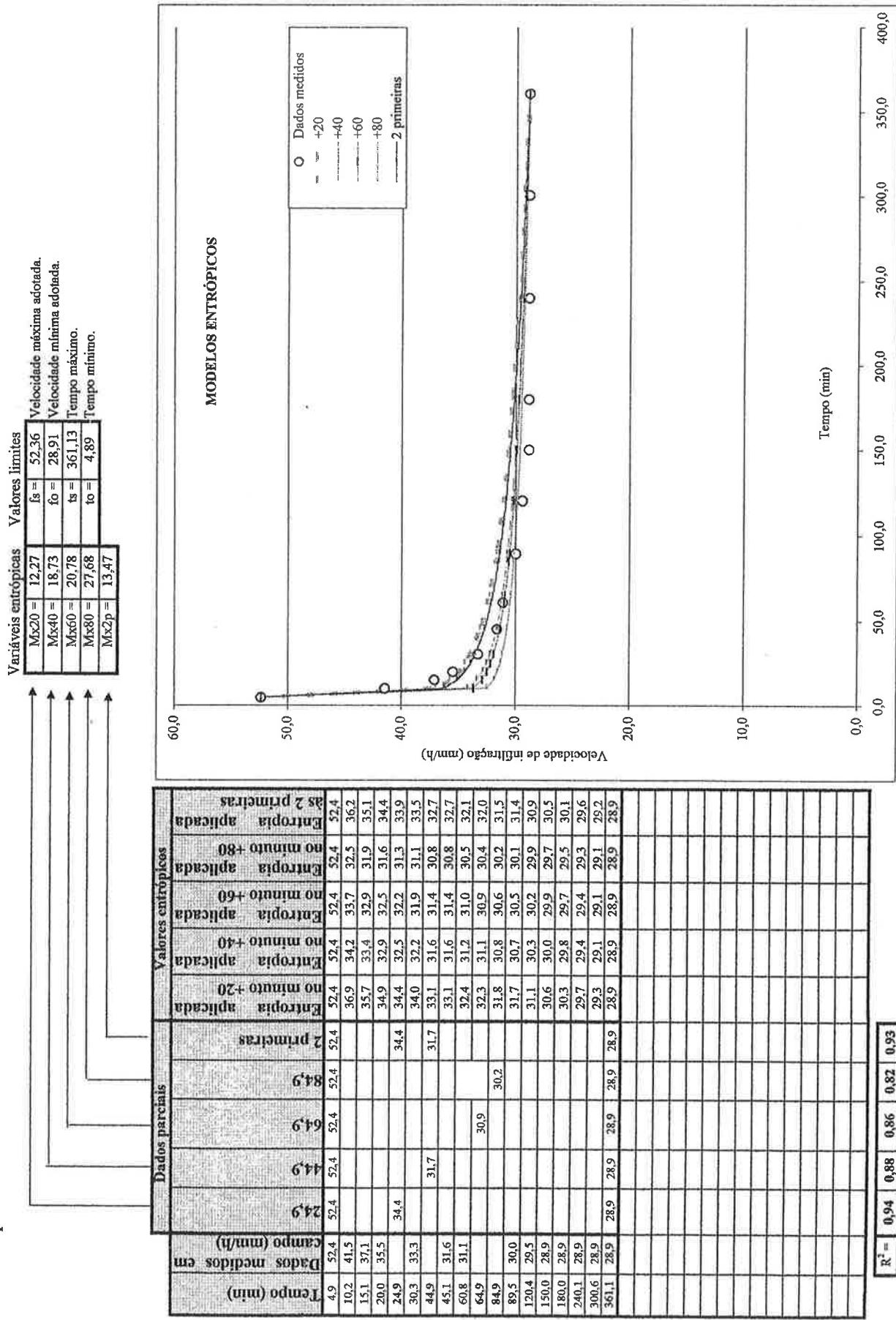
Tempo (min)	Dados medidas em campo (mm/h)	Dados parciais			Valores entropônicos		
		103,0	83,0	63,0	43,0	2 primeiras	Entropia aplicada
23,0	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	31,6	30,9
27,0	33,1					31,0	29,6
30,0	32,1					29,7	28,3
35,0	30,0					28,3	28,0
43,0	27,8					28,3	28,8
45,0	27,3					26,9	26,8
56,0	26,5					27,2	25,7
63,0	25,3					26,0	25,5
73,0	24,1					25,3	24,5
83,0	24,1					24,6	24,2
98,0	23,0					24,0	23,6
103						23,3	23,6
130,0	21,5					23,0	22,9
152,0	20,1					23,1	22,8
200,0	20,1					22,1	21,9
260,0	18,7					21,5	21,3
						20,4	20,3
						20,3	20,2
						19,4	19,4
						19,4	19,4



PLANILHA #2 Determinação da ponto entropico ótimo do infiltrômetro por sulcos.

Fonte de dados: CASTRO, SOUZA, 1999

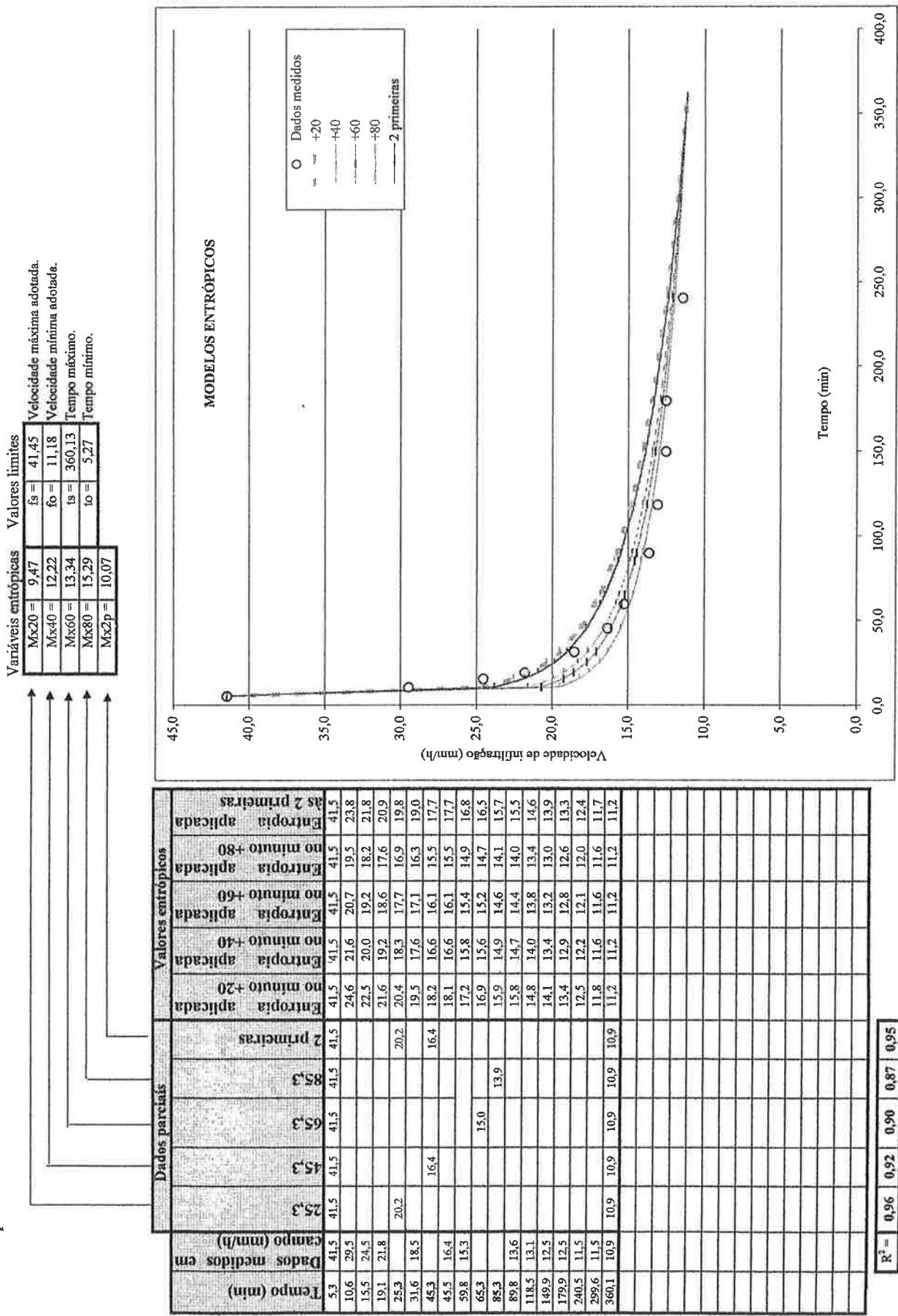
Número de prova: 71



PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltriômetro por sulcos.

Fonte de dados. CASTRO; SOUZA, 1999

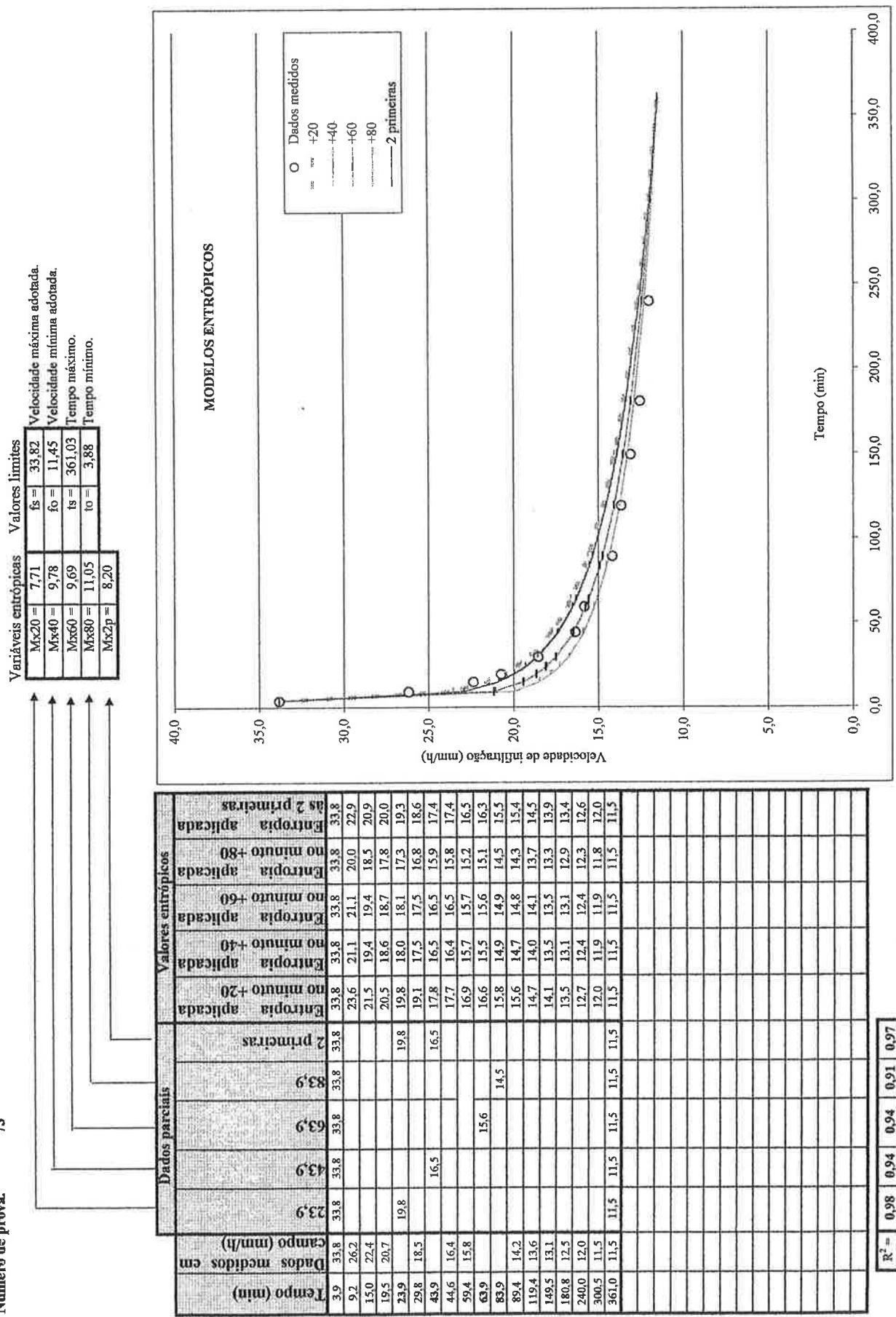
Número de prova. 72



PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltrômetro por sulcos.

Fonte de dados. CASTRO SOUZA, 1999

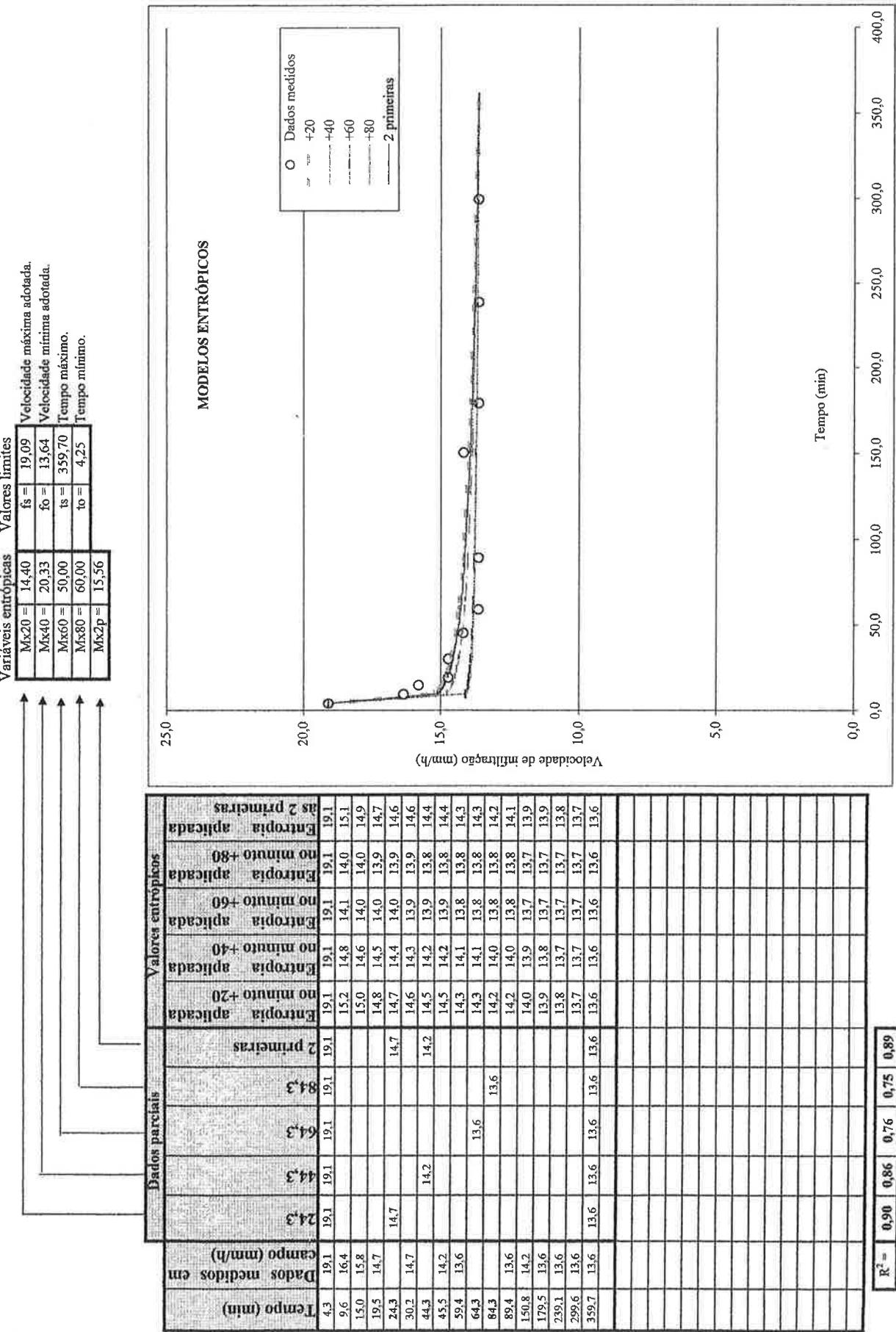
Número de prova. 73



PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do Infiltrômetro por sulcos.

