

JOSÉ ROBERTO LOPES DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DE TRÊS BACIAS
EXPERIMENTAIS DO ESTADO DE PERNAMBUCO PARA
SUPORTE À MODELAGEM HIDROLÓGICA**

RECIFE, PE, BRASIL

2010

JOSÉ ROBERTO LOPES DA SILVA

Engenheiro Agrícola e Ambiental

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HIDRICA DE TRÊS BACIAS
EXPERIMENTAIS DO ESTADO DE PERNAMBUCO PARA
SUPORTE À MODELAGEM HIDROLÓGICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Abelardo A. A. Montenegro.

Área de Concentração: Engenharia de Água e Solo.

RECIFE, PE, BRASIL
2010

FICHA CATALOGRÁFICA

S586c Silva, José Roberto Lopes da
Caracterização físico-hídrica de três bacias experimentais do
Estado de Pernambuco para suporte à modelagem hidrológica /
José Roberto Lopes da Silva. – 2010.
99 f. : il.

Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de
Tecnologia Rural, Recife, 2010.

Referências

1. Propriedades físico-hídricas do solo 2. Condutividade
hidráulica 3. Permeâmetro de Guelph 4. Sistemas de manejo
5. Funções de pedotransferência I. Montenegro, Abelardo
Antônio de Assunção, orientador II. Título

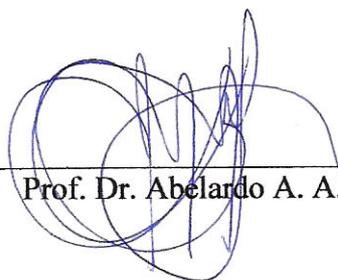
CDD 631.4

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HIDRICA DE TRÊS BACIAS
EXPERIMENTAIS DO ESTADO DE PERNAMBUCO PARA
SUPORTE À MODELAGEM HIDROLÓGICA**

José Roberto Lopes da Silva

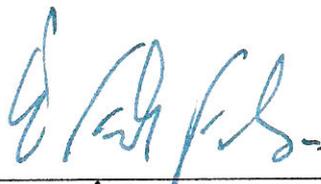
**Dissertação defendida e aprovada em 05 de Março de 2010 pela banca
examinadora:**

Orientador:



Prof. Dr. Abelardo A. A. Montenegro

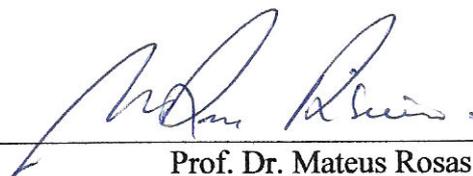
Examinadores:



Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva



Prof. Dr. Demétrius David da Silva



Prof. Dr. Mateus Rosas Ribeiro

DEDICO

A minha família

Meus pais e heróis “Raimundo e Doralice”

Minhas irmãs e companheiras “Rosimere e Rosely”

A minha querida e amável esposa Josimary “Mary”

“A essência do conhecimento científico é a sua aplicação prática”

Confúcio (551-479 a.C.)

AGRADECIMENTOS

Desejo primeiramente agradecer a Deus, por sempre iluminar meus caminhos e pela proteção nos momentos difíceis.

Aos meus pais “meus heróis e exemplos” pelos ensinamentos durante toda minha vida, pela educação, saúde, crescimento pessoal e espiritual, pelo apoio nos momentos difíceis, pelo orgulho e confiança que sempre depositaram em mim. Ao meu pai que mesmo na ausência, se faz presente em todos os momentos, dando força para vencer os obstáculos vida, e se torna uma pessoa melhor a cada dia. A minha mãe, meu orgulho, minha fortaleza, uma guerreira, exemplo de dedicação e amor.

À minha amada esposa “Mary” pela dedicação e pelos momentos de companheirismo, de alegria, de amor, carinho e compreensão durante essa jornada de minha vida. Também pela participação direta em trabalhos de campo e de laboratório.

Às minhas irmãs por proporcionar bons momentos familiares, pelo respeito, pelo amor, admiração e confiança.

Ao meu sogro Abílio e minha sogra Mônica pelos momentos descontraídos e prazerosos em família. Aos cunhados e cunhada, pelo respeito e amizade. Aos sobrinhos José, Rayssa e David, pelo carinho recíproco.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade oferecida.

Ao coordenador Mario Rolim, e aos professores do programa de pós-graduação que fizeram parte da minha formação.

Aos amigos de turma e colegas de pós-graduação, pelos momentos de alegria, descontração, aprendizagem em grupo e confraternização.

Ao CNPq, pela bolsa concedida durante o curso.

À FINEP pelo apoio financeiro ao Projeto de Bacias Experimentais e Representativas (BEER), que custeou boa parte dos trabalhos de campo.

À Administração do Arquipélago de Fernando de Noronha (ADFN) pelo apoio logístico e estadia durante as viagens de campo. Em especial ao Drº Gustavo e ao Engº Paulo Coelho.

Ao professor Demetrius David por viabilizar as análises das curvas de retenção de umidade do solo, no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa – UFV e ao laboratorista Francisco “Chicão”, pela realização das análises.

Às pessoas que fazem parte do grupo de pesquisa do Laboratório de Água e Solo (LABAS) que participaram direta ou indiretamente, e que de certa forma acabam sendo uma segunda família pelo convívio cotidiano, pelos trabalhos de campo, de laboratório e produção científica. Pelos momentos de companheirismo, troca de experiências, estresse, aprendizagem e descontração. (Profº Abelardo, Thais, Valdemir Junior, Júlio, Rogério, Caetano, Adriano, Adriana, Carla, Isaac, Robertson, Rafael, Diogo, Tatiana, Tatyana Keyty).

Ao grande amigo Eduardo Silva pelos mapas concedidos.

À Isaac Mattos, companheiro de tradagem nos testes realizados em campo, pela convivência durante o processo, pelas trocas de conhecimentos científicos e tecnológicos.

Agradeço em especial a uma grande amiga, à doutoranda Thais Emanuelle, “co-orientadora”, pelos momentos de alegria durante os trabalhos de campo, pelas orientações e pela ajuda nas análises de laboratório, sendo uma pessoa fundamental para o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço em especial ao meu orientador e amigo, Profº Abelardo Montenegro pela oportunidade e confiança depositada para realização desse trabalho, que me proporcionou crescimento pessoal e profissional. Ainda pelos momentos de aprendizagem “o que é um numero par?”, pela paciência, incentivo e pelas orientações durante o processo construtivo dessa dissertação, até a conclusão da mesma.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE SÍMBOLOS	14
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	15
RESUMO	16
ABSTRACT	17
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1. Condutividade Hidráulica.....	21
2.2. Curva de Retenção de Umidade	27
2.3. Infiltração de Água no Solo.....	31
2.4. Funções de Pedotransferência	33
2.5. Solos Representativos das Bacias em Estudo.....	36
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1. Caracterização das áreas de estudo.....	38
3.1.1 <i>Bacia Experimental do Xaréu (Arquipélago Fernando de Noronha-PE)</i>	39
3.1.2 <i>Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso (Pesqueira-PE)</i>	40
3.2. Determinação da condutividade hidráulica e taxa de infiltração in situ.....	42
3.2.1 <i>Testes realizados na Bacia Experimental do Xaréu (Arquipélago Fernando de Noronha-PE)</i>	48
3.2.2 <i>Testes realizados nas Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso (Pesqueira-PE)</i>	49
3.3. Infiltrabilidade em diferentes tratamentos e cobertura do solo	51
3.4. Caracterização física dos solos e curva de retenção de umidade	54
3.5. Funções de pedotransferência.....	55
3.6. Procedimentos estatísticos para análises dos dados	58
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59

4.1. Estatística descritiva da textura e da matéria orgânica.....	59
4.1.1 <i>Bacia Experimental do Jatobá (Pesqueira-PE)</i>	59
4.1.2 <i>Bacia Experimental do Mimoso (Pesqueira-PE)</i>	61
4.2. Caracterização da condutividade hidráulica em diferentes profundidades	63
4.2.1 <i>Estatística descritiva da condutividade hidráulica do solo saturado das Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso (Pesqueira-PE)</i>	63
4.2.2 <i>Caracterização da condutividade hidráulica em diferentes profundidades (Bacia Experimental do Jatobá)</i>	65
4.2.3 <i>Caracterização da condutividade hidráulica em diferentes profundidades (Bacia Experimental do Mimoso)</i>	68
4.2.4 <i>Caracterização da condutividade hidráulica em diferentes profundidades (Bacia Experimental do Xaréu)</i>	71
4.3. Caracterização da condutividade hidráulica em diferentes tratamentos e tipos de cobertura vegetal.....	75
4.3.1. <i>Testes de diferenças entre médias de parâmetros analisados</i>	78
4.4. Curva de retenção de umidade do solo.....	79
4.4.1 <i>Curvas de retenção de umidade dos solos das Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso (Pesqueira-PE)</i>	79
4.4.2 <i>Curvas de retenção de umidade do Cambissolo Háptico Sódico vértico e Vertissolo Cromado Sódico da Bacia do Xaréu (Fernando de Noronha-PE)</i>	82
4.5. Avaliação do desempenho de funções de pedotransferência.....	84
4.5.1 <i>Comparação entre valores de condutividade hidráulica do solo saturado estimada por funções de pedotransferência e determinada “in situ”</i>	84
4.5.2 <i>Comparação entre valores de umidade em tensões específicas estimadas por funções de pedotransferência e em laboratório</i>	86
5. CONCLUSÕES	89
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fenômeno de histerese em curva de retenção do solo (Silva, 2005)	29
Figura 2. Mapa geral de localização das áreas estudadas.....	38
Figura 3. Mapa de solos das principais bacias hidrográficas da Ilha (Fonte: Adaptado de Ribeiro et al., 2005).	40
Figura 4. Mapa de solos da Bacia Representativa do Alto Ipanema, com delimitação das Bacias Experimentais do Jatobá e Mimoso, e os tipos de solos presentes (Fonte: EMBRAPA, 2000).	41
Figura 5. Funcionamento do Permeâmetro de Guelph, segundo o princípio de Sifão de Mariotte e bulbo de saturação de água no solo (SOIL MOISTURE, 1991, citado por Oliva et al., 2005)	42
Figura 6. Permeâmetro de Guelph utilizado para determinação de condutividade hidráulica e taxa de infiltração de água no solo, em campo	43
Figura 7. Detalhe do furo encamisado com uma tela de proteção das paredes laterais durante a realização de um teste.	44
Figura 8. Preparo do furo para realização de teste de condutividade hidráulica com permeâmetro de Guelph na Bacia Experimental do Xaréu.	48
Figura 9. Montagem do permeâmetro de Guelph em campo para realização de testes de condutividade hidráulica na Bacia Experimental do Xaréu.	49
Figura 10. Avaliação da infiltrabilidade e da condutividade hidráulica na Bacia Experimental do Xaréu por meio do Permeâmetro de Guelph.....	49
Figura 11: Trincheira aberta para caracterização e classificação do solo no campo (Bacia Representativa do Alto Ipanema).	50
Figura 12. Detalhe das parcelas experimentais de erosão instaladas nas bacias experimentais (Santos et al., 2009c).	51
Figura 13. Teste de condutividade hidráulica realizado com o permeâmetro de Guelph, em parcela de erosão com plantio de feijão e palma em nível.	52
Figura 14. Teste de condutividade hidráulica realizado com o permeâmetro de Guelph, em parcela de erosão com barramento de pedra e cobertura morta.....	52
Figura 15. Condutividade hidráulica do solo saturado em diferentes profundidades do Argissolo Amarelo Eutrófico Abrúptico (Bacia Experimental do Jatobá).....	66
Figura 16. Curvas logaritmadas da condutividade hidráulica do solo não saturado nas diferentes profundidades do Argissolo Amarelo Eutrófico Abrúptico (Bacia Experimental do Jatobá).	68

Figura 17. Condutividade hidráulica em diferentes profundidades do Argissolo Amarelo Eutrófico típico (Bacia Experimental do Mimoso).	69
Figura 18. Curvas logaritmadas da condutividade hidráulica não saturada nas diferentes profundidades do Argissolo Amarelo Eutrófico típico (Bacia Experimental do Mimoso).	70
Figura 19. Condutividade hidráulica em diferentes profundidades do Cambissolo Háplico Sódico vértico (Bacia Experimental do Xaréu).	72
Figura 20. Curvas logaritmadas da condutividade hidráulica não saturada nas diferentes profundidades do Cambissolo Háplico Sódico vértico (Bacia Experimental do Xaréu).	72
Figura 21. Condutividade hidráulica em diferentes profundidades do Vertissolo Cromado Sódico (Bacia Experimental do Xaréu).	73
Figura 23. Condutividade hidráulica do solo saturado em diferentes tratamentos e cobertura vegetal (Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso).	75
Figura 24. Curva de retenção de umidade nas profundidades de 30 e 55 cm do Argissolo Amarelo Eutrófico Abrúptico (Bacia Experimental do Jatobá).	80
Figura 25. Curva de retenção de umidade nas profundidades de 15 e 40 cm do Argissolo Amarelo Eutrófico Abrúptico (Bacia Experimental do Mimoso).	81
Figura 26. Comparação entre as curvas de retenção de umidade nas diferentes profundidades das Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso.	81
Figura 27. Curva de retenção de umidade na profundidade de 20 cm do Cambissolo Háplico Sódico vértico e Vertissolo Cromado Sódico (Bacia Experimental do Xaréu).	82
Figura 28. Comparação das curvas de retenção de umidade das bacias experimentais estudadas.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Categorias de estrutura e textura do solo para estimativa do α^* (Adaptado por Elrick et al., 1989)	46
Tabela 2: Resumo dos testes de condutividade hidráulica realizados “in situ” em diferentes profundidades.....	53
Tabela 3: Resumo dos testes de condutividade hidráulica realizados “in situ” em diferentes coberturas vegetais.....	53
Tabela 4: Funções de pedotransferência para estimativa da condutividade hidráulica .	55
Tabela 5: Equações para estimativa do conteúdo de água nos potenciais de -33 e -1500 kPa, para solos de Pernambuco	57
Tabela 6: Estatística descritiva da textura e matéria orgânica nas diferentes profundidades do Argissolo Amarelo Eutrófico Abrúptico (Bacia Experimental do Jatobá).....	60
Tabela 7: Estatística descritiva da textura e matéria orgânica nos diferentes tratamentos conservacionistas e tipos de cobertura vegetal, na profundidade de 15 cm (Bacia Experimental do Jatobá).	61
Tabela 8: Estatística descritiva da textura e matéria orgânica nas diferentes profundidades do Argissolo Amarelo Eutrófico típico (Bacia Experimental do Mimoso)	62
Tabela 9: Estatística descritiva da textura e matéria orgânica nos diferentes tratamentos conservacionistas e tipos de cobertura vegetal, na profundidade de 15 cm (Bacia Experimental do Mimoso).....	63
Tabela 10: Estatística descritiva da condutividade hidráulica do solo saturado (cm h^{-1}) em diferentes profundidades (Bacias do Jatobá e do Mimoso).....	64
Tabela 11: Estatística descritiva da condutividade hidráulica do solo saturado, potencial de fluxo mátrico e parâmetro alfa da função de Gardner (1958), Bacia do Jatobá.	67
Tabela 12: Estatística descritiva da condutividade hidráulica do solo saturado, potencial de fluxo mátrico e parâmetro alfa da função de Gardner (1958), Bacia do Mimoso.	71
Tabela 13: Valores indicativos de condutividade hidráulica do solo saturado, potencial de fluxo mátrico e parâmetro alfa da função de Gardner (1958), Bacia do Xaréu.....	74
Tabela 14: Estatística descritiva das condutividades hidráulicas saturadas (cm h^{-1}) medidas em campo nos diferentes tratamentos e cobertura vegetal (Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso).	77
Tabela 15: Teste de médias em diferentes tratamentos conservacionistas	78
Tabela 16: Parâmetros de ajuste estimados pela equação de van Genuchten (1980)....	83

Tabela 17: Valores médios dos logs da condutividade hidráulica do solo saturado medida em campo e estimada por diferentes funções de pedotransferência.	85
Tabela 18: Valores de umidade a -33 kPa estimada em laboratório e por diferentes funções de pedotransferência.	86
Tabela 19: Valores de umidade a -1500 kPa estimada em laboratório e por diferentes funções de pedotransferência.	87
Tabela 20: Valores de umidade estimados em laboratório e por diferentes funções de pedotransferência.	87

LISTA DE SÍMBOLOS

a – Raio do furo de sondagem

α – Parâmetro alfa obtido pela relação K_0 / ϕ_m

α^* : Parâmetro alfa dependente da textura e estrutura do solo

α_G – Parâmetro alfa da equação de Gardner (1954)

α_{vG} – Parâmetro alfa da equação de van Genuchten

C_1 e C_2 – Fatores de forma dependentes da relação H_1/a e H_2/a

H_1 e H_2 : Cargas hidráulicas aplicadas

K – Condutividade hidráulica do solo não saturado

K_0 – Condutividade hidráulica do solo saturado

$K(\psi)$ – Condutividade hidráulica do solo não saturado em função de uma tensão

$K(\psi)$ – Condutividade hidráulica do solo não saturado em função de uma tensão

n e m – parâmetros de ajuste para dados experimentais

Q_1 e Q_2 – taxas de fluxo (vazão)

R_1 e R_2 : Cargas constantes

S_0 – Sorvidade do solo

$U_{-1500 \text{ kPa}}$ – Umidade no potencial de -1.500 kPa

$U_{33-1500 \text{ kPa}}$ – Água disponível

$U_{-33 \text{ kPa}}$ – Umidade no potencial de -33 kPa

X: Área do reservatório (usando duplo cilindro)

Y: Área do reservatório (usando cilindro interno)

θ – Umidade atual

θ_s – Umidade de saturação

θ_r – Umidade residual

ψ – Tensão matricial

ϕ_m – Fluxo potencial matricial do solo

Ψ_m – Potencial matricial

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AD – Água Disponível
A_{RG} – Argila
AS – Assimetria
A_T – Areia total
BPCM – Barramento com Pedra e Cobertura Morta
CC – Capacidade de Campo
CMA – Cultivo Morro Abaixo
CN – Cobertura Natural
CO – Carbono Orgânico
CONT – Contagem (número de amostras)
CTC – Capacidade de Troca Catiônica
C.V – Coeficiente de Variação
DESVPAD – Desvio-Padrão
Ds – Densidade do solo
FTHs – Função de Transferência Hidropedológica
FPT – Função de Pedotransferência
MAX – Máximo
MD – Média aritmética
MED – Mediana
MG – Média geométrica
MÍN – Mínimo
MNT – Modelo Numérico do Terreno
MO – Matéria Orgânica
N.C – Nível de Confiança a 95%.
PCN – Palma em Curva de Nível
PMP – Ponto de Murcha Permanente
SD – Solo Descoberto
Si – Silte
VIB – Velocidade de Infiltração Básica

RESUMO

Para qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo torna-se imprescindível o conhecimento das propriedades físicas e hidráulicas, bem como suas correlações. Ambas têm fundamental importância no armazenamento e transporte de água e de nutrientes, no controle da infiltração e escoamento superficial, bem como na conservação do solo. Nesse contexto, o presente estudo buscou realizar uma caracterização físico-hídrica de três bacias experimentais (Jatobá e Mimoso/Pesqueira-PE e Xaréu/Fernando Noronha-PE) do semiárido, a fim de gerar informações para suporte à modelagem hidrológica e subsídios para o gerenciamento e conservação do solo e da água. Avaliou-se o comportamento físico-hídrico dos solos em diferentes profundidades e coberturas vegetais. A caracterização física dos solos se deu por análises de laboratório com amostras indeformadas e deformadas. A caracterização hidráulica foi realizada por meio de curvas de retenção de umidade e através de testes de condutividade hidráulica (K) em campo com permeâmetro de Guelph. De posse das variáveis físicas e da matéria orgânica do solo, foram testadas funções de pedotransferência (FPT) para estimativa da K_0 e umidade em tensões específicas, a fim de comparar com as medidas em campo e laboratório. Dentre os atributos do solo analisados, a matéria orgânica foi o que apresentou o maior coeficiente de variação, em profundidade, nas Bacias do Jatobá e do Mimoso. Verificou-se também, alta variabilidade da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) em profundidade, nas três bacias. Concluiu-se que a condutividade hidráulica não apresentou diferença significativa entre médias, para as diferentes coberturas vegetais. Dentre os solos estudados, o Vertissolo foi o que apresentou a maior capacidade de retenção de água. Concluiu-se que as FPT propostas apresentaram baixa predição da K_0 . As FPT para estimativa da umidade retida a potenciais específicos, também apresentaram baixa predição para os solos da Bacia do Xaréu. Nas Bacias do Jatobá e do Mimoso a melhor predição para umidade na capacidade de campo foi obtida pelo modelo de Meng et al. (1987) e para a umidade no ponto de murcha permanente, a equação baseada na textura média proposta por Oliveira et al. (2002) mostrou o melhor desempenho. Para água disponível a equação baseada no conjunto único de dados proposta por Oliveira et al. (2002), e o modelo de Massuti (1997) apresentaram boa predição.

Palavras-chave: propriedades físico-hídricas do solo, condutividade hidráulica, permeâmetro de Guelph, funções de pedotransferência, sistemas de manejo.

ABSTRACT

For any study involving the movement of soil water becomes essential to know the physical and hydraulic properties and their correlations. Both proprieties are of fundamental importance in the storage and transport of water and nutrients, in controlling infiltration and runoff, as well as soil conservation. In this context, this study aimed to do a physical-water characterization of three experimental basins (Jatoba and Mimoso / Pesqueira-PE and Xaréu / Fernando Noronha-PE) in the semiarid, in order to generate information for hydrological modeling and subsidies for soil and water management and conservation. It has been evaluated the physical and hydraulic behavior of soil at different depths and vegetation cover. Physical characterization of soils was carried out by laboratory tests on disturbed and undisturbed samples. The hydraulic characterization was conducted through moisture retention curves and through of hydraulic conductivity (K) tests in the field with the Guelph permeameter. Possession of physical variables and soil organic matter pedotransfer functions (PTF) have been tested to estimate the K_0 and moisture in particular tensions in order to compare field and laboratory measurements. Among the attributes analyzed, the organic matter was the one with the highest coefficient of variation in depth in the basins and Mimoso Jatoba. There was also high variability of saturated hydraulic conductivity (K_0) in depth, in the three basins. It was concluded that the hydraulic conductivity no significant difference in hydraulic conductivity means has been verified for the different vegetation covers. Among soils, the Vertisol presented the highest capacity to retain water. It is concluded that the proposed PTF showed low prediction of K_0 . The PTF for estimating soil moisture, also showed low prediction for soils at Xaréu Basins. In the Jatoba and Mimoso Basins, the best prediction for soil moisture at field capacity was obtained by the model proposed by Meng et al. (1987) and the humidity at wilting point, the equation based on the mean texture proposed by Oliveira et al. (2002) showed the best performance. For the water available content for the equation based on unique data set proposed by Oliveira et al. (2002), and Massuti (1997) model showed a good prediction.

Keywords: physical and hydraulic properties of soil, hydraulic conductivity, the Guelph permeameter, pedotransfer functions, management systems.

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos recursos hídricos e a conservação do solo são de suma importância para o desenvolvimento econômico local e sustentável. Este gerenciamento só é possível a partir do monitoramento dos fenômenos hidrológicos e suas correlações com os atributos do solo e a cobertura vegetal.

A gestão e planejamento dos recursos hídricos dependem de uma adequada quantificação da disponibilidade hídrica. Para tal quantificação, os processos chuva-vazão são de grande importância, estando altamente associados à repartição entre infiltração e escoamento superficial. Esta repartição é influenciada pelas características hidráulicas dos solos, particularmente condutividade hidráulica e curva característica de retenção de umidade.

Como a rede de monitoramento e a coleta de dados hidrológicos surgiram, principalmente, por causa do interesse do setor hidroenergético no Brasil, há grande carência de dados hidrológicos em microbacias hidrográficas do semiárido. O monitoramento das microbacias reveste-se, portanto, de fundamental importância para a complementação da rede de informações hidrológicas e físico-hídricas, além de sua natural vocação para o estudo do funcionamento dos processos físicos, químicos e biológicos atuantes no ciclo hidrológico, e para dar suporte à gestão de recursos hídricos e conservação do solo.

As microbacias experimentais apresentam-se como uma unidade física, social e política bem definida. Nesse contexto, estudos direcionados para caracterização físico-hídrica são relevantes para quantificação dos processos hidrológicos envolvidos, em especial a condutividade hidráulica do solo saturado e não saturado, infiltração de água no solo e escoamento superficial. As microbacias são unidades importantes, particularmente por dar suporte à captação de água para fins de abastecimento público local e usos múltiplos.

A caracterização dos solos contribui para a compreensão das inter-relações solo/água/planta/atmosfera. As variáveis físico-hídricas apresentam uma importância expressiva na engenharia de solo e na hidrologia, pois fornecem informações para o desenvolvimento de projetos de irrigação e drenagem, para o estabelecimento de sistemas de manejo de solo e água, para análise dos solos quanto à sua suscetibilidade à

erosão, para o manejo agrícola, capacidade de armazenamento, bem como para modelagem hidrológica.

A infiltração, processo de entrada da água no solo, é controlada principalmente pelas características físicas da camada superficial que são afetadas pelo manejo do solo, cobertura vegetal, resíduos culturais, atividade biológica, rugosidade superficial, e declividade do solo. Já o movimento da água no solo depende da quantidade de água envolvida no processo, e das diferenças de potencial da água entre os diferentes pontos do perfil do solo. Se houver água disponível no solo, o movimento prossegue da planta para a atmosfera; caso contrário, o movimento cessa. A magnitude e a direção desse movimento dependem diretamente da condutividade hidráulica e dos gradientes de potencial hídrico no sistema solo-água.

