



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Centro de Ciências Agrárias

Departamento de Solos e Engenharia Rural

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

**FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA ESTIMATIVA DE
RETENÇÃO DE ÁGUA EM SOLOS DA MESORREGIÃO DO AGRESTE
PARAIBANO**

Petrus Luiz de Luna Pequeno

Areia, PB

Fevereiro – 2016

PETRUS LUIZ DE LUNA PEQUENO

**FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA ESTIMATIVA DE
RETENÇÃO DE ÁGUA EM SOLOS DA MESORREGIÃO DO AGRESTE
PARAIBANO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Doutor em Ciência do Solo”.
Área de concentração: Relação Solo-Água-Planta-Atmosfera.

Orientador: Prof. Flávio Pereira de Oliveira, Dr.

Areia, PB

Fevereiro – 2016

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

P425f Pequeno, Petrus Luiz de Luna.

Funções de pedotransferência para estimativa de retenção de água em solos da
mesorregião do agreste paraibano / Petrus Luiz de Luna Pequeno. - Areia:
UFPB/CCA, 2016.

xxv, 188 f. : il.

Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade
Federal da Paraíba, Areia, 2016.

Bibliografia.

Orientador: Flávio Pereira de Oliveira.

1. Solos – Retenção de água 2. Solos – Pedotransferência 3. Solos – Atributos
físicos 4. Solos representativos I. Oliveira, Flávio Pereira de (Orientador) II. Título.

UFPB/CCA

CDU: 631.4(043.2)

PETRUS LUIZ DE LUNA PEQUENO

**FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA ESTIMATIVA DE RETENÇÃO
DE ÁGUA EM SOLOS DA MESORREGIÃO DO AGRESTE PARAIBANO**

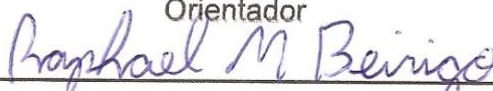
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de "Doutor em Ciência do Solo".
Área de concentração: Relação Solo-Água-Planta-Atmosfera.

Aprovada em 29 / 02 /2016

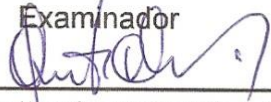
BANCA EXAMINADORA


Prof.º Dr. Flávio Pereira de Oliveira
PPGCS/CCA/UFPB

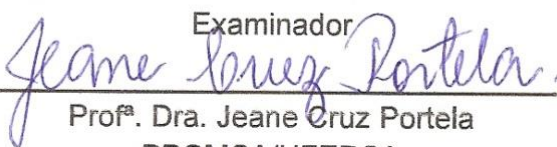
Orientador


Prof.º Dr. Raphael Moreira Beirigo
PPGCS/CCA/UFPB

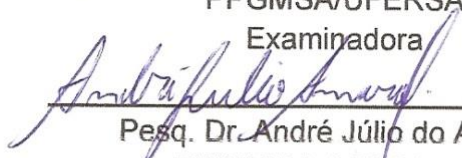
Examinador


Prof.º Dr. Guttemberg da Silva Silvino
PPGCS/CCA/UFPB

Examinador


Prof.ª Dra. Jeane Cruz Portela
PPGMSA/UFERSA

Examinadora


Pesq. Dr. André Júlio do Amaral
EMBRAPA SOLOS - PE
Examinador

DEDICATÓRIA

Ao Grande incentivador e sonhador desse título, meu Pai LUIZ DE LUNA PEQUENO (In Memoriam), a Grande Guerreira e motivo de estarmos aqui, minha Mãe ROSILDA DE LUNA PEQUENO. Eles me ensinaram com palavras e ações o valor da honestidade, persistência e valoração do conhecimento como única ferramenta transformadora do homem;

A minha Guerreira e Esposa Jemima Batista pelo apoio, força e dedicação a nossa família e por não ter me deixado desistir, mesmo nos momentos mais difíceis onde eu não encontrava saída;

Aos meus Amados filhos Andrew Luigi, Kayque DeCesare e Amanda Louise pelo simples fato de existirem em nossas vidas e por permitirem amá-los intensamente;

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto Do Universo, por nossa existência.

A minha Família, razão de tudo, através da qual pudemos chegar até este momento (Pai, Mãe, Esposa e Filhos);

Ao meu irmão Alex Bakalla por nunca ter desistido da vida, por mais pesada que fosse a carga.