ESALQ

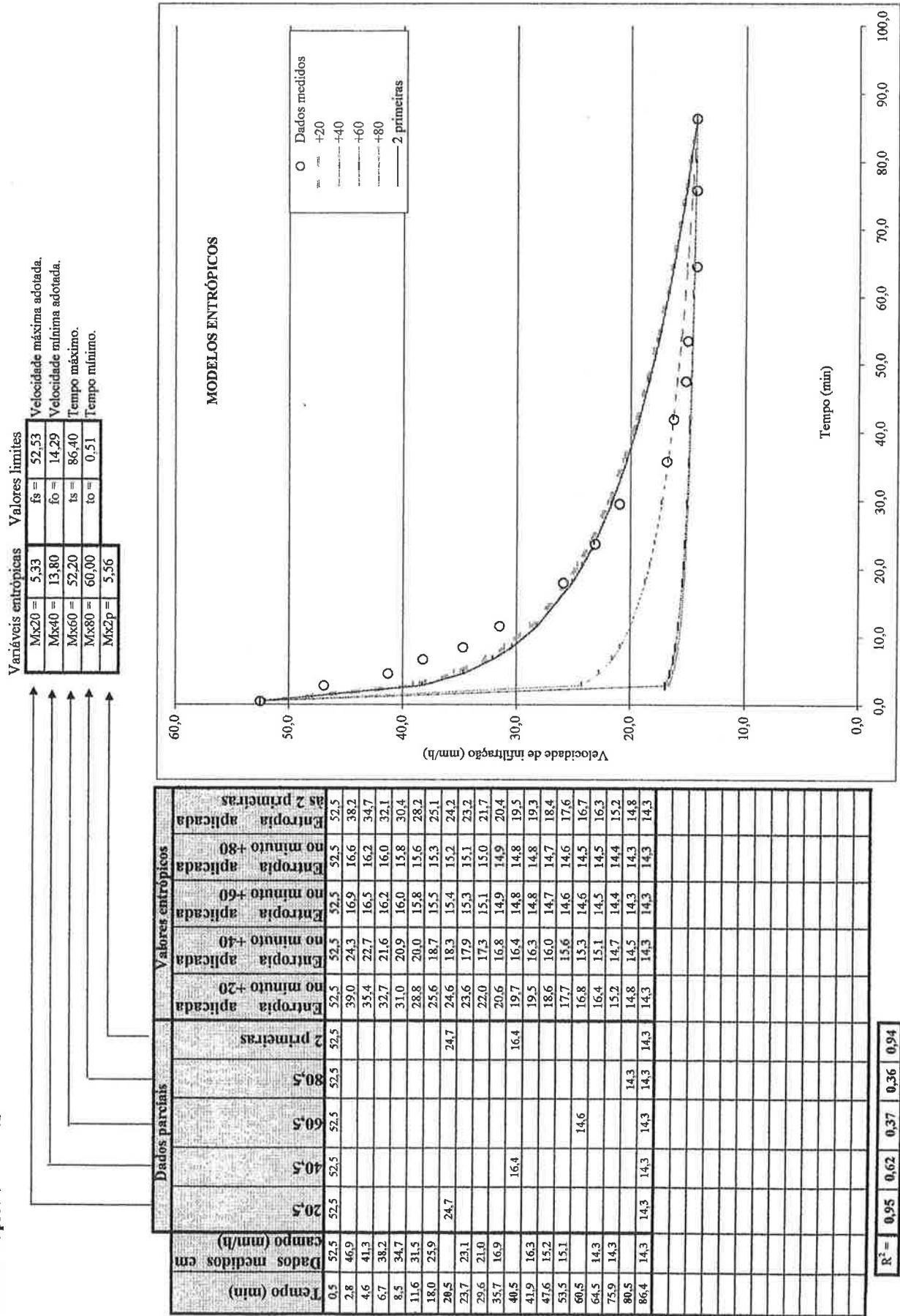
Fonte de dados.



PLANILHA #2 Determinação da ponto entrópico ótimo do infiltrômetro por sulcos.

Fonte de dados. SOBRINHO T. A.; MARCCHETTI F. E

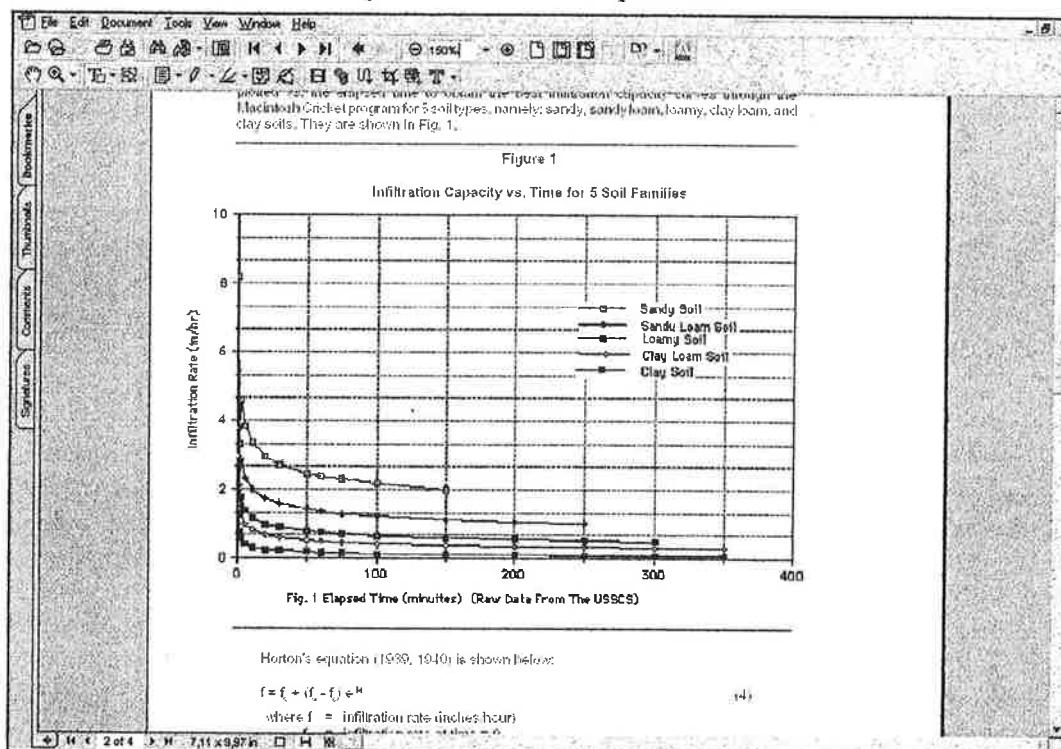
Número de prova. 75



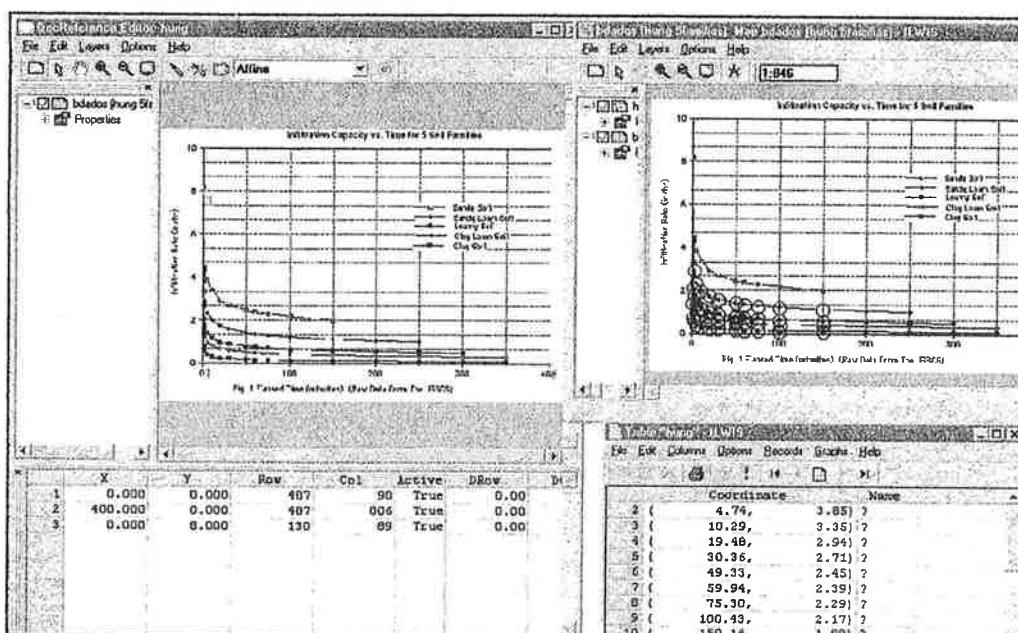
Apêndice D

DETERMINAÇÃO DE CURVAS ENTRÓPICAS PARA OS TIPOS DE SOLO PADRÃO

1. Capturar a imagem correspondente às curvas padrões.



2. Com um software, neste caso o ILWIS beta 3.0, processar a curva gráfica a dados numéricos.



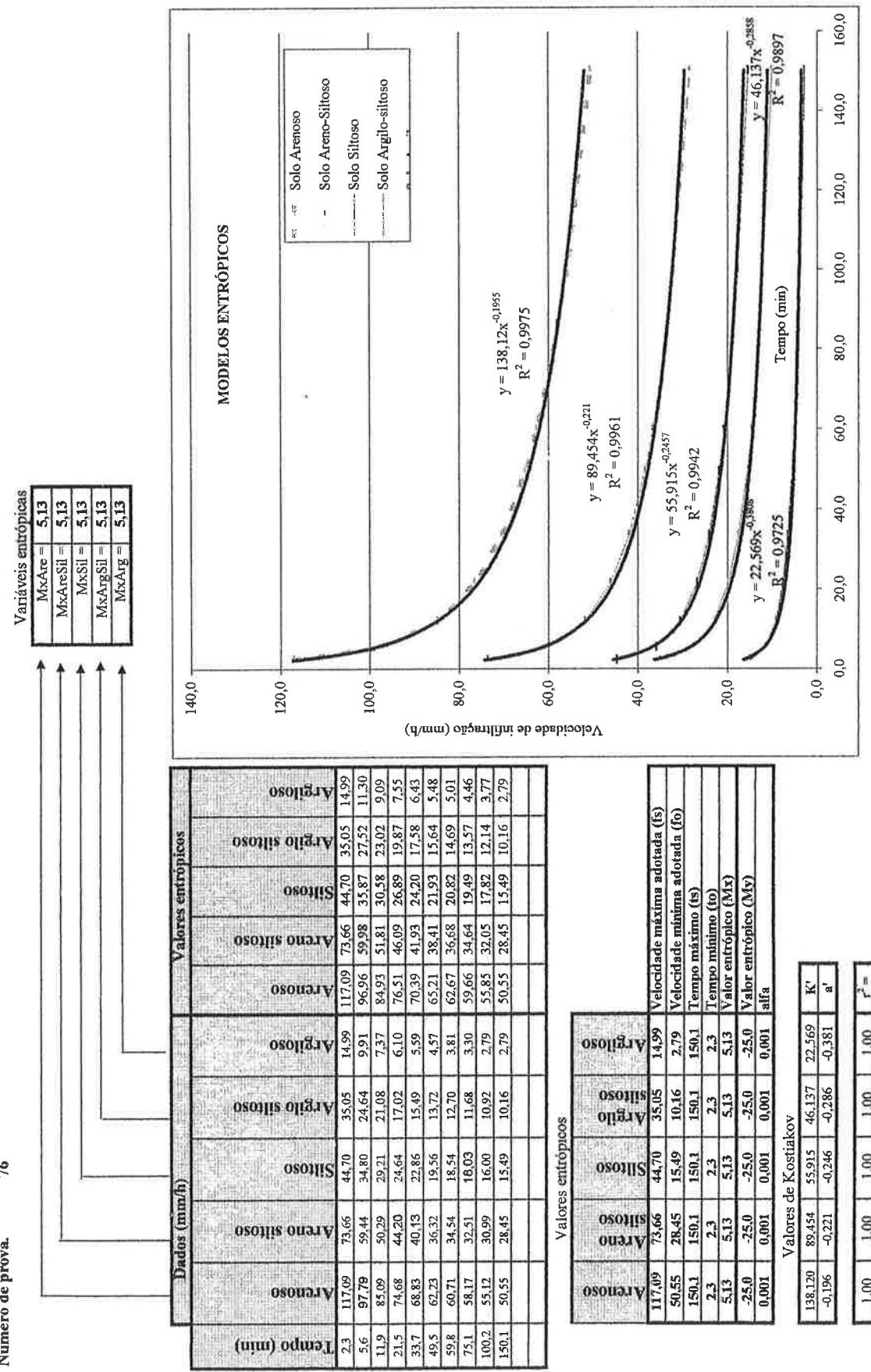
3. Determinar os valores entrópicos equivalentes

PLANILHA 3

Fonte de dados.