Para qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo torna-se imprescindível o conhecimento da condutividade hidráulica e da curva característica de umidade do solo. Ambas têm fundamental importância no armazenamento e transporte de água e de nutrientes, controle de infiltração e escoamento superficial, bem como na conservação do solo.

A condutividade hidráulica é um atributo físico de importância para o entendimento dos processos de retenção, dinâmica da água no solo e da sua absorção pelas plantas. É de difícil determinação, pois apresenta uma alta variabilidade, sendo bastante influenciado por diversos fatores e variáveis, tais como: tipo de solo, estrutura, textura, teor de matéria orgânica, cobertura vegetal e práticas conservacionistas. É altamente dependente do conteúdo de água no solo, e seu valor decresce acentuadamente com a diminuição da umidade.

Nos últimos 30 anos observou-se um avanço em estudos relacionados à caracterização hidráulica dos solos a partir de propriedades correlacionadas, através de funções de pedotransferências. As funções de transferência hidropedológica ou funções de pedotransferência são funções capazes de estimar informações de difícil determinação, como condutividade hidráulica do solo saturado e não saturado, umidades do solo na capacidade de campo e ponto de murcha, entre outras, a partir de propriedades obtidas em banco dados de levantamentos de solos, tais como: granulometria, densidade do solo, porosidade, matéria orgânica, entre outras.

Na ausência destes levantamentos, estudos de caracterização físico-hídrica dos solos são essenciais para a compreensão do movimento da água no solo, comportamento hidráulico dos diferentes tipos de solo e geração de um banco de dados, que possa subsidiar o gerenciamento dos recursos hídricos e manejo do solo, bem como possibilitar possíveis correlações entre as propriedades físico-hídricas, a fim de gerar equações de pedotransferências que venham minimizar o trabalho de campo.

As bacias experimentais (Jatobá, Mimoso e Xaréu) avaliadas no presente estudo, foram selecionadas por fazerem parte do grupo de Bacias Experimentais Representativas, implementadas pela Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA), sob coordenação da UFRPE. Neste contexto, faz-se necessário a ampliação dos estudos hidrológicos e físico-hídricos dos solos de referência destas bacias, uma vez que ainda existe carência da informação. Tais informações darão suporte à modelagem hidrológica e conseqüentemente, subsídios para o gerenciamento e conservação do solo e da água.

Devido à irregularidade e escassez de precipitação em regiões semiáridas, a caracterização físico-hídrica dos solos, torna-se de suma relevância para o desenvolvimento regional. No caso da Bacia do Xaréu, a informação possibilita a utilização de modelos hidrológicos para suporte ao planejamento da matriz de abastecimento da ilha. Já nas bacias do Jatobá e do Mimoso, as informações possibilitam o manejo da agricultura familiar.

O presente trabalho teve por objetivo realizar uma caracterização físico-hídrica e avaliar os potenciais hidrológicos dos solos predominantes em três bacias experimentais do semiárido, tendo como objetivos específicos: i) a caracterização física e hidráulica dos solos de referência da Bacia do Xaréu (Ilha de Fernando de Noronha-PE), Bacias do Jatobá e do Mimoso (Pesqueira-PE); ii) análise da infiltrabilidade dos solos de referência, teor de água disponível e potencial de geração de escoamento; iii) teste de funções de pedotransferência disponíveis na literatura, para avaliar o comportamento hidráulico do solo, e comparação com as medições de campo.

O estudo teve como meta contribuir para o desenvolvimento científico e tecnológico da hidrologia em bacias hidrográficas experimentais de regiões semiáridas, e em ilha oceânica sob condição de semiaridez, bem como gerar um banco de dados para subsidiar a modelagem hidrológica nas bacias estudadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Condutividade Hidráulica

Dentre as variáveis que influenciam o fluxo de água no solo, a condutividade hidráulica (K) se destaca. Segundo Libardi (1995), a condutividade hidráulica é um coeficiente que expressa a facilidade com que um fluido é transportado através de um meio poroso, que varia de solo para solo e até no mesmo solo, dependendo, portanto, das propriedades do meio e do fluido.

Segundo Reichardt (1990), o valor máximo de condutividade hidráulica é atingido quando o solo se encontra saturado, e é denominado de condutividade hidráulica do solo saturado. A partir da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) e utilizando modelos matemáticos, pode-se determinar a condutividade hidráulica do solo não saturado (K) e assim obter informações sobre o movimento de água e solutos no solo.

A condutividade hidráulica do solo é uma propriedade que depende dos atributos do solo e daqueles relacionados à fluidez da água. Nobre (2004) expressa cinco características que influenciam a condutividade hidráulica: o tamanho das partículas, o índice de vazios, a composição mineralógica, a estrutura e o grau de saturação. Cada fator desses não está isolado, havendo uma interrelação nos seus efeitos.

Conforme Klute (1965), a condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) pode fornecer informações indiretas sobre a estrutura e estabilidade estrutural de agregados do solo, sendo influenciada por atributos físicos que controlam a proporção entre as fases sólida, líquida e gasosa do solo. Segundo Scherpinski (2003), a K_0 está diretamente ligada ao tamanho, volume e distribuição dos poros do solo e varia para os diferentes tipos de solo existentes. Silva et al. (2009a) relatam que a condutividade hidráulica do solo saturado é uma propriedade com elevada faixa de variação em solos heterogêneos, sendo necessária a utilização de ferramental específico para a sua determinação.

Nesse contexto, diversos ensaios para a determinação da condutividade hidráulica têm sido desenvolvidos e aperfeiçoados ao longo do tempo. Busca-se, assim, uma maior representatividade dos resultados, redução de custos dos ensaios e o aperfeiçoamento

dos equipamentos de medição em campo, tornando-os mais práticos e de fácil utilização. A maioria dos ensaios é realizada com permeâmetros ou infiltrômetros visando a determinação da condutividade hidráulica em condições de saturação, não refletindo convenientemente os efeitos de solos não saturados, que segundo Stephens & Newman (1982), Stephens et al. (1983), Reynolds et al. (1985), citados por Lisboa (2005), devem ser levados em consideração.

Existem várias técnicas, abrangendo ensaios de campo e de laboratório, que podem ser utilizadas para medir ou estimar a condutividade hidráulica. Os ensaios em laboratório, quando comparados com ensaios em campo, apresentam vantagens nas condições de controle (saturação, nível de tensões efetivas, carga hidráulica e direção de fluxo), tempo de ensaio e custo, além de permitir em medidas de anisotropia hidráulica, quando as amostras são ensaiadas em direções específicas de fluxo, o que não é possível nos ensaios de campo. A desvantagem dos ensaios em laboratório está no efeito de escala, pois o volume de solo geralmente envolvido no processo de fluxo é reduzido, assim como, nas dificuldades de manutenção da estrutura do solo. Muitas vezes, existem variações entre as determinações de laboratório e de campo, causadas principalmente por problemas de amostragem (DOURADO, 2003).

Carvalho (2002) considera que a determinação da condutividade hidráulica em condições de campo apresenta uma aproximação das condições reais, ao contrário do laboratório, que utiliza amostras de solo, podendo conduzir a erros ocasionados pela alteração das condições naturais.

A condutividade hidráulica determinada em laboratório, por meio de permeâmetro, exige um menor esforço, além de ser relativamente prática e rápida, porém requer bastante atenção na coleta e preparação das amostras indeformadas, para evitar desagregação estrutural (CARVALHO, 2002). Problemas metodológicos envolvidos na obtenção da condutividade hidráulica do solo saturado, desde a amostragem até a sua determinação em laboratório e também em campo, podem levar a uma elevada incerteza e grandes desvios entre os valores determinados (WARRICK & NIELSEN, 1980; FIELD et al., 1984). Estudos comparando diferentes metodologias de determinação da K_0 mostram diferenças significativas entre os valores obtidos, devido a limitações experimentais ou matemáticas assumidas pelos métodos (CARVALHO, 2002).

Segundo Melo Filho (2002), além dos métodos de campo e de laboratório, a condutividade hidráulica pode ser quantificada por métodos indiretos a partir de outras propriedades do meio poroso de mais fácil determinação.

Segundo Dane (1980), diversos pesquisadores têm usado modelos matemáticos para estimar a condutividade hidráulica do solo não-saturado, a partir de características físico-hídricas mais fáceis de serem determinadas, como a curva de retenção da água no solo. Alexander & Skaggs (1986) também apresentaram modelos matemáticos para estimar a condutividade hidráulica do solo não-saturado a partir da curva de retenção de água no solo. Os autores mencionam que os métodos para estimar a condutividade hidráulica a partir da curva de retenção de água no solo são geralmente fundamentados em modelos físicos compostos de tubos capilares, simulando o arranjo de poros do solo. Um exemplo desse tipo é o modelo de Mualem (1976), utilizado por van Genuchten (1980), para determinação da condutividade hidráulica.

De forma geral, os métodos para determinação da condutividade hidráulica estão divididos em métodos de laboratório e métodos de campo. Dentre os métodos de laboratório, pode-se citar: permeâmetros de parede rígida ou de parede flexível, de carga constante ou variável. Com relação aos métodos de campo, destacam-se os métodos de poços e furos de sondagem, testes de bombeamento, perfil instantâneo, infiltrômetro de anel duplo, permeâmetro a disco e permeâmetro de Guelph (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2004).

Silva & Libardi (2000) comentam que perturbações na superfície do solo podem afetar os valores da condutividade hidráulica e proporcionar resultados que não condizem com o solo estudado. Desta forma, é claramente desejável que os métodos e as técnicas utilizadas para quantificar essas propriedades não provoquem perturbações adicionais no próprio solo e que forneçam valores representativos e de precisão adequada.

A escolha do método depende de fatores tais como disponibilidade de equipamentos, natureza do solo, tipo de amostra disponível, faixa de tensão a ser estudada e objetivo das determinações (MELO FILHO, 2002).

O permeâmetro de Guelph destaca-se, por ser um equipamento capaz de quantificar a taxa de infiltração, a condutividade hidráulica do solo saturado, o potencial de fluxo mátrico e a sortividade (Reynolds & Elrick, 1985; Elrick et al., 1989, Elrick & Reynolds, 1992; Vieira, 1995-1998). Castro (1995) ressalta a possibilidade da realização de um grande número de determinações com o permeâmetro, principalmente devido à simplicidade e rapidez do método. Nos últimos anos, diversos autores vêm utilizando o permeâmetro de Guelph para estimativa da condutividade hidráulica do solo saturado e não saturado.

Reynolds & Elrick (1985), que realizaram medidas da condutividade hidráulica com o permeâmetro de Guelph, verificaram que há diferenças no valor da K_0 dependendo do diâmetro do furo utilizado no ensaio com o permeâmetro. Essas diferenças foram associadas à heterogeneidade e a presença de macroporos do solo.

Trevisan et al. (2009), em estudo comparativo entre métodos de determinação de condutividade hidráulica em campo, com o Permeâmetro Guelph, e no laboratório, utilizando o método de permeâmetro de carga constante, com amostras indeformadas de um Latossolo Vermelho Escuro, verificaram não haver diferenças estatisticamente significativas entre os métodos, para as condições adotadas.

Aguiar (2001) utilizou o permeâmetro de Guelph para medir a condutividade hidráulica de uma leira de resíduos sólidos urbanos e em um talude de cobertura de aterro sanitário. Conforme os resultados obtidos, verificou-se a coerência das estimativas, quando comparadas a resultados encontrados por outros autores em ensaios de condutividade hidráulica em resíduos sólidos urbanos, com diferentes metodologias de campo e de laboratório. Eguchi et al. (2003) utilizaram o permeâmetro de Guelph em estudo de variabilidade espacial da condutividade hidráulica e velocidade de infiltração básica, em uma amostragem sistemática com espaçamento regular em uma transeção de 100 m de comprimento, com 51 pontos amostrais, no município de Lavras, MG. Verificaram que há uma alta variabilidade da condutividade hidráulica de solo saturado (K_0) e da taxa de infiltração básica (VIB) ao longo de uma linha paralela ao curso natural d'água, para uma mesma classe de solo.

Assis & Lanças (2005), em estudo de avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distroférico, sob sistema plantio direto, preparo convencional e

mata nativa, utilizaram o permeâmetro de Guelph para determinação da infiltração e condutividade hidráulica, utilizando duas cargas hidráulicas 6 e 9 cm, que segundo os autores são recomendadas para solos de textura argilosa. Verificaram menores valores de condutividade hidráulica no plantio convencional em relação ao plantio direto (submetido a 12 anos de cultivo). A condutividade hidráulica no plantio direto e na mata nativa foi 15 e 11 vezes, respectivamente, maior do que no plantio convencional. Os autores afirmaram que os menores valores de condutividade hidráulica em relação ao plantio direto são devidos, principalmente, à desestruturação excessiva do solo, decorrente da utilização da aração e gradagem. Essa desestruturação promoveu o aparecimento de uma grande quantidade de partículas finas, as quais provocam o selamento parcial dos poros do solo, reduzindo as taxas de infiltração. Observaram ainda elevados coeficientes de variação (30%) para a condutividade hidráulica do solo saturado com o permeâmetro de Guelph, em concordância com trabalhos de Arzeno (1990), Sarvasi (1994), Guimarães (2000) e Beutler et al. (2001).

Lisboa (2005) determinou a condutividade hidráulica do solo não saturado em três solos residuais de Gnaiss, com permeâmetro de Guelph e ensaios de laboratório. O solo 01 foi um solo residual maduro situado no Campus da Universidade Federal de Viçosa, próximo ao Departamento de Engenharia Agrícola. O solo 02, um solo residual jovem, situado num corte de talude no bairro Paraíso da cidade de Viçosa. Por fim, o solo 03 foi um solo residual maduro. Este solo foi usado, após compactação, como camada de impermeabilização na base das plataformas do aterro sanitário do município de Rio Branco – MG. Comparando os métodos, observou que ambos conduziram a valores satisfatórios.

Ferreira (2008), utilizando o permeâmetro de Guelph, avaliou a relação entre a condutividade hidráulica do solo saturado com parâmetros físicos de um Latossolo Vermelho Distrófico submetido a dois diferentes manejos, e verificou através de mapas e gráficos de dispersão que a condutividade hidráulica do solo saturado não apresentou adequada correlação com as demais propriedades do solo (densidade de partículas, frações granulométricas, densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo). O autor concluiu que a ausência de correlação estava associada à alta variabilidade da condutividade e a baixa amplitude de variação das demais propriedades do solo.

Bagarello (1997), utilizando o permeâmetro de Guelph, investigou a influência da preparação do furo de sondagem na medição da condutividade hidráulica do solo saturado em um solo franco arenoso. Neste estudo, o autor buscou avaliar a influência de alguns procedimentos (a 0,15 m de profundidade), tais como: i) inserir uma tela de arame no fundo do poço para evitar o afundamento do mesmo, provocado pela extremidade inferior do permeâmetro de Guelph; ii) a utilização de uma haste metálica afiada para remover áreas compactadas pela ação do trado nas paredes laterais; e iii) utilização de poços com diferentes diâmetros (raios de 0,025 e 0,030 m), bem como com diferentes conteúdos antecedentes de água no solo. O autor analisou cinco diferentes tratamentos ou métodos de preparação (15 poços para cada tratamento), e observou que a menor média e maior variabilidade de K_0 foram obtidas nos poços não tratados (isto é, poços preparados utilizando apenas o trado); e a maior média e a menor variabilidade dos K_0 foram medidas nos poços preparados com a inserção da tela de arame e haste metálica.

Silva et al. (2009a) realizaram caracterização da condutividade hidráulica do solo saturado em bacia representativa do semiárido Pernambucano, e observaram que o preparo do furo para testes com permeâmetro de Guelph deve ser realizado com bastante critério. Verificou-se que a variação da carga hidráulica no furo (em testes com mais de uma carga hidráulica) pode ocasionar desmoronamento da parede lateral do mesmo. Adicionalmente, os mesmos autores evidenciaram em testes “in situ” com o permeâmetro de Guelph, que o equipamento possui grandes vantagens, tais como: fácil manuseio em campo, exigência de pouca água para realização do teste, e reduzido tempo para estabilização, podendo ser utilizado em diferentes profundidades, sem necessidade de abertura de trincheira, e sendo aplicáveis em terrenos com declividade.

2.2. Curva de Retenção de Umidade

Um dos atributos que melhor reflete a dinâmica da água nos solos é a curva característica de retenção de umidade, que representa a relação entre os valores de umidade e o potencial matricial. A partir dos dados desta curva, é possível prever aspectos importantes do comportamento hídrico de umedecimento e secamento do solo (LUZ & LIMA, 2008).

A determinação da curva de retenção, ou curva característica de água do sol, é de suma importância na área de irrigação e nos estudos de movimento de água no solo, pois fornece o teor de água do solo (θ) em diferentes tensões (ψ), e vice-versa. Assim, propicia informações necessárias para a determinação do teor de água disponível no solo, do teor de água real e de outras variáveis básicas para o manejo da água de irrigação, e para a quantificação dos processos dinâmicos envolvendo o sistema solo-planta-atmosfera (COSTA et al., 2008), são tensões especificadas.

Considera-se como indicativo do ponto de murcha permanente o teor de água retida no solo sob tensão de 1,50 MPa, e da capacidade de campo, o teor retido a 0,033 MPa para solos argilosos, e 0,010 MPa para arenosos, independentemente do tipo de cultivo (SOUZA et al., 2000).

A *capacidade de campo* é a quantidade de água retida pelo solo após a drenagem ter ocorrido ou cessado, em um solo previamente saturado por chuva ou irrigação. É a quantidade de água retida pelo solo quando a condutividade hidráulica não saturada se torna tão pequena que o fluxo de água gravitacional pode ser considerado como sendo zero. O *ponto de murcha permanente* é o conteúdo de água retido no solo a um potencial matricial tão reduzido, que a maioria das plantas não consegue extrair água do solo e entra em murcha permanente. A *água disponível* é a água compreendida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (COUTO & SANS, 2002).

Ainda segundo Couto & Sans (2002), a curva característica é geralmente determinada em laboratório e, de preferência, em amostras não deformadas. Vários métodos estão disponíveis para a determinação da curva de retenção nas diferentes faixas de tensão, tais como: funil de Buchner e mesa de tensão, e extrator de pressão ou câmara de Richards (TAVARES, et al., 2008). Entretanto, para fins de pesquisa, pode

também ser determinada diretamente no campo, sendo entretanto um processo mais trabalhoso e demorado.

A faixa úmida da curva de retenção de umidade pode ser estimada no campo por meio de tensiômetros, que são aparelhos empregados para medir a tensão com que a água está retida pelas partículas do solo. O valor da tensão da água retida no solo é correlacionado com o teor de umidade existente no perfil, formando a curva de retenção de água no solo. A umidade pode ser determinada por medida direta (gravimetria) ou indireta (sensores de umidade, sonda de nêutrons, etc). Vale, entretanto, salientar que existem limitações de funcionamento dos tensiômetros em relação a valores de tensões de aproximadamente 80 kPa.

Conforme Silva (2005), existem três métodos para se obter a curva de retenção de água do solo: i) Por secagem (drenagem), onde se toma uma amostra de solo inicialmente saturada e aplica-se gradualmente sucções maiores, fazendo medidas sucessivas de tensão em função da umidade (θ); ii) Por molhamento (umedecimento): toma-se uma amostra de solo inicialmente seca ao ar, e permite-se seu umedecimento gradual por redução de tensão; iii) Além destes, pode-se partir de um teor de umidade intermediário do solo (por exemplo, o teor de umidade natural da amostra), a partir do qual pode-se aplicar tanto o processo de drenagem quanto para o umedecimento.

Reichardt (1985) descreve que cada método fornece uma curva contínua, mas em geral, diferente; ou seja, a relação entre a sucção matricial e a umidade não é unívoca. Este fenômeno é denominado histerese e pode ser visto esquematizado na Figura 1.

Ainda segundo Reichardt (1985), a histerese pode trazer problemas principalmente na descrição matemática do fluxo de água no solo. Em tentativa de contornar este problema, utiliza-se o método mais adequado conforme o tipo de análise a ser realizada. Por exemplo, utiliza-se a curva de umedecimento para descrever fenômenos como a infiltração no solo, e a curva de drenagem, para o caso de evaporação. Quando ocorrem os dois tipos de comportamento, a análise torna-se mais complicada, acarretando, algumas vezes, a não consideração da histerese.

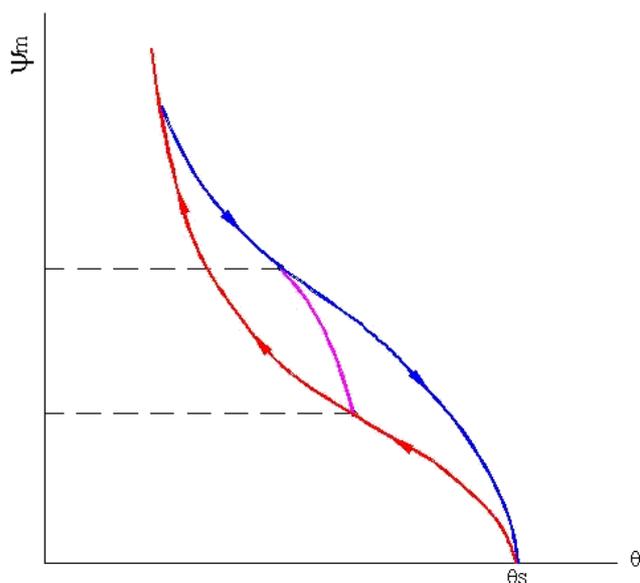


Figura 1. Fenômeno de histerese em curva de retenção do solo (Silva, 2005)

O efeito da histerese pode ser atribuído a vários motivos, destacando-se dentre os principais: o efeito do ângulo de contato, ar ocluído e fenômenos de expansão e contração (SILVA, 2005).

Fredlund & Rahardjo (1993) mostram que a histerese tem influência nas propriedades dos solos não saturados, tanto no estado de tensões, como na permeabilidade. Ela é considerada a maior causa da dependência da trajetória de tensões do solo. Já com relação à permeabilidade, a histerese pode ser relevante quando se avalia a função condutividade hidráulica em função da sucção matricial. Contudo, se um gráfico da condutividade hidráulica versus teor de umidade volumétrico é construído, não se observa praticamente nenhuma histerese.

De posse da curva característica de água no solo, são possíveis várias aplicações, bem como estimativas de vários parâmetros, dentre eles, a porosidade drenável (Mello Filho et al., 2002), capacidade de campo (Ferreira & Marcos, 1983; Fabian & Ottoni Filho, 2000; Mello Filho et al., 2002) disponibilidade total de água (Arruda et al., 1987; Centurion & Andrioli, 2000; Mello Filho et al., 2002), e condutividade hidráulica não-saturada (van Genuchten, 1980; Wösten et al., 1990; Tomasella & Hodnett, 1997).

Segundo Gerscovich (2001), várias proposições empíricas foram desenvolvidas para simular a curva característica de umidade. Algumas modelam a função que

relaciona sucção com umidade (Gardner, 1958; Brooks e Corey, 1964; Farrel & Larson; 1972; Roger & Hornberger, 1978; William et al., 1983; McKee & Bumb, 1987; Haverkamp & Parlange, 1986; van Genuchten, 1980; Fredlund & Xing, 1984). Outras propõem a obtenção da curva característica a partir de frações granulométricas (Gosh, 1980; Rawls & Brakensiek, 1989). Esta última abordagem é bastante conveniente, já que tais informações são rotineiramente determinadas experimentalmente, e com facilidade.

Van Genuchten (1980) propôs uma equação empírica (Equação 1) para representar analiticamente a curva de retenção de água no solo, sendo esta bastante utilizada na literatura:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + [\alpha_{vG} |\Psi_m|]^n\right]^m} \quad (1)$$

Conforme Loyola & Prevedello (2003), van Genuchten introduziu a equação (1) na teoria de Mualem (1976), para obter a seguinte expressão analítica para a função $K(\theta)$:

$$K(\theta) = K_0 \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{1/2} \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{1/m} \right]^m \right\}^2 \quad (2)$$

em que $m = 1 - \frac{1}{n}$, sendo n um parâmetro de ajuste dos dados experimentais, e onde:

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo não saturado em função da umidade ($L T^{-1}$);

K_0 = condutividade hidráulica do solo saturado ($L T^{-1}$);

θ = umidade atual ($L.L^{-3}$);

θ_r = umidade residual ($L.L^{-3}$);

θ_s = umidade de saturação ($L.L^{-3}$);

Ψ_m = potencial matricial (kPa);

α_{vG} = parâmetro alfa da função de van Genutchen (kPa^{-1}).

2.3. Infiltração de Água no Solo

A infiltração, processo de entrada direta da água no solo, é bastante influenciada pela condutividade hidráulica e curva característica de umidade, constituindo-se em importante componente do balanço hídrico, em particular em regiões de baixa disponibilidade de água. É influenciada principalmente pelas características físicas da camada superficial, que é afetada pelo manejo do solo, cobertura vegetal e resíduos culturais, atividades biológicas, rugosidade superficial, e declividade do solo (SILVA et al., 2003). Já o movimento da água no interior do solo depende da quantidade de água envolvida no processo, e das diferenças de potencial da água entre os diferentes pontos do perfil. Se houver água disponível no solo, o movimento prossegue da planta para a atmosfera, de forma passiva; caso contrário, o movimento cessa. A magnitude e a direção desse movimento dependem diretamente da condutividade hidráulica e dos gradientes de potencial hídrico no sistema solo-água (REICHARDT, 1985).

A taxa de infiltração de água é considerada um bom indicativo da qualidade física do solo (BERTOL et al., 2000). Quando reduzida a níveis muito baixos, aumenta o risco de erosão, de déficit hídrico e nutricional nas plantas, fazendo com que as raízes desenvolvam-se superficialmente, diminuindo assim, a produtividade das culturas (MORAES et al., 1995).