As minhas irmãs Maria Alice e Andreia por todas as experiências nesse período.

Ao querido amigo Eduardo e sua linda família pela sempre demonstração de amizade.

Ao querido amigo Sivaldo e toda família por todo apoio e carinho a nossa família.

A todos os irmãos do Oriente ao Ocidente, cunhadas, sobrinhos e sobrinhas pela sempre fraternidade, exemplo de esperança, lealdade e bem comum, em especial aos estimados irmãos Cláudio Luiz do Amaral Santini, Antonio Ricciotti, Maurílio Galvão, Leonardo Tinôco, Evandro Franklin de Mesquita.

Ao meu irmão e sanfoneiro João Marinho (*In memoria*), pelos ensinamentos e por tudo de bom que nos permitiu compartilhar nessa nossa curta estrada da vida como músicos.

Ao meu orientador, Professor Dr. Flávio Pereira de Oliveira, por ter-me acolhido no momento em que eu desacreditava que algo pudesse mudar dentro do Programa, sendo além de tudo um Amigo, dando-me confiança e credibilidade, mostrando novas possibilidades e que vale sempre a pena buscar uma nova alternativa para renovar as esperanças, mesmo quando alguns disseram que não. Um exemplo para os novos e também aos mais antigos orientadores do que é verdadeiramente acompanhar e contribuir para o crescimento de um pós-graduando, sem falácias nem soberba, mas com compartilhamento do saber de forma reta, ativa e humilde.

Aos meus inspiradores à docência e pesquisa, professores José Pires Dantas, Ivandro de França da Silva e Egberto Araújo pela retidão, clareza e honestidade na minha formação, ambos são mais que mestres, são verdadeiras Colunas edificadas no saber relativo a conhecimento e no saber no sentido de compartilhar esse conhecimento.

Ao professor e amigo Walter Esfrain pela sua simplicidade e prontidão para ajudar a todos, não importando dia nem horário.

Aos amigos Joca, Carmelita, Luiz, Joel, Leandro, Junior, Nen e Pedro da família Marinho da Silva pela sempre e verdadeira amizade.

Ao amigo José Oliveira e sua esposa Elita por tudo que representam como amizade verdadeira e espírito de fraternidade.

Ao primo/amigo João Pequeno por ter sido todo esse tempo uma pessoa extraordinária para nossa família, por ter cuidado tão bem dentro de suas possibilidades do meu saudoso e amado Pai.

Ao amigo Francisco e sua esposa Márcia pela amizade e palavras encorajadoras e orações pelo bem estar de nossa família.

A Fundação Universidade Federal de Rondônia, pelo apoio e incentivo à qualificação, em especial ao Núcleo de Tecnologia por ter derrubado uma barreira de mediocridade e feito valer o melhor para a Instituição.

Aos amigos Robeval Diniz Santiago, Patrocínio, Lula e Chico por tudo que fizeram e tem feito durante nossa trajetória desde a graduação até agora, no doutoramento.

A dona Marielza, Cícero e Genildo pela paciência e exemplo de vontade de trabalhar, mesmo com tantas adversidades.

Ao amigo Petrônio Gondim, cabra da peste, amigo pra toda as horas que me deu forças pra continuar na batalha e vencer essa guerra.

A minha amiga Stela Prazeres pelo sempre incentivo e por tudo que nos proporcionou com sua verdadeira amizade.

Aos Docentes e amigos Márcia Targino e Guttemberg Silvino por terem ajudado sem ao menos saberem o quanto aquelas caronas fizeram diferença em momentos muito difíceis.

Ao amigo Jairo Schlindwein e toda família pela grande amizade, insistência e persistência para que eu enveredasse para o doutoramento.

A amiga Rubiani Pagotto e esposo José Carlos pela amizade e carinho com minha família, principalmente nos momentos em que estive longe.

Aos amigos (as) do PPGCS Adriana Martins, Fabiana, Runmenigue, Wagner, Wellington, Tarcisio, Rodolfo, Vanessa, Maely, Tancredo, Begna, Belchior, Fabiana Donato, Juliana, Cassiana, Jardelio, João Caatinga e todos cujos nomes aqui não estão, mas que na nossa memória permanecem suas fisionomias e no coração suas ações.