HUNG, MANDOZA

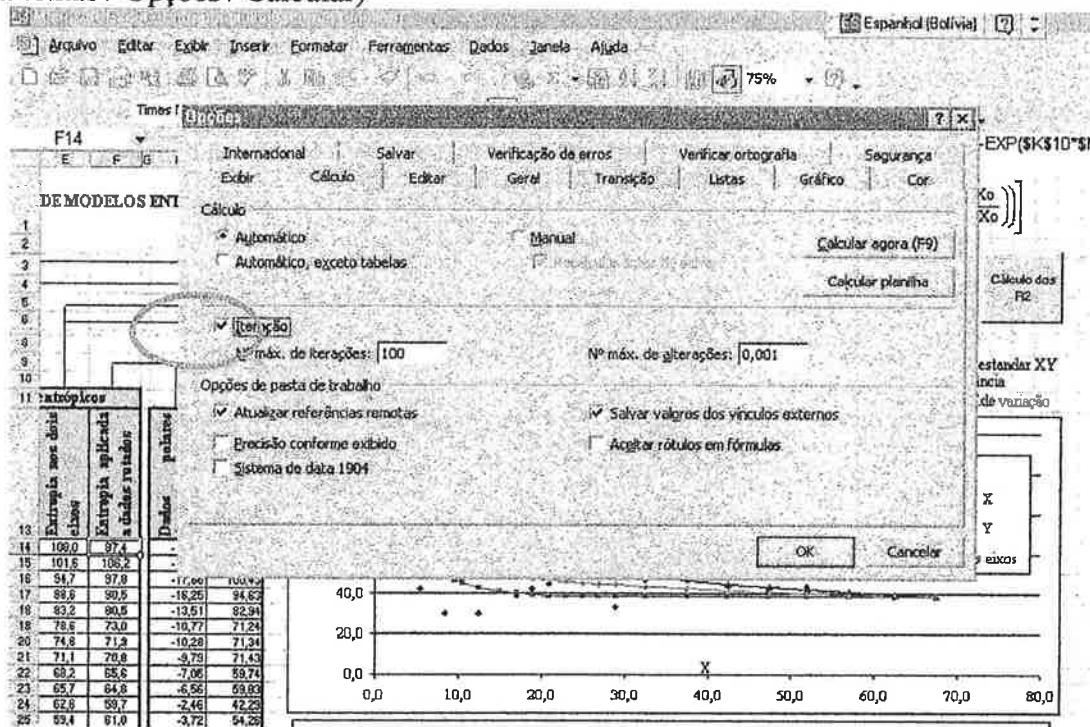
Número de prova. 76



Apêndice E

INSTRUÇÕES DE USO DA PLANILHA DE APLICAÇÃO DA ENTROPIA MULTIDIRECIONAL

Inicialmente, no caso de ser necessário, iniciar o controle da referência circular (Menu / Ferramentas / Opções / Calcular)



Posteriormente abrir o arquivo Entropia multidirecional (anexo 5).xls e seguir os seguintes passos:

1. Substituir as colunas da planilha com dados experimentais
2. Redefinir os valores limites, se for necessário, que por defeito tiram a média dos três valores dos primeiros e últimos dados experimentais.
3. Apertar o botão que ativa a macro de iterações, utilizando a função solver do Excel.
4. Quatro janelas de confirmação vão aparecer pedindo a confirmação da iteração.
5. Os coeficientes de determinação encontram-se na parte inferior da planilha.

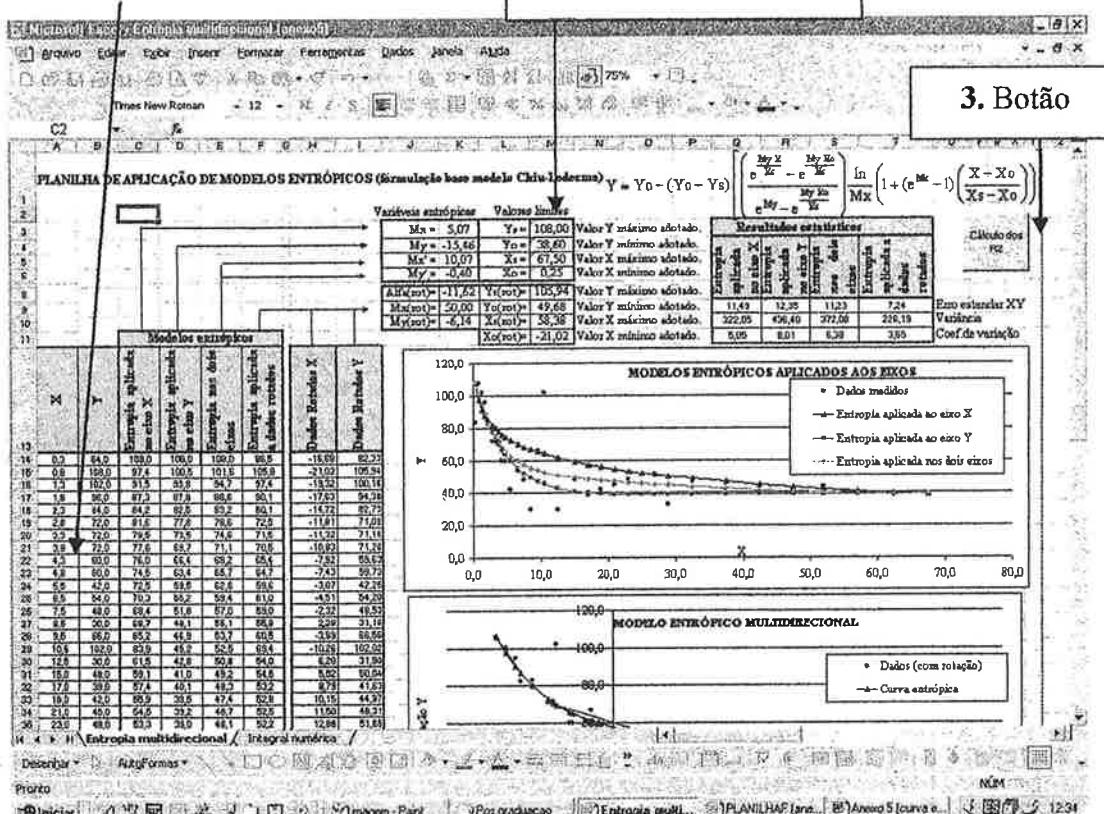
No lado direito da planilha encontram-se os dados de forma polar utilizados na iteração.

No caso de dar um erro é provável que algum valor entrópico ficou grande, se recomenda reduzi-lo a 50 ou -50 dependendo do caso.

1. Dados experimentais

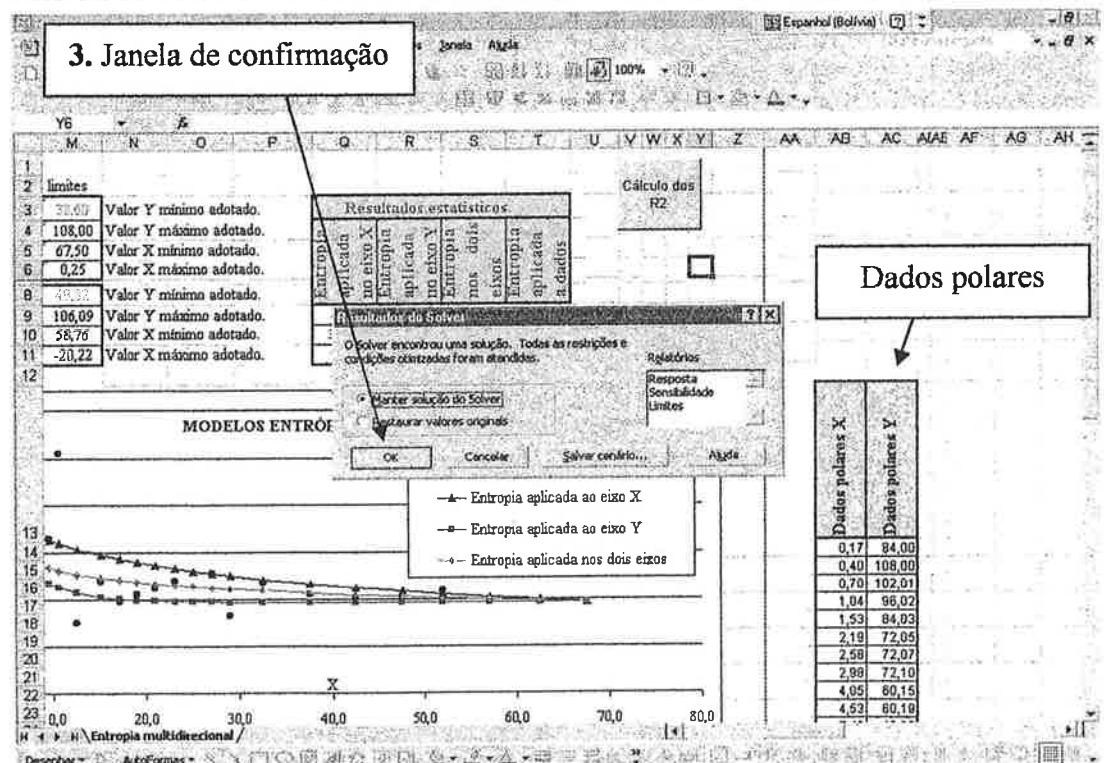
2. Valores limites

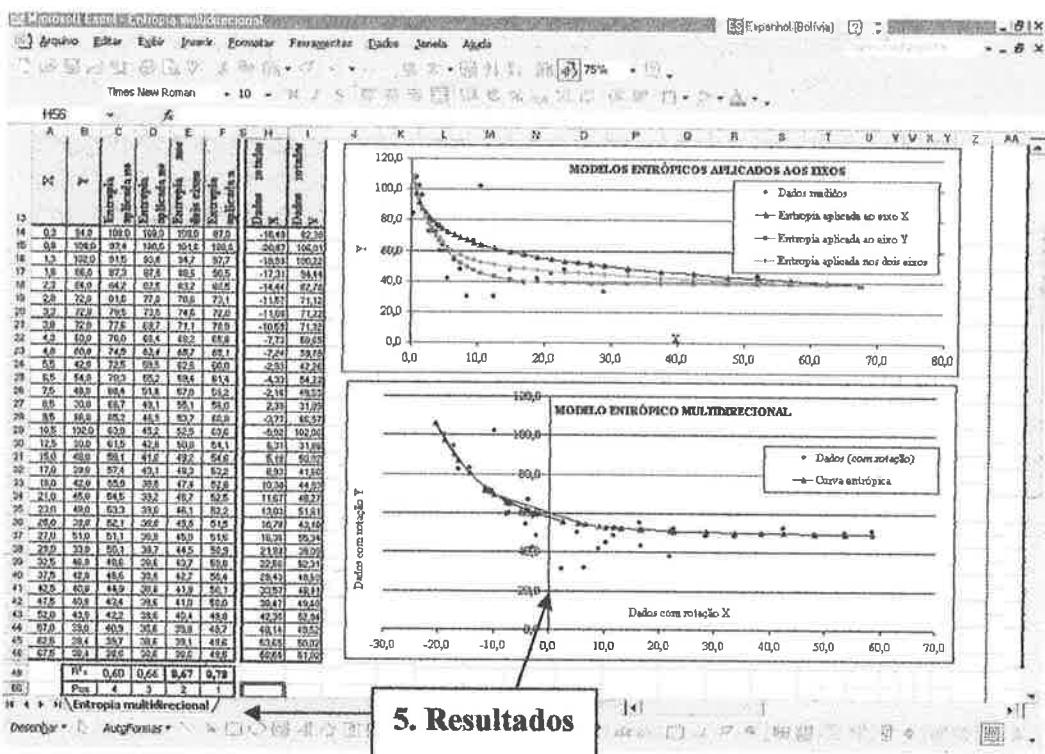
3. Botão



3. Janela de confirmação

Dados polares



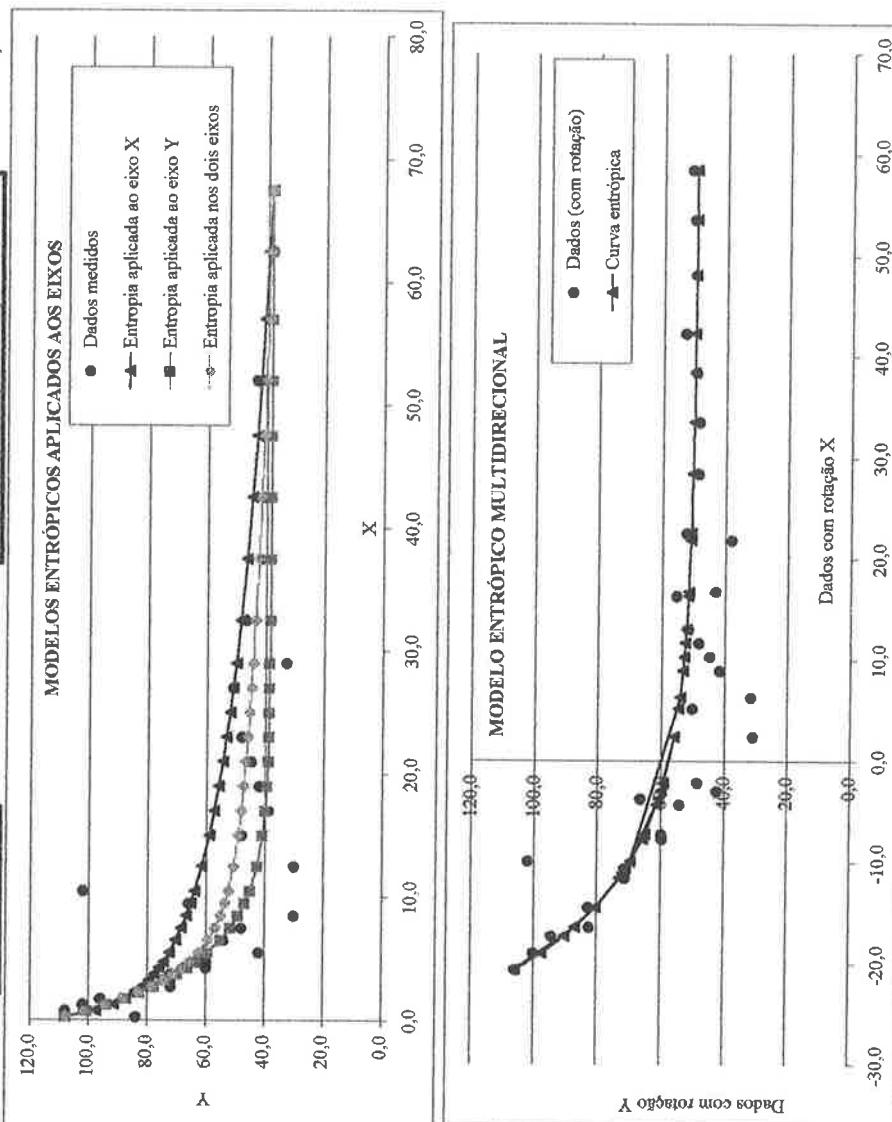


5. Resultados

PLANILHA DE APLICAÇÃO DE MODELOS ENTROPÍCOS (método Chiu-Ledezma)

APLICAÇÃO DE MODELOS ENTRÓPICOS (método Chiu-Ledezma)		Fórmula base	$Y = Y_O - (Y_O - Y_S)$	$\left[\frac{\ln \left(\frac{Mx}{X_S} - e^{\frac{Mx}{X_S}} \right)}{\frac{Mx}{X_S} - e^{\frac{Mx}{X_S}}} \right] \frac{\ln \left(1 + (e^{Mx} - 1) \left(\frac{X - X_O}{X_S - X_O} \right) \right)}{Mx}$
Variáveis empresariais		Valores limites		
$Mx = 5,07$		$Y_S = 108,00$		Valor Y máximo adotado.
$My = -15,46$		$Y_O = 38,60$		Valor Y mínimo adotado.
$Mx' = 10,07$		$X_S = 67,50$		Valor X máximo adotado.
$My' = -0,40$		$X_O = 0,25$		Valor X mínimo adotado.
				Resultados estatísticos
				α
				$\alpha_{0,05}$
				$\alpha_{0,01}$
				$\alpha_{0,001}$