Do mesmo modo, Brandão et al. (2006) comentam que a melhoria das condições de infiltração da água no solo reduz a intensidade do processo erosivo, estimula a recarga dos aquíferos subterrâneos, aumenta o escoamento de base e reduz as vazões máximas dos cursos d'água, além de ser determinante do balanço hídrico na região da zona radicular das culturas. Dessa forma, o conhecimento desse processo é fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos, o manejo e conservação do solo e da água, o dimensionamento de estruturas hidráulicas e a condução da agricultura.

Segundo Borges et al. (1999), o processo de infiltração é caracterizado por dois parâmetros: a sorvidade (S_0) e a condutividade hidráulica (K_0). O valor de S_0 é associado à fase inicial da infiltração. Nesta fase, a infiltração é praticamente independente dos efeitos gravitacionais e geométricos. Os valores S_0 e K_0 na camada superficial do solo definem a partição dos aportes externos de água (precipitação, irrigação), afetando assim tanto o armazenamento de água no solo, como o escoamento

superficial. É importante considerar que os macroporos são funcionais quando o solo está muito próximo à saturação, sendo capazes de transportes preferenciais de água e substâncias químicas de forma rápida durante o processo de infiltração.

Dentre as metodologias para estimativa de infiltração, destaca-se a equação de Green-Ampt. De acordo com Rodrigues & Pruski (1997) e Cecílio et al. (2003), o modelo de Green-Ampt é um dos que apresentam maior potencial de utilização, devido a sua fundamentação física. A sua aplicação, entretanto, requer adequação de seus parâmetros a condições locais e a funcionais matemáticos, particularmente considerando a classificação hidropedológica de solos, uma vez que, o modelo estima a infiltração de água em solos homogêneos submetidos a uma carga hidráulica constante, isto é, em condição de empoçamento.

Brandão et al.(2006) comentam que Mein e Larson (1973) modificaram o modelo de Green-Ampt de modo que este pudesse ser aplicado também no período de tempo durante o qual não ocorre o empoçamento de água sobre a superfície do solo. Desta maneira, o modelo desenvolvido, denominado modelo de Green-Ampt modificado por Mein e Larson (GAML), passou a ser aplicável para as condições típicas de infiltração durante a ocorrência de precipitação. Ainda segundo os autores o modelo passou a ser amplamente utilizado na estimativa da infiltração, sendo incorporado a modelos matemáticos e computacionais, por apresentar a mesma simplicidade física do modelo de Grenn-Ampt.

Montenegro et al. (2009a), em estudo das potencialidades hídricas superficiais de Fernando de Noronha-PE, para fins de alternativas de incremento da oferta de água, utilizaram o modelo de Green-Ampt para análise do potencial de infiltração em Vertissolos e Cambissolos Vérticos. Verificou-se que esses solos possuem um elevado potencial para gerar deflúvios superficiais e baixa capacidade de infiltração.

Tendo em vista a dificuldade técnica e operacional de se avaliar diretamente os parâmetros hidráulicos dos solos, freqüentemente se recorre a metodologias indiretas, baseadas em variáveis de mais fácil determinação, dentre elas as funções de pedotransferência.

2.4. Funções de Pedotransferência

A pedotransferência é assunto relativamente novo no Brasil e uma metodologia ainda pouco utilizada, embora existam casos de aplicações potenciais quando se utilizam dados morfológicos de solos para estimar, por exemplo, uma classe de aptidão agrícola ou uma classe de susceptibilidade a erosão. De maneira geral, as interpretações de levantamentos de solos são em verdade pedotransferências que objetivam estimar, a partir de dados existentes e de mais fácil obtenção, outras características ou propriedades correlacionadas (FIORIN, 2008).

Quando a pedotransferência é expressa de forma quantitativa, por meio de equações matemáticas, ela é denominada de funções de pedotransferência. Essa metodologia está começando a ser utilizada em muitas áreas e com grande potencial de aplicação. A morfologia do solo e as interpretações de dados de pesquisa de campo e análises de laboratório podem ser usadas para o mapeamento quantitativo de propriedades do solo. Por meio de equações matemáticas, as funções de pedotransferência traduzem os dados originados de levantamentos de solos em outras informações de mais difícil mensuração ou de obtenção complexa e de custo elevado (FIORIN, 2008). A aplicação de funções de pedotransferência em locais distintos daqueles para os quais foram desenvolvidas deve ser necessariamente procedida por uma validação (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2004).

No Brasil, esse assunto ganhou destaque a partir da década de noventa. Atenção especial deve ser dada ao uso das propriedades físicas do solo, ou parâmetros texturais, teor de matéria orgânica, capacidade de troca de cátions (CTC), dentre outros. A elaboração de funções de pedotransferência deve seguir dois princípios: o primeiro é que as funções devem ser eficientes, não estimar algo que é mais fácil se determinar diretamente; e o segundo é que a incerteza de seu uso deve ser quantificada, e de reduzida magnitude (BUDIMAN et al., 2003).

Diferentes abordagens têm sido utilizadas para o desenvolvimento de funções de pedotransferência, a exemplo daquelas descritas em BUDIMAN et al. (1999); CORNELIS et al. (2001); BUDIMAN & MCBRATNEY (2002); e BUDIMAN et al. (2002). Na literatura predominam trabalhos que apresentam funções de pedotransferência para a condutividade hidráulica do solo saturado, para a curva de

retenção de água no solo, especialmente em solos de regiões de clima temperado (WÖSTEN et al., 1999, 2001), os quais apresentam diferenças importantes em relação aos solos tropicais (HODNETT & TOMASELLA, 2002).

A estimativa da condutividade hidráulica do solo por meio de equações matemáticas de regressão pode ser uma alternativa viável, rápida e econômica. Essas equações foram chamadas de funções de pedotransferência (FPT) por Bouma (1989), e são usadas para descrever a dependência da retenção de água e da condutividade hidráulica do solo em relação a parâmetros disponíveis. Segundo Budiman et al. (2003), são funções preditivas de certas propriedades dos solos baseadas em outras mais facilmente medidas e rotineiramente obtidas a custos mais baixos.

A construção de funções de pedotransferência para a condutividade hidráulica se embasa naquelas propriedades físico-hídricas do solo que apresentam alguma relação com as mesmas. Dados de levantamentos de solos disponíveis podem ser usados, tais como distribuição de tamanho de partículas, densidade do solo e conteúdo de matéria orgânica (RAWLS & BRAKENSIEK, 1983; VERECKEN et al., 1989, 1990; van GENUCHTEN et al., 1992).

Atualmente, número considerável de trabalhos propõem equações para predição do conteúdo de água retida pelo solo nos potenciais equivalentes à capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP), bem como a água disponível (AD). No entanto, estas equações não devem ser usadas indiscriminadamente, pois, em sua maioria, foram desenvolvidas para solos de clima temperado e seu uso requer calibrações locais. A precisão das funções de pedotransferência tende a ser maior quanto mais homogêneos forem os solos que compõem a base de dados, e quanto mais próximos entre si forem as locações de amostragem (OLIVEIRA et al., 2002). Por outro lado, a adoção de funções obtidas a partir de áreas homogêneas pode trazer dificuldades adicionais na fase de validação e generalização de tais funções.

Oliveira et al. (2002) elaboraram funções de pedotransferência para estimar o conteúdo de água nos potenciais de -33 e -1.500 kPa e a água disponível no solo, a partir de dados granulométricos e de densidade global, para solos de referência do Estado de Pernambuco. Comparou-se a eficiência de predição das equações propostas com equações similares, disponíveis na literatura, na estimativa dessas propriedades.

Foi verificado que o conteúdo de água retido nos potenciais de -33 e -1.500 kPa e a água disponível em solos do Estado podem ser estimados, com razoável precisão, a partir de dados granulométricos e de densidade global.

Ainda segundo Oliveira et al. (2002), na tentativa de melhorar a capacidade preditiva das pedofunções, além da utilização dos dados agrupados em um único conjunto, procedeu-se à separação dos dados em categorias, formando subconjuntos mais homogêneos. Os subconjuntos incluíram: atividade de argila, grau aproximado de desenvolvimento pedogenético e classe textural. Dentre os solos utilizados para elaboração das funções de pedotransferência, foram estudados perfis de Argissolo Amarelo eutrófico, Cambissolo Háplico e o Vertissolo Cromado, em análise na presente pesquisa.

Peraza (2003) buscou avaliar a retenção de água por meio de pedofunções em solos do Rio Grande do Sul. Observou que as variáveis granulométricas como argila, silte, areia, além da matéria orgânica, influenciaram decisivamente na estimativa do conteúdo de umidade no solo. No entanto, ao incluir outras variáveis, como grau de floculação, densidade do solo e atividade química da argila, o aumento da precisão não foi tão significativo.

2.5. Solos Representativos das Bacias em Estudo

O Estado de Pernambuco possui uma grande diversidade de solos. Isso acontece porque o Estado ocupa uma ampla faixa no sentido leste-oeste (cerca de 700 km), estendendo-se desde regiões mais úmidas a leste, até regiões mais secas a oeste. Associadas às variações de clima, ocorrem, também, expressivas variações de geologia e relevo em todo o território, contribuindo para a diversificação dos solos, em termos de profundidade, cor, textura, estrutura, consistência, drenagem, pedregosidade e fertilidade natural. Essa diversidade de características confere aos ambientes variações nas potencialidades e condições de uso, manejo e conservação dos solos (IPA, 2008).

Com base no Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado de Pernambuco (EMBRAPA, 1973), observa-se a ocorrência de diversas classes de solos como: Latossolos, Argissolos, Nitossolos, Chernossolos, Luvisolos, Planossolos, Cambissolos, Vertissolos, Gleissolos, Espodossolos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos, e Neossolos Quartzarênicos.

A caracterização desses solos representativos, quanto aos aspectos físicos e hidráulicos, é fundamental para a compreensão das inter-relações solo/ água/ planta/ atmosfera. As variáveis físico-hídricas apresentam uma importância significativa na engenharia de solo e na hidrologia, pois fornecem informações para o desenvolvimento de projetos de irrigação e drenagem, para o estabelecimento de sistemas de manejo de solo e água, na análise dos solos quanto à geração de escoamento e sua susceptibilidade à erosão, no manejo agrícola, na sua capacidade de armazenamento, bem como na modelagem hidrológica (SILVA et al., 2009a).

Com base em mapa de reconhecimento de baixa e média intensidade de solos do município de Pesqueira-PE (EMBRAPA, 2000), verifica-se a predominância de Argissolos, Planossolos, Neossolos e Cambissolos no município. Os solos característicos e/ou representativos das Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso, que estão inseridas no município de Pesqueira-PE são: Argissolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Amarelos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Regolíticos e Neossolos Litólicos.

Por outro lado, com relação ao Arquipélago de Fernando de Noronha-PE, os solos de referência são pouco evoluídos, pertencentes às classes dos Cambissolos, Vertissolos

e Neossolos (RIBEIRO et al., 2005). Os solos predominantes na Bacia Experimental do Xaréu são da classe dos Cambissolos (Cambissolo Háplico Eutroférico típico, e Cambissolo Háplico Sódico vértico) e Vertissolo Cromado sódico. Segundo Marques (2004), os Cambissolos Háplicos Eutroféricos típicos formam-se próximos aos divisores de água, enquanto os Vertissolos e Cambissolos Háplicos Sódicos vérticos localizam-se nas áreas de depressão topográfica, imperfeitamente a mal drenadas, apresentando textura muito argilosa, o que limita o processo de infiltração.

Os Argissolos são solos que apresentam uma acentuada diferença de textura entre o horizonte superficial (A) e o horizonte subjacente (B textural). São geralmente, solos com argila de atividade baixa. Essa classe abriga solos com grande abrangência de características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas (IPA, 2008).

Já os Cambissolos apresentam pequena variação textural ao longo do perfil e um horizonte B câmbico em sub-superfície, caracterizando solos pedogeneticamente pouco evoluídos. São bastante diversificados, variando de rasos a muito profundos, bem a imperfeitamente drenados, com ou sem pedregosidade e com argilas de atividade alta ou baixa (IPA, 2008). Conforme Marques et al. (2007a), os Cambissolos Háplicos Sódicos vertissólicos presentes no Arquipélago de Fernando de Noronha são pouco profundos, com descontinuidade litológica a cerca de 40 cm da superfície. A parte superior desses solos apresenta horizontes argilosos e permeáveis, que transitam de forma ondulada e abrupta para horizontes subsuperficiais vérticos muito argilosos e impermeáveis, em consequência da presença de argilas de atividade alta e de caráter sódico ou solódico.

Ainda segundo o IPA (2008), os Vertissolos são solos argilosos a muito argilosos, com pequenas variações de textura ao longo do perfil, e com altos teores de argila expansiva, o que lhes confere um grande poder de contração e expansão. Possuem alta fertilidade natural e o relevo pouco acidentado, que são os aspectos mais positivos desses solos. A grande limitação deve-se à dificuldade de manejo, devido à alta pegajosidade quando úmidos, e elevada dureza, quando secos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização das áreas de estudo

O presente estudo foi desenvolvido em duas áreas de atuação do grupo de pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal Rural de Pernambuco. A primeira área está localizada no município de Pesqueira, Agreste Pernambucano (Bacia do Ipanema), e a segunda localiza-se no Arquipélago de Fernando de Noronha (Bacia do Xaréu).

Em ambas as áreas estão instaladas bacias experimentais, que vem sendo gradualmente instrumentadas e investigadas quanto aos processos hidrológicos presentes, experimentalmente e por modelagem, com suporte da FINEP e CNPq. Neste sentido, esta pesquisa buscou contribuir nas investigações do comportamento físico-hídrico dos solos das bacias, de forma a gerar subsídios para o planejamento e a conservação da água e do solo. A Figura 2 apresenta mapa com a localização das áreas estudadas.

Devido à representatividade e carência de informações físico-hídricas dos Argissolos nas Bacias do Jatobá e do Mimoso, buscou-se realizar um estudo mais detalhado dessas unidades. Já na Bacia do Xaréu, a análise ficou mais concentrada no Cambissolo Háptico Sódico vértico e no Vertissolo Cromado sódico, que são os solos mais representativos.



Figura 2. Mapa geral de localização das áreas estudadas.

3.1.1 Bacia Experimental do Xaréu (Arquipélago Fernando de Noronha-PE)

Fernando de Noronha é um arquipélago isolado do Atlântico Equatorial, formado por uma ilha oceânica principal e mais vinte ilhotas, totalizando área de 20 km². A Ilha principal tem 17 km², com cerca de 10 km de comprimento e 3,5 km de largura máxima, com diversas elevações situadas na parte central e ocidental (SECTMA, 2006).

O clima do arquipélago, segundo a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo Aw', semelhante àquele do Agreste Nordestino, sobretudo pelas estações secas e chuvosas bem definidas e acentuada irregularidade na precipitação pluvial entre os anos (MARQUES et al., 2007a).

A precipitação pluvial média anual, resultante de um período de observações de 85 anos (1910-1994), é de 1.275 mm, estendendo-se a estação chuvosa de fevereiro a julho. Por outro lado, a média de evapotranspiração potencial alcança 1.942 mm ano⁻¹, favorecida pela constância e intensidade dos ventos de sul e sudeste, suplantando a precipitação pluvial em dois terços dos meses do ano. A temperatura média anual situa-se em torno de 25°C, com as máximas não ultrapassando os 31°C e as mínimas superiores a 18°C (MARQUES et al., 2007b). Os solos dominantes nas principais bacias hidrográficas são os Cambissolos Háplicos, os Neossolos Litólicos e os Vertissolos (RIBEIRO et al., 2005), conforme Figura 3.

Segundo Montenegro et al. (2009a), a ilha não possui nascentes nem há cursos d'água perenes; deste modo, os escoamentos são gerados a partir da macrodrenagem de eventos pluviométricos relevantes. O Atlas de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco (SECTMA, 2006) destaca os seguintes riachos temporários: Riacho Mulungu, o Córrego de Atalaia, o Riacho do Boldró e o Riacho Maceió, que alimenta o Açude do Xaréu. O potencial hidrológico das bacias contribuintes é fortemente influenciado pela infiltrabilidade dos solos.

A Bacia Experimental do Xaréu é a principal da ilha, sendo utilizada para o abastecimento público pela concessionária de água do Estado (COMPESA). Segundo Montenegro et al. (2009a), a área de drenagem é de 1,16 km², a declividade média é de 34,61% e o tempo de concentração de 17,82 minutos.

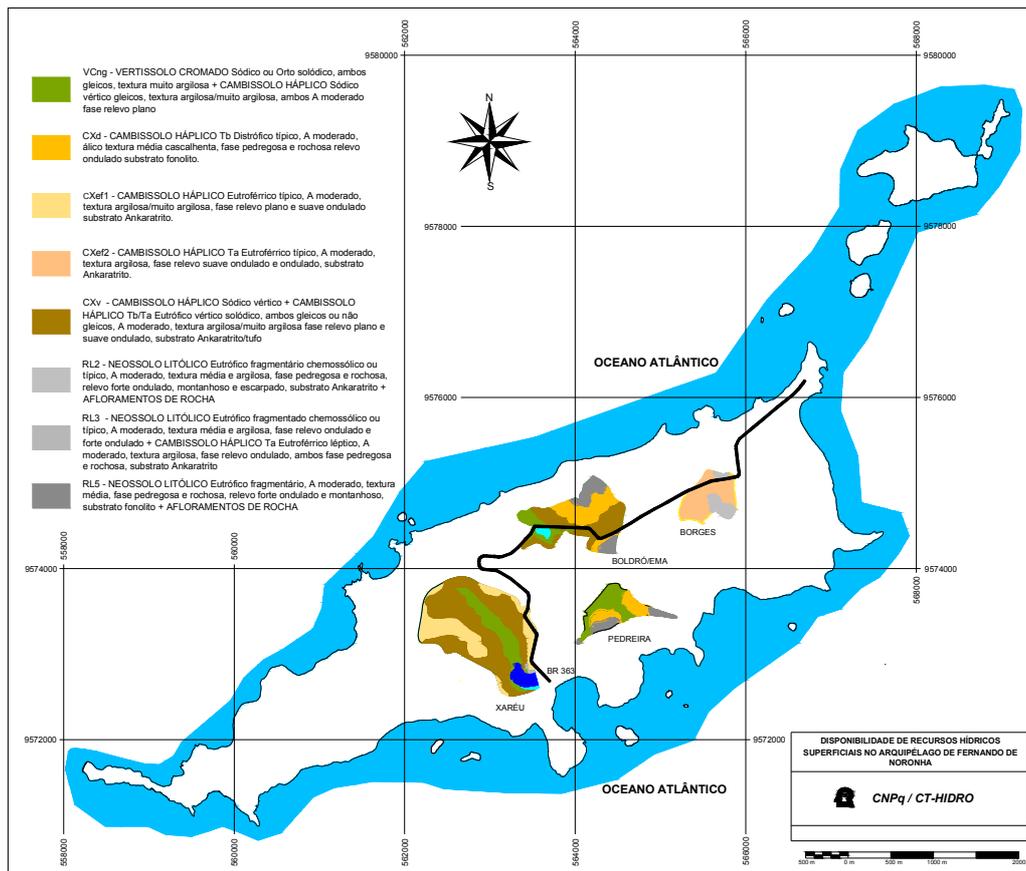


Figura 3. Mapa de solos das principais bacias hidrográficas da Ilha (Fonte: Adaptado de Ribeiro et al., 2005).

3.1.2 Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso (Pesqueira-PE)

O município de Pesqueira está localizado na mesorregião Agreste e na Microrregião Vale do Ipojuca do Estado de Pernambuco, limitando-se ao norte com Estado da Paraíba e o município de Poção, ao sul com os municípios de Venturosa e Alagoinha, a leste com os municípios de Sanharó, Capoeira, São Bento do Una e Belo Jardim, e a oeste com os municípios de Arcoverde e Pedra. A área municipal ocupa 1.031,6 km² e representa 1,05% do Estado de Pernambuco. Está inserido nas Folhas da SUDENE de Pesqueira e Venturosa, na escala 1:100.000. A sede do município tem uma altitude aproximada de 654 metros e coordenadas geográficas de 8°21'28" de latitude sul e 36°41'47" de longitude oeste, distando 213,7 km da capital do Estado de Pernambuco.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região é do tipo BSs'h' (extremamente quente, semiárido), com precipitação total anual média de 730 mm e

evapotranspiração potencial anual média de 1683 mm, (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2004).

As bacias experimentais do Jatobá e do Mimoso encontram-se inseridas na bacia representativa do Alto Ipanema, que é uma das sub-bacias investigadas pela Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA). Em sua porção ocidental mais a montante abrange parte dos municípios de Arcoverde e Pesqueira, no Estado de Pernambuco, em uma área de 194,82 km². A bacia possui importante vale aluvial, onde a agricultura praticada é de pequena escala. A vegetação predominante é a caatinga hipoxerófila, com presença de cactáceas e bromeliáceas (MONTENEGRO et al., 2009b).

Santos et al. (2007) realizaram caracterização morfométrica da bacia experimental do Riacho Jatobá. Com base no Modelo Numérico do Terreno (MNT), pode-se verificar que a área de drenagem é de 12,56 km², declividade média 17,92% (Relevo Ondulado), tempo de concentração de 58,71 minutos e altitudes variando de 600 a 1019 m. Já a bacia experimental do Mimoso apresenta uma área de 124,36 km². A Figura 4 apresenta a localização das bacias do Mimoso e do Jatobá.

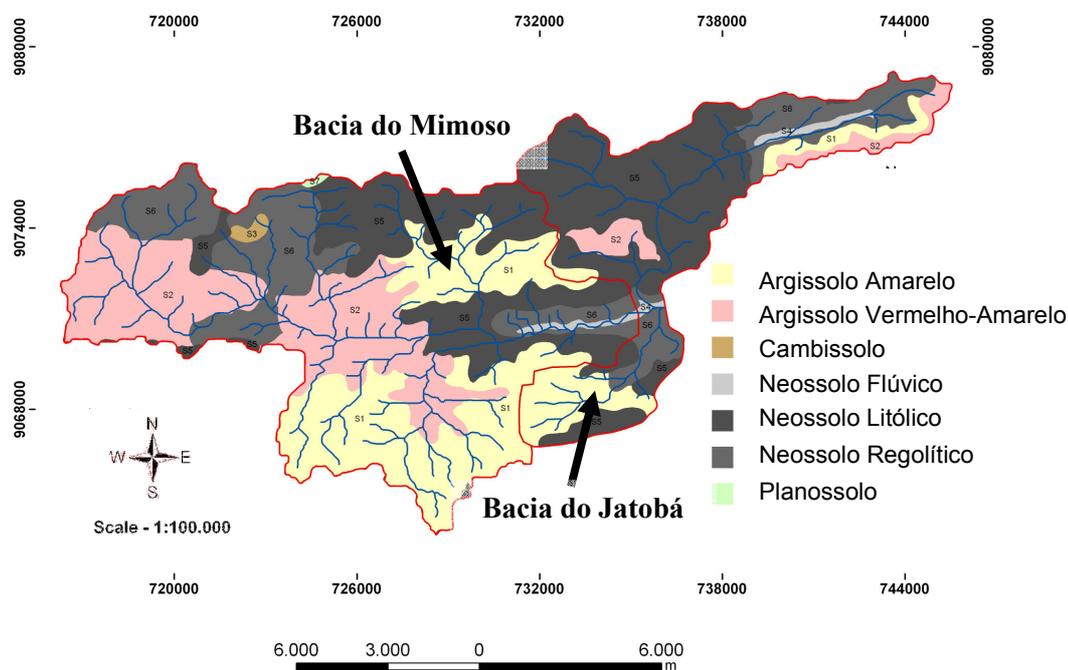


Figura 4. Mapa de solos da Bacia Representativa do Alto Ipanema, com delimitação das Bacias Experimentais do Jatobá e Mimoso, e os tipos de solos presentes (Fonte: EMBRAPA, 2000).

3.2. Determinação da condutividade hidráulica e taxa de infiltração in situ

A condutividade hidráulica e a taxa de infiltração foram determinadas, em campo, através de um permeâmetro de carga constante tipo Guelph. Este dispositivo permite a estimativa do parâmetro alfa (α) da função $K(\psi)$ proposta por GARDNER (1958), a partir da medição da condutividade hidráulica do solo não saturado (K_0) de campo, e do potencial de fluxo mátrico (ϕ_m). Possibilita o monitoramento da infiltração em furo de sondagem, na ausência de lençol freático, e sob carga hidráulica constante (Figura 5). Nessa investigação, foram adotadas quatro cargas hidráulicas, o que permitiu utilizar seis pares de cargas hidráulicas diferentes, sendo cada par de lâminas usada considerada uma repetição na estimativa dos parâmetros. As taxas de fluxo Q_1 e Q_2 foram obtidas através da multiplicação das taxas de fluxo medidas por um coeficiente correspondente à razão das áreas do reservatório e do furo de sondagem. Os valores de condutividade hidráulica do solo saturado foram calculados segundo Reynolds e Elrick (1986), como recomendado por SOIL MOISTURE (1991). A adoção de pares de lâminas permitiu a caracterização da condutividade hidráulica do solo não saturado.