Nosso Fraterno Obrigado



NOSSA MENSAGEM

Tomo por empréstimo as palavras da canção “Nunca pare de sonhar” de Gonzaguinha:

Ontem um menino que brincava me falou
HOJE é a semente do AMANHÃ
Para NÃO TER MEDO que este tempo VAI PASSAR
NÃO se desespere, nem pare de SONHAR
NUNCA se entregue, nasça SEMPRE com as manhãs
DEIXE a luz do sol brilhar no céu do seu olhar
FÉ na vida, Fé no homem, Fé no que virá
Nós PODEMOS tudo, nós PODEMOS mais
Vamos lá fazer o que será

“Não precisamos fazer com que nossos alunos passem pelas mesmas dificuldades as quais passamos para que possam chegar onde chegamos, pois, nosso Mestre não quer que sejamos crucificados, como Ele foi, para podermos chegar até Ele! ”

(Petrus de Luna)

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	v
AGRADECIMENTOS	vi
SUMÁRIO.....	x
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	xxi
RESUMO.....	xxiii
ABSTRACT	xxv
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1 Hipóteses	2
1.2 Objetivos	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Caracterização regional	3
2.2 Classes de solo	3
2.2.1 Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd).....	3
2.2.2 Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (Pve)	4
2.2.3 Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA).....	5
2.2.4 Planossolo Háptico Eutrófico vertissólico (SX)	5
2.2.5 Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL)	6
2.2.6 Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ).....	6
2.3 Uso atual do solo	7
2.4 Fatores físicos que influenciam na retenção de água pelo solo	7
2.4.1 Granulometria	7
2.4.2 Densidade do solo	9
2.4.3 Agregação do solo	10
2.4.4 Porosidade do solo	11
2.4.5 Matéria orgânica	13
2.5 Funções de Pedotransferência (FPTs)	14
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
CAPÍTULO 1	29
RESUMO.....	30
ABSTRACT	31
1. INTRODUÇÃO	32
2. MATERIALE MÉTODOS	34

2.1	Formação do banco de dados geográfico	34
2.2	Localização das classes de solo estudadas e respectivos usos atuais ...	34
2.3.	Coleta de amostras de solo	36
2.4	Determinação dos atributos físicos	37
2.2.4.1	Granulometria	37
2.2.4.2	Argila dispersa em água (ADA).....	37
2.2.4.3	Grau de floculação (GF)	38
2.2.4.4	Estabilidade de Agregados	38
2.2.4.5	Densidade do solo (Ds)	38
2.2.4.6	Densidade de partículas (Dp)	38
2.2.4.7	Porosidade total do solo (Pt), macroporosidade (MACP) e microporosidade (MICP)	39
2.2.4.8	Condutividade hidráulica saturada do solo (Ksat).....	39
2.2.4.9	Curva de retenção de água (CRA).....	39
2.5	Determinação dos atributos químicos do solo.....	40
2.6	Sistematização do banco de dados geográfico.....	40
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1	Análise granulométrica do solo	41
3.2	Agregação do Solo.....	45
3.2.1	Distribuição percentual de tamanho de agregados.....	45
3.2.2	Diâmetro médio ponderado de agregados secos (DMPA _s) e Úmidos (DMPA _u).....	48
3.2.3	Índice de Estabilidade de Agregados (IEA)	52
3.2.4	Argila dispersa em água (ADA) e Grau de floculação (GF)	57
3.3	Estrutura do solo	58
3.4	Dinâmica da água	62
3.4.1	Condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat).....	62
3.4.2	Curva de retenção de água no solo	64
4.	CONCLUSÕES.....	85
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
	CAPÍTULO 2	98
	RESUMO.....	99
	ABSTRACT	100
1.	INTRODUÇÃO.....	101
2.	MATERIAL E MÉTODOS	104
2.1	Banco de dados	104

2.2. Geração e obtenção das funções de pedotransferências (FPT)	104
2.2.1 FPT geradas através do banco de dados	105
2.2.2 Avaliação da eficiência das funções de pedotransferências	105
2.3. Aplicação das funções de pedotransferências obtidas a partir da literatura	106
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	108
3.1 Amplitude de variação dos componentes do banco de dados	108
3.2 Análise de correlação entre as variáveis e a retenção de água nos diferentes potenciais matriciais (Ψ_m) com $P (\leq 0,05)$	110
3.3 Funções de pedotransferências desenvolvidas a partir de dados granulométricos e estruturais	118
3.3.1 Funções de pedotransferência para o Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA)	118
3.3.2 Funções de pedotransferência para o Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd)	123
3.3.3 Funções de pedotransferência para o Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (PVe)	127
3.3.4 Funções de pedotransferência para o Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL)	132
3.3.5 Funções de pedotransferência para o Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ)	136
3.3.6 Funções de pedotransferência para o Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX)	140
3.4 FPT desenvolvidas considerando banco de dados único	149
3.4.1 Correlação entre as variáveis e o conteúdo de água retido	149
3.4.2 Funções de pedotransferências geradas	150
3.4.3 Comportamento do R^2 , ME e RMSE frente à relação BD único vs BD individuais	165
3.5 Avaliação de funções de pedotransferências da literatura através de indicadores estatísticos	167
4. CONCLUSÕES	172
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	173
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	174
7. APÊNDICES	183