		Modelos entrópicos							
		A			B				
X		Entropia X	Entropia Y	Entropia Z	Entropia nos dois	Entropia ambos	Entropia aplicada	Entropia aplicada	Entropia aplicada
0.3	84.0	108.0	108.0	108.0	108.0	108.0	86.9	86.9	86.9
0.8	108.0	97.4	100.5	100.5	101.6	101.6	106.0	106.0	106.0
1.3	102.0	91.5	93.8	94.7	94.7	94.7	97.7	97.7	97.7
1.8	96.0	87.3	87.8	88.6	88.6	88.6	90.4	90.4	90.4
2.3	84.0	84.2	82.5	83.2	83.2	83.2	80.4	80.4	80.4
2.8	72.0	81.6	77.8	78.6	78.6	78.6	72.9	72.9	72.9
3.3	72.0	79.5	73.5	74.6	74.6	74.6	71.9	71.9	71.9
3.8	72.0	77.6	69.7	71.1	71.1	71.1	70.8	70.8	70.8
4.3	60.0	76.0	66.4	68.2	68.2	68.2	65.7	65.7	65.7
4.8	60.0	74.5	63.4	65.7	65.7	65.7	65.0	65.0	65.0
5.5	42.0	72.5	59.5	62.6	62.6	62.6	59.9	59.9	59.9
6.5	54.0	70.3	55.2	59.4	59.4	59.4	61.3	61.3	61.3
7.5	48.0	68.4	51.8	57.0	57.0	57.0	59.2	59.2	59.2
8.5	30.0	66.7	49.1	55.1	55.1	55.1	53.2	53.2	53.2
9.5	66.0	65.2	46.9	53.7	53.7	53.7	60.7	60.7	60.7
10.5	102.0	63.9	45.2	52.5	52.5	52.5	69.5	69.5	69.5
12.5	30.0	61.5	42.8	50.8	50.8	50.8	54.1	54.1	54.1
15.0	48.0	59.1	41.0	49.2	49.2	49.2	54.5	54.5	54.5
17.0	39.0	57.4	40.1	48.3	48.3	48.3	53.2	53.2	53.2
19.0	42.0	53.9	39.5	47.4	47.4	47.4	52.8	52.8	52.8
21.0	45.0	54.5	39.2	46.7	46.7	46.7	52.4	52.4	52.4
23.0	48.0	53.3	39.0	46.1	46.1	46.1	51.5	51.5	51.5
25.0	39.0	52.1	38.8	45.5	45.5	45.5	51.6	51.6	51.6
27.0	51.0	51.1	38.8	45.9	45.9	45.9	50.9	50.9	50.9
29.0	33.0	50.1	38.7	44.5	44.5	44.5	50.8	50.8	50.8
32.5	46.8	48.6	38.6	43.7	43.7	43.7	50.8	50.8	50.8
37.5	42.0	46.6	38.6	42.7	42.7	42.7	50.4	50.4	50.4
42.5	40.8	44.9	38.6	41.8	41.8	41.8	50.1	50.1	50.1
47.5	40.8	43.4	38.6	41.0	41.0	41.0	50.0	50.0	50.0
52.0	43.5	42.2	38.6	40.4	40.4	40.4	49.8	49.8	49.8
57.0	39.0	40.9	38.6	39.8	39.8	39.8	49.6	49.6	49.6
62.5	38.4	39.7	38.6	39.1	39.1	39.1	49.5	49.5	49.5
67.5	38.4	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6	49.5	49.5	49.5



Método Chiu-Ledezma)		Fórmula base	$Y = Y_0 - (Y_O - Y_S)$	$\left[\frac{\left(\frac{My}{X_s} - e^{\frac{My}{X_s}} \right)}{e^{My} - e^{\frac{My}{X_s}}} \right] \ln \left(\frac{1 + (e^{Mx} - 1) \left(\frac{X - X_O}{X_s - X_O} \right)}{Mx} \right)$
Variáveis entropicas	Valores limites			
$Mx = 5,07$	$Y_S = 108,00$	Valor Y máximo adotado.		
$My = -15,46$	$Y_O = 38,60$	Valor Y mínimo adotado.		
$Mx' = 10,07$	$X_S = 67,50$	Valor X máximo adotado.		
$My' = -0,40$	$X_O = 0,25$	Valor X mínimo adotado.		
Resultados estatísticos		Entropia de aplicada no etio X	Entropia de aplicada no etio Y	Entropia de rotacionados
		e^{My}	e^{Mx}	$e^{My - \frac{My}{X_s}}$

Resultados estatísticos	
Entropia X	Entropia Y
Entropia no aplicada	Entropia no aplicada
11,49	12,35
322,05	436,40
5,05	8,01
108,00	11,23
38,60	7,31
67,50	230,29
0,25	3,71
Y _S =	X _S =
Y _D =	X _D =
X _S =	X _D =
X _D =	X _S =
Y _S =	Y _D =
5,07	106,01
-15,46	49,53
10,07	58,55
-0,40	-20,67
Alfa(rot)=	Y(rot)=
Mx(rot)=	Y(rot)=
My(rot)=	X(rot)=

Apêndice F

MANUAL DE USO DO MEISC+VD

1. Dados de entrada do modelo geral

Escolhe-se o tipo de sulco que pode ser tanto semi circular quanto triangular, o programa determina a vazão máxima fornecida e calcula o diâmetro ou altura mínima para esta vazão, posteriormente recomenda-se como diâmetro ou altura para se usar este valor mínimo vezes 1.1

Os dados de fornecimento de água foram projetados para o ingresso de vazão descontinua e até nula para intervalos de tempo escolhidos pelo usuário.

Botões de funcionamento do programa, “Modelar” faz rodar o programa, “Créditos” mostra os nomes e os endereços eletrônicos dos autores do trabalho.

O tempo de simulação deve ser maior ou igual à somatória do tempo de fornecimento de água permitindo calcular a infiltração depois que o fornecimento de água acabou (apertando na etiqueta “Tempo de ... (min) =” o mesmo é calculado automaticamente).

MEISC+VD (Universidade de São Paulo-Brasil)

TÍTULO

DADOS DO FORNECIMENTO DE ÁGUA

Vazão (l/s)	5	2,5	5	2,5	5	0	0	0
Tempo (min)	0,1	0,2	0,1	0,2	0	0	0	0

Delta T do modelo (min) = 0,05
Número de conjuntos sulco-cavidade = 4

Tempo de simulação (min) = 0,6

TIPO DE SULCO

- Triangular
- Semi Circular

Diâm. mínimo[m] = 0,205
Diâm. a se usar[m] = 0,22

Dados geométricos dos sulcos e das bacias.

$k_1 [m^{-1}] = 0,00103$
 $k_2 [m^{-1}] = 0,00245$

$L [m] = 10$
 $dx [m] = 0,025$
 $dy [m] = 0,01$

$D [m] = 5$
 $c [m] = 1$
 $h_1 [m] = 0,2$
 $h_2 [m] = 0,01$

Fator de pedras (0,8-0) = 0,2

DADOS DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO

Usar a fórmula de Kostiakov-Lewis
 $K = k_1 \cdot t^{1/2} + f$

Sulco Impermeável
Delta T da infiltração (min) = 0,001
 $M_x = 5,07$

Velocidade de infiltração em mm/h

Infiltração no sulco	Tempo em min
$t_{in} = 0,25$ $t_s = 67,50$ $f_o = 108$ $f_s = 38,4$	$M_y = 6,02$ $t_o = 18,16$ $f_o = 106,46$ $f_s = 49,62$

RESULTADOS

1a cavidade 2 cavidade 3 cavidade Última cavidade

Conjunto sulco-bacia das quais quer se ver os resultados

Os dados da infiltração podem ser de tipo entrópico ou de tipo Kostiakov - Lewis

Figura 1 Formulário único do programa

Existem parâmetros de simulação com valores recomendados (de outra cor) cujas sensibilidades nos resultados do modelo esta analisado no ponto 4.2.2 recomendando os valores que aparecem na tela.

O fator de pedra é a porcentagem de pedras que tem na bacia, 0 é sem pedras e 0.8 é cheio de pedras, o valor de 1 significaria que não tem bacia porque ela esta preenchida totalmente.

2. Dados da infiltração

Os dados da infiltração podem ser preenchidos utilizando as fórmulas entrópicas apoiados pela planilha Entropia multidirecional.xls (apêndice 5) ou determinando os parâmetros da fórmula Kostiakov-Lewis por simples regressão numérica

Ativando “Usar a fórmula Kostiakov-Lewis” aparecem as variáveis correspondentes. Ativando sulco impermeável as variáveis da infiltração no sulco desaparecem.

DADOS DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO		Velocidade de infiltração em mm/h	Tempo em min
Delta T da infiltração (min)=	0,001	Usar a fórmula de Kostiakov-Lewis $K' = t^{\alpha} e^{-tf}$	Infiltração na cavidade
Sulco Impermeável		$\alpha = -0,5$ $K' = 37,5$ $tf = 0$	$\alpha = -0,5$ $K' = 37,5$ $tf = 0$

Figura 2 Dados da infiltração

Para preencher estes dados com valores de solos padrões utilizar a seguinte tabela.

Valores entrópicos					
Arenoso	Areno siloso	Siltoso	Argiloso siloso	Argiloso	
117,09	73,66	44,70	35,05	14,99	Velocidade máxima adotada (f_s)
50,55	28,45	15,49	10,16	2,79	Velocidade mínima adotada (f_o)
150,1	150,1	150,1	150,1	150,1	Tempo máximo (t_s)
2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	Tempo mínimo (t_o)
5,13	5,13	5,13	5,13	5,13	Valor entrópico (M_x)
-25,0	-25,0	-25,0	-25,0	-25,0	Valor entrópico (M_y)
0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	alfa

Valores de Kostiakov					
138,120	89,454	55,915	46,137	22,569	K'
-0,196	-0,221	-0,246	-0,286	-0,381	a'

$$R^2 = \begin{matrix} 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \end{matrix}$$

Tabela 1 Constantes dos tipos de solo padrão

A infiltração por sulcos usa a fórmula entrópica aplicada ao eixo X, enquanto a infiltração nas bacias usa a fórmula da entropia multidirecional. O Programa modela ambas infiltrações com a fórmula de Kostiakov-Lewis também.

3. Resultados

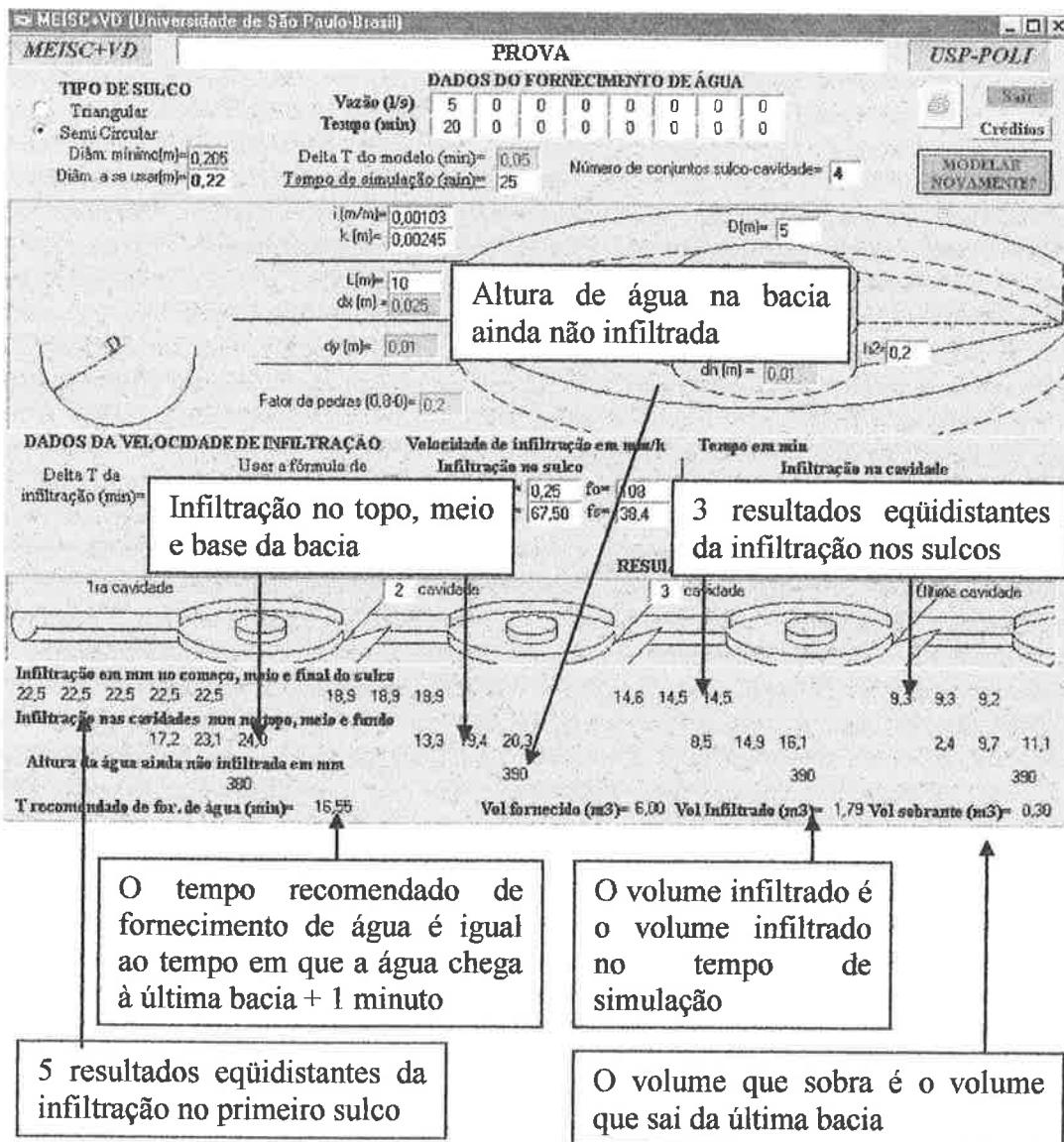


Figura 3 Resultados

4. Modelagem com vazão descontinua

O modelo consegue simular irrigação por vazão descontinua tanto no sistema superficial por bacias quanto no sistema de sulcos normais

Para simular este tipo de irrigação num sulco normal a recomendação consiste em:

- Preencher o número de conjunto sulcos – bacias com o valor de 1.
- Subtrair 1 minuto do tempo recomendado de fornecimento de água para saber o tempo que demora em chegar até o final do sulco (porque o modelo simula o momento em que o escoamento chega no final do sulco e adiciona 1 minuto).
- Para determinar o volume que sobra subtrair o volume fornecido do volume infiltrado.

Analiticamente o modelo consegue simular a irrigação descontinua diminuindo o volume fornecido e incrementando a uniformidade, mas praticamente não se fez nenhuma prova para validar este tipo de irrigação, por não ser um dos objetivos do presente trabalho.

No apêndice H simula-se este tipo de irrigação num sulco de 10 metros de comprimento tanto com o sulco semicircular quanto com o sulco triangular, resultando a irrigação por vazão descontínua que economiza maior quantidade de água e produz uma maior uniformidade.