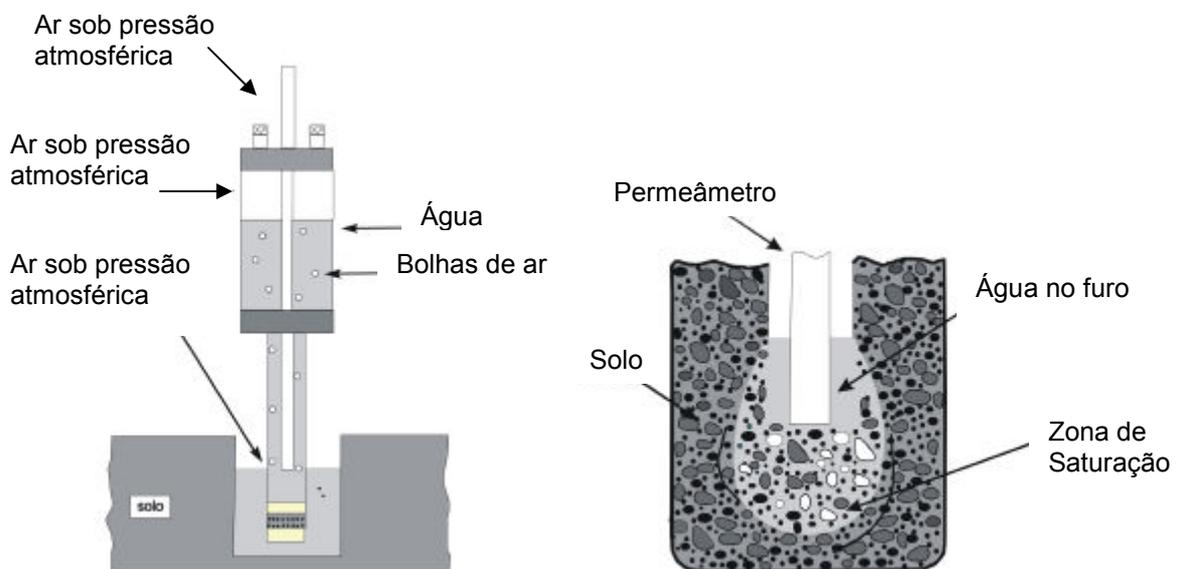


Figura 5. Funcionamento do Permeômetro de Guelph, segundo o princípio de Sifão de Mariotte e bulbo de saturação de água no solo (SOIL MOISTURE, 1991, citado por Oliva et al., 2005)

O Permeâmetro de Guelph consiste em um conjunto de tubos concêntricos (Figura 6). O tubo central tem a função de permitir a entrada de ar e regular o nível d'água dentro do furo de sondagem. Os demais têm a função de reservatório e suporte. Segundo Montenegro & Montenegro (2004), o permeâmetro de Guelph possui várias vantagens em relação a outros métodos, dentre elas a fácil montagem em campo, podendo investigar o comportamento hidráulico de perfis do solo.



Figura 6. Permeâmetro de Guelph utilizado para determinação de condutividade hidráulica e taxa de infiltração de água no solo, em campo

Durante a realização de testes de condutividade hidráulica em furos de sondagem, pode ocorrer o desmoronamento das paredes laterais do furo, produzindo desta forma resultados não representativos ou a perda do teste. Tal desmoronamento ocorre geralmente em função da interrupção do fluxo (quando é necessário recarregar o reservatório no decorrer de um teste), podendo ocorrer devido à turbulência causada pela mudança da carga hidráulica (quando há mudança brusca de carga hidráulica) ou quando o teste demora muito a estabilizar. São mais comuns em situações de coesão aparente como nos solos arenosos. Para evitar o desmoronamento, buscou-se encamisar o furo em todos os testes realizados (Figura 7).



Figura 7. Detalhe do furo encamisado com uma tela de proteção das paredes laterais durante a realização de um teste.

Para determinação da condutividade hidráulica foram utilizadas as seguintes equações (SOIL MOISTURE, 1991):

$$K_0 = G_2 Q_2 - G_1 Q_1 \quad (3)$$

em que:

$$G_1 = \frac{H_2 C_1}{\pi(2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1))} \quad (4)$$

$$G_2 = \frac{H_1 C_2}{\pi(2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1))} \quad (5)$$

$$Q_1 = XR_1 \quad \text{ou} \quad YR_1 \quad (6)$$

$$Q_2 = XR_2 \quad \text{ou} \quad YR_2 \quad (7)$$

no qual:

K_0 : Condutividade hidráulica do solo saturado (LT^{-1})

X: Área do reservatório (usando duplo cilindro) (L^2)

Y: Área do reservatório (usando cilindro interno) (L^2)

H_1 e H_2 : Cargas hidráulicas aplicadas (L)

R_1 e R_2 : Taxas de queda estacionária, correspondente as cargas hidráulicas (LT^{-1})

C_1 e C_2 : Fatores de forma dependentes da relação H_1/a e H_2/a

a: Raio do furo de sondagem (L)

O fator “C” é um fator de forma dependente do raio do poço e da carga hidráulica (H). Segundo Zhang et al. (1998), os fatores de forma dependem não apenas dos valores da relação H/a, mas também da textura do solo.

O fator “C” para as três principais classes de solo pode ser determinado pelas seguintes equações empíricas (Adaptadas por Zang et al., 1998):

$$C_1 = \left(\frac{H/a}{2,074 + 0,093H/a} \right)^{0,754} \quad (8)$$

$$C_2 = \left(\frac{H/a}{1,992 + 0,091H/a} \right)^{0,683} \quad (9)$$

$$C_3 = \left(\frac{H/a}{2,102 + 0,118H/a} \right)^{0,655} \quad (10)$$

A equação (8) é usada para condições onde o valor de α^* é $\geq 0,12 \text{ cm}^{-1}$; a equação (9), para $\alpha^* = 0,04 \text{ cm}^{-1}$; e a equação (10), para $\alpha^* = 0,01 \text{ cm}^{-1}$. Este parâmetro α^* pode ser estimado a partir das características edáficas, segundo a Tabela 1, Segundo Elrick et al. (1989).

Tabela 1: Categorias de estrutura e textura do solo para estimativa do α^* (Adaptado por Elrick et al., 1989)

Categoria de estrutura e textura do solo	α^* (cm⁻¹)
Material compactado, sem estrutura, textura argilosa ou siltosa como material usado em fundo de aterros, lacustre ou sedimentos marinhos, etc.	0,01
Solos que são de textura fina (argilosos ou siltosos) e não estruturados; pode incluir também algumas areias finas.	0,04
A maioria dos solos estruturados a partir de argilas; inclui também solos de estrutura média e areia fina. A categoria mais aplicável para solos agrícolas.	0,12
Areias grossas e cascalho; também pode incluir alguns solos altamente estruturados, com grandes números de rachaduras e/ou macroporos, etc.	0,36

* Com base na Tabela 1, os solos do presente estudo apresentam valor de α^* igual a 0,12 cm⁻¹, sendo utilizada nestas condições a equação C_1 para o cálculo do fator de forma.

em que α^* (alfa) é um parâmetro dependente da textura e estrutura do solo (cm⁻¹)

Em condições de solos heterogêneos, valores negativos para α (alfa) podem ocorrer. Os valores negativos são obtidos pelo fato da fundamentação teórica do Permeâmetro de Guelph ter sido baseada em condições de solos homogêneos. Quando ocorrem valores negativos recomenda-se a utilização de uma carga hidráulica para validação dos resultados da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) e do fluxo potencial matricial (ϕ_m) (SOIL MOISTURE, 1991).

A estimativa da condutividade hidráulica e do fluxo potencial mátrico utilizando uma carga hidráulica podem ser obtidos pelas Equações 11 e 12 (SOIL MOISTURE, 1991).

$$K_0 = \frac{C_1 Q_1}{2\pi H_1^2 + \pi \alpha^2 C_1 + 2\pi \frac{H_1}{\alpha^*}} \quad (11)$$

$$\phi_m = \frac{C_1 Q_1}{(2\pi H_1^2 + \pi \alpha^2 C_1) \alpha^* + 2\pi H_1} \quad (12)$$

onde

α^* : é obtido na Tabela 1

A estimativa da condutividade hidráulica do solo não saturado pode ser realizada pela equação proposta por GARDNER (1958), dada por:

$$K(\psi) = K_0 e^{-\alpha_G \psi} \quad (13)$$

em que:

ψ : é a tensão matricial do solo (L)

α_G : Parâmetro da função de GARDNER, podendo o mesmo ser determinado pela equação abaixo.

$$\alpha_G = \frac{K_{sat}}{\phi_m} \quad (14)$$

Já o fluxo do potencial matricial (ϕ_m) é determinado conforme o SOIL MOISTURE (1991).

$$\phi_m = G_3 Q_1 - G_4 Q_2 \quad (15)$$

em que:

$$G_3 = \frac{(2H_2^2 + a^2 C_2) C_1}{2\pi(2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1))} \quad (16)$$

$$G_4 = \frac{(2H_1^2 + a^2 C_1) C_2}{2\pi(2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1))} \quad (17)$$

no qual:

ϕ_m : Fluxo potencial matricial do solo ($L^2 T^{-1}$)

H_1 e H_2 : Cargas hidráulicas aplicadas (L)

C_1 e C_2 : Fatores de forma dependentes da relação H_1/a e H_2/a

a : Raio do furo de sondagem (L)

α_G : Parâmetro alfa da equação de GARDNER (L^{-1})

3.2.1 Testes realizados na Bacia Experimental do Xaréu (Arquipélago Fernando de Noronha-PE)

Os testes de condutividade hidráulica na Bacia Experimental do Xaréu foram conduzidos nas manchas do Cambissolo Háptico Sódico vértico e Vertissolo Cromado Sódico ao longo da bacia. As profundidades dos testes foram definidas em função dos horizontes, com base nas descrições dos perfis realizadas por Ribeiro et al. (2005).

Alguns testes de condutividade hidráulica foram realizados nas profundidades 20 e 50 cm, ao lado da parcela experimental de medição hidrológica que foi instalada pela equipe de recursos hídricos da UFRPE, na Bacia do Xaréu (Figuras 8 a 10). Amostras de solo foram retiradas com um trado (antes e após os testes), acondicionadas em sacos plásticos para posterior realização de análises de umidade volumétrica por gravimetria. Tais profundidades são coincidentes com aquelas adotadas na instalação de sondas TDR (10 a 40 cm e 40 a 70 cm), existentes na parcela, para estudos de dinâmica de umidade, conforme Silva et al. (2009b).



Figura 8. Preparo do furo para realização de teste de condutividade hidráulica com permeâmetro de Guelph na Bacia Experimental do Xaréu.



Figura 9. Montagem do permeômetro de Guelph em campo para realização de testes de condutividade hidráulica na Bacia Experimental do Xaréu.



Figura 10. Avaliação da infiltrabilidade e da condutividade hidráulica na Bacia Experimental do Xaréu por meio do Permeômetro de Guelph.

3.2.2 Testes realizados nas Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso (Pesqueira-PE)

Os testes de condutividade hidráulica foram realizados em encostas de duas áreas (em diferentes tipos de solo), ao lado das parcelas experimentais de medição hidrológica instaladas na Bacia Representativa do Alto Ipanema, nas profundidades equivalentes de cada perfil, sendo uma área inserida na Bacia Experimental do Jatobá e a outra na Bacia Experimental do Mimoso. Amostras de solo foram retiradas com trado (antes e após os testes), e acondicionadas em sacos plásticos, para determinação da umidade.

As profundidades de realização dos testes foram definidas após exame do perfil, por meio de abertura de trincheiras (Figura 11) e análises químicas e físicas. Os testes

foram realizados nas manchas dos Argissolos (solos de referência), que segundo SANTOS et al. (2009b) foram classificados como Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto (AAEA) e Argissolo Amarelo Eutrófico típico (AAET), respectivamente.

Buscou-se realizar no mínimo três testes de condutividade hidráulica em todas as camadas de cada área representativa, sendo os mesmos conduzidos próximos ao centro de cada horizonte. Em situações de elevada dispersão de estimativas, testes adicionais foram efetuados, com o objetivo de reduzir a incerteza das medições.



Figura 11: Trincheira aberta para caracterização e classificação do solo no campo (Bacia Representativa do Alto Ipanema).

- ✓ Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto - Testes realizados nas profundidades de 20, 35, 55 e 75 cm.
- ✓ Argissolo Amarelo Eutrófico típico - Testes realizados nas profundidades de 15, 40 e 100 cm.

Os comportamentos hidráulicos dos solos também foram avaliados em função do tipo de tratamento conservacionista e cobertura vegetal, sendo realizados testes adicionais na profundidade de 15 cm nas parcelas de monitoramento hidrossedimentológico, com diferentes tratamentos e cobertura.

3.3. Infiltrabilidade em diferentes tratamentos e cobertura do solo

Buscando avaliar e investigar a influência de diferentes coberturas vegetais e tratamentos conservacionistas no processo de infiltração da água no solo, foram realizados testes de condutividade hidráulica com permeâmetro de Guelph nas parcelas experimentais de erosão existentes nas bacias.

As dimensões das parcelas são de 4,5 m de largura por 11,0 m de comprimento, perfazendo uma área de 49,5 m². Os tratamentos dispostos foram: cobertura natural, solo descoberto, plantio de feijão morro abaixo, plantio de feijão e palma em nível e barramento de pedra com cobertura morta, conforme descrito por Santos et al. (2009c).

Nas Bacias do Jatobá e do Mimoso existem cinco parcelas experimentais para estudo da erosão hídrica, instaladas para quantificação da infiltração, escoamento superficial e perda de solo. Tais dispositivos estão locados em campo em diferentes tratamentos conservacionistas e coberturas vegetais citadas acima, e podem ser visualizadas nas Figuras 12 a 14. Já na Bacia Experimental do Xaréu, existe apenas uma parcela experimental com vegetação natural.



Figura 12. Detalhe das parcelas experimentais de erosão instaladas nas bacias experimentais (Santos et al., 2009c).



Figura 13. Teste de condutividade hidráulica realizado com o permeâmetro de Guelph, em parcela de erosão com plantio de feijão e palma em nível.



Figura 14. Teste de condutividade hidráulica realizado com o permeâmetro de Guelph, em parcela de erosão com barramento de pedra e cobertura morta.

Observa-se nas Tabelas 2 e 3 o resumo dos testes de condutividade hidráulica realizados em diferentes profundidades e cobertura vegetal, nas diferentes áreas.

Todos os testes apresentados na Tabela 3 foram realizados na profundidade de 15 cm, com exceção dos testes realizados na bacia do Xaréu, cujas profundidades foram de 20 e 50 cm.

Tabela 2: Resumo dos testes de condutividade hidráulica realizados “in situ” em diferentes profundidades

Local	Tipo de solo	Nº de testes realizados	Profundidade (cm)
Bacia do Jatobá	Argissolo Amarelo Eutrófico abrúptico	13	15
		13	30
		03	55
		01	75
Bacia do Mimoso	Argissolo Amarelo Eutrófico típico	07	15
		10	40
		04	100
Bacia do Xaréu	Cambissolo Háptico Sódico vértico	01	30
		01	50
		01	80
	Vertissolo Cromado Sódico	01	30
		01	55
		01	75
Total de testes		57	

Tabela 3: Resumo dos testes de condutividade hidráulica realizados “in situ” em diferentes coberturas vegetais

Local	Tipo de solo	Nº de testes realizados	Cobertura vegetal
Bacia do Jatobá	Argissolo Amarelo Eutrófico abrúptico	05	BPCM
		03	CMA
		04	PCN
		03	CN
		07	SD
Bacia do Mimoso	Argissolo Amarelo Eutrófico típico	04	BPCM
		04	CMA
		03	PCN
		04	CN
		07	SD
Bacia do Xaréu	Cambissolo Háptico Sódico vértico	02	CN – 20 cm
		02	CN – 50 cm
Total de testes		43	

BPCM – Barramento com Pedra e Cobertura Morta, CMA – Cultivo Morro Abaixo, PCN – Palma em Curva de Nível, CN – Cobertura Natural e SD – Solo Descoberto.

3.4. Caracterização física dos solos e curva de retenção de umidade

A caracterização textural e de umidade gravimétrica dos solos foi efetuada a partir de amostras deformadas, coletadas no momento da realização dos testes de condutividade hidráulica com o permeâmetro de Guelph, e também a partir de amostras indeformadas que foram coletadas em anéis volumétricos.

A densidade global foi determinada pelo método do torrão e pelo método do anel volumétrico, e a densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico e a textura foi determinada pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997).

A determinação da curva de retenção de água no solo foi efetuada conforme EMBRAPA (1997). Amostras de solo foram saturadas e colocadas em placas porosas previamente saturadas e submetidas a uma determinada pressão, até atingir a drenagem máxima da água contida nos seus poros, correspondente à tensão aplicada. Determinou-se então a umidade das amostras nas tensões de 0,01; 0,033; 0,1; 0,5; e 1,5 MPa. As curvas de retenção de umidade do solo foram obtidas em extrator de Richards no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa. Posteriormente as curvas foram ajustadas pelo do programa STATISTICA 7 pelo modelo proposto por van Genuchten (1980) (Equação 1).

A matéria orgânica foi estimada de forma indireta através da quantificação do carbono orgânico total do solo, que posteriormente foi multiplicado por um fator. Considerando-se que, em média, a matéria orgânica do solo apresenta 58% de carbono, estima-se o teor de matéria orgânica seja o resultado da multiplicação do teor de C por 1,72 (100/58), sendo este denominado de fator de “Van Bemmelen”. O C total do solo foi determinado pelo método adaptado por (Yeomans & Bremner, 1988), utilizando o dicromato em meio ácido como agente oxidante. Para maximizar a oxidação do carbono pelo dicromato utilizou-se uma fonte externa de calor. Em seguida foi realizada a titulação do dicromato através de uma solução indicadora de ferroin.

3.5. Funções de pedotransferência

De posse das texturas dos solos estudados e do teor de matéria orgânica, buscou-se aplicar funções de pedotransferência para estimativa da condutividade hidráulica. Tais estimativas foram comparadas com os resultados obtidos em campo através do permeâmetro de Guelph.

Além da estimativa da condutividade hidráulica do solo saturado, buscou-se também avaliar o conteúdo de água nos potenciais de -33 e -1500 kPa, por meio de funções de pedotransferência desenvolvidas para solos de referência do Estado de Pernambuco e para região semiárida, afim de comparar com valores de umidade a partir da curva de retenção experimental.

A Tabela 4 apresenta uma síntese das principais funções de pedotransferência disponíveis na literatura.

Tabela 4: Funções de pedotransferência para estimativa da condutividade hidráulica

Autores	Equações	Fonte
Cosby et al. (1984)	$K_0 = 7,05556 \times 10^{-6} \cdot 10^{(-0,6 + 0,0126A_T - 0,0064A_{RG})}$ <p>em que K_0 = condutividade hidráulica do solo saturado, $m\ s^{-1}$ A_T = areia total, % A_{RG} = argila, %</p>	Lee (2005)
Rawls & Brakensiek (1985)	$K_0 = 2,778 \times 10^{-6} \exp(x)$ $x = 19,52348 \theta_s - 8,96847 - 0,028212A_{RG} + 1,8107 \times 10^{-4}A_T^2 - 9,4125 \times 10^{-3}A_{RG}^2 - 8,395215 \theta_s^2 + 0,077718A_T \theta_s - 0,00298A_T^2 \theta_s^2 - 0,019492A_{RG}^2 \theta_s^2 + 1,73 \times 10^{-5}A_T^2 A_{RG} + 0,02733A_{RG}^2 \theta_s + 0,001434A_T^2 \theta_s - 3,5 \times 10^{-6} A_{RG}^2 A_T$ <p>em que K_0 = condutividade hidráulica do solo saturado, $m\ s^{-1}$ A_T = areia total, % A_{RG} = argila, % θ_s = umidade volumétrica saturada, $m^3\ m^{-3}$ θ_s = porosidade total, %</p>	Rawls & Brakensiek (1985)
Saxton et al. (1986)	$K_0 = 2,778 \times 10^{-6} (\exp (12,012 - 0,0755A_T + (-3,8950 + 0,03671A_T - 0,1103A_{RG} + 8,7546 \times 10^{-4}A_{RG}^2) (1/\theta_s)))$	Saxton et al. (1986)

	<p>em que</p> $K_0 = \text{condutividade hidráulica do solo saturado, m s}^{-1}$ $A_T = \text{areia total, \%}$ $A_{RG} = \text{argila, \%}$ $\theta_s = \text{umidade volumétrica saturada, m}^3 \text{ m}^{-3}$ $\theta_s = 0,332 - 7,251 \times 10^{-4} A_T + 0,1276 \log_{10} A_{RG}$	
	$K_0 = \exp(x)$ $x = 19,52348 n - 8,96847 - 0,028212 A_{RG} + 1,8107 \times 10^{-4} A_T^2 - 9,4125 \times 10^{-3} A_{RG}^2 - 8,395215 n^2 + 0,077718 A_T n - 0,00298 A_T^2 n^2 - 0,019492 A_{RG}^2 n^2 + 1,73 \times 10^{-5} A_T^2 A_{RG} + 0,02733 A_{RG}^2 n + 0,001434 A_T^2 n - 3,5 \times 10^{-6} A_{RG}^2 A_T$	
Rawls & Brakensiek (1989)	<p>em que</p> $K_0 = \text{condutividade hidráulica do solo saturado, m s}^{-1}$ $A_T = \text{areia total, \%}$ $A_{RG} = \text{argila, \%}$ $n = \text{porosidade total}$ $\theta_s = \text{porosidade total, \%}$	Rawls & Brakensiek (1989)
	$K_0 = 1,1574 \times 10^{-7} \exp(20,62 - 0,96 \ln A_{RG} - 0,66 \ln A_T - 0,46 \ln CO - 8,43 Ds)$	
Vereecken et al. (1990)	<p>em que</p> $K_0 = \text{condutividade hidráulica do solo saturado, m s}^{-1}$ $A_T = \text{areia total, \%}$ $A_{RG} = \text{argila, \%}$ $CO = \text{carbono orgânico, \%}$ $Ds = \text{densidade do solo, g cm}^{-3}$	Vereecken et al. (1990)
	$K_0 = 1,5 \times 10^{-6} \exp(-0,07 A_T - 0,167 A_{RG})$	
Campbell & Shiozawa (1994)	<p>em que</p> $K_0 = \text{condutividade hidráulica do solo saturado, m s}^{-1}$ $A_T = \text{areia total, \%}$ $A_{RG} = \text{argila, \%}$	Campbell & Shiozawa (1994)
	$K_0 = 1,15741 \times 10^{-7} \exp(x)$ $x = 7,755 + 0,0352 Si + 0,93 top - 0,967 Ds^2 - 0,000484 A_{RG}^2 - 0,000322 Si^2 + 0,001/Si - 0,0748/MO - 0,643 \ln Si - 0,01398 Ds A_{RG} - 0,1673 Ds MO + 0,02986 top A_{RG} - 0,03305 top Si$	
Wösten et al. (1999)	<p>em que</p> $K_0 = \text{condutividade hidráulica do solo saturado, m s}^{-1}$ $Si = \text{silte, \%}$ $A_{RG} = \text{argila, \%}$ $Ds = \text{densidade do solo, g cm}^{-3}$ $MO = \text{matéria orgânica, \%}$ $top = 1 \text{ para solos superficiais e } 0 \text{ para solos do subsolos}$	Wösten et al. (1999)

Tabela 5: Equações para estimativa do conteúdo de água nos potenciais de -33 e -1500 kPa, para solos de Pernambuco

Autores	Equações	Fonte
	<p><u>Conjunto Único de Dados</u></p> $U_{-33 \text{ kPa}} = 0,000333Si + 0,000387ARG$ $U_{-1500 \text{ kPa}} = 0,000038AT + 0,000153Si + 0,000341ARG + 0,030861Ds$ $U_{33 - 1500 \text{ kPa}} = -0,000021AT + 0,000203Si + 0,000054ARG + 0,021656Ds$	
	<p><u>Separação por classe textural</u></p> <p>Textura média</p> $U_{-33 \text{ kPa}} = 0,000341Si + 0,000374ARG$ $U_{-1500 \text{ kPa}} = -0,000056AT + 0,000158Si + 0,000067ARG + 0,038680Ds$ $U_{33 - 1500 \text{ kPa}} = -0,000178AT + 0,000268Si + 0,103088Ds$	
Oliveira et al. (2002)	<p>Textura argilosa</p> $U_{-33 \text{ kPa}} = 0,000079AT + 0,000444Si + 0,000484ARG - 0,069234Ds$ $U_{-1500 \text{ kPa}} = 0,000032AT + 0,000223Si + 0,00062ARG$ $U_{33 - 1500 \text{ kPa}} = 0,000104AT + 0,000150Si + 0,000372ARG + 0,039788Ds$	Oliveira et al. (2002)
	<p>em que</p> <p>AT = areia total, g kg⁻¹ ARG = argila, g kg⁻¹ Si = silte, g kg⁻¹ Ds = densidade do solo, t m⁻³ U_{-33 kPa} = Umidade no potencial de -33 kPa, kg kg⁻¹ U_{-1500 kPa} = Umidade no potencial de -1.500 kPa, kg kg⁻¹ U_{33 - 1500 kPa} = água disponível, kg kg⁻¹</p>	
Masutti (1997)	$U_{-33 \text{ kPa}} = (-1,5691 + 0,4289 (ARG + Si) / 10) / 100$ $U_{-1500 \text{ kPa}} = (-0,530482 + 0,301235Si / 10 + 0,092822ARG / 10) / 100$	Masutti (1997)
	<p>em que</p> <p>ARG = argila, g kg⁻¹ Si = silte, g kg⁻¹</p>	
Meng et al. (1987)	$U_{-33 \text{ kPa}} = -0,0044 + 0,0082ARG / 10$ $U_{-1500 \text{ kPa}} = -0,0028 + 0,0038ARG / 10$	Oliveira et al. (2002)
	<p>em que</p> <p>ARG = argila, g kg⁻¹</p>	

3.6. Procedimentos estatísticos para análises dos dados

No presente estudo a análise estatística dos dados foi realizada por meio de planilhas eletrônica e dos programas STATISTICA 7 e SAS.

A análise estatística foi realizada utilizando-se o “software” SAS – Statistical Analytical System (SAS, 1998). Para comparação entre as médias das condutividades hidráulicas obtidas nos diferentes tratamentos conservacionistas, adotou-se o teste de Tukey a nível de significância de 5%.

A variabilidade das variáveis foi classificada por meio dos valores de CV, segundo Warrick & Nielsen (1980), como baixa ($CV < 12\%$), média ($12 \leq CV \leq 62\%$) e alta ($CV > 62\%$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estatística descritiva da textura e da matéria orgânica

As Tabelas 6 a 9 apresentam a estatística descritiva da textura e teor de matéria orgânica em diferentes profundidades, e tratamentos conservacionistas com diferentes coberturas vegetais.