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1.	Resultado da análise granulométrica nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm das seis classes de solos e respectivas classificações texturais.....	42
Tabela 2.	Distribuição percentual da massa de agregados obtida por peneiragem via seca e via úmida sob diferentes profundidades.....	47
Tabela 3.	Diâmetro médio ponderado dos agregados nas diferentes classes de solos obtidos por peneiragem via seca.....	49
Tabela 4.	Diâmetro médio ponderado dos agregados nas diferentes classes de solos obtidos por peneiragem via úmida.....	51
Tabela 5.	Valores mínimos, máximos e médios do índice de estabilidade de agregados (IEA) em água nas seis classes de solo.....	53
Tabela 6.	Parâmetros químicos e físicos auxiliares na interpretação dos valores de IEA nos solos estudados.....	56
Tabela 7.	Valores mínimos, máximos e médios de argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF) nos solos estudados.....	58
Tabela 8.	Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total nas seis classes de solo estudadas.....	60
Tabela 9.	Valores mínimos, máximos e médios da densidade do solo nas seis classes estudadas.....	61
Tabela 10.	Valores de condutividade hidráulica (Ksat) das seis classes de solos representativas do estado da Paraíba.....	63

Capítulo 2

Tabela 1.	Funções de pedotransferências selecionadas a partir da literatura.....	107
Tabela 2.	Valores mínimos, máximos e médios dos teores de areia, silte e argila em três profundidades nas seis classes de solo estudadas.....	109
Tabela 3.	Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e a umidade retida a diferentes potencias das amostras do Argissolo Vermelho Distrófico abráptico (PVd) utilizadas para gerar e validar as FPTs.....	111
Tabela 4.	Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e a umidade retida a diferentes potencias das amostras do Argissolo Vermelho Eutrófico abráptico (PVe) utilizadas para gerar e validar as FPTs.....	112
Tabela 5.	Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e a umidade retida a diferentes potencias das amostras do Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA) utilizadas para gerar e validar as FPTs.....	113
Tabela 6.	Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e a umidade retida a diferentes potencias das amostras do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ) utilizadas para gerar e validar as FPTs.....	115
Tabela 7.	Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e a umidade retida a diferentes potencias das amostras do Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) utilizadas para gerar e validar as FPTs.....	116
Tabela 8.	Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e a umidade retida a diferentes potencias das amostras do Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX) utilizadas para gerar e validar as FPTs.....	117
Tabela 9.	Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais ($-\Psi_m$) para estimativa da retenção de água no Latossolo Amarelo Distrófico argissólico do município de Cuité-PB na profundidade de 0-20 cm.....	118

Tabela 10.	Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais ($-\Psi_m$) para estimativa da retenção de água no Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd) do município de Areia-PB na profundidade de 0-20 cm.....	124
Tabela 11.	Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais ($-\Psi_m$) para estimativa da retenção de água no Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (PVe) do município de Alagoa Grande-PB na profundidade de 0-20 cm.....	128
Tabela 12.	Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais ($-\Psi_m$) para estimativa da retenção de água no Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) do município de Pocinhos-PB na profundidade de 0-20 cm.....	133
Tabela 13.	Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais ($-\Psi_m$) para estimativa da retenção de água no Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ) do município de Pocinhos-PB na profundidade de 0-20 cm.....	137
Tabela 14.	Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais ($-\Psi_m$) para estimativa da retenção de água no Planossolo Háptico Eutrófico vertissólico (SX) do município de Cuité-PB na profundidade de 0-20 cm.....	141
Tabela 15.	Resumo das funções de pedotransferência geradas e validadas por classe de solo e respectivos coeficientes de determinação, erro médio e raiz quadrada do erro médio quadrado.....	146
Tabela 16.	Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e o conteúdo de água retida em diferentes potenciais matriciais para o banco de dados unificado.....	150
Tabela 17.	Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais ($-\Psi_m$) para estimativa da retenção de água na profundidade de 0-20 cm em banco de dados unificado.....	152
Tabela 18.	Resumo das FPT geradas e validadas para cada potencial matricial com respectivos R^2 , ME e RMSE utilizando banco de dados único para as seis classes de solos representativos do estado da Paraíba.....	164