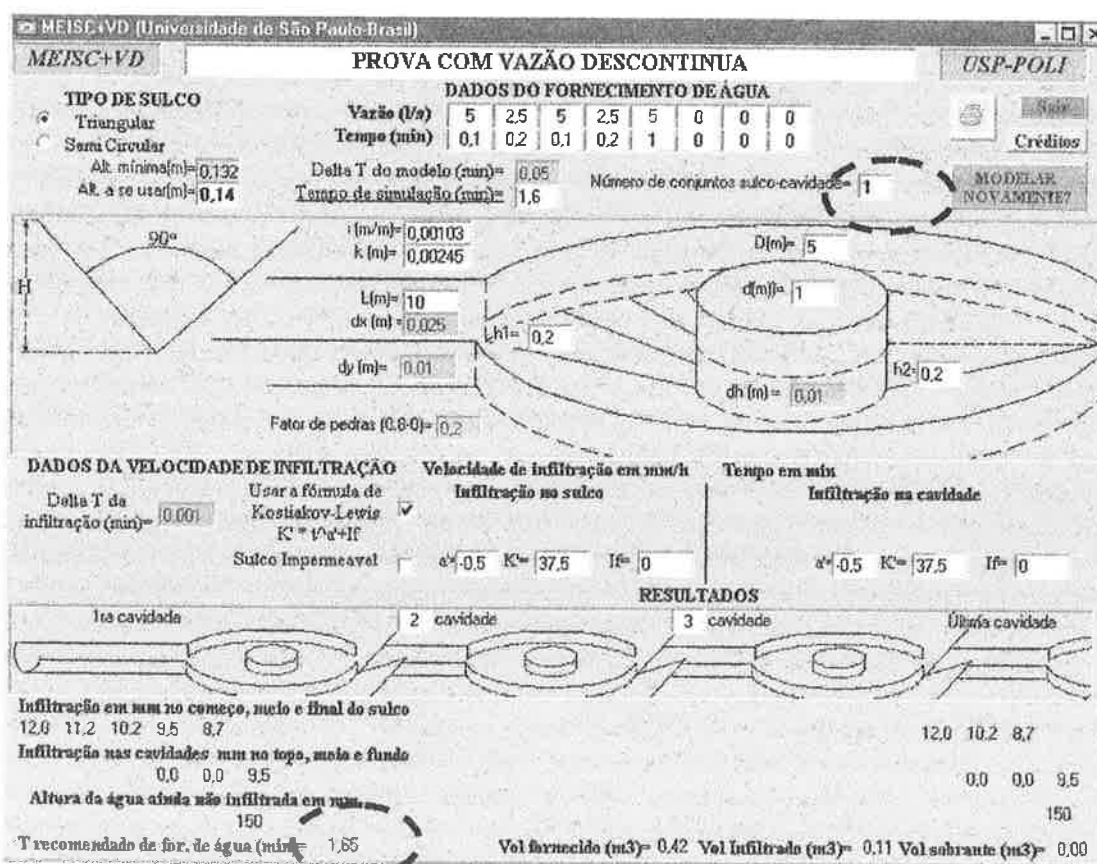


Figura 4 Resultados de simulação com vazão descontínua

Ao longo do programa os diversos erros de preenchimento de dados estão previstos.

Em alguns computadores o programa não funciona, talvez devido a problemas com a versão do Microsoft Visual Basic 6.0 ou a versão do Windows utilizado, recomenda-se testar o programa num outro computador.

O tempo que demora em rodar o programa é grande e pode parecer como que o programa não está respondendo, mas é só esperar o programa terminar de funcionar.

Adicionalmente desenvolveu-se um programa complementar que inclui todas as fórmulas adicionais a se utilizar chamado “Adicional”

Figura 5 Programa complementar .

Apertando “Calcular” determina os resultados, assumindo um valor mínimo de diâmetro externo – diâmetro interno de 0.25.

Figura 6 Programa complementar .

O programa tem a opção de recalcular todos os valores e de recalcular o valor de H1 modificando os valores de H2, d e D.

Ter muito cuidado de substituir os valores utilizando “ , ” e não “ . ” porque o programa dá erro.

Apêndice G

MANUAL DE APLICAÇÃO PRÁTICA IRRIGAÇÃO SUPERFICIAL LOCALIZADA POR BACIAS

1. Método de irrigação

O sistema proposto consiste na escavação do terreno ao redor da base da planta na forma de um anel grosso, esse deve ter o diâmetro exterior um pouco menor que o diâmetro da zona radicular e o diâmetro interno suficiente para dar sustentação à planta e para evitar que esta molhe o talo. Esta bacia produzirá um bulbo úmido equivalente aos gerados pela irrigação localizada por gotejadores.

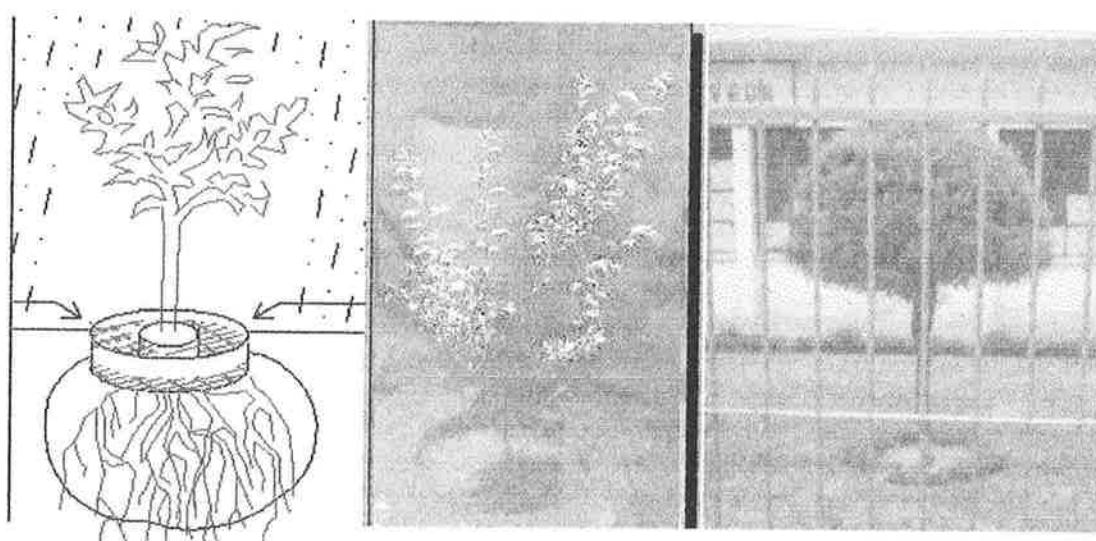


Figura 1 Esquema de aplicação

Analizando esta bacia afirma-se que existe uma relação linear entre a lâmina de água infiltrada verticalmente dentro da bacia e a infiltração horizontal na periferia do diâmetro externo. A infiltração na parte central da bacia é vertical enquanto que nos contornos ela é vertical e horizontal. As seguintes fórmulas desenvolvidas ajudam no cálculo dos valores do diâmetro interno e externo das bacias

$$D = Dr - 2 * Ih \quad (1)$$

$$d \sim 3 * dt \quad (2)$$

Onde : D= Diâmetro externo bacia

Dr= Diâmetro da zona radicular

dt = Diâmetro do tronco

Ih = Infiltração horizontal

Recomenda-se utilizar como valores práticos de infiltração os valores da tabela 1 Dado que as raízes possuem hidrotropia positiva, em outras palavras as variações pequenas tanto no diâmetro externo como no diâmetro interno não afetam o normal desenvolvimento das raízes.

Arenoso	Areno siltoso	Siltoso	Argilo siltoso	Argiloso
20,0	30,0	34,0	36,0	40,0

Tabela 1 Valores da infiltração horizontal em cm.

Relembrando que esta bacia produz bulbos úmidos equivalentes aos gerados por qualquer um sistema de gotejadores e com as vantagens de uma melhor distribuição de água no diâmetro radicular e uma fácil e econômica aplicação em campo.

Fazendo um declive dentro do anel na direção do centro é possível controlar a forma do bulbo úmido e gerar um bulbo cônico mais eficiente, projetado em função do tipo de raiz.

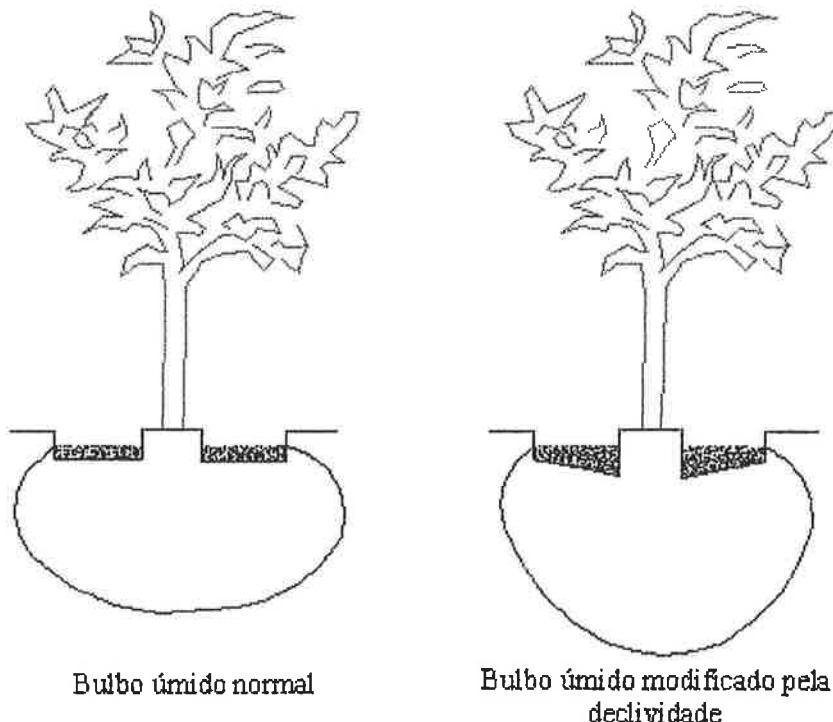


Figura 2 Esquema dos bulbos úmidos gerados

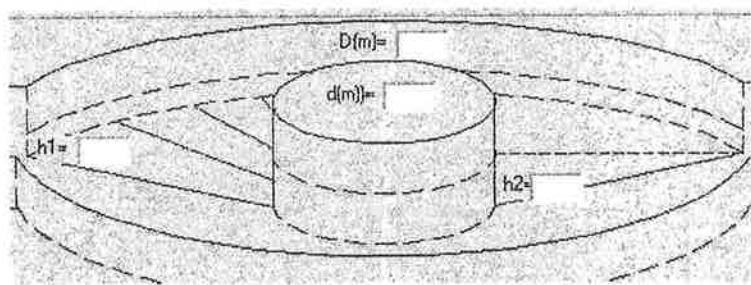


Figura 3 Esquema das bacias

As fórmulas recomendadas para os valores de h1 e h2 são:

$$h_2 = \frac{L(D-d)}{1000.Dr} \quad (3)$$

$$h_1 = \frac{h_2 \cdot d^2 - \frac{h_2 \cdot (D^2 - D \cdot d - d^2)}{3} + \frac{Dr^2 \cdot AI}{3000 \cdot (1-F_p)}}{D^2 - d^2} \quad (4)$$

Onde: h1 e h2 = alturas geométricas das bacias (fig.3)

AI = Máximo mm de altura de água que precisa a cultura (mm de água que a cultura precisa por dia vezes o número de dias de intervalo de irrigação).

Fp = Fator de pedras (0 sem pedras - 0.8 cheio de pedras).

Para aplicações práticas arredondar o valor de h2 ao maior possível e depois arredondar o valor de h1 ao maior também (ver exemplo de aplicação ponto 4).

Capas radiculares podem ser colocadas dentro das bacias como, por exemplo, pedregulhos, que servem de barreiras à evaporação, ou material orgânico como folhas e ramos das mesmas plantas que adubam e protegem contra evaporação ou ainda polímeros (bolsas plásticas ou ponchos mandados em forma de anel grosso) que além de proteger contra a evaporação evitam o crescimento de ervas daninhas e, diariamente, evaporam e condensam a água dos primeiros 30 centímetros da zona radicular, aumentando assim a dissolução dos sais minerais e facilitando a absorção dos mesmos pela planta, incrementando assim o rendimento da colheita.

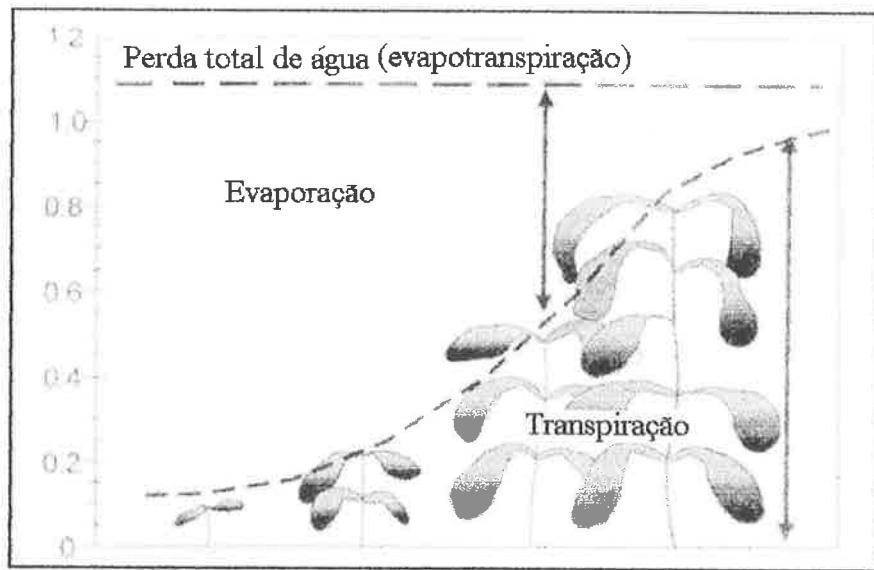


Fig. 4 Esquema das perdas por evaporação em função do crescimento das plantas
(www.fao.org).

É observado na fig. 4 que as perdas por evaporação são maiores na primeira fase de crescimento do cultivo, quanto a planta cresce produz mais sombra, diminuindo as perdas nas últimas fases. Segundo o gráfico, as perdas por evaporação podem atingir quase 80% da perda total de água (evapotranspiração). As perdas por evaporação afetam os primeiros 30 cm do solo, lugar onde situam-se aproximadamente 40% das raízes de vários pomares.