4.1.1 Bacia Experimental do Jatobá (Pesqueira-PE)

Observa-se na Tabela 6 que o teor de areia vai diminuindo com a profundidade, sendo esta uma característica do Argissolo. Tal comportamento também foi observado por Santana et al. (2006) e Souza & Paiva (2001) em Argissolos do Estado da Bahia. A matéria orgânica também apresentou decaimento com a profundidade. Tal comportamento pode ser explicado devido ao equilíbrio que existe entre a deposição de materiais orgânicos e o efeito da atividade microbiana nas camadas superficiais, bem como o menor desenvolvimento do sistema radicular vertical da vegetação presente. O mesmo comportamento foi observado por Marques (2004). Dentre os atributos do solo analisados, a matéria orgânica foi a que apresentou o maior coeficiente de variação nas três profundidades, apresentando uma variabilidade média segundo critérios de Warrick & Nielsen (1980), enquanto a argila apresentou baixa variabilidade. Vieira (1997), estudando a variabilidade espacial das características físicas em Latossolo Roxo, também encontrou coeficientes de variação baixos para teor de argila. A areia apresentou média variabilidade nas camadas subsuperficiais (20 e 35 cm) e baixa na profundidade de 55 cm. Os valores da mediana e média, para todas as variáveis, estão próximos, indicando distribuições simétricas.

Tabela 6: Estatística descritiva da textura e matéria orgânica nas diferentes profundidades do Argissolo Amarelo Eutrófico Abrúptico (Bacia Experimental do Jatobá)

	Profundidade 20 cm			Profundidade 35 cm			Profundidade 55 cm		
	Areia	Argila	M.O	Areia	Argila	M.O	Areia	Argila	M.O
	(g kg⁻¹)								
MD	356,53	348,61	14,12	320,63	378,36	10,54	286,87	407,59	6,31
MED	342,42	357,59	13,05	342,42	374,25	10,44	275,76	407,59	6,09
DESVPA									
D	66,61	30,13	3,86	53,31	35,44	3,13	19,24	16,67	1,21
C.V	0,19	0,09	0,27	0,17	0,09	0,30	0,07	0,04	0,19
AS	1,89	-1,03	0,79	-0,79	0,36	0,37	1,73	0,00	0,78
MIN	275,76	274,26	8,92	209,10	324,26	5,66	275,76	390,92	5,22
MAX	542,42	390,92	21,53	392,42	440,92	16,75	309,09	424,25	7,61
CONT	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	3,00	3,00	3,00
N.C (95%)	40,25	18,21	2,33	32,21	21,41	1,89	47,81	41,40	3,01

MD- média aritmética; MED- mediana; DESVPAD- desvio-padrão; C.V- coeficiente de variação; AS- assimetria; MIN- mínimo; MAX- máximo; CONT- contagem (número de amostras); N.C- nível de confiança a 95%.

Apesar do pouco tempo de instalação das parcelas de monitoramento hidrossedimentológico, pode-se observar que o teor de areia apresentou alta variabilidade entre os diferentes tratamentos conservacionistas, tendo a parcela descoberta apresentado o maior percentual de areia (Tabela 7). Este comportamento pode ser explicado pela exposição do solo ao impacto direto da chuva, que promove o carreamento das partículas finas por processo de erosão laminar. Uma vez que a região é caracterizada por chuvas de curta duração e alta intensidade. Com relação à matéria orgânica, esperava-se um maior teor nos tratamentos de barramento de pedra com cobertura morta (BPCM) e na parcela com cobertura natural (CN), porém o teor de matéria orgânica não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Tal comportamento pode ser explicado pelo curto período de instalação das parcelas hidrossedimentológicas, não havendo tempo suficiente para decomposição e incorporação da matéria orgânica no solo. As coletas foram realizadas na profundidade de 15 cm.

Tabela 7: Estatística descritiva da textura e matéria orgânica nos diferentes tratamentos conservacionistas e tipos de cobertura vegetal, na profundidade de 15 cm (Bacia Experimental do Jatobá).

TRAT	TRIB (g kg ⁻¹)	MD	MED	DESVPAD	C.V	AS	MIN	MAX	CONT
BPCM	Areia	265,76	225,76	99,02	0,37	0,85	175,76	409,09	5
	Argila	394,25	407,59	51,91	0,13	-0,56	324,26	440,92	5
	M.O	14,57	14,14	1,89	0,13	-0,33	11,96	16,53	5
CMA	Areia	320,20	325,76	9,62	0,03	-1,73	309,09	325,76	3
	Argila	357,59	357,59	16,67	0,05	0,00	340,92	374,25	3
	M.O	16,39	14,79	2,95	0,18	1,72	14,60	19,79	3
PCN	Areia	305,76	319,09	43,97	0,14	-1,54	242,43	342,42	4
	Argila	378,42	374,25	25,00	0,07	0,37	357,59	407,59	4
	M.O	14,95	15,12	1,88	0,13	-0,23	12,83	16,75	4
CN	Areia	292,43	292,43	116,66	0,40	0,00	175,76	409,09	3
	Argila	365,92	365,92	58,33	0,16	0,00	307,59	424,25	3
	M.O	15,44	15,44	3,26	0,21	0,00	12,18	18,71	3
SD	Areia	403,53	375,76	71,23	0,18	1,98	342,42	542,42	6
	Argila	332,59	340,92	31,18	0,09	-1,65	274,26	357,59	6
	M.O	13,85	12,72	2,39	0,17	0,82	11,75	17,18	6

TRAT- tratamento; TRIB- atributo do solo; MD- média aritmética; MED- mediana; DESVPAD- desvio-padrão; C.V- coeficiente de variação; AS- assimetria; MIN- mínimo; MAX- máximo; CONT- contagem (número de amostras); BPCM- barramento com pedra e cobertura morta; CMA- cultivo morro abaixo; PCN- palma em curva de nível; CN- cobertura natural; SD- solo descoberto.

4.1.2 Bacia Experimental do Mimoso (Pesqueira-PE)

Observa-se na Tabela 8 que o comportamento da textura e matéria orgânica do Argissolo Amarelo Eutrófico típico apresentou similaridade ao comportamento do Argissolo Amarelo Eutrófico Abrupto. Ou seja, a quantidade da areia e matéria orgânica foi diminuindo com a profundidade. Os valores da mediana e média, para todas as variáveis, também ficaram próximos, indicando distribuições simétricas. Adotando-se o critério de classificação para o coeficiente de variação (CV), proposto por Warrick & Nielsen (1980) para a medida de dispersão, verificou-se que a matéria orgânica apresentou variabilidade média nas três profundidades investigadas. A quantidade de argila apresentou baixa variabilidade. Já a areia apresentou variabilidade média nas camadas mais subsuperficiais (15 e 40 cm) e baixa na profundidade de 100 cm. A baixa variabilidade na profundidade de 100 cm, possivelmente, está ligada à condição de preservação da estrutura do solo nesta profundidade. Coelho Filho et al.

(2001), em estudo da variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas do solo, também observaram baixa variabilidade para a argila e variabilidade média para a areia. Já Lima et al. (2006) encontraram em um Cambissolo variabilidade média para as variáveis: areia fina, silte, argila e água disponível; e baixa para as variáveis: areia grossa e areia total.

Tabela 8: Estatística descritiva da textura e matéria orgânica nas diferentes profundidades do Argissolo Amarelo Eutrófico típico (Bacia Experimental do Mimoso)

	Profundidade 15 cm			Profundidade 40 cm			Profundidade 100 cm		
	Areia	Argila	M.O	Areia	Argila	M.O	Areia	Argila	M.O
	(g kg⁻¹)								
MD	299,57	359,97	12,63	252,43	414,25	9,51	185,76	467,59	3,67
MED	309,09	374,25	11,53	242,43	415,92	9,46	179,08	474,25	3,43
DESVPA									
D	40,66	35,26	2,41	43,88	22,50	4,47	15,87	29,05	1,48
C.V	0,14	0,10	0,19	0,17	0,05	0,47	0,09	0,06	0,40
AS	-0,31	-1,44	0,46	1,00	0,09	1,55	1,78	-0,68	0,44
MIN	242,43	290,93	9,79	192,43	374,25	4,35	175,76	430,93	2,39
MAX	342,42	390,92	16,10	342,42	457,58	20,23	209,10	490,92	5,44
CONT	7,00	7,00	7,00	10,00	10,00	10,00	4,00	4,00	4,00
N.C (95%)	37,60	32,61	2,23	31,39	16,09	3,20	25,25	46,23	2,35

MD- média aritmética; MED- mediana; DESVPAD- desvio-padrão; C.V- coeficiente de variação; AS- assimetria; MIN- mínimo; MAX- máximo; CONT- contagem (número de amostras); N.C- nível de confiança a 95%.

Na Tabela 9 observa-se que o teor de areia apresentou alta variabilidade entre os diferentes tratamentos conservacionistas. A parcela com palma cultivada em nível foi a que apresentou o maior percentual de areia. Com relação à matéria orgânica, novamente se esperava uma maior teor nos tratamentos de barramento de pedra com cobertura morta (BPCM) e na parcela com cobertura natural (CN), porém não houve diferença expressiva entre os tratamentos. Tal comportamento, conforme já comentado anteriormente, pode ser explicado pelo curto período de instalação das parcelas estudadas; recomenda-se que tal comparação seja novamente efetuada em futuro próximo, desde que sejam mantidos os tratamentos conservacionistas aqui apresentados.

Tabela 9: Estatística descritiva da textura e matéria orgânica nos diferentes tratamentos conservacionistas e tipos de cobertura vegetal, na profundidade de 15 cm (Bacia Experimental do Mimoso)

TRAT	ATRIB (g kg ⁻¹)	MD	MED	DESVPAD	C.V	AS	MIN	MAX	CONT
BPCM	Areia	221,60	209,10	49,77	0,22	1,38	175,76	292,43	4
	Argila	411,75	415,92	28,46	0,07	-0,75	374,25	440,92	4
	M.O	13,21	13,49	2,17	0,16	-0,37	10,66	15,23	4
CMA	Areia	279,93	267,43	43,83	0,16	1,44	242,43	342,42	4
	Argila	370,09	374,25	34,36	0,09	-0,71	324,26	407,59	4
	M.O	15,23	15,01	1,45	0,10	0,84	13,70	17,18	4
PCN	Areia	297,98	325,76	63,10	0,21	-1,60	225,76	342,42	3
	Argila	352,03	340,92	34,69	0,10	1,29	324,26	390,92	3
	M.O	16,97	16,53	2,42	0,14	0,78	14,79	19,58	3
CN	Areia	275,76	275,76	33,33	0,12	0,00	242,43	309,09	3
	Argila	363,14	374,25	34,69	0,10	-1,29	324,26	390,92	3
	M.O	12,69	12,62	0,13	0,01	1,73	12,62	12,83	3
SD	Areia	285,28	275,76	47,00	0,16	0,18	225,76	342,42	7
	Argila	374,25	374,25	19,24	0,05	-0,91	340,92	390,92	7
	M.O	12,14	11,96	3,22	0,26	-0,03	7,83	16,10	6

TRAT- tratamento; ATRIB- atributo do solo; MD- média aritmética; MED- mediana; DESVPAD- desvio-padrão; C.V- coeficiente de variação; AS- assimetria; MIN- mínimo; MAX- máximo; CONT- contagem (número de amostras); BPCM- barramento com pedra e cobertura morta; CMA- cultivo morro abaixo; PCN- palma em curva de nível; CN- cobertura natural; SD- solo descoberto.

4.2. Caracterização da condutividade hidráulica em diferentes profundidades

As análises a seguir apresentam o comportamento estatístico da condutividade hidráulica do solo saturado nas Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso. Com relação à Bacia Experimental do Xaréu, não foi possível realizar uma análise estatística em função da reduzida quantidade de testes realizados, uma vez que a caracterização da mesma foi realizada de forma ainda preliminar e exploratória.

4.2.1 Estatística descritiva da condutividade hidráulica do solo saturado das Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso (Pesqueira-PE)

A Tabela 10 descreve o comportamento estatístico da condutividade hidráulica do solo saturado em diferentes profundidades, nas Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso, Pesqueira-PE. As camadas até 50 cm apresentaram alta variabilidade; assim,

para se obter resultados mais representativos, foi necessário realizar um maior número de testes.

Observa-se na Tabela 10 que a condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) média na bacia do Jatobá foi decrescendo ao longo do perfil. Verificou-se, em cálculos preliminares e observações de campo, que as profundidades de 15 e 35 cm apresentaram alta variabilidade. Este fator contribuiu para a realização de um maior número de testes nestas camadas, a fim de se obter resultados mais representativos. A condutividade hidráulica do solo saturado mínima foi semelhante nas três profundidades. Porém, os valores máximos encontrados nas profundidades de 15 e 30 cm, foram aproximadamente 10,49 e 11,17 vezes superiores aos valores mínimos, respectivamente.

Com relação à Bacia do Mimoso, pode-se verificar que a condutividade hidráulica média do solo saturado foi maior na camada superficial de 15 cm, diminuindo na profundidade de 40 cm e voltando a aumentar na profundidade de 100 cm. As camadas superficiais (15 e 40 cm) apresentaram alta variabilidade. A alta variabilidade da camada subsuperficial da área estudada pode ser um indicativo do manejo e uso do solo, uma vez que a mesma já foi mecanizada para preparo agrícola. A condutividade hidráulica do solo saturado na profundidade de 100 cm apresentou baixo desvio padrão, e os valores máximos e mínimos ficaram próximos da média. Tal comportamento pode estar associado à estrutura do solo, que nessa profundidade encontra-se preservada.

Tabela 10: Estatística descritiva da condutividade hidráulica do solo saturado (cm h^{-1}) em diferentes profundidades (Bacias do Jatobá e do Mimoso)

Prof.	Bacia do Jatobá			Bacia do Mimoso		
	Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto			Argissolo Amarelo Eutrófico típico		
	15 cm	35 m	55 cm	15 cm	40cm	100 cm
MG	8,43	7,97	1,44	13,39	7,32	8,15
MED	8,73	8,30	1,49	12,51	7,38	8,06
DESVPAD	4,13	4,55	0,21	6,96	4,21	0,66
C.V	0,49	0,57	0,15	0,52	0,57	0,08
AS	0,12	-0,12	-1,00	0,99	0,11	0,32
MÍN	1,49	1,28	1,20	6,78	1,67	7,57
MAX	15,63	14,30	1,62	25,74	13,87	8,91
CONT	13,00	13,00	3,00	7,00	10,00	4,00
N.C (95%)	2,49	2,75	0,53	6,43	3,01	1,05

MG- média geométrica; MED- mediana; DESVPAD- desvio-padrão; C.V- coeficiente de variação; AS- assimetria; MÍN- mínimo; MAX- máximo; CONT- contagem (número de amostras); N.C- nível de confiança a 95%.

4.2.2 Caracterização da condutividade hidráulica em diferentes profundidades (Bacia Experimental do Jatobá)

Observa-se na Figura 15 o comportamento da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) do Argissolo Amarelo Eutrófico Abrúptico a 15 cm, 35 cm, 55 cm e 75 cm de profundidade, tendo-se encontrado valores de 8,43 cm h^{-1} , 7,97 cm h^{-1} , 1,44 cm h^{-1} , 0,67 cm h^{-1} respectivamente. Pode-se notar que a K_0 diminuiu com a profundidade. Bastos (2004), avaliando a condutividade hidráulica com permeâmetro de Guelph em diferentes profundidades de um Neossolo Flúvico Tb Eutrófico, presente na Bacia Experimental do Mimoso, encontrou o mesmo comportamento, com exceção da profundidade de 30 cm, que apresentou condutividade hidráulica do solo saturado menor que as demais. Segundo o autor, o resultado está relacionado à compactação e acúmulo de matéria orgânica. Tal comportamento mostrou-se diferente dos resultados encontrados por diversos autores, dentre eles Cadima et al. (1980), em Latossolos Vermelho-Amarelo de textura média, Carvalho (2002), em Latossolo Vermelho-Amarelo e Aragão Junior et al. (2007) em Podzólicos Vermelho-Amarelo.

As propriedades físicas do solo, como textura e estrutura, determinam o fluxo de água no solo. Em camadas mais profundas, espera-se que a estrutura esteja preservada. Para os solos aqui discutidos, os teores de areia e matéria orgânica vão diminuindo com a profundidade. O percentual de areia tem grande influência no movimento de água no solo, pois possibilita maior permeabilidade (em condições saturadas) do que solos com maiores frações de silte e argila, com exceção de solos que apresentem em sua fração de areia um grande percentual de areias finas, o que pode promover um comportamento hidráulico do solo semelhante a solos com maiores teores de silte e argila. O baixo valor da condutividade hidráulica (0,67 cm h^{-1}) na profundidade de 75 cm, na Bacia do Jatobá, está diretamente correlacionado com a variação granulométrica acentuada ocorrida neste perfil, com presença de uma camada de impedimento.

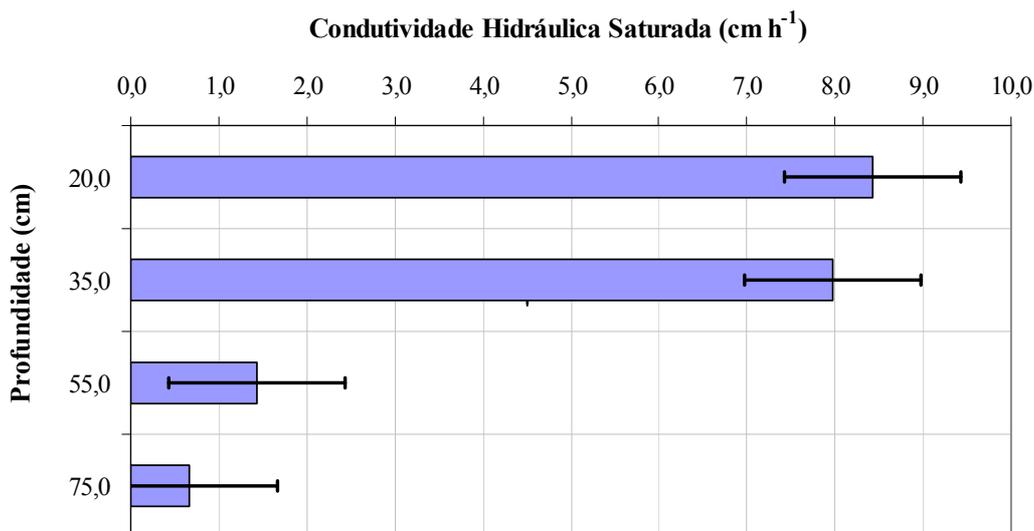


Figura 15. Condutividade hidráulica do solo saturado em diferentes profundidades do Argissolo Amarelo Eutrófico Abrúptico (Bacia Experimental do Jatobá).

Na Tabela 11 pode-se verificar a estatística descritiva da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0), do potencial de fluxo mátrico (ϕ_m) e do parâmetro alfa (α_G). Observa-se que o valor do fluxo potencial mátrico na profundidade de 35 cm foi ligeiramente maior do que na profundidade de 15 cm, porém a profundidade de 55 cm foi a que apresentou o menor valor. Este comportamento difere do encontrado por Ragab & Cooper (1993) em estudo de variabilidade de parâmetros de transporte de água em zona não saturada, onde foi realizado testes de condutividade hidráulica em diferentes coberturas (terras aráveis, pastagens permanentes e floresta) e profundidades (15, 30, 45 e 60 cm). Os autores observaram que o fluxo potencial mátrico tendeu a aumentar com a profundidade, exceto na profundidade de 60 cm, em áreas com terras aradas.

Observa-se ainda na Tabela 11 que o valor de alfa tendeu a diminuir com a profundidade. Tal comportamento corrobora com o resultado encontrado por Ragab & Cooper (1993), que observaram que os valores de alfa (α_G) diminuíram com a profundidade nas áreas de pastagem e terras aradas, e tenderam a ficar constantes em condição de floresta.

Tabela 11: Estatística descritiva da condutividade hidráulica do solo saturado, potencial de fluxo mátrico e parâmetro alfa da função de Gardner (1958), Bacia do Jatobá.

	15 cm			35 cm			55 cm		
	K_0 (cm s^{-1})	ϕ_m ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$)	α_G (cm^{-1})	K_0 (cm s^{-1})	ϕ_m ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$)	α_G (cm^{-1})	K_0 (cm s^{-1})	ϕ_m ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$)	α_G (cm^{-1})
MD	0,00234	0,01096	0,62100	0,00221	0,01207	0,45209	0,00040	0,00362	0,34214
MG	0,00201	0,00454	0,44277	0,00177	0,00651	0,27236	0,00040	0,00178	0,22293
DESVPAD	0,00115	0,01934	0,48711	0,00126	0,01521	0,45918	0,00006	0,00491	0,27405
CV	0,48962	1,76391	0,78439	0,57037	1,26082	1,01568	0,14839	1,35824	0,80099
AS	0,12384	2,88568	1,76410	-0,12092	2,51362	1,23365	-1,00183	1,72986	-0,71623
MIN	0,00041	0,00060	0,03435	0,00036	0,00091	0,05929	0,00033	0,00070	0,04844
MAX	0,00434	0,07056	1,95740	0,00397	0,05770	1,44784	0,00045	0,00929	0,59103
CONT	13	13	13	13	13	13	3	3	3

MD- média aritmética; MG- média geométrica; DESVPAD- desvio-padrão; C.V- coeficiente de variação; AS- assimetria; MIN- mínimo; MAX- máximo; CONT- contagem (número de amostras); α_G - parâmetro alfa da equação de Gardner (1958); ϕ_m - fluxo potencial mátrico; K_0 - condutividade hidráulica do solo saturado.

A partir da estimativa da condutividade hidráulica do solo saturado através do permeâmetro de Guelph, bem como do coeficiente do termo exponencial, foi possível gerar as curvas de condutividade hidráulica do solo não saturado (Figura 16) nas diferentes profundidades através da Equação 13, proposta por GARDNER (1958).

Pode-se observar na Figura 16 que o comportamento da condutividade hidráulica do solo não saturado em função da tensão ($K(\psi)$) nas profundidades de 35 e 55 cm foi semelhante, com as maiores condutividades hidráulicas ocorrendo na profundidade de 35 cm. Já na profundidade de 15 cm, observou uma queda mais acentuada da condutividade hidráulica do solo não saturado em relação às outras profundidades. Tal comportamento possivelmente está ligado ao valor do parâmetro de inclinação da curva (alfa). Pode-se verificar que a partir da tensão de 9 cm a condutividade hidráulica do solo não saturado na profundidade de 15 cm ficou inferior a observada na profundidade de 55 cm.

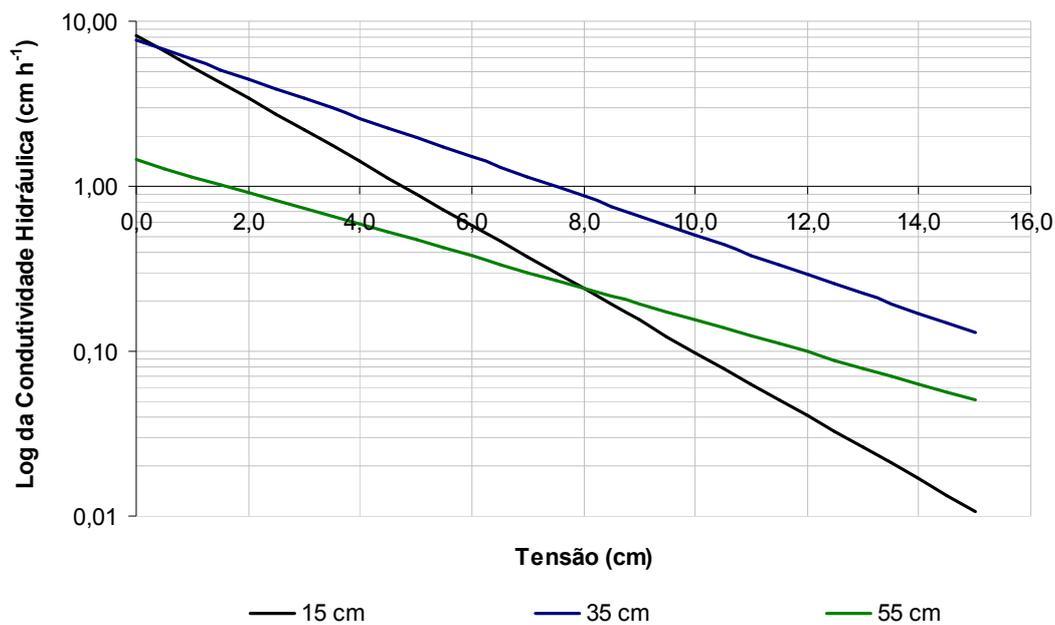


Figura 16. Curvas logaritmadas da condutividade hidráulica do solo não saturado nas diferentes profundidades do Argissolo Amarelo Eutrófico Abrupto (Bacia Experimental do Jatobá).

4.2.3 Caracterização da condutividade hidráulica em diferentes profundidades (Bacia Experimental do Mimoso)

A Figura 17 indica que os valores da condutividade hidráulica do solo saturado do Argissolo Amarelo Eutrófico Típico, a 15 cm, 40 cm e 100 cm de profundidade são $13,39 \text{ cm h}^{-1}$, $7,32 \text{ cm h}^{-1}$ e $8,15 \text{ cm h}^{-1}$, respectivamente. Observa-se nesse perfil que a condutividade hidráulica do solo saturado também foi superior na primeira camada, diminuiu na de 40 cm e voltou a aumentar na de 100 cm. Tal comportamento diferiu do encontrado na Bacia do Jatobá, que apresentou diminuição da condutividade com a profundidade. Mesquita & Moraes (2004) comentam que o efeito da estrutura, e em especial dos poros de grandes dimensões, permite que um solo argiloso tenha valores de condutividade hidráulicas saturadas similares a dos solos arenosos.