Tabela 19.	Avaliação das funções de pedotransferências apresentadas na literatura baseada nos indicadores estatísticos ME, RSME e R^2 no banco de dados unificado de solos da Mesorregião do Agreste do estado da Paraíba.....	169
-------------------	---	------------

Apêndice

Apêndice 1A.	Valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferências para o Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (PVd).....	183
Apêndice 2A.	Valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferências para o Argissolo Vermelho Eutrófico abruptico (PVe).....	184
Apêndice 3A.	Valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferências para o Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA).....	185
Apêndice 4A.	Valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferências para o Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ).....	186
Apêndice 5A.	Valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferências para o Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL).....	187
Apêndice 6A.	Valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferências para o Planosso Háptico Eutrófico vertissólico (SX).....	188

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1	Curva de retenção de água em três profundidades no Argissolo Vermelho Distrófico abrupto do município de Areia-PB.....	66
Figura 2.	Conteúdo de água Disponível no PVd nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm do município de Areia-PB.....	67
Figura 3	Curva de retenção de água nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm no Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto do município de Alagoa Grande-PB.	68
Figura 4.	Conteúdo de água Disponível no Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm no município de Alagoa Grande-PB.....	69
Figura 5.	Curva de retenção de água em três profundidades no Latossolo Amarelo Distrófico argissólico do município de Cuité-PB.....	70
Figura 6.	Conteúdo de água Disponível no Latossolo Amarelo Distrófico argissólico do município de Cuité-PB.....	71
Figura 7.	Curvas de retenção de água do Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd), Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (PVe) e Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA) nas profundidades de 0-5 (A), 5-10 (B) e 10-20 cm (C) em oito potenciais matriciais.....	73
Figura 8	Conteúdo de água Disponível (AD) Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd), Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (PVe) e Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA).....	75
Figura 9.	Curva de retenção de água em três profundidades no Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) do município de Pocinhos – PB.....	76
Figura 10.	Conteúdo de água Disponível (AD) no Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) do município de Pocinhos – PB.....	78
Figura 11.	Curva de retenção de água em três profundidades no Neossolo Quartzarenico Órtico típico (RQ) do município de Pocinhos – PB.....	79

Figura 12.	Conteúdo de água Disponível (AD) no Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ) do município de Pocinhos – PB.....	80
Figura 13.	Curva de retenção de água em três profundidades no Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (RQ) do município de Cuité – PB.	81
Figura 14.	Conteúdo de água disponível (AD) no Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (RQ) do município de Cuité – PB.....	82
Figura 15.	Curvas de retenção de água do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ), Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) e Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX) nas profundidades de 0-5 (A), 5-10 (B) e 10-20 cm (C) em oito potenciais matriciais.....	83
Figura 16.	Conteúdo de água disponível (AD) nas classes de solo Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ), Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) e Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX) na profundidade de 0-20 cm.....	84

Capítulo 2

Figura 1.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido nos potenciais $\Psi_{-0,006}$, $\Psi_{-0,01}$, $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$ no Latossolo Amarelo do município de Cuité-PB.....	120
Figura 2.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido nos potenciais $\Psi_{-0,006}$, $\Psi_{-0,01}$, $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$ no Argissolo Vermelho Amarelo do município de Areia-PB.....	126
Figura 3.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido nos potenciais $\Psi_{-0,006}$, $\Psi_{-0,01}$, $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$ no Argissolo Vermelho distrófico do município de Alagoa Grande-PB.....	131
Figura 4.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido nos potenciais $\Psi_{-0,006}$, $\Psi_{-0,01}$, $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$ no Neossolo Litólico do município de Pocinhos-PB.....	135
Figura 5.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido nos potenciais $\Psi_{-0,006}$, $\Psi_{-0,01}$, $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$ no Neossolo Regolítico do município de Pocinhos-PB.....	139
Figura 6.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido nos potenciais $\Psi_{-0,006}$, $\Psi_{-0,01}$, $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$ no Planossolo Háplico do município de Cuité-PB.....	144
Figura 7.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial $\Psi_{-0,006}$ considerando o banco de dados uniforme.....	154
Figura 8.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial $\Psi_{-0,001}$ considerando o banco de dados uniforme.....	155
Figura 9.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial $\Psi_{-0,033}$ considerando o banco de dados uniforme.....	157