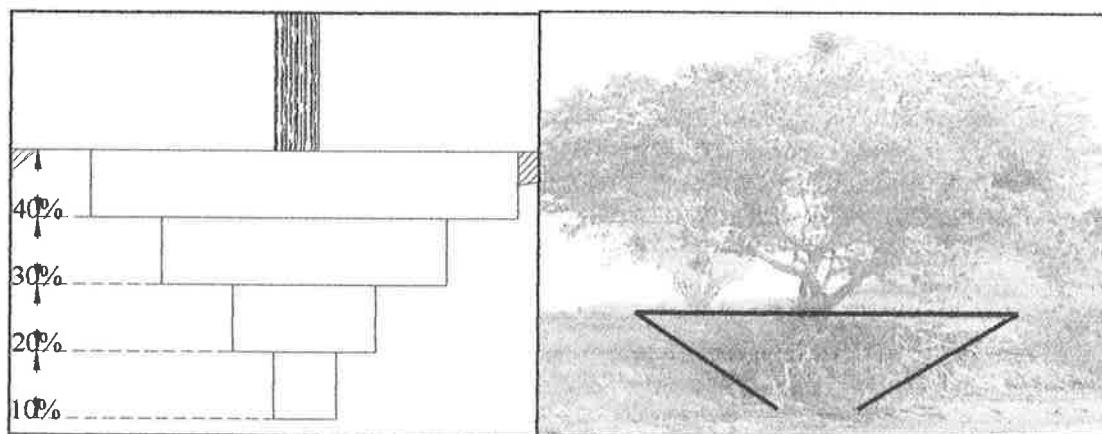


Fig. 5 Distribuição padrão de raízes de alguns pomares.

2. Sistema de irrigação

Para formar o sistema de irrigação estas bacias deverão ser conectadas por meio de sulcos escavados e compactados que além de servir como condutores semi-impermeáveis da água de

irrigação criam um micro sistema de coleta de água de chuva duplicando e até triplicando a porcentagem de chuva efetiva, dependendo da separação entre plantas.

Secundariamente diminui ao mínimo a erosão do solo e permite irrigar a profundidades maiores.

Como o intuito dos sulcos é transportar a maior quantidade de água com a menor perda de água infiltrada, escolheram-se dois possíveis tipos de sulco para o sistema, o semicircular que é a forma que tem o menor raio hidráulico quando está cheia ou semi cheia e a triangular a 90º por ser de fácil limpeza com a enxada, ter o menor raio hidráulico das formas trapezoidal e triangular e ser ótimo para ser impermeabilizado com tabuas ou outros elementos planos.

Para distâncias curtas o sulco semi circular dirige a água mais rapidamente incrementando a eficiência de aplicação enquanto que para meias e longas o sulco triangular é o mais recomendado para esta função.

Quanto maior seja a vazão maior será a eficiência de aplicação.

Para fazer as provas com os infiltrômetros de anel e sulcos tentar simular as mesmas condições que em campo (coberturas radiculares e compactação).

Recomenda-se impermeabilizar estes sulcos com plásticos, madeiras ou colocando material fino peneirado e compactando os sulcos.

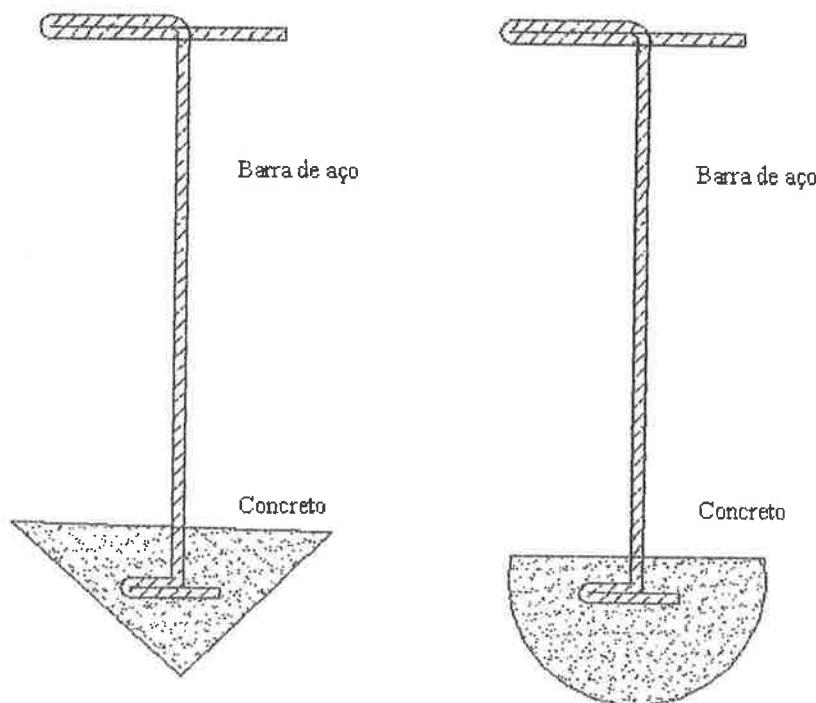


Fig.6. Esquema de uma ferramenta manual de compactação.

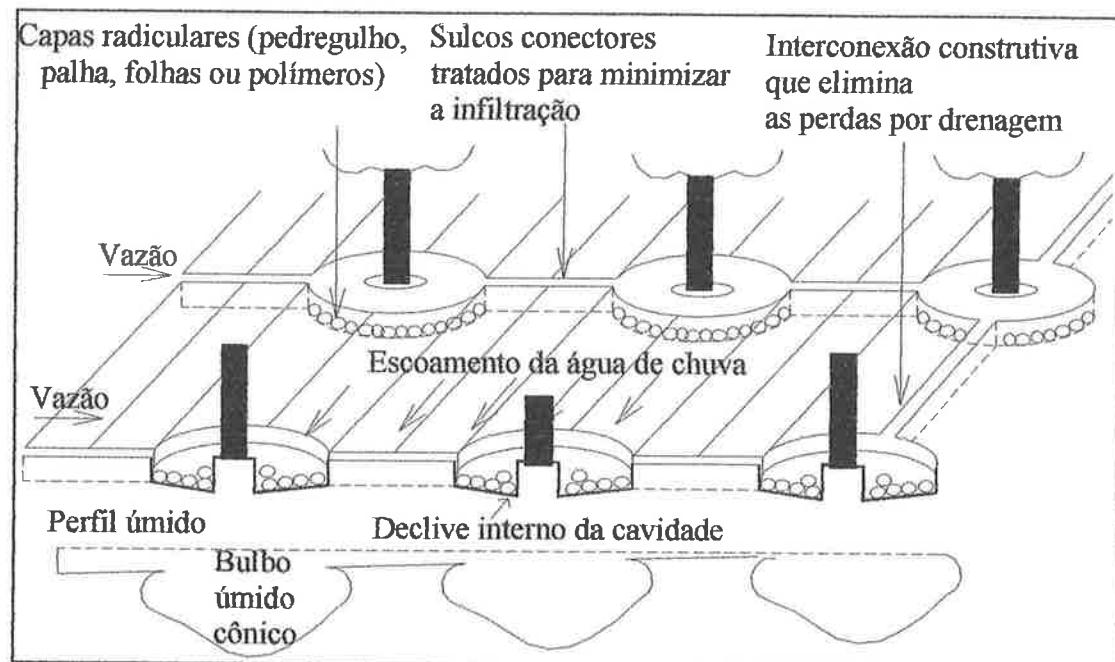


Fig.7 Esquema do sistema de irrigação.

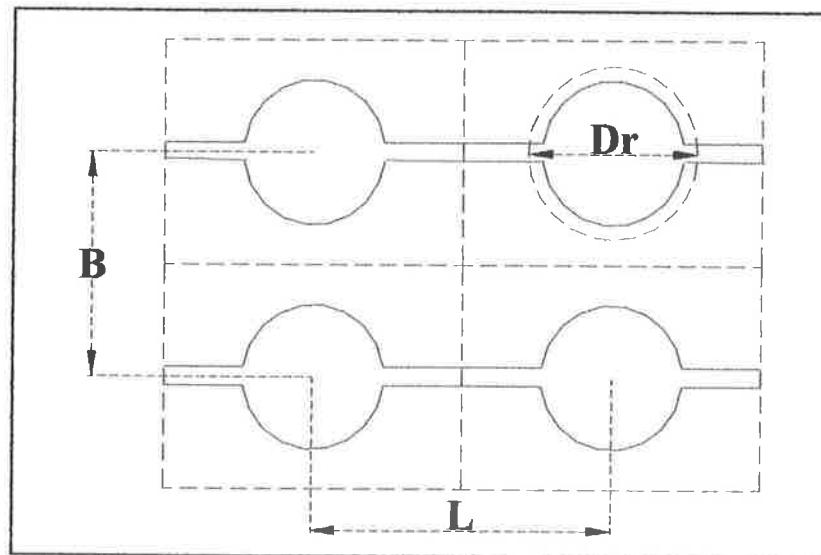


Fig. 8 Planta de uma parte do sistema de irrigação.

Para determinar um valor prático, no que se refere ao porcentagem de chuva efetiva, usa-se um dado padrão de 20% de escoamento de água (fora da bacia) e a área da raiz como $\frac{1}{4}$ da área total de cada planta (B.L, fig.8) **recomendado um valor de 140%**, sendo maior que o porcentual de chuva efetiva padrão de 80%.

$$\%ChEf = 100 + \%E \left(\frac{B \cdot L}{\pi \cdot D_r^2} - 1 \right) \quad (5)$$

Onde: $\%ChEf$ = Porcentual de chuva efetiva (%).

D_r = Diâmetro da raiz (m).

B e L = Distância entre plantas (m).

$\%E$ = Escoamento da água de chuva (%).

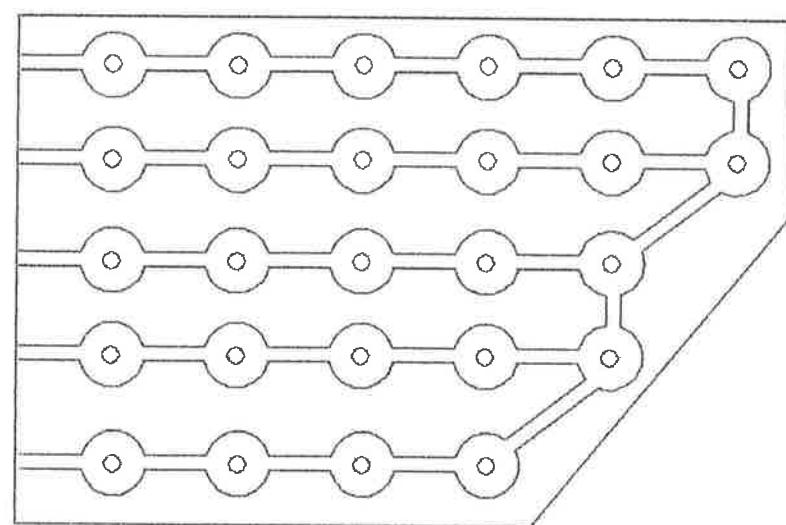


Fig. 9 Implementação em áreas irregulares.

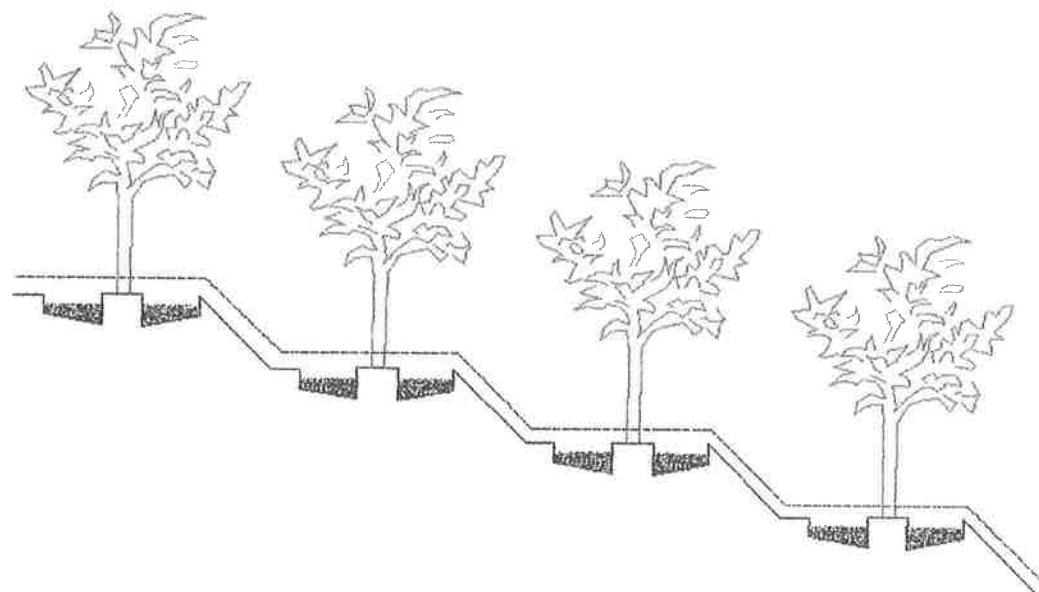


Fig. 10 Alternativa de implementação em encostas.

Coberturas radiculares protetoras podem ser colocadas dentro das bacias como, por exemplo, pedregulhos, que servem de barreiras à evaporação, ou material orgânico como folhas e ramos das mesmas plantas que adubam e protegem contra evaporação ou ainda polímeros. Conclui-

se que, para o sistema proposto, o ótimo contra a evaporação aquecimento superficial e eliminador de ervas daninhas é uma cobertura dupla de um poncho de polietileno simples em forma de anel grosso ou sacolas plásticas amontoadas na cavidade e posteriormente uma cobertura de pedras. Recomenda-se também constantes coberturas vegetais (folhas secas e produtos orgânicos) entre o solo e a cobertura plástica.

3. Outras aplicações do método de irrigação

Aplicando o método à irrigação por gotejamento consegue-se:

- Economia de água diretamente energia, dinheiro e mão de obra qualificada indiretamente.
- Reduzir-se as perdas por evaporação (não recomendado se incluir nos cálculos).
- Incrementar o rendimento da colheita utilizando os ponchos plásticos como coberturas radiculares
- Melhorar a porcentagem de chuva efetiva
- Permitir subir a vazão dos gotejadores.