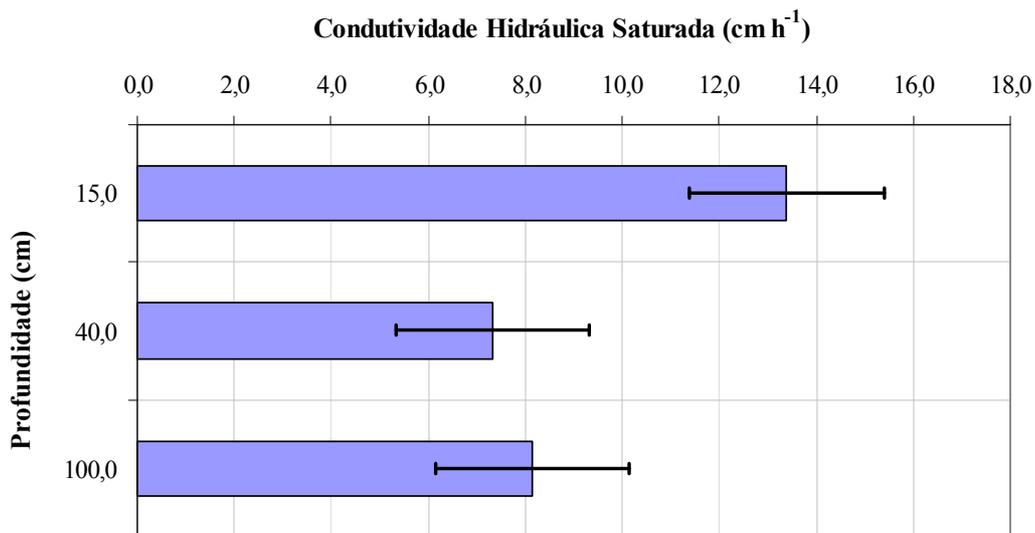


Figura 17. Condutividade hidráulica em diferentes profundidades do Argissolo Amarelo Eutrófico típico (Bacia Experimental do Mimoso).

A Figura 18 apresenta o comportamento da condutividade hidráulica do solo não saturado para a Bacia do Mimoso. Pode-se notar comportamento diferenciado em relação ao da Bacia do Jatobá. Por exemplo, para a tensão de 10 cm, nota-se que a condutividade hidráulica não saturada no Mimoso é superior na camada superficial ($1,28 \text{ cm h}^{-1}$) ao valor da Bacia do Jatobá ($1,13 \text{ cm h}^{-1}$); para as profundidades de 40 cm e 100 cm, no Mimoso a K foi $0,21 \text{ cm h}^{-1}$ e $0,54 \text{ cm h}^{-1}$, respectivamente; enquanto que nas profundidades de 35 cm, 55 cm e 75 cm na Bacia do Jatobá foi $0,91 \text{ cm h}^{-1}$, $0,10 \text{ cm h}^{-1}$ e $0,02 \text{ cm h}^{-1}$, respectivamente. Notam-se valores inferiores na Bacia do Jatobá em relação a Bacia do Mimoso, com exceção da profundidade de 35 cm.

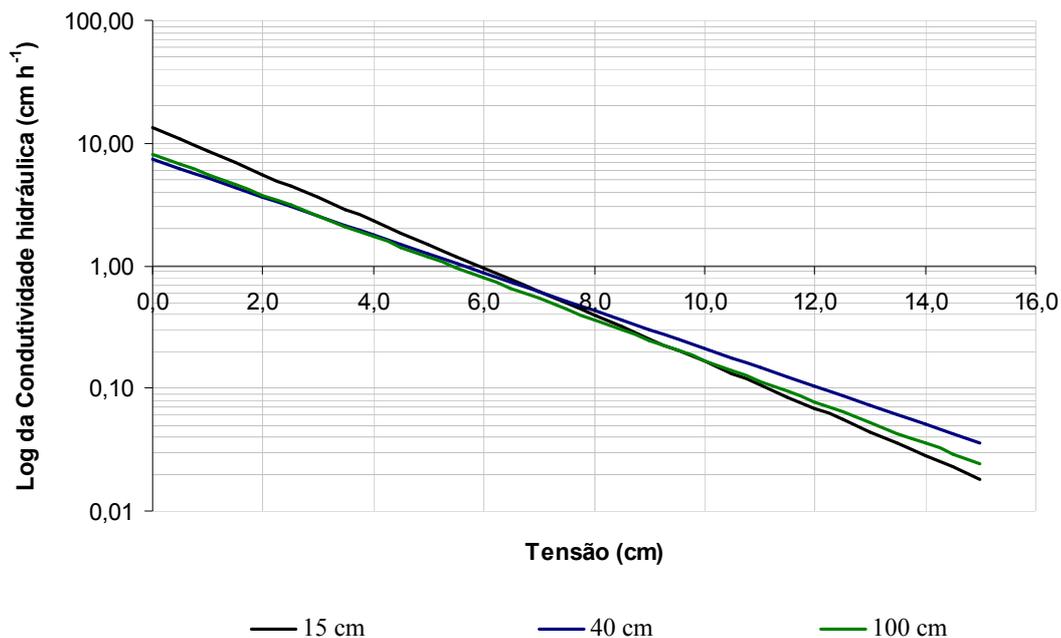


Figura 18. Curvas logaritmadas da condutividade hidráulica não saturada nas diferentes profundidades do Argissolo Amarelo Eutrófico típico (Bacia Experimental do Mimoso).

Observa-se na Tabela 12 que o valor do potencial de fluxo mátrico não apresentou comportamento semelhante ao encontrado na Bacia do Jatobá, com o parâmetro alfa aumentando com a profundidade. Tal resultado difere do encontrado por Ragab & Cooper (1993), comentado anteriormente. O maior coeficiente de variação do parâmetro alfa ocorreu na profundidade de 40 cm, com mínimo igual a $0,1023 \text{ cm}^{-1}$ e máximo chegando a $5,2147 \text{ cm}^{-1}$. O maior desvio do alfa ($4,4233 \text{ cm}^{-1}$) em relação à média ocorreu na profundidade de 100 cm. Os valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado foram muito próximos nas diferentes profundidades.

Tabela 12: Estatística descritiva da condutividade hidráulica do solo saturado, potencial de fluxo mátrico e parâmetro alfa da função de Gardner (1958), Bacia do Mimoso.

	15 cm			40 cm			100 cm		
	K_0 (cm s ⁻¹)	ϕ_m (cm ² s ⁻¹)	α_G (cm ⁻¹)	K_0 (cm s ⁻¹)	ϕ_m (cm ² s ⁻¹)	α_G (cm ⁻¹)	K_0 (cm s ⁻¹)	ϕ_m (cm ² s ⁻¹)	α_G (cm ⁻¹)
MD	0,00372	0,00854	0,47367	0,00203	0,01000	0,88810	0,00226	0,00114	4,97108
MG	0,00333	0,00758	0,43965	0,00168	0,00472	0,35578	0,00226	0,00073	3,11007
DESVPAD	0,00193	0,00437	0,18433	0,00117	0,01168	1,57617	0,00018	0,00111	4,42333
C.V	0,51965	0,51121	0,38914	0,57445	1,16765	1,77477	0,08091	0,96963	0,88981
AS	0,99012	0,59509	-0,10030	0,11311	1,59646	2,78824	0,31976	0,86061	-0,01856
MIN	0,00188	0,00310	0,23135	0,00046	0,00049	0,10234	0,00210	0,00027	0,82021
MAX	0,00715	0,01446	0,70059	0,00385	0,03679	5,21472	0,00247	0,00258	8,84051
CONT	7	7	7	10	10	10	4	4	4

MD- média aritmética; MG- média geométrica; DESVPAD- desvio-padrão; C.V- coeficiente de variação; AS- assimetria; MIN- mínimo; MAX- máximo; CONT- contagem (número de amostras); α_G - parâmetro alfa da equação de Gardner (1958); ϕ_m - fluxo potencial mátrico; K_0 - condutividade hidráulica do solo saturado.

4.2.4 Caracterização da condutividade hidráulica em diferentes profundidades (Bacia Experimental do Xaréu)

Observa-se na Figura 19 que a condutividade hidráulica do solo saturado no Cambissolo Háplico Sódico vértico apresentou baixa magnitude na camada superficial, havendo um aumento na profundidade de 50 cm, e posterior redução na profundidade de 80 cm. Conforme a Figura 21, o Vertissolo Cromado sódico apresentou o mesmo comportamento do Cambissolo Háplico Sódico vértico. O aumento da condutividade hidráulica nas profundidades intermediárias pode ser explicado pelos altos teores de argila expansiva, o que lhes confere um grande poder de contração e expansão, favorecendo desta forma presença de fissuras que favorecem a infiltração, até que haja um rearranjo da estrutura.

Conforme semelhança do comportamento hidráulico dos dois solos nas diferentes profundidades, propõem-se um valor médio único para K_0 , por profundidade, para a Bacia do Xaréu, para fins de modelagem hidrológica.

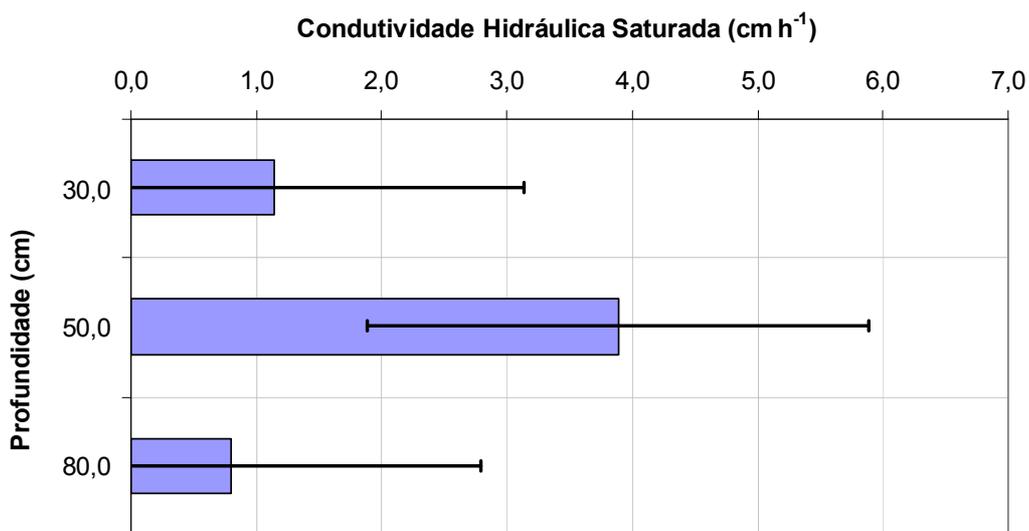


Figura 19. Condutividade hidráulica em diferentes profundidades do Cambissolo Háplico Sódico vértico (Bacia Experimental do Xaréu).

A condutividade hidráulica não saturada na profundidade de 80 cm não apresentou comportamento semelhante às outras profundidades (Figura 20). Observa-se que os valores da K na profundidade de 50 cm foram superiores aos da profundidade de 80 cm até a tensão de 10 cm.

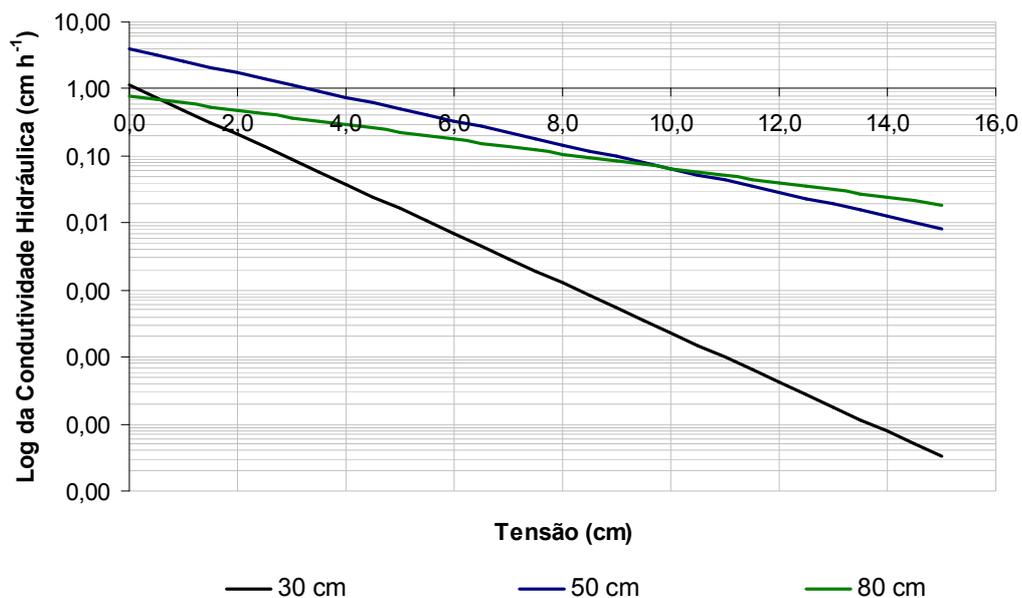


Figura 20. Curvas logaritmadas da condutividade hidráulica não saturada nas diferentes profundidades do Cambissolo Háplico Sódico vértico (Bacia Experimental do Xaréu).

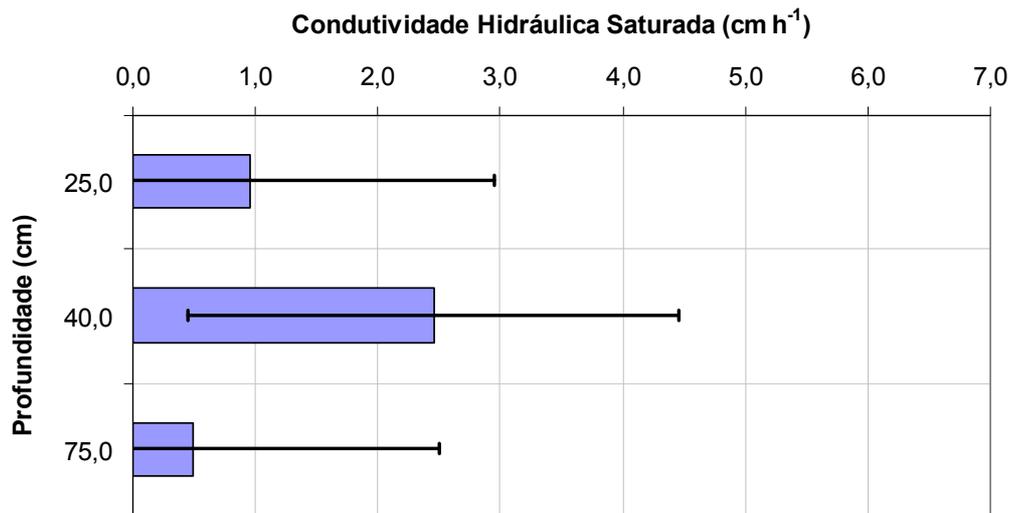


Figura 21. Condutividade hidráulica em diferentes profundidades do Vertissolo Cromado Sódico (Bacia Experimental do Xaréu).

Na Figura 22 observa-se que a condutividade hidráulica não saturada na profundidade de 40 cm não apresentou inclinação semelhante às outras profundidades, devido ao baixo valor de alfa encontrado em relação aos valores das outras profundidades (Tabela 13). Os maiores valores da condutividade hidráulicas não saturadas foram obtidos na profundidade de 40 cm. As camadas superficiais do Cambissolo (30 cm) e do Vertissolo (25 cm) apresentaram comportamento semelhante, com valores superiores da condutividade hidráulica do solo não saturado (K) ocorrendo no Cambissolo.

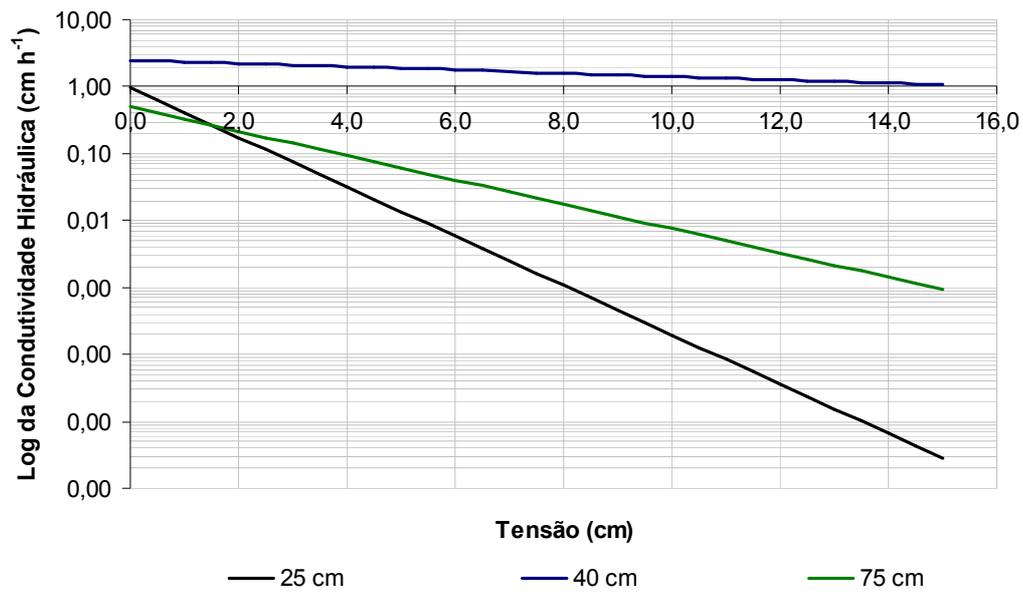


Figura 22. Curvas logaritmadas da condutividade hidráulica não saturada nas diferentes profundidades do Vertissolo Cromado Sódico (Bacia Experimental do Xaréu).

A Tabela 13 apresenta valores indicativos para a condutividade hidráulica do solo saturado, fluxo potencial mátrico e parâmetro alfa. Não foi possível realizar uma análise estatística descritiva como nas outras bacias estudadas, por conta do número de testes de realizados em campo.

Tabela 13: Valores indicativos de condutividade hidráulica do solo saturado, potencial de fluxo mátrico e parâmetro alfa da função de Gardner (1958), Bacia do Xaréu.

Tipo de Solo	Prof. (cm)	K_0 (cm s ⁻¹)	ϕ_m (cm s ⁻¹)	α_G (cm ⁻¹)
Cambissolo Háplico Sódico vértico	30	0,0003	0,0004	0,8504
	50	0,0011	0,0026	0,4095
	80	0,0002	0,0009	0,2492
Vertissolo Cromado Sódico	25	0,0003	0,0003	0,8487
	40	0,0007	0,0123	0,0556
	75	0,0001	0,0003	0,4191

α_G - parâmetro alfa da equação de Gardner (1958); ϕ_m - fluxo potencial mátrico; K_0 - condutividade hidráulica do solo saturado.

4.3. Caracterização da condutividade hidráulica em diferentes tratamentos e tipos de cobertura vegetal

Pode-se observar na Figura 23 o comportamento da condutividade hidráulica média do solo saturado em diferentes tratamentos conservacionistas e cobertura vegetal, dentre eles: Barramento em pedra com cobertura morta (BPCM), cultivo morro abaixo (CMA), palma em curva de nível (PCN), cobertura natural (CN), e solo descoberto (SD). Verifica-se que o comportamento do K_0 nas duas bacias de Pesqueira-PE foi semelhante. Porém, no tratamento de palma em curva de nível, a Bacia do Mimoso apresentou uma condutividade hidráulica do solo saturado de $8,36 \text{ cm h}^{-1}$, enquanto que na Bacia do Jatobá a estimativa média foi de $5,05 \text{ cm h}^{-1}$.

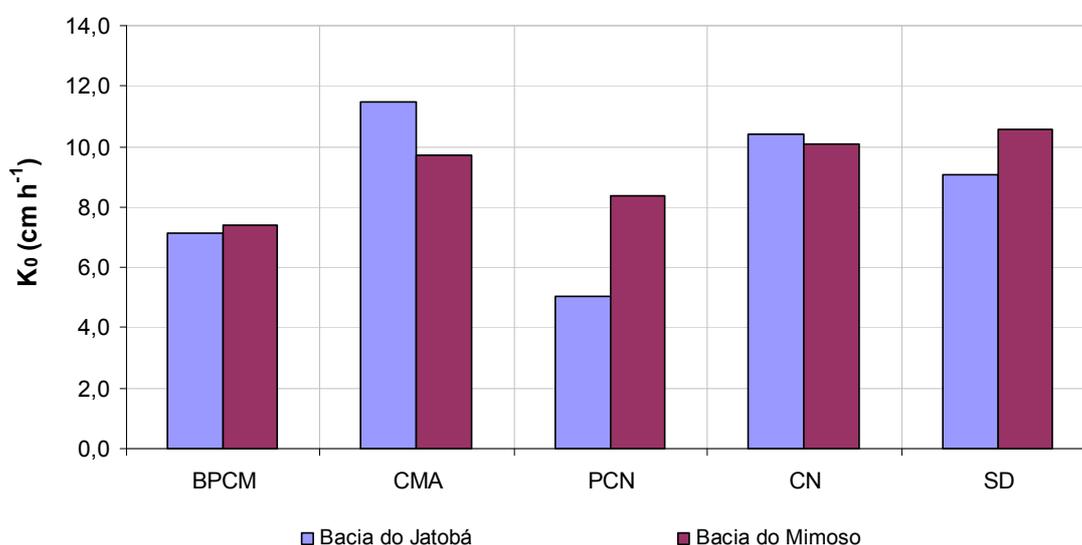


Figura 23. Condutividade hidráulica do solo saturado em diferentes tratamentos e cobertura vegetal (Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso).

Santos et al. (2009a) estudaram características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro sob seis condições de cobertura: Cultivo em nível (N1) com barramentos de pedra entre cada fileira de plantio no espaçamento de 0,5 m; cultivo em nível (N2), com barramentos de pedra no espaçamento de 1,0 m; cultivo morro abaixo (CMA); cultivo com cobertura morta (CM); Solo descoberta (SD) e cobertura natural (CN) em Neossolo Flúvico (Bacia do Mimoso). Estes autores observaram que a infiltração sofreu modificações, em função do manejo adotado em cada parcela. Observaram ainda que os valores iniciais de taxa de infiltração de água no solo foram

elevados em todos os tratamentos, devido, principalmente, ao baixo teor de umidade do solo no momento antecedente à realização dos testes de infiltração. Perceberam também, que as taxas de infiltração do solo sob cobertura nativa, cobertura morta e N2, apresentaram-se mais elevada em relação aos demais tratamentos. O aumento da infiltração foi favorecido pela presença de barreiras físicas e de cobertura vegetal, evitando a desagregação provocada pelo impacto das gotas de chuva e a formação do selamento superficial, resultando em redução do escoamento superficial.

Diferentemente de Santos et al. (2009a), o tratamento em cultivo morro abaixo na Bacia do Jatobá foi o que apresentou a maior condutividade hidráulica do solo saturado, seguido pelo tratamento com cobertura natural e solo descoberto, respectivamente. Esse comportamento pode ser resultante do maior teor de areia que predomina nas parcelas com tratamento morro abaixo e solo descoberto (Tabela 7), pois a exposição do solo a chuva direta possivelmente está contribuindo com o carregamento das partículas mais finas (silte e argila) da superfície do solo, o que promove a diminuição da coesão do solo deixando-o susceptível ao processo erosivo. Com relação à parcela de cobertura natural, mesmo apresentando menor teor de areia em relação aos outros tratamentos, com exceção da parcela com tratamento com barramento em pedra com cobertura morta, esperava-se uma maior infiltrabilidade pela influência do sistema radicular da vegetação presente e preservação da estrutura.

Na Bacia do Mimoso, o tratamento em solo descoberto foi o que apresentou maior condutividade hidráulica do solo saturado, seguido pelo tratamento com cobertura natural e cultivo morro abaixo, respectivamente. Tal comportamento também difere do encontrado por Santos et al. (2009a), com exceção do tratamento com cobertura natural. As altas taxas de condutividade hidráulicas do solo saturado, ocorridas nos tratamentos de solo descoberto e cultivo morro abaixo podem estar associados à desestruturação do solo na camada subsuperficial promovida pela retirada da vegetação e preparo do solo no caso do cultivo morro abaixo, além do maior teor de areia nessas parcelas (Tabela 9). Conforme comentado anteriormente, a exposição do solo à chuva direta possivelmente contribui para o carregamento das partículas mais finas (silte e argila) da superfície do solo, o que promove a diminuição da coesão do solo, deixando-o susceptível ao processo erosivo.

A palma cultivada em curva de nível foi o tratamento que apresentou o maior percentual de areia total conforme comentado anteriormente, contudo houve baixa correlação entre condutividade hidráulica do solo saturado e o percentual de areia total. O comportamento da condutividade hidráulica pode estar sendo influenciado mais fortemente pela estrutura do que pela textura. Para uma melhor compreensão dos resultados se faz necessário novas medições de campo e coleta de amostras de solo para análise da macro e microporosidade. Segundo Mesquita & Moraes (2004), a medida da K_0 e da macroporosidade do solo são provenientes do mesmo espaço poroso, portanto, entre estas variáveis é de se esperar que haja correlação. Ainda segundo os autores, a K_0 é mais dependente da estrutura do que da textura do solo. Com relação à parcela de cobertura natural, mesmo apresentando menor teor de areia em relação aos outros tratamentos (com exceção da parcela com tratamento em barramento de pedra com cobertura morta), esperava-se uma maior infiltrabilidade pela influência do sistema radicular da vegetação presente e preservação da estrutura, o que não ocorreu. Talvez esse comportamento possa ser explicado pelo fato da parcela possuir baixa densidade de raízes nos locais de realização dos testes de condutividade hidráulica.