Figura 10.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial Ψ -0,1 considerando o banco de dados uniforme.....	158
Figura 11.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial Ψ -0,3 considerando o banco de dados uniforme.....	159
Figura 12.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial Ψ -0,5 considerando o banco de dados uniforme.....	160
Figura 13.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial Ψ -1,0 considerando o banco de dados uniforme.....	162
Figura 14.	Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial Ψ -1,5 considerando o banco de dados uniforme.....	163
Figura 15.	Valores de erro médio (EM) utilizando bancos de dados individualizados e unificado nas seis classes de solos representativas do estado da Paraíba dentro de cada potencial matricial.....	165
Figura 16.	Valores da raiz quadrada do erro médio ao quadrado (RMSE) utilizando bancos de dados individualizados e unificado nas seis classes de solos representativas do estado da Paraíba dentro de cada potencial matricial.....	166

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Símbolo	Descrição	Unidade
FPT	Função de pedotransferência	
AMG	Areia muito grossa	g kg^{-1}
AG	Areia grossa	g kg^{-1}
AM	Areia média	g kg^{-1}
AF	Areia fina	g kg^{-1}
AMF	Areia muito fina	g kg^{-1}
AREIA T	Areia total	g kg^{-1}
Si	Silte	g kg^{-1}
Arg	Argila	g kg^{-1}
MO	Matéria orgânica	g kg^{-1}
CO	Carbono orgânico	g kg^{-1}
DS	Densidade do solo	kg dm^{-3}
Ksat	Condutividade Hidráulica saturada	cm h^{-1}
MICP/Micro	Microporosidade	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
MACP/Macro	Macroporosidade	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
PT	Porosidade total	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
DMPA _S	Diâmetro médio ponderado de agregado via seca	mm
DMPA _U	Diâmetro médio ponderado de agregado via úmida	mm
IEA	Índice de estabilidade de agregados em água	adimensional
GFLOC	Grau de floculação	%
ADA	Argila dispersa em água ou Argila natural	%
DP	Densidade de partículas	kg dm^{-3}
$\Theta_{-0,006}$	Conteúdo de água correspondente ao potencial -0,006 MPa	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
$\Theta_{-0,01}$	Conteúdo de água correspondente ao potencial -0,01 MPa	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$

$\Theta_{-0,033}$	Conteúdo de água correspondente ao potencial -0,033 MPa	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
$\Theta_{-0,1}$	Conteúdo de água correspondente ao potencial -0,1 MPa	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
$\Theta_{-0,3}$	Conteúdo de água correspondente ao potencial -0,3 MPa	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
$\Theta_{-0,5}$	Conteúdo de água correspondente ao potencial -0,5 MPa	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
$\Theta_{-1,0}$	Conteúdo de água correspondente ao potencial -1,0 MPa	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
$\Theta_{-1,5}$	Conteúdo de água correspondente ao potencial -1,5 MPa	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
AD	Conteúdo de Água disponível no solo	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
CC	Capacidade de campo	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
ME	Erro Médio	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
RMSE	Raiz do erro médio ao quadrado	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
r^2	Coefficiente de correlação	adimensional
R^2	Coefficiente de determinação	adimensional
Ei	Valor estimado da variável resposta	
Mi	Valor medido da variável de interesse	

RESUMO

PEQUENO, PETRUS LUIZ DE LUNA. **Funções de pedotransferência para estimativa de retenção de água em solos da Mesorregião do Agreste Paraibano**. Areia - PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, fevereiro de 2016. 188 f. Tese. (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo). Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira.