Aplicando o método à irrigação por aspersão conseguem-se as mesmas vantagens excetuando a última que é analisada em continuação

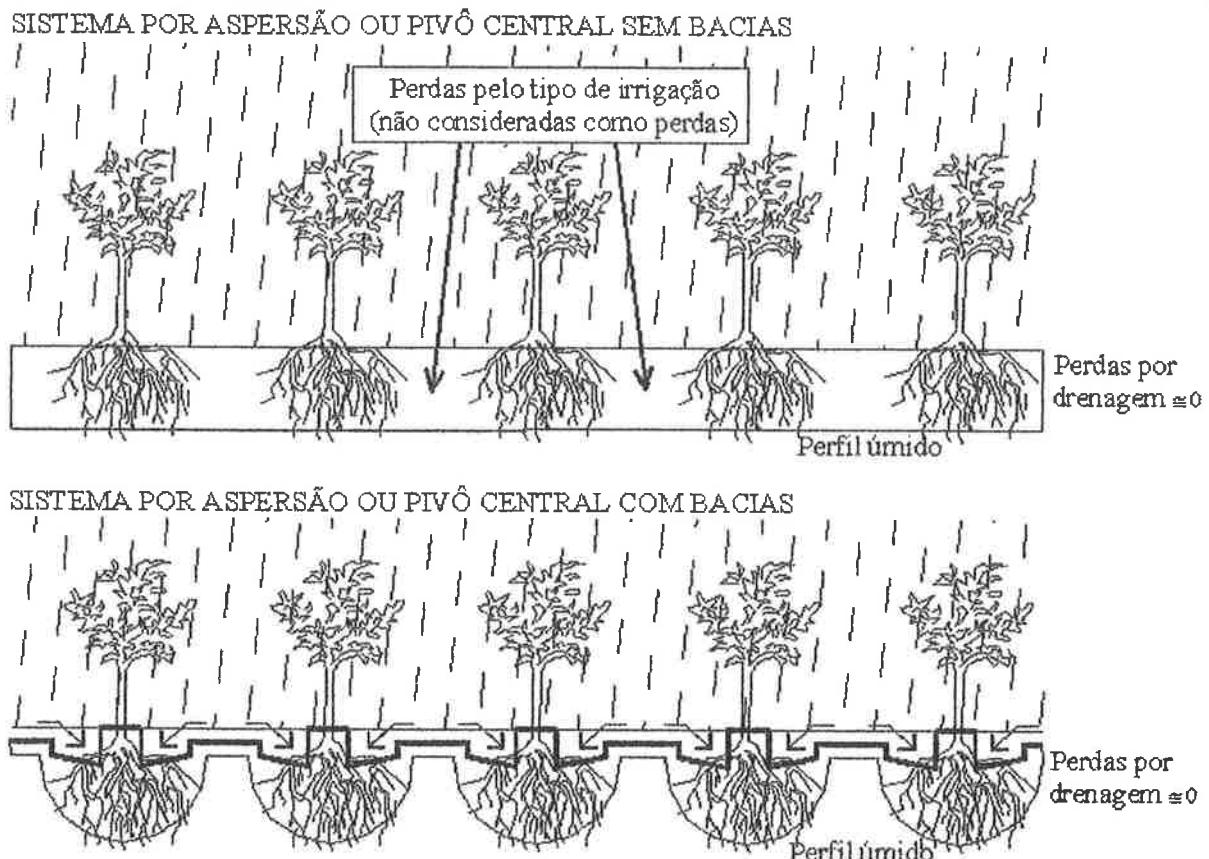


Fig. 11 Esquema dos perfis úmidos no sistema de irrigação por aspersão com e sem sistema de bacias

O valor da vazão da irrigação por aspersão é projetada para não ter perdas por escoamento, razão pela qual incrementando-se a vazão favorece-se o escoamento das partes não irrigadas em direção às bacias.

$$\%MEf = 100 + \%E \left(\frac{B.L}{\pi.Dr^2} - 1 \right) \quad (6)$$

Onde: $\%MEf$ = Porcentual de melhora efetiva (%).

Dr = Diâmetro da raiz (m).

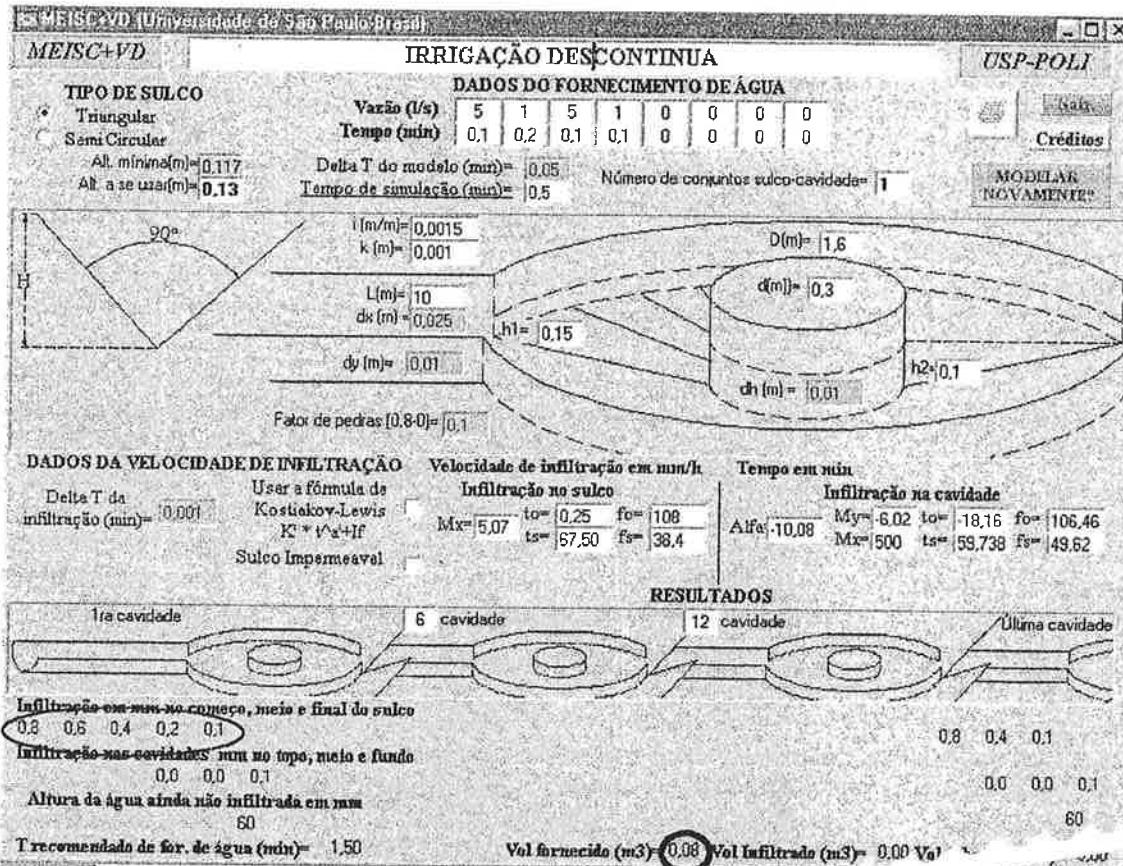
B e L = Distância entre plantas (m).

$\%E$ = Escoamento da água (%).

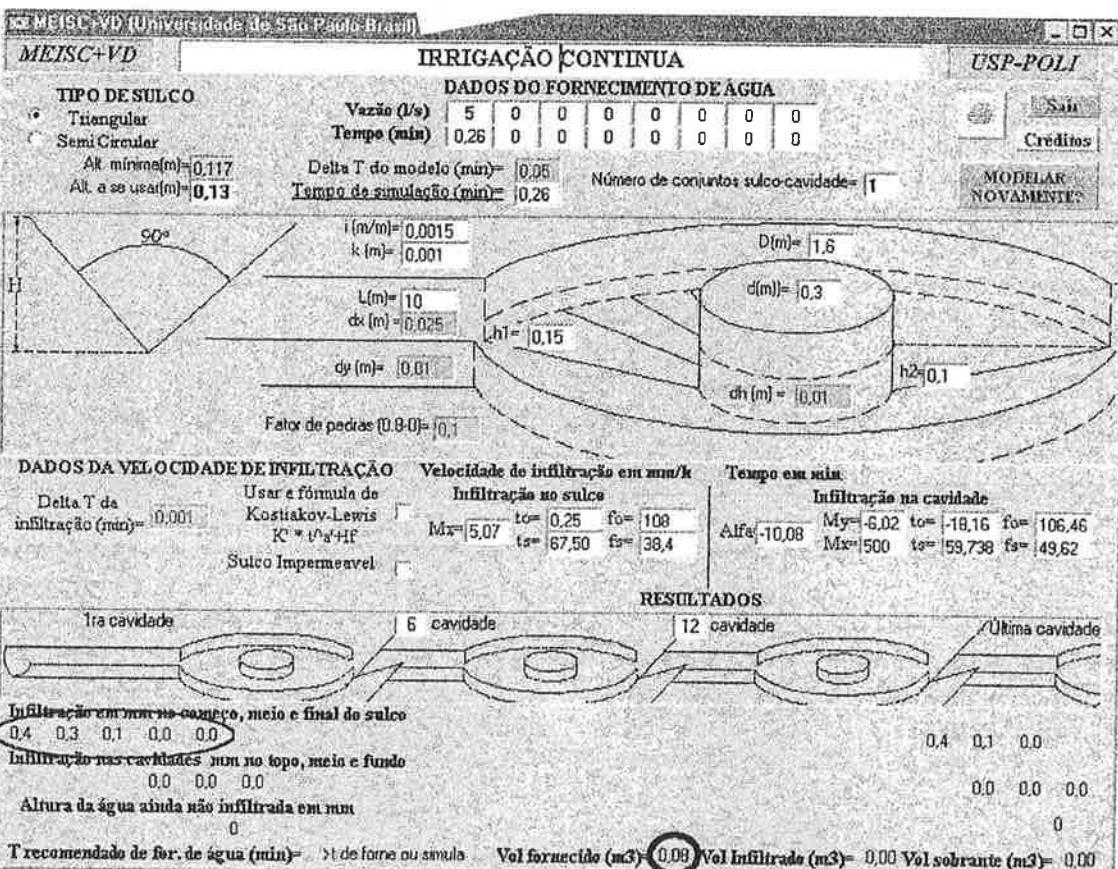
Pode-se ainda compactar as zonas não irrigadas, diminuindo bastante o valor de $\%E$. Para determinar o valor de $\%E$ recomenda-se usar um valor entre 20 e 40% ou, ainda melhor, fazer uma prova em campo.

Apêndice H

PROVAS UTILIZANDO VAZÃO DESCONTÍNUA E CONTÍNUA



PROVA UTILIZANDO VAZÃO CONTÍNUA



Na primeira figura a simulação com vazão descontínua ao 0.5 minuto o comprimento total do sulco já esta molhado, enquanto que com a mesma quantidade de água na irrigação contínua a água só chegou até a metade.

Apêndice I

LISTAGEM DO PROGRAMA (Visual Basic)

'MODELOS DE INFILTRAÇÃO

Dim N As Long

Dim Ins(), Inc(), t(), fsu(), fca(), d(), IIss(), IAs(), IAc() As Single

For I = 1 To 8

atmi = (Text1(I).Text + 1 - 1)

tmi = atmi + tmi

Next I

If tmi > tm + 0.0001 Then MsgBox "O tempo de simulação tem que ser maior ou igual que o tempo de fornecimento de água", 48: GoTo YO

N = tm / dt

Dim Vpr(), dg(), Vt(), Vos(), Vr(), CAc() As Single

ReDim Ins(N), Inc(N), t(2 * N), tic(2 * N), fsu(N + 2), fca(N + 2), IIss(2 * N), d(2 * N), IIc(2 * N), IAs(N + 2), IAc(N + 2) As Single

fo = fos.Text: fs = fss.Text: Mx = mxs.Text + 1 - 1: ts = tss.Text: too = tos.Text: I1 = 0

Dim Nm As Integer

Dim IMs(), IMc(), Q(), Vo(), Vc(), IAMs(), IAMc() As Single

Nm = tm / dtm

ReDim IMs(N + 5), IMc(N + 5), Q(N + 5), Vo(Nm + 2), Vc(Nm + 1), IAMs(N), IAMc(N) As Single

If Check2.Value = 1 Then t(1) = dt Else t(1) = too + 1 - 1

If Check2.Value = 1 Then tic(1) = dt Else tic(1) = toc + 1 - 1

For I = 1 To 2 * N - 1

t(I + 1) = t(I) + dt

tic(I + 1) = tic(I) + dt

Next I

'Modelo de infiltração por sulcos

For I = 1 To N + 2

If Check1.Value = 1 Then d(I) = 0: GoTo PO

If Check2.Value = 1 Then d(I) = Ks * (t(I) / 60) ^ aas + Ifs: GoTo PO

If t(I) > ts Then IIss(I) = fs * dt / 60 / 1000: GoTo YU

d(I) = fo - (fo - fs) / Mx * Log(1 + (Exp(Mx) - 1) * (t(I) - too) / (ts - too))

PO:

IIss(I) = d(I) * dt / 60 / 1000

YU:

Next I

'Modelo de Infiltração por cavidades

ReDim d(2 * N): aux = 1

foc = foc.Text + 1 - 1: fsc = fsc.Text + 1 - 1: mc = mxc.Text + 1 - 1: my = myc.Text + 1 - 1:

alfa = alfa.Text + 1 - 1: tsc = (tsc.Text) * 1 + 1 - 1: toc = toc.Text + 1 - 1

d(1) = foc - (foc - fsc) / mc * Log(1 + (Exp(mc) - 1) * (tic(1) - toc) / (tsc - toc)) * ((Exp(my * tic(1) / tsc) - Exp(my * toc / tsc)) / (Exp(my) - Exp(my * toc / tsc)))

ddd = (tic(1) ^ 2 + d(1) ^ 2) ^ 0.5: Beta = Atn(-tic(1) / d(1)) + alfa * 3.1415926536 / 180

yc = Sin(-Beta) * ddd

dyc1 = yc

For I = 1 To 2 * N

If Check2.Value = 1 Then IIc(I) = (kc * (tic(I) / 60) ^ aac + ifc) * dt / 60 / 1000: GoTo YUC

If Kt = 1 Then d(I) = d(I - 1): dyc = -dt / Cos(alpa) + dyc1: GoTo PU

$d(I) = foc - (foc - fsc) / mc * \text{Log}(1 + (\text{Exp}(mc) - 1) * (\text{tic}(I) - toc) / (tsc - toc)) * ((\text{Exp}(\text{my} * \text{tic}(I) / tsc) - \text{Exp}(\text{my} * \text{toc} / tsc)) / (\text{Exp}(\text{my}) - \text{Exp}(\text{my} * \text{toc} / tsc)))$
 $\text{ddd} = (\text{tic}(I)^2 + d(I)^2)^{0.5}; \text{Beta} = \text{Atn}(-\text{tic}(I) / d(I)) + \text{alfa} * 3.1415926536 / 180$
 $\text{dyc} = \text{Sin}(-\text{Beta}) * \text{ddd}$
 $d(I) = \text{Cos}(-\text{Beta}) * \text{ddd}$
 $\text{If } (1 + \text{tic}(I) - 1) > (1 + \text{tsc} - 1) \text{ Then } Kt = 1$
 PU:
 $\text{If } \text{dyc} - yc > dtm * \text{aux} \text{ Then } \text{aux} = \text{aux} + 1;$
 $\text{IIC}(I) = d(I) * (\text{dyc} - \text{dyc1}) / 60 / 1000; \text{IMc}(\text{aux}) = \text{IMc}(\text{aux}) + \text{IIC}(I)$
 $\text{dyc1} = \text{dyc}$
 $\text{If } \text{dyc} > tm + yc \text{ Then } I = 2 * N$
 YUC:
 Next I
'MODELO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO'
'Cálculo da infiltração acumulada'
 $\text{For } I = 0 \text{ To } Nm - 1$
 $\text{For } J = 1 \text{ To } dtm / dt$
 $\text{IMs}(I + 1) = \text{IIs}(N / Nm * I + J) + \text{IMs}(I + 1)$
 $\text{If Check2.Value} = 1 \text{ Then } \text{IMc}(I + 1) = \text{IIC}(N / Nm * I + J) + \text{IMc}(I + 1)$
 Next J
 $\text{IAMs}(I + 1) = \text{IMs}(I + 1) + \text{IAMs}(I)$
 $\text{IAMc}(I + 1) = \text{IMc}(I + 1) + \text{IAMc}(I) + 1 - 1$
 Next I
'Cálculo da Vazão inicial'
 $I2 = 1$
 $\text{For } I = 1 \text{ To } 8$
 $VF = \text{Text1}(I).Text * \text{Text2}(I).Text * 60 + VF$
 $I1 = \text{Text1}(I).Text / dtm; Jo = (I2 + I1 - 1)$
 $\text{For } J = I2 \text{ To } Jo$
 $Q(J) = \text{Text2}(I).Text / 1000$
 Next J
 $I2 = I1 + I2$
 Next I
 $dd = \text{Text14}.Text + 1 - 1$
'Geometria'
'Geometria e cálculo do volume na cavidade'
 $d1 = dc.Text; \text{If } h2 = 0 \text{ Then } xc = 0 \text{ Else } xc = 2 * dh / h2 * (DDc.Text - d1) / 2$
 $d2 = d1 + xc; fp = fp.Text$
 $PI = 3.14159; P0 = PI * d1$
 $\text{Dim Vgc(), Pc(), Vga(), cc() As Single}$
 $Ng = ((h1 * 1 + h2 * 1) / dh) + 1 - 1$
 $\text{ReDim Vgc(Ng), Pc(Ng), Vga(Ng), cc(Ng)}$
 $\text{For } I = 1 \text{ To } Ng$
 $P1 = PI * d1; P2 = PI * d2$
 $Vgc(I) = (PI / 12 * dh * (d1^2 + d1 * d2 + d2^2) - P0^2 / PI * dh / 4) * (1 - fp.Text)$
 $Pc(I) = (((d2 - d1) / 2)^2 + dh^2)^{0.5} * (P2 + P1) / 2 + (P0 * dh)$
 $\text{If } I < h2 * 1 / dh \text{ Then } d1 = d2; d2 = d2 + xc \text{ Else } d1 = DDc.Text; d2 = DDc.Text$
 $Vga(I) = Vga(I - 1) + Vgc(I)$
 Next I
'Geometria transversal do sulco semi circular'