O maior coeficiente de variação verificado na Bacia do Jatobá ocorreu no tratamento com barramento de pedra e cobertura morta. Já na Bacia do Mimoso, o maior CV foi na parcela descoberta, conforme detalhado na Tabela 14.

Tabela 14: Estatística descritiva das condutividades hidráulicas saturadas (cm h^{-1}) medidas em campo nos diferentes tratamentos e cobertura vegetal (Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso).

	Tratamentos – Bacia do Jatobá					Tratamentos – Bacia do Mimoso				
	BPCM	CMA	PCN	CN	SD	BPCM	CMA	PCN	CN	SD
MD	7,13	11,48	5,05	10,40	9,08	7,40	9,71	8,36	10,09	10,54
MED	4,70	11,49	5,65	10,40	8,73	7,22	9,68	8,72	11,27	7,39
DESVPAD	4,50	6,48	2,62	1,72	3,31	3,28	1,61	2,57	2,38	7,28
C.V	0,63	0,56	0,52	0,17	0,36	0,44	0,17	0,31	0,24	0,69
AS	1,61	-0,01	-1,20	-0,01	1,34	0,11	0,04	-0,62	-1,69	1,96
MIN	3,66	4,99	1,40	8,67	5,60	4,29	8,10	5,63	7,35	4,93
MAX	14,62	17,95	7,50	12,12	15,63	10,85	11,37	10,73	11,64	25,74
CONT	5,00	3,00	4,00	3,00	7,00	4,00	4,00	3,00	3,00	7,00
N.C (95%)	5,58	16,11	4,17	4,28	3,06	5,23	2,56	6,37	5,91	6,73

*BPCM – Barramento com Pedra e Cobertura Morta, CMA – Cultivo Morro Abaixo, PCN – Palma em Curva de Nível, CN – Cobertura Natural e SD – Solo Descoberto. MD- média aritmética; MED- mediana; DESVPAD- desvio-padrão; C.V- coeficiente de variação; AS- assimetria; MIN- mínimo; MAX- máximo; CONT- contagem (número de amostras); NC- nível de confiança a 95%.

4.3.1. Testes de diferenças entre médias de parâmetros analisados

Para realizar o teste de média entre os tratamentos conservacionistas, se fez necessário deixar todos os tratamentos com o mesmo número de repetições (três), procurando-se deixar os três valores mais próximos.

Tabela 15: Teste de médias em diferentes tratamentos conservacionistas

Tratamento	N	Bacia do Jatobá		Bacia do Mimoso	
		Log de K_0 (cm h ⁻¹)		Log de K_0 (cm h ⁻¹)	
		Média	Desvpad	Média	Desvpad
BPCM	3	0,635 a	0,062	0,768 a	0,186
CMA	3	1,004 a	0,282	0,958 a	0,066
PCN	3	0,792 a	0,083	0,907 a	0,143
CN	3	1,013 a	0,073	0,995 a	0,112
PD	3	0,943 a	0,004	0,871 a	0,020

* BPCM – Barramento com Pedra e Cobertura Morta, CMA – Cultivo Morro Abaixo, PCN – Palma em Curva de Nível, CN – Cobertura Natural e SD – Solo Descoberto.

* Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna e na mesma linha, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Média de três repetições. DESVPAD- desvio padrão

Santos et al. (2008), em estudo de erosão hídrica e perda de carbono orgânico em diferentes tipos de cobertura sobre Neossolo Flúvico de textura franco arenosa no semiárido (Bacia do Mimoso), sob condições de chuva simulada com intensidades de 60 e 120 mm h⁻¹, observaram que as taxas de infiltração básica e de escoamento superficial para a intensidade de 60 mm h⁻¹ apresentaram diferença significativa entre as médias dos tratamentos solo descoberto (SD), cultivo morro abaixo (CMA), plantio em curva de nível (PCN), barramento em pedra com cobertura morta (BPCM), e cobertura natural (CN), com os tratamentos BPCM e CN apresentando as maiores taxas de infiltração de água no solo. Aumentando-se a intensidade de precipitação, observou-se um aumento nessa taxa para as condições descoberta e em nível. As condições CN, BPCM, PCN e CMA apresentaram reduções de 91,06; 91,18; 74,03 e de 65,71% nas taxas de infiltração da água no solo, respectivamente, quando comparada com a condição de solo descoberto, para a intensidade de 60 mm h⁻¹.

Diferentemente de Santos et al. (2008), no presente estudo, não houve diferença significativa para condutividade hidráulica entre os diferentes tratamentos avaliados. Como as parcelas foram instaladas no início de 2009 e os locais encontravam-se com vegetação natural, houve a necessidade de fazer a remoção da vegetação da área para

construção das parcelas com os diferentes tratamentos. Tal fato pode explicar a não existência de diferença de médias entre os tratamentos, pois o tempo de duração do experimento não foi suficiente para promover mudanças significativas na estrutura do solo a ponto de alterar a infiltrabilidade do mesmo. Adicionalmente, deve-se ressaltar que os testes com o Permeâmetro de Guelph foram realizados na profundidade de 15 cm, enquanto que as avaliações efetuadas por Santos et al. (2008) e Santos et al. (2009a), adotando simulador de chuva, sofrem forte influência da rugosidade das camadas mais superficiais do solo, contribuindo assim para a diferença de resultados entre as duas metodologias.

4.4. Curva de retenção de umidade do solo

Com o objetivo de caracterizar a capacidade de retenção de umidade dos solos em diferentes profundidades, e gerar parâmetros para apoio à modelagem hidrológica, coletou-se amostras indeformadas nas mesmas profundidades em que foram realizados os testes de condutividade hidráulica.

Através do programa STATISTICA 7, foi realizado o ajuste da curva de retenção de umidade do solo, segundo o modelo proposto por van Genuchten (1980) (Equação 1). Com base nas umidades obtidas em laboratório, observou-se que a umidade de saturação para os solos das Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso aproxima-se de 30%; e para Bacia do Xaréu (Cambissolo e Vertissolo) é próxima a 50%.

4.4.1 Curvas de retenção de umidade dos solos das Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso (Pesqueira-PE)

A Figura 24 apresenta as curvas de retenção de umidade em diferentes profundidades (35 e 55 cm) do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto (Bacia do Jatobá). Observa-se que o comportamento de ambas assemelha-se, mesmo ocorrendo um decréscimo de areia ao longo do perfil. A Figura 25 apresenta as curvas de retenção de umidade nas profundidades de 15 e 40 cm do Argissolo Amarelo Eutrófico típico

(Bacia do Mimoso). Assim como na Bacia do Jatobá, o comportamento da curva de retenção de umidade foi semelhante nas duas profundidades. Porém, observa-se na Figura 25 que a curva na profundidade de 40 cm apresentou um leve aumento da umidade para tensões mais elevadas, quando comparada à curva de 15 cm. Tal comportamento pode ser consequência do decréscimo da quantidade de areia com a profundidade. De forma geral, verificou-se um adequado ajuste entre os dados experimentais e o modelo de van Genuchten. Os parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten podem ser vistos na Tabela 12.

A Figura 26 apresenta uma comparação entre as curvas das duas bacias, podendo-se verificar que as mesmas apresentam comportamento semelhante, principalmente nas profundidades de 35 e 55 cm (Bacia do Jatobá) e na de 40 cm (Bacia do Mimoso).

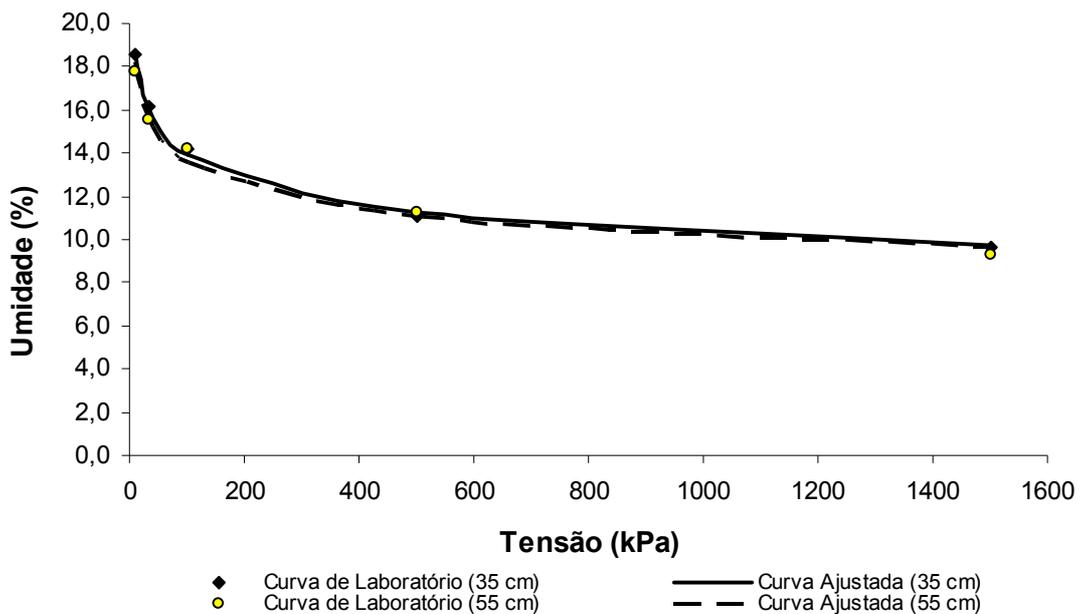


Figura 24. Curva de retenção de umidade nas profundidades de 30 e 55 cm do Argissolo Amarelo Eutrófico Abrúptico (Bacia Experimental do Jatobá).

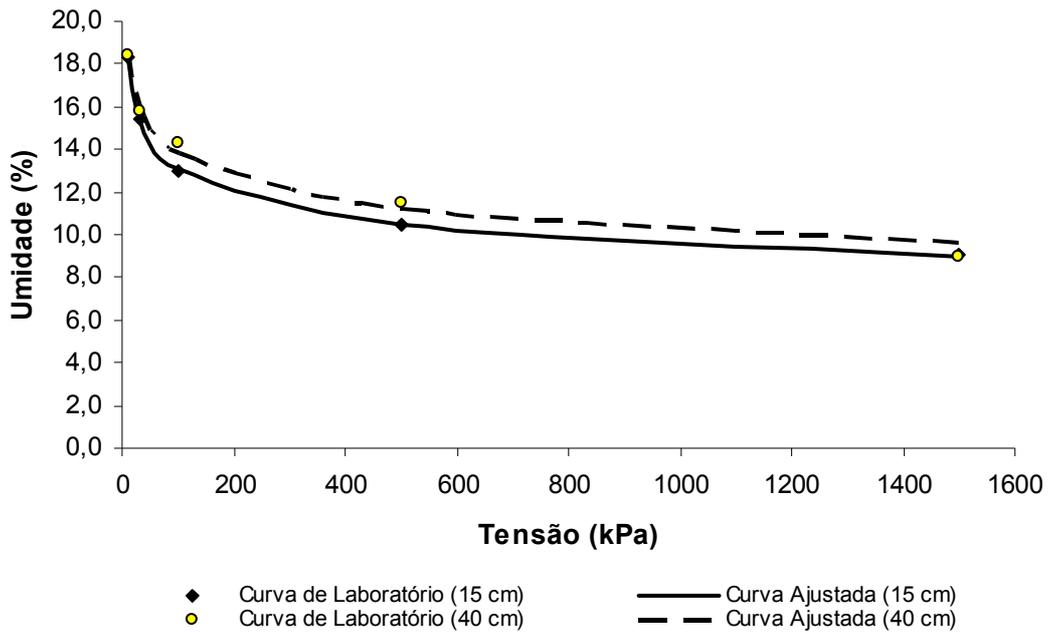


Figura 25. Curva de retenção de umidade nas profundidades de 15 e 40 cm do Argissolo Amarelo Eutrófico Abrúptico (Bacia Experimental do Mimoso).

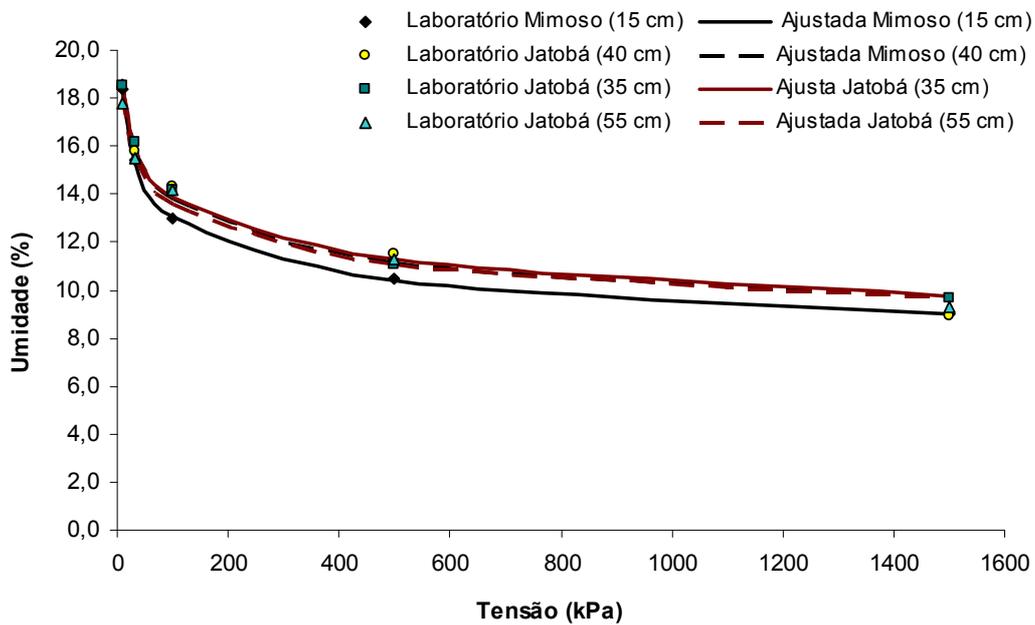


Figura 26. Comparação entre as curvas de retenção de umidade nas diferentes profundidades das Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso.

4.4.2 Curvas de retenção de umidade do Cambissolo Háplico Sódico vértico e Vertissolo Cromado Sódico da Bacia do Xaréu (Fernando de Noronha-PE)

A Figura 27 apresenta as curvas de retenção de umidade do Cambissolo Háplico e do Vertissolo Cromado na camada de 20 cm. Observa-se que o Vertissolo tem uma maior capacidade de retenção de água. O Cambissolo apresentou-se mais sensível as tensões de 10, 33 e 100 kPa, o que promoveu um maior decaimento no início da curva. O ponto de murcha permanente do Vertissolo ($0,180 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) foi superior à capacidade de campo do Cambissolo ($0,1471 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

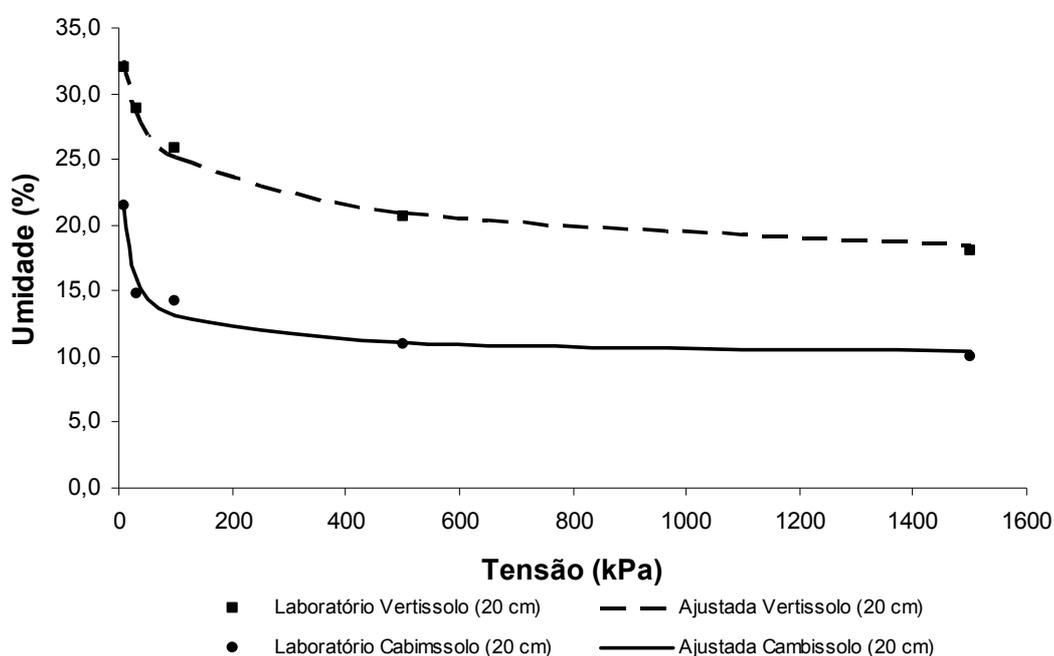


Figura 27. Curva de retenção de umidade na profundidade de 20 cm do Cambissolo Háplico Sódico vértico e Vertissolo Cromado Sódico (Bacia Experimental do Xaréu).

A Figura 28 apresenta as curvas de retenção de umidade das Bacias Experimentais estudadas. Observa-se que a curva experimental do Cambissolo Háplico, assemelha-se ao comportamento das curvas dos Argissolos Amarelos das Bacias do Jatobá e do Mimoso, apesar da umidade de saturação estimada para o Cambissolo ser de $0,50 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; para os Argissolos, esse valor é de $0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; porém, o Cambissolo apresenta uma maior disponibilidade de água.

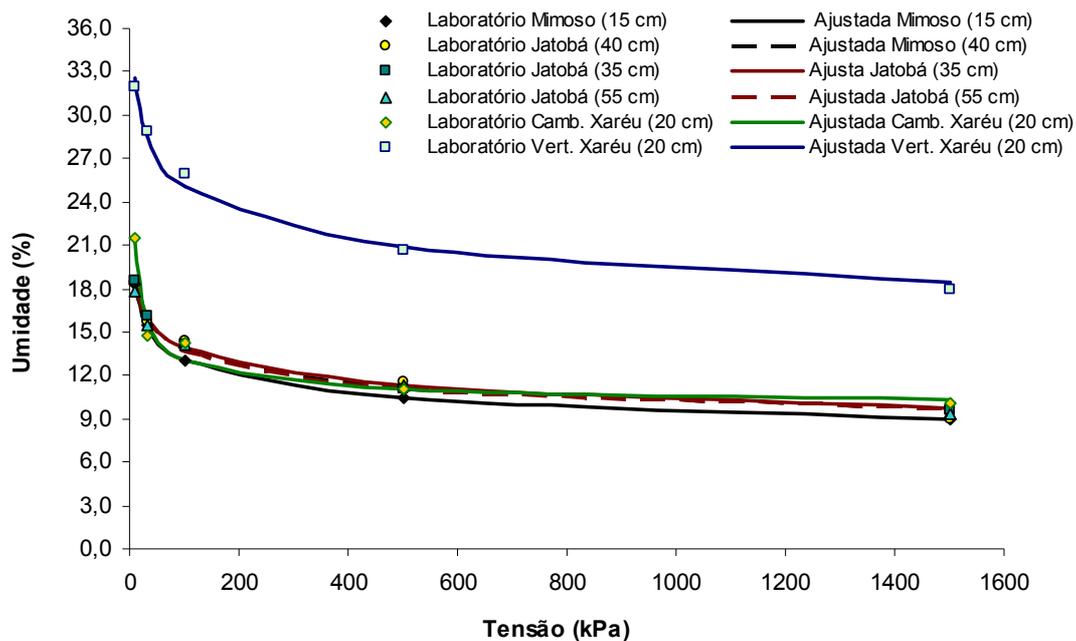


Figura 28. Comparação das curvas de retenção de umidade das bacias experimentais estudadas.

A Tabela 16 apresenta os valores dos parâmetros de ajuste (α_{vG} , n e m) estimados, utilizando o funcional de van Genuchten (Equação 1). Observa-se nas Bacias Experimentais do Jatobá e do Mimoso, que o parâmetro alfa aumentou com a profundidade.

O valor de alfa encontrado para o Cambissolo Háplico Eutroférico foi de $1,064 \text{ kPa}^{-1}$, e para o Vertissolo Cromado foi de $4,157 \text{ kPa}^{-1}$. Tais valores foram superiores aos encontrados por Montenegro et al. (2009a). em estudo das potencialidades hídricas superficiais de Fernando de Noronha-PE.

Tabela 16: Parâmetros de ajuste estimados pela equação de van Genuchten (1980).

Bacia	Prof. (cm)	θ_s	θ_r	α_{vG}	n	m
		$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	kPa^{-1}		
Jatobá	35	0,300	$0,000 \times 10^{+0}$	3,620	1,131	0,116
	55	0,300	$2,000 \times 10^{-6}$	5,018	1,127	0,113
Mimoso	15	0,300	$2,368 \times 10^{-2}$	2,187	1,176	0,150
	40	0,300	$0,000 \times 10^{+0}$	3,631	1,132	0,117
Xaréu Cambissolo	20	0,500	$9,509 \times 10^{-2}$	1,064	1,522	0,343
Xaréu Vertissolo	20	0,500	$1,600 \times 10^{-4}$	4,157	1,114	0,102

θ_s - umidade de saturação; θ_r - umidade residual; α_{vG} - parâmetro alfa de van Genuchten; n e m - parâmetros de ajuste experimental

4.5. Avaliação do desempenho de funções de pedotransferência

4.5.1 Comparação entre valores de condutividade hidráulica do solo saturado estimada por funções de pedotransferência e determinada “in situ”

De posse das propriedades físicas do solo e da matéria orgânica aplicou-se diferentes funções de pedotransferência para estimar a condutividade hidráulica do solo saturado, com o objetivo de comparação com os valores determinados experimentalmente em campo. Foram utilizados valores de logs da K_0 . Ragab & Cooper (1993) comentam que os valores da condutividade hidráulica do solo saturado, do potencial de fluxo mátrico e da alfa estão mais próximos de um comportamento de log-normais de que distribuídos normalmente.

Conforme a Tabela 17 observa-se que os valores estimados pelas funções de pedotransferência subestimaram os determinados pelo permeâmetro de Guelph; com exceção da função de Rawls & Brakensiek (1989), que superestimou os valores de condutividade hidráulica do solo saturado. Neste contexto, conclui-se que as equações de pedotransferência propostas não apresentaram boa predição da condutividade hidráulica para os solos estudados quando comparadas às determinadas pelo permeâmetro de Guelph. Tal resultado também foi observado por Montenegro et al. (1999) que utilizaram a função de Rawls et al. (1982) para estimativa da condutividade hidráulica em solos do semiárido do Nordeste: açude Flocos em Tuparetama-PE e Fazenda Quixaba, em Coxixola-PB. Os autores verificaram que a função não apresentou desempenho satisfatório e indicaram a investigação de outras funções.

Resultado semelhante também foi observado por Costa et al. (2009), que buscaram estimar a condutividade hidráulica do solo saturado através de funções de pedotransferência e comparar com valores determinados em laboratório. De maneira geral não houve uma boa concordância entre os valores estimados pelos modelos de Saxton et al. (1986) e Rawls & Brakensiek (1989) com os valores determinados em laboratório, nas condições de estudo. Os autores sugerem que uma maior quantidade de amostras poderá promover uma maior eficiência na capacidade de predição dos modelos para este banco de dados. Isto parece reforçar a idéia de que a utilização de pedofunções deve basear-se em calibrações locais, como destacado por Coelho et al. (1998).

Tabela 17: Valores médios dos logs da condutividade hidráulica do solo saturado medida em campo e estimada por diferentes funções de pedotransferência.

Local / Prof. (cm)		Guelph	Cosby et al. (1984)	Rawls & Brakensiek (1985)	Saxton et al. (1986)	Rawls & Brakensiek (1989)	Vereecken et al. (1990)	Campbell & Shiozawa (1994)	Wosten (1999)
		LogK ₀ (m s ⁻¹)							
Jatobá 20 cm	MD	-4,697	-5,525	-6,484	-6,134	-0,928	-6,423	-9,436	-6,837
	DESVPAD	0,278	0,101	0,371	0,055	0,371	0,057	0,115	0,415
Jatobá 35cm	MD	-4,751	-5,590	-6,680	-6,181	-1,124	-6,147	-9,543	-6,357
	DESVPAD	0,338	0,088	0,339	0,049	0,339	0,061	0,136	0,368
Jatobá 55 cm	MD	-5,225	-5,651	-8,075	-6,224	-2,519	-6,896	-9,652	-6,419
	DESVPAD	0,359	0,034	0,193	0,020	0,193	0,041	0,076	0,169
Mimoso 15 cm	MD	-4,472	-5,596	-7,935	-6,114	-2,379	-7,174	-9,332	-7,299
	DESVPAD	0,202	0,069	0,378	0,074	0,378	0,033	0,167	0,306
Mimoso 40 cm	MD	-4,736	-5,695	-8,468	-6,202	-2,912	-7,155	-9,588	-7,025
	DESVPAD	0,314	0,062	0,300	0,037	0,300	0,076	0,134	0,555
Mimoso 100 cm	MD	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	DESVPAD	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

4.5.2 Comparação entre valores de umidade em tensões específicas estimadas por funções de pedotransferência e em laboratório

Para a determinação da umidade em tensões específicas além da equação de dados único proposta por Oliveira et al. (2002), utilizou-se funções com base na textura dos solos das bacias estudadas. Sendo a utilização da textura média com base na classificação textural dos solos presentes na Bacia do Jatobá e do Mimoso (solos franco-argiloso) e de textura argilosa para os solos presentes na Bacia do Xaréu.

Observa-se na Tabela 18 que o modelo de Meng et al. (1987) apresentou boa predição para valores de umidade a -33 kPa para os solos da Bacia do Jatobá e do Mimoso. As estimativas pelas equações de Oliveira et al. (2002) subestimaram os valores de umidade, apresentando baixa predição.

Tabela 18: Valores de umidade a -33 kPa estimada em laboratório e por diferentes funções de pedotransferência.