O conhecimento das propriedades hidráulicas do solo é importante para o estabelecimento de boas práticas agrícolas. A retenção de água no solo estimada a partir de modelos matemáticos gerados para diferentes condições edafoclimáticas não tem apresentado bons resultados de estimativa. Nesse sentido, os objetivos do presente estudo foram: I) Avaliar os atributos físicos e adicionalmente químicos em seis classes de solos da Mesorregião do Agreste do estado da Paraíba (PB); II) desenvolver banco de dados individuais e unificado para estabelecer, testar e validar funções de pedotransferência (FPT) capazes de estimar a retenção de água nos solos na camada de 0-20cm. Foram estudadas as classes de solo: Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA), Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (Pve), Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd), Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ), Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) e Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX), ambas componentes do banco de solos representativos do estado da Paraíba. No primeiro capítulo, em cada classe de solo foram coletadas amostras indeformadas de solo para estudo dos atributos físicos de porosidade do solo (total, macro e microporosidade), estabilidade de agregados, densidade do solo, curva de retenção de água nas tensões -0,006, -0,01, -0,033; -0,1; -0,3; -0,5; -1,0; -1,5 MPa e condutividade hidráulica do solo saturado, além de amostras deformadas para determinação dos atributos granulometria, argila dispersa em água, grau de floculação, densidade de partícula, além dos parâmetros químicos do solo (K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} e carbono orgânico total). No segundo capítulo, com os dados obtidos dos atributos físicos e químicos, foram desenvolvidos um banco de dados para cada classe de solo e um banco de dados unificado (reunindo os dados das seis classes de solos). As variáveis componentes de cada FPT foram selecionadas através do método Stepwise e tiveram suas respectivas eficiências preditivas analisadas através dos indicadores estatísticos coeficiente de determinação (R^2), erro médio da estimativa (ME) e raiz quadrada do erro médio (RMSE). Adicionalmente foram testadas outras funções/modelos já existentes na literatura e determinadas sob diferentes condições. No primeiro estudo a fração areia predominou em todos os solos, onde a estabilidade dos agregados, representada pelo IEA, mostrou-se dependente dos teores de argila e matéria orgânica, além de sofrerem influência dos teores de Ca e Mg trocáveis. A estrutura e textura dos solos influenciaram na retenção de água nas diferentes tensões, verificando a pouca influência da tensão -0,033 MPa como ponto de capacidade de campo. A tensões -0,006 e -0,01 MPa apresentaram melhor a capacidade de campo, bem como, contribuíram para um maior volume de água disponível em todos solos. No segundo estudo, houve influência positiva dos parâmetros estruturais na acurácia das FPT para todas as classes de solos estudadas e principalmente nos potenciais matriciais mais elevados; A heterogeneidade

provocada pela união dos bancos de dados individuais gerados na composição das FPT proporcionou reflexo positivo na melhoria da acurácia e da capacidade preditiva de todas as FPT em todos os potenciais matriciais; As funções de pedotransferência obtidas da literatura apresentaram baixa capacidade preditiva para as condições edafoclimáticas da Mesorregião do Agreste da Paraíba.

Palavras-chave: Solos representativos, Modelagem, atributos físicos

ABSTRACT

PEQUENO, PETRUS LUIZ DE LUNA. **Pedotransfer function to estimate the water retention in soils of mesoregion of the Agreste Paraibano.** Areia - PB, Agricultural Science Center, UFPB, February de 2016. 188 f. Thesis. (Post-Graduate Program in Soil Science). Adviser: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira.

Knowledge of the hydraulic properties of the soil is important for the establishment of good agricultural practices. The soil water retention estimated from mathematical models generated for different edafoclimatic conditions has contributed to high errors in estimates. The research aimed to characterize, in six soils of Mesoregion of the Paraíba state, physical attributes, and, additionally, attributes chemical with influence on the soil water retention, as also to create single and unified database and through them establish for to test and validate pedotransfer functions (FPT) able to estimate water retention in these soils on the 0-20 cm depth. Were studied classes Ferrasol, Lixisol, Acrisol, Arenosol, Leptosol and Planosol. In the first chapter in each soil class were undisturbed soil samples collected to study the physical attributes total porosity, macro and microporosity, aggregate stability, bulk density, water retention curve tensions -0.006, -0.01, -0.033; -0.1; -0.3; -0.5; -1.0; -1.5 MPa and hydraulic conductivity saturated, and deformed samples for determination of particle size attributes, water dispersible clay, flocculation, particle density, addition of chemical soil parameters K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} and total organic carbon. On the second chapter, with the data obtained from the physical and chemical attributes formed a individual database for each soil class and a unified database (with all data of the six soil classes). The variables components of each FPT were selected by stepwise method and had their respective predictive efficiencies analyzed by the statistical indicators: coefficient of determination (R^2), average error of estimate (ME) and mean square error (RMSE). In those databases were tested other functions/models existing in literature and certain under different conditions. In the first research, the sand fraction was predominant in all soils, where the aggregate stability, represented by the IEA, was shown to be dependent on the contents clay and organic matter, besides suffering influence of Ca and Mg. The structure and texture of soil influenced the retention of water in the different tensions. Was verified that the -0,033 MPa tension isn't representative of the to field capacity point. The potentials -0.006 and -0.01 MPa represented better the soil field capacity and contributed to a larger volume of water available in all soils. In the second research, there was a positive influence of the structural parameters in the accuracy of the FPT for all studied soil classes and especially in potential higher matrix; the heterogeneity resulting from the union of the individual databases generated in the composition of FPT gave positive impact in improving the accuracy and predictive ability of all FPT in all matric potentials; the pedotransfer functions obtained from the literature showed poor predictive ability for the soil and climatic conditions of Mesoregion of the Agreste Paraibano.