Dim Ns As Long: af1 = 0: dy = Text30.Text + 1 - 1: Ns = ls / dx
 Dim Ps(), YY(), Cs(), CAS(), Vmx() As Single: bb = Int(dd / dy) / 2
 If Option1.Value = True Then GoTo QE Else GoTo QA
 QA:
 ReDim Ps(bb), YY(bb), CAS(Ns, bb)
 For J = 1 To bb
 XX = Cos(af1) - 2 * dy / dd
 af2 = Atn(((1 - XX ^ 2) ^ (1 / 2)) / XX)
 Ps(J) = (af2 - af1) * dd: YY(J) = J * dy
 af1 = af2
 Next J
 GoTo QI
 'Geometria transversal do sulco triangular
 QE:
 bb = Int(dd / dy)
 ReDim Ps(bb), YY(bb), CAS(Ns, bb)
 For J = 1 To bb
 Ps(J) = dy * 2 * 2 ^ 0.5
 YY(J) = J * dy
 Next J
 QI:
 'Modelagem dos SULCOS
 dx = Text29.Text + 1 - 1: II = Text5.Text + 1 - 1: k = Text16.Text + 1 - 1
 I = Text5.Text + 1 - 1: Frame8.Visible = False
 ReDim Vpr(3 * Ns), dg(Ns), Vt(3 * Ns), Vmx(3 * Ns)
 For ml = 1 To Nm
 Vo(ml) = Q(ml) * dtm * 60
 Next ml
 NC = NNN.Text + 1 - 1
 For NN = 1 To NC
 ReDim CAS(Ns, bb), Vr(3 * Ns)
 For M = 1 To Nm
 ReDim Vos(3 * Ns)
 If Vo(M) = 0 Then GoTo YI
 If Option1.Value = True Then Rh = ((2 * Vo(M) / dtm / 60 * k ^ (1 / 6) / (8 * (9.81 * II) ^ 0.5)) ^ (3 / 8)) / (2 ^ 1.5): GoTo QP
 alf = (4 * Vo(M) / dtm / 60 * k ^ (1 / 6) / (dd ^ (8 / 3) * (9.8 * II) ^ 0.5)) ^ 0.2655
 Y = dd / 2 * (1 - Cos(alf)): Rh = (2 * alf - Sin(2 * alf)) * dd / (8 * alf)
 QP:
 Ve = 8 * 9.8 ^ 0.5 * (Rh / k) ^ (1 / 6) * (Rh * II) ^ 0.5: Li = Ve * dtm * 60
 fui = 0
 ReDim dg(3 * Ns)
 Ni = Int(Li / dx): If Ni = 0 Then Ni = 1
 If Li > ls Then MsgBox "diminuir delta t do modelo ou diminuir delta x", 48: GoTo YO
 YUI:
 For N = 1 To Ni
 Vos(N) = Vo(M) / Ni: Vmx(N) = Vos(N)
 Next N
 YI:
 ReDim Cs(3 * Ns): csd = 0

For N = 1 To Ns + Mdg
 $Vt(N) = Vr(N) + Vos(N)$; $Vr(N) = 0$
 IY:
 Next N
 For N = 1 To Ns
 If $Vt(N) = 0$ Then $Vmx(N) = 0$; GoTo ABC
 If $Vmx(N - 1) \leq Vmx(N)$ Then $Vmx(N - 1) = Vmx(N)$
 If $Vt(N) \leq Vmx(N - 1)$ Then GoTo ABC
 $KL = Vt(N) - Vmx(N - 1)$; $Vt(N) = Vmx(N - 1)$; $Vmx(N) = Vmx(N - 1)$
 $Vt(N + 1) = Vt(N + 1) + KL$
 If $Vmx(N + 1) < Vt(N + 1)$ And $Vt(N + 1) < Vmx(N)$ Then $Vmx(N + 1) = Vmx(N)$
 ABC:
 Next N
 For N = Ns To 1 Step -1
 If $Vt(N) \neq 0$ Then H = N; N = 1
 Next N
 $C = 0$; $Vat = 0$; $C1 = 0$; $C2 = 0$
 For N = 1 To H - 1
 If $Vt(N + 1) = 0$ And $Vt(N) \neq 0$ Then $C = 1$; GoTo ABD Else GoTo SAIR
 ABD:
 If $C2 = 1$ Then GoTo ABE
 If $Vt(N + C) = 0$ Then $C1 = C1 + 1$ Else $C2 = 1$
 If $C1 * dx > 0.5$ Then GoTo SAIR
 ABE:
 $Vat = Vt(N + C) - Vt(N) + Vat$
 If $N + C \geq H$ Then GoTo UHJ
 If $Vat < 0$ Then $C = C + 1$; GoTo ABD
 For J = 1 To C
 $Vt(N + J) = Vt(N)$
 Next J
 $Vt(N + J - 1) = Vt(N + J - 1) + Vat$
 GoTo SAIR
 UHJ:
 $Vsb = Vat + C * Vt(N)$
 For J = 1 To C
 $Vt(N + J) = Vsb / C$
 Next J
 SAIR:
 $N = N + C$
 Next N
 For N = Ns + 1 To Ns + Mdg
 $Vc(M) = Vc(M) + Vt(N)$
 Next N
 $Mdg = 0$
 For H = 1 To Ns
 $Ia = 0$
 If $Vt(H) = 0$ Then GoTo YY
 $Ar = Vt(H) / dx$
 If $Ar = 0$ Then GoTo YY
 If Option1.Value = True Then $Y = Ar ^ 0.5$; $Rh = Y / (2 * 2 ^ 0.5)$; GoTo QL

```

alf = 0.993 * (8 * Ar / dd ^ 2) ^ 0.385
Y = dd / 2 * (1 - Cos(alf)); Rh = (2 * alf - Sin(2 * alf)) * dd / (8 * alf)
QL:
If Option1.Value = True And gh = "" Then dd = dd * 2; gh = 1
If Y > dd / 2 And Option1.Value = True Then MsgBox "Incrementar um pouco a altura", 48;
Text14.Text = 2 * Y; GoTo YO
If Y > dd / 2 And Option2.Value = True Then MsgBox "Incrementar um pouco o diâmetro",
48; Text14.Text = 2 * Y; GoTo YO
Ve = 8 * 9.8 ^ 0.5 * (Rh / k) ^ (1 / 6) * (Rh * II) ^ 0.5; Di = Ve * dtm * 60; dg(H) = Int(Di /
dx)
If Mdg < dg(H) Then Mdg = dg(H)
For J = 0 To bb
If Y < YY(J) Then GoTo YE
CAS(H, J) = CAS(H, J) + 1
Ia = Ps(J) * dx * IMs(CAS(H, J)) + Ia
Next J
YE:
If Ia > Vt(H) Then Vr(H + dg(H)) = 0; Vmx(H + dg(H)) = 0
Vpr(H + dg(H)) = Vt(H) - Ia; Vmx(H + dg(H)) = Vt(H) - Ia
Vr(H + dg(H)) = Vpr(H + dg(H)) + Vr(H + dg(H))
YOPP:
YY:
IAT = Ia + IAT
Next H
ReDim Vpr(3 * Ns), Vt(3 * Ns)
Next M
'Modelagem da CAVIDADE
ReDim cc(Ng), Vo(Nm + 2); Vrc = 0
AUXI = 0
For I = 1 To Nm
vtc = Vrc + Vc(I)
If vtc = 0 Then GoTo POL
If AUXI = 1 Then GoTo aui
If NN = NC Then Text25.Text = Format(I * dtm + 1, "0.00"); AUXI = 1
aui:
For J = 1 To Ng
If Vga(J) < vtc Then cc(J) = cc(J) + 1; Ia = Pc(J) * IMc(cc(J)) + Ia Else acc = J; J = Ng
Next J
If Ia > vtc Then Vrc = 0 Else Vrc = vtc - Ia; Vo(I + 1) = 0
If vtc > Vga(Ng) Then Vo(I + 1) = vtc - Vga(Ng); Vrc = Vga(Ng) - Ia
IAT = IAT + Ia
Ia = 0
POL:
Next I
ReDim Vc(Nm + 1)
If NN = 1 Then Text9.Text = Format(IAMs(CAS(1, 1)) * 1000, "0.0"); Text10.Text =
Format(IAMs(CAS(Int(Ns / 2), 1)) * 1000, "0.0"); Text11.Text = Format(IAMs(CAS(Ns, 1)) *
1000, "0.0")
If NN = 1 Then Text50.Text = Format(IAMs(CAS(Int(Ns / 4), 1)) * 1000, "0.0"); Text49.Text =
Format(IAMs(CAS(Int(3 * Ns / 4), 1)) * 1000, "0.0")

```

```

If NN = Text7.Text + 1 - 1 Then Text18.Text = Format(IAMs(CAS(1, 1)) * 1000, "0.0");
Text17.Text = Format(IAMs(CAS(Int(Ns / 2), 1)) * 1000, "0.0"); Text12.Text =
Format(IAMs(CAS(Ns, 1)) * 1000, "0.0")
If NN = Text8.Text + 1 - 1 Then Text23.Text = Format(IAMs(CAS(1, 1)) * 1000, "0.0");
Text22.Text = Format(IAMs(CAS(Int(Ns / 2), 1)) * 1000, "0.0"); Text20.Text =
Format(IAMs(CAS(Ns, 1)) * 1000, "0.0")
If NN = NC Then Text27.Text = Format(IAMs(CAS(1, 1)) * 1000, "0.0"); Text26.Text =
Format(IAMs(CAS(Int(Ns / 2), 1)) * 1000, "0.0"); Text24.Text = Format(IAMs(CAS(Ns, 1))
* 1000, "0.0")
If h1 = 0 And h2 = 0 Then GoTo POi
If NN = 1 Then Text28.Text = Format(IAMc(cc(1)) * 1000, "0.0"); Text31.Text =
Format(IAMc(cc(Int(Ng / 2)))) * 1000, "0.0"); Text32.Text = Format(IAMc(cc(Ng)) * 1000,
"0.0")
If NN = NC Then Text39.Text = Format(IAMc(cc(1)) * 1000, "0.0"); Text41.Text =
Format(IAMc(cc(Int(Ng / 2)))) * 1000, "0.0"); Text42.Text = Format(IAMc(cc(Ng)) * 1000,
"0.0")
If NN = Text7.Text + 1 - 1 Then Text33.Text = Format(IAMc(cc(1)) * 1000, "0.0");
Text34.Text = Format(IAMc(cc(Int(Ng / 2)))) * 1000, "0.0"); Text35.Text =
Format(IAMc(cc(Ng)) * 1000, "0.0")
If NN = Text8.Text + 1 - 1 Then Text36.Text = Format(IAMc(cc(1)) * 1000, "0.0");
Text37.Text = Format(IAMc(cc(Int(Ng / 2)))) * 1000, "0.0"); Text38.Text =
Format(IAMc(cc(Ng)) * 1000, "0.0")
POi:
If NN = 1 Then Text43.Text = Format(dy * acc * 1000, "0")
If NN = Text7.Text + 1 - 1 Then Text44.Text = Format(dy * acc * 1000, "0")
If NN = Text8.Text + 1 - 1 Then Text45.Text = Format(dy * acc * 1000, "0")
If NN = NC Then Text46.Text = Format(dy * acc * 1000, "0")
acc = 0
Next NN
For I = 1 To Nm
VS = Vo(I) + VS
Next I
Text19.Text = Format(VS, "0.00")
Text48.Text = Format(IAT, "0.00")
Text47.Text = Format(VF / 1000, "0.00")
YO:
Beep
Command4.Caption = "MODELAR NOVAMENTE?"
End Sub
Private Sub label1_Click(Index As Integer)
TY = 0
For I = 1 To 8
TY = (Text1(I).Text + 1 - 1) + TY
Next I
tmax = TY
End Sub
Private Sub Option1_Click()
Frame2.Visible = True; Frame3.Visible = False; Frame4.Visible = False
Dim d As Currency
Qmax = 0

```

```
Text3.Visible = True: Text15.Visible = True: Text14.Visible = True: Text13.Visible = True:  
Text3.Text = "Alt. mínima(m) =": Text15.Text = "Alt. a se usar(m) ="  
For I = 1 To 8  
t = Text2(I).Text + 1 - 1  
If Qmax < t Then Qmax = t  
Next I  
II = Text5.Text + 1 - 1: k = Text16.Text + 1 - 1  
dfg = (2 * Qmax / 1000 * k ^ (1 / 6) / (8 * (9.81 * II) ^ 0.5)) ^ (3 / 8)  
Text13.Text = Format(dfg, "0.000"): Text14.Text = Format(1.1 * dfg, "0.00")  
End Sub  
Private Sub Option2_Click()  
Frame2.Visible = False: Frame3.Visible = True: Frame4.Visible = True  
Dim d As Currency  
Qmax = 0  
Text3.Visible = True: Text15.Visible = True: Text14.Visible = True: Text13.Visible = True:  
Text3.Text = "Diâm. mínimo(m) =": Text15.Text = "Diâm. a se usar(m) ="  
For I = 1 To 8  
t = Text2(I).Text + 1 - 1  
If Qmax < t Then Qmax = t  
Next I  
II = Text5.Text + 1 - 1: k = Text16.Text + 1 - 1  
dfg = ((4 ^ (2 / 3) * Qmax / 1000 * k ^ (1 / 6)) / (3.1416 * (9.81 * II) ^ 0.5)) ^ (3 / 8)  
Text13.Text = Format(dfg, "0.000"): Text14.Text = Format(1.1 * dfg, "0.00")  
End Sub
```