U _{-33 kPa} (kg kg ⁻¹)	Prof. (cm)	Curva de retenção	Oliveira et al. (2002)			Massuti (1997)	Meng et al. (1987)
			dados único	textura média	textura argilosa		
Bacia do Jatobá	35	0,161	0,125	0,124	0,072	0,132	0,151
	55	0,157	0,130	0,128	0,061	0,137	0,163
Bacia do Mimoso	15	0,154	0,119	0,119	0,047	0,127	0,131
	40	0,160	0,132	0,131	0,060	0,140	0,157
Bacia do Xaréu (Cambissolo)	20	0,158	0,328	0,321	0,426	0,359	0,564
Bacia do Xaréu (Vertissolo)	20	0,285	0,310	0,303	0,407	0,339	0,520

Observa-se na Tabela 19 que o modelo baseado na textura média proposto por Oliveira et al. (2002) foi o que apresentou a melhor predição para umidade a -1500 kPa nos solos das Bacias do Jatobá e do Mimoso. Já para a bacia do Xaréu o modelo de Massuti (1997) apresentou boa predição para o Cambissolo Háplico Sódico vértico.

Tabela 19: Valores de umidade a -1500 kPa estimada em laboratório e por diferentes funções de pedotransferência.

U _{-1500 kPa} (kg kg ⁻¹)	Prof. (cm)	Curva de retenção	Oliveira et al. (2002)			Massuti (1997)	Meng et al. (1987)
			dados único	textura média	textura argilosa		
Bacia do Jatobá	35	0,098	0,139	0,085	0,157	0,059	0,069
	55	0,097	0,150	0,095	0,165	0,060	0,075
Bacia do Mimoso	15	0,090	0,142	0,095	0,145	0,060	0,060
	40	0,097	0,152	0,099	0,164	0,063	0,072
Bacia do Xaréu (Cambissolo)	20	0,104	0,269	0,068	0,474	0,114	0,261
Bacia do Xaréu (Vertissolo)	20	0,184	0,254	0,063	0,444	0,111	0,240

Observa-se na Tabela 20 o conjunto de dados único proposto por Oliveira et al. (2002) apresentou boa predição para os solos estudados, com exceção do Vertissolo presente na Bacia do Xaréu. O modelo de Massuti (1997) também apresentou boa predição e o modelo de Meng et al. (1987) apresentou predição razoável para os solos da Bacia do Jatobá e do Mimoso, respectivamente. Todos os modelos superestimaram os valores das umidades referentes à curva de retenção.

Tabela 20: Valores de umidade estimados em laboratório e por diferentes funções de pedotransferência.

U _{-33 -1500 kPa} (kg kg ⁻¹)	Prof. (cm)	Curva de retenção	Oliveira et al. (2002)			Massuti (1997)	Meng et al. (1987)
			dados único	textura média	textura argilosa		
Bacia do Jatobá	35	0,063	0,070	0,163	0,168	0,073	0,082
	55	0,060	0,075	0,189	0,180	0,078	0,088
Bacia do Mimoso	15	0,064	0,077	0,193	0,173	0,066	0,071
	40	0,063	0,079	0,200	0,182	0,077	0,085
Bacia do Xaréu (Cambissolo)	20	0,055	0,072	0,026	0,298	0,246	0,303
Bacia do Xaréu (Vertissolo)	20	0,101	0,069	0,020	0,284	0,229	0,280

Oliveira et al. (2002), em estudo de predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do estado de Pernambuco, por meio de funções de pedotransferência, encontraram baixa capacidade preditiva, obtendo as melhores performances para equações apresentadas por Massuti (1997), as quais foram obtidas com solos da Zona da Mata Pernambucana.

Peraza (2003), utilizando solos do Rio Grande do Sul, buscou comparar as umidades medidas em laboratório (a -33 e -1500 kPa) através de curva característica e as estimadas por outros autores por meio a funções de pedotransferência, dentre eles Arruda et al. (1987), Bell et al. (1995), Massuti (1997) e Oliveira et al. (2002). As equações selecionadas para comparação demonstram baixa capacidade preditiva da umidade do solo para os diferentes potenciais. As melhores performances foram obtidas pelo emprego das equações propostas por Arruda et al. (1987) e Oliveira et al. (2002) para estimar a umidade do solo a -33 kPa. De maneira geral, as equações testadas mostraram valores subestimados de teor de água no solo retido nos potenciais especificados, com destaque para os dados estimados pela equação de Massuti (1997) e Oliveira et al. (2002).

5. CONCLUSÕES

Dentre os atributos analisados a matéria orgânica foi o que apresentou o maior coeficiente de variação nas diferentes profundidades.

Nas Bacias do Jatobá e Mimoso a condutividade hidráulica do solo saturado apresentou alta variabilidade nas camadas até 50 cm.

A diminuição do teor de areia com a profundidade e a condição de preservação da estrutura promoveu menor variabilidade da condutividade hidráulica. Na Bacia do Jatobá houve um decaimento da condutividade hidráulica do solo saturado com a profundidade, enquanto que para bacia do Mimoso a K_0 foi maior na camada superficial de 15 cm, diminuindo na profundidade de 40 cm e voltando a aumentar na profundidade de 100 cm.

Já na Bacia do Xaréu, a condutividade hidráulica do solo saturado no Cambissolo Háplico Sódico vértico e no Vertissolo Cromado sódico apresentou baixa magnitude na camada superficial, havendo um aumento na profundidade intermediária, e posterior redução na camada mais profunda.

O teor de matéria orgânica não diferiu significativamente entre os diferentes tratamentos conservacionistas.

No presente estudo, também não houve diferença significativa entre médias para condutividade hidráulica entre os diferentes tratamentos conservacionistas avaliados.

As curvas de retenção de umidade nas Bacias do Jatobá e do Mimoso apresentaram comportamento semelhante. Dentre os solos estudados, o Vertissolo tem uma maior capacidade de retenção de água. O Cambissolo apresentou-se mais sensível às tensões de 10, 33 e 100 kPa, o que promoveu um maior decaimento no início da curva. A curva experimental do Cambissolo Háplico assemelha-se ao comportamento das curvas dos Argissolos Amarelos das Bacias do Jatobá e do Mimoso. Porém, o Cambissolo apresenta uma maior disponibilidade de água.

As equações de pedotransferência propostas não apresentaram boa predição da condutividade hidráulica do solo saturado para os solos estudados, quando comparadas às determinadas pelo permeâmetro de Guelph.

As equações de pedotransferência para estimativa da umidade retida a potenciais específicos não apresentaram boa predição para os solos da Bacia do Xaréu, com exceção da equação de conjunto único de dados proposto por Oliveira et al. (2002) que apresentou boa predição para o Cambissolo nas umidades correspondentes as tensões de 33 e 1500 kPa.

Nas Bacias do Jatobá e do Mimoso, o modelo de Meng et al. (1987) apresentou boa predição para valores de umidade a 33 kPa. Já para a umidade a tensão de 1500 kPa a equação baseada na textura média proposta por Oliveira et al. (2002) foi a que apresentou a melhor predição. Adicionalmente o conjunto de dados único proposto por Oliveira et al. (2002) e o modelo de Massuti (1997) apresentaram boa predição para umidade nas tensões de 33 e 1500 kPa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. B. **O emprego do Permeâmetro de Guelph na determinação da permeabilidade do solo, de camadas de lixo e sua cobertura.** 2001. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ALEXANDER, L.; SKAGGS, R. W. Predicting unsaturated hydraulic conductivity from the water characteristic. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v.29, n.1, p.176-184, 1986.

ARAGÃO JÚNIOR, T. C. A.; MAGALHÃES, C. A.; CASTRO, P. T. Determinação da condutividade hidráulica em um solo podzólico-Vermelho-Amarelo em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.7, p.805-810, 2007.

ARRUDA, F. B.; ZULLO Jr., J.; OLIVEIRA, J. B. Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, p.11-15, 1987.

ARZENO, J. L. **Avaliação física de diferentes manejos de solo em Latossolo Roxo distrófico.** 1990. 259f. Tese Doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distrófico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.515-522, 2005.

BAGARELLO, V. Influence of well preparation on field-saturated hydraulic conductivity measured with the Guelph Permeameter. **Geoderma**, v.80, p.169-180, 1997.

BASTOS, D. C. O. **Manejo da salinidade em irrigação localizada: Análise da alternativa de lixiviação incompleta.** 2004. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BELL, M. A.; van KEULEN, H. Soil pedotransfer functions for four Mexican soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.59, p.865-871, 1995.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A.; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem Capim Elefante Anão cv Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, p.1047-1054, 2000.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.167-177, 2001.

BORGES, E.; ANTONINO, A.C.D.; DALL'OLIO, A.; AUDRY, P.; CARNEIRO, C.J.G. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo não-saturado utilizando-se permeâmetro a disco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.11, p.2083-2089, 1999.

BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. **Advances in Soil Science**, v.9, p.177-213, 1989.

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F. & SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 120p.

BUDIMAN, M.; MCBRATNEY, A. B.; BRISTOW, K. L.. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curves. **Geoderma**, v.93, p.225-253, 1999.

BUDIMAN, M.; MCBRATNEY, A. B. The neuro-m methods for fitting neural network parametric pedotransfer functions. **Soil Science Society of America Journal**. v.66, p.352-361, 2002.

BUDIMAN, M.; MCBRATNEY, A. B., CATTLE, S. R.; VERVOORT, R. W. From pedotransfer function to soil inference system. **Geoderma**, v.109, p.41-73, 2002.

BUDIMAN, M.; MCBRATNEY, A. B.; SANTOS, M. L. M.; DOS SANTOS, H. G. **Revisão sobre funções de pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do Solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 50p. (Documentos, 45).

CADIMA, A.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, no campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, p.63-66, 1980.

CAMPBELL, G.S.; SHIOZAWA, S. Prediction of hydraulic properties of soils using particle-size distribution and bulk density data. In: van Genuchten, M. Th., et al. (ed.), *Proceedings of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*. University of California, Riverside, CA, p.317-328, 1994.

CARVALHO, L. A. **Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instantâneo**. 2002. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CASTRO, O. M. **Comportamento físico e químico de um latossolo roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea Mays L.*)**. 1995. 174f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CECÍLIO, R. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MARTINEZ, M. A. Modelagem da infiltração de água no solo sob condições de estratificação utilizando-se a equação de Green-Ampt. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.415-422, 2003.

CENTURION, J.; ANDRIOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.701-709, 2000.

COELHO, E. F.; CONÇEIÇÃO, M. A. F.; SOUZA, V. A. B. Estimativa dos limites de disponibilidade de água em função da densidade global e da textura do solo. **Revista Ceres**, v.45, p.183-192, 1998.

COELHO FILHO, M. A.; RUBENS D. COELHO, R. D.; GONÇALVES, A. C. A. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas do solo em um pomar de lima ácida Tahiti, irrigado por microaspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.239-246, 2001.

CORNELIS, W. M.; RONSYN, J.; MEIRVENNE, M. V.; HARTMANN, R. Evaluation of pedotransfer functions for predicting the soil moisture retention curve. **Soil Science Society of America Journal**. v.65, p.638-648, 2001.

COSBY, B. J.; HORNBERGER, G. M.; CLAPP, R. B.; GINN, T. R. A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. **Water Resources Research**, v.20, p.682-690, 1984.

COSTA, W. A.; OLIVEIRA, C. A. S.; KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho- Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.515-523, 2008.

COSTA, C. S.; SILVA, G. B.; SILVA, J. J. N.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A. Estimativa da condutividade hidráulica saturada através de funções de pedotransferência e os valores determinados em laboratório. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, MS-Brasil, 2009.

COUTO, L.; SANS, L. M. A. Características físico-hídricas e disponibilidade de água no solo. Sete Lagoas, Minas Gerais: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2002. (MAPA. Circular Técnica, nº21).

DALBIANCO, L. **Variabilidade espacial e estimativa da Condutividade hidráulica e caracterização Físico-hídrica de uma microbacia hidrográfica Rural**. 2009. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

DANE, J. H. Comparison of field and laboratory determined hydraulic conductivity values. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.12-8, 1980.

DOURADO, K. A. **Condutividade Hidráulica de Materiais de Baixa Permeabilidade: Desenvolvimento, Construção e Teste de um Sistema de Medida**. 2003. 89f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado e da taxa de infiltração básica determinadas "in situ". **Ciência e Agrotecnologia**, Edição Especial, p.1607-1613, 2003.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D. Methods for analyzing constant – head well permeameter data. **Soil Science Society of American Journal**. v.56, n.1, p.320-323, 1992.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D.; TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. **Groundwater Monitoring Review**. v.9, n.3, p.184 –193, 1989.

EMBRAPA. Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco. Recife: Embrapa Solos - UEP Recife; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 252 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, 11). 1 CD Rom.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos (Rio de Janeiro, RJ). Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife: SUDENE-DRN/Ministério da Agricultura – DNPEA-DDP, 1973. **Boletim Técnico**, 26, SUDENE – DRN. Série Pedologia, 14.

FERREIRA, S. T. **Avaliação da relação entre a condutividade hidráulica do solo saturado com parâmetros físicos de um latossolo vermelho distrófico submetido a dois diferentes manejos**. 2008. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciência – Área de Física) Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

FIELD, J. A.; PARKER, J. C.; POWELL, N. L. Comparison of field and laboratory-measured and predicted hydraulic properties of soil with macropores. **Soil Science**, v.138, n.6, p.385-396, 1984.

FIORIN, T. T. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. 2008. 116f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

FREDLUND, D. G.; RAHARDJO, H. Soil Mechanics for Unsaturated Soils, New York: John Wiley & Sons, Inc, 1993. p.517.

GARDNER, W. R. Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. **Soil Science**, v.85, p.228–232, 1958.

GERSCOVICH, D. M. S. Equações para modelagem da curva característica aplicadas a solos brasileiros. In: IV Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, 2001, Porto Alegre, RS-Brasil.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. 2000. 89f. Tese Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J. Marked differences between van Genuchten soil water-retention parameters for temperate and tropical soils: A new water-retention pedo-transfer functions developed for tropical soils. **Geoderma**, v.108, p.155-180, 2002.

IPA. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação.** 3.ed. revisada. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008. 212p.

LEE, DO-H. Comparing the inverse parameter estimation approach with pedo-transfer function method for estimating soil hydraulic conductivity. (2005). **Geosciences Journal**, v.9, n.3, p.269-276, 2005.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo.** Piracicaba: Edição do Autor, ESALQ, Departamento de Física e Meteorologia, 1995, 497p.

LISBOA, R. L. L. **Determinação da condutividade hidráulica não saturada de solos residuais com o permeâmetro Guelph e ensaios de laboratório.** 2005. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LOYOLA, J. M. T.; PREVEDELLO, C. L. Modelos analíticos para predição do processo da redistribuição da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.783-787, 2003.

LUZ, L. R. Q. P.; LIMA, S. L. Atributos físicos e hídricos de solos em topossequência de tabuleiros costeiros. **Revista Energia na Agricultura**, v.23, n.4, p.44-59, 2008.

KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis I. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling.* Madison: **American Society of Agronomy**, 1965. cap.13, p.210-221.

MARQUES, F. A. **Caracterização e classificação de solos da Ilha de Fernando de Noronha (PE).** 2004. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MARQUES, F. A.; RIBEIRO, M. R.; BITTAR, S. M. B.; LIMA NETO, J. A.; LIMA, J. F. W. F. Caracterização e classificação de Cambissolos do Arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1023-1034, 2007a.

MARQUES, F. A.; RIBEIRO, M. R.; BITTAR, S. M. B.; TAVARES FILHO, A. N.; LIMA, J. F. W. F. Caracterização e classificação de Neossolos da ilha de Fernando de Noronha (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1553-1562, 2007b.

MASUTTI, M. M. **Caracterização da água disponível a partir de parâmetros físicos-hídricos em solos da zona da mata do Estado de Pernambuco.** 1997. 69f. Tese (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Rural de Pernambuco, Recife.

MCBRATNEY, A. B.; BUDIMAN, M.; CATTLE, S. R.; VERVOORT, R. W. From pedotranfer functions to soil inference systems. **Geoderma**, v.109, p.41-73, 2002.

MELO FILHO, J. F. **Variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica em função da umidade de um latossolo sob condições de campo.** 2002. 145f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MENG, T. P.; TAYLOR, H. M.; FRYREAR, D. W.; GOMEZ, J. F. Models to predict water retention in semiarid sandy soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.51, p.1563-1565, 1987.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.963-969, 2004.

MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; MONTENEGRO, A. A. A. Utilização de metodologia indireta para estimativa de propriedades hidráulicas de solos do semiárido do Nordeste. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999.

MONTENEGRO, S. M. G. L. & MONTENEGRO, A. A. A. Aproveitamento sustentável de aquíferos aluviais no semiárido. In: CABRAL, J. J. S.; FERREIRA, J. P. C. L.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COSTA, W. (eds.). *Água subterrânea: aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2004. cap.2, p.61-117.

MONTENEGRO, A. A. A.; RIBEIRO, M. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CORRÊA, M. M.; SANTOS, T. E. M. (2009a). Potencialidades hídricas superficiais de Fernando de Noronha, PE, e alternativas para incremento da oferta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, (Suplemento), p.931-939, 2009a.

MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; AZEVEDO, J. R. G.; ANTONINO, A. C. D.; SANTOS, T. E. M.; OLIVEIRA, L. M. M.; MOURA, A. E. S. S. Estudos hidrológicos em bacias experimentais e representativas da rede de hidrologia do semiárido (Pernambuco, Brazil). In: 9º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA), Benguela-Angola, 2009b.

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H.; LIBARDI, P. L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, v.54, p.393-403, 1995.

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

NOBRE, E. M. G. **Estudo experimental da condutividade hidráulica de solo argiloso compactado: contaminação por gasolina**. 2004. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

OLIVA, A.; KIANG, C. H.; CHANG, M. R. C. Determinação da condutividade hidráulica da formação rio claro: análise comparativa através de análise granulométrica e ensaios com permeâmetro guelph e testes de slug. **Águas Subterrâneas**, v.19, n.2, p.1-17, 2005.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; RODRIGUES, J. J. V.; MARQUES, F. A. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.315-323, 2002.

PERAZA, J. E. S. **Retenção de água e pedofunções para solos do Rio Grande do Sul**. 2003. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – área de concentração água e solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

POTT, C. A. **Determinação da velocidade de infiltração básica de água no solo por meio de infiltrômetros de aspersão, de pressão e de tensão, em três solos do estado de São Paulo**. 2001. 77f. Dissertação (Mestrado em Agricultura tropical e subtropical-Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais) - Instituto Agrônomo, Campinas.

RAGAB, R.; COOPER, J. D. Variability of unsaturated zone water transport parameters: implications for hydrological modelling. 1. In situ measurements. **Journal of Hydrology**, v.148, p.109-131, 1993.

RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L.; SAXTON, K. E. Estimation of soil water properties. **American Society of Agricultural Engineers**, v.25, n.5, p.1316-1320 & 1328, 1982.

RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L. A procedure to predict Green and Ampt infiltration parameters. In: Advances in Infiltration. ASAE, St. Joseph, MI. p.102-112, 1983.

RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L. Prediction of soil water properties for hydrologic modeling. Proceedings of Symposium on Watershed Management. **American Society of Civil Engineers**, p.293-299, 1985.

RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L. Estimation of soil water retention and hydraulic properties. In: MOREL-SEYTOUX, H. J. (ed.), Unsaturated Flow in Hydrologic Modeling Theory and Practice, Kluwer Academic Publisher, p. 275-300, 1989.

REICHARDT, K. **Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**. 4.ed. Campinas: Fund. Cargill. 1985. 466p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the α -parameter using the Guelph permeameter. **Soil Science**, v.140, n.4, p.292-302, 1985.

RIBEIRO, M. R.; MARQUES, F. A.; BITTAR, S. M. B.; FERRAZ, F. B.; JACOMINE, P. K. T.; LIMA, J. F. W. F. Caracterização e classificação dos solos do Arquipélago de Fernando de Noronha. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Anais...Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CD Rom.

RODRIGUES, L. N.; PRUSKI, F. F. Otimização do desempenho de sistemas de irrigação do tipo pivô central com o uso da equação de Green-Ampt. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1997, Anais...Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, CD Rom.

SANTANA, M.B; SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; FONTES, L. E. F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.1-12, 2006.

SANTOS, E. S.; SILVA, J. R. L.; ANDRADE, T. S.; MONTENEGRO, A. A. A. Caracterização morfométrica da bacia experimental do riacho jatobá Pesqueira-PE. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo, SP-Brasil.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA JUNIOR, V. P. (2008). Erosão hídrica e perda de carbono orgânico em diferentes tipos de cobertura do solo no semiárido, em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.13, n.2, p.113–125, 2008.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, E. M. R. (2009a). Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.3, p.217–225, 2009a.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PONCIANO, I. M.; SILVA, J. R. L. Calibração de sonda capacitiva em três Argissolos na Bacia Representativa do Alto Ipanema, semiárido de Pernambuco. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009b, Fortaleza, CE-Brasil.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PONCIANO, I. M.; SILVA, J. R. L.; SILVA, T. P. N.; GUSMÃO, M. A. M. Efeito das condições de superfície na erosão e umidade do solo, In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009c, Campo Grande, MS-Brasil.

SARVASI, F. O. C. **Dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das culturas em função do preparo do solo**. 1994. 147f. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SAS. The SAS System for windows: Release version: 6.8, 3.ed. Cary: 1998. CD Rom.

SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J.; ROMBERGER, J.S.; PAPENDICK, R.I. Estimating Generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society of America Journal*, v.50, p.1031-1036, 1986.

Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente – SECTMA (2006). Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco. Recife: A Secretaria, 104p.

SCHERPINSKI, N. I. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos e do rendimento de grãos de soja em um Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto e convencional**. 2003. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

SILVA, A. M. **Banco de dados de curvas de retenção de água de solos brasileiros**. 2005. 141f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

SILVA, E. M.; AZEVEDO, J. A.; RAUBER, J. C.; REATTO, A. Caracterização Físico hídrica e Hidráulica de Solos do Bioma Cerrado Submetidos a Diferentes Sistemas de Preparo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2003. 22p.

SILVA, E. B.; LIBARDI, P. L. Propriedades hidráulicas de um solo não saturado utilizando-se o permeâmetro a disco. *Scientia Agrícola*, v.57, n.3, p.525-529, 2000.

SILVA, J. R. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, T. E. M.; PONCIANO, I. M. Caracterização da condutividade hidráulica em bacia representativa do semiárido pernambucano-Brasil. 9º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA), 2009a, Benguela, Angola.

SILVA, J. R. L.; SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; COELHO, P.; PONCIANO, I. M. Potencial hidrológico e instrumentação de bacia hidrográfica experimental em Fernando de Noronha para fins de gestão de recursos hídricos. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009b, Campo Grande-MS.

SOIL MOISTURE EQUIPMENT CORPORATION. Guelph permeameter model 2800 (User manual). Santa Barbara, **Soil moisture**, 1991.

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIM NETO, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.338-342, 2000.

SOUZA, L. S.; PAIVA, A. Q. Variação do potencial total da água em uma toposseqüência de solos de tabuleiro, durante dois anos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.2, p.349-355, 2001.

StatSoft Inc., 1984-2004. STATISTICA 7.0.

TAVARES, M. H. F.; FELICIANO, J. J. S.; VAZ, C. M. P. Análise comparativa de métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. **Revista Irriga**, v.13, n.4, p.517-524, 2008.

TORMASELLA, J.; HODNETT, M. Estimating unsaturated hydraulic conductivity of Brazilian soils using soil-water retention data. **Soil Science**, v.162, n.10, p.702-712, 1997.

TREVISAN, R.; SALEMI, L. F.; MORAES, J. M.; OLIVEIRA, J. C. M. Condutividade hidráulica do solo saturado na zona vadosa in situ e em laboratório. **Revista Irriga**, v.14, n.3, p.413-422, 2009.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VAN GENUCHTEN, M. Th.; LEIJ, F. J.; LUND, L. J. Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. In: INTERNATIONAL WORKSHOP, 1992, Proceedings... Riverside: University of California.

VEREecken, H.; MAES, J.; FEYEN, J.; DARIUS, P. Estimating the soil moisture retention characteristics from texture, bulk density and carbon content. **Soil Science, Baltimore**, v.148, n.6, p.389-403, 1989.

VEREecken, H., MAES, J., FEYEN, J. Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil properties. **Soil Science**, v.149, p.1-12, 1990.

VIEIRA, S. R. Uso da geoestatística em estudos de variabilidade espacial. In: Curso de atualização em conservação do solo. Campinas: IAC, 1995. 61p.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP), **Bragantia**, v.56, p.181-190, 1997.

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: GIS Brasil'98. Curitiba: [s.n.], 1998. 53p.

ZAPE. Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco / Fernando Barreto Rodrigues e Silva.[*et al.*]. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária), 2001. CD-ROM. (Embrapa Solos. Documentos; no. 35). ZAPE Digital.

ZHANG, F. Z., GROENEVELT, P. H., PARKIN, G. W. The well-shape factor for the measurement of soil hydraulic properties using the Guelph Permeameter. **Soil and Tillage Research**, v.49, p.219-221, 1998.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil, *Commun, in Soil Science ,Plant Anal*, v.19, p.1467-1476, 1988.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics. New York: Academic Press, p.319-344, 1980.

WÖSTEN, J. H. M.; SCHUREN, C. H. J. E.; BOUMA, J.; STEIN, A. Functional sensitivity analysis of four methods to generate soil hydraulic functions. **Soil Science Society of America Journal**, v.54, p.832-836, 1990.

WÖSTEN, J. H. M.; LILLY, A.; NEMES, A.; LE BAS, C. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. **Geoderma**, v.90, p.169-185, 1999.

WÖSTEN, J. H. M.; PACHEPSKY, Y. A. A.; RAWLS, W. J. Pedotransfer functions: bringing the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. **Journal of Hydrology**, v.251, p.123-150, 2001.