Key words: Representatives soils, modeling, physical attributes

1. INTRODUÇÃO GERAL

A formação de banco de dados contendo resultados analíticos de atributos do solo vem sendo realizada ao longo do tempo. No entanto, a finalidade para qual os dados foram gerados além da desuniformidade nos procedimentos metodológicos utilizados em suas respectivas determinações, têm sido motivo de alerta, conforme BARROS & JONG VAN LIER (2014). No que diz respeito aos atributos físicos e, especificamente, ao fenômeno de retenção de água pelo solo, a qualidade da amostra utilizada em sua determinação tem contribuído para resultados distantes da realidade, principalmente em potenciais mais elevados, uma vez que ainda sob a justificativa do tempo e onerosidade, têm sido utilizadas amostras deformadas de solo, as quais não permitem a ocorrência dos efeitos estruturais, em função da destruição dos agregados e conseqüentemente dos espaços porosos do solo, erradicando os efeitos da capilaridade mantendo apenas os efeitos texturais (BARROS & JONG Van LIER, 2014).

Considerando a dependência da retenção de água em relação aos atributos estruturais e texturais nos diferentes potenciais matriciais, conforme ressaltado por HILLEL et al. (1972), REICHARDT & TIMM (2004) e MICHELON (2010), a criação de um banco de dados específico, compostos por atributos do solo determinados com uniformidade de procedimentos e métodos permite a melhoria da qualidade da informação, além de facilitar o desenvolvimento de modelos e um melhor planejamento de uso e manejo do solo.

Nesse sentido, a utilização de funções/modelos capazes de prever o conteúdo de água retido no solo a partir de informações básicas e melhor qualificadas consiste numa informação promissora para o estado da Paraíba, uma vez que torna o processo de obtenção mais simples, rápido e com menor custo. Salientando-se, nesse sentido, conforme MICHELON (2010) que métodos indiretos não existem sem métodos diretos, pois é somente com a obtenção e a quantificação dos dados diretos do solo que se criam os bancos de dados dos quais são derivados os métodos indiretos (FPTs).

1.1 Hipóteses

Foram testadas as seguintes hipóteses:

a) As propriedades estruturais do solo quando são aplicados parâmetros de agregação e porosidade influenciam no comportamento hidráulico do solo, onde a inserção dessas variáveis proporcionaria melhorias na acurácia nas funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água;

b) A matéria orgânica do solo influencia na retenção de água, logo a utilização deste conteúdo nas funções de pedotransferência corroboraria na melhoria da acurácia das funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em relação àquelas que não utilizam;

c) As FTP conduzem a resultados de retenção de água mais próximos da realidade quando as equações geradas forem obtidas de atributos determinados em laboratório para às condições dos solos estudados.

1.2 Objetivos

Em seu primeiro capítulo, avaliar os atributos físicos e adicionalmente químicos em seis classes de solos da Mesorregião do Agreste do estado da Paraíba (PB);

Em seu segundo capítulo, desenvolver banco de dados individuais e unificado para estabelecer, testar e validar funções de pedotransferência (FPT) capazes de estimar a retenção de água nos solos na camada de 0-20cm.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caracterização regional

O estado da Paraíba encontra-se dividido geograficamente em 23 microrregiões homogêneas distribuídas nas mesorregiões Mata Paraibana, Agreste Paraibano, Borborema e Sertão Paraibano, em cujas os solos ocorrentes vão desde os pedogeneticamente mais jovens aos mais desenvolvidos. A mesorregião do Agreste Paraibano é formada por aproximadamente 23% do total de municípios do Estado e apresenta limitações climáticas externadas através da classificação de Koppen como As' (quente e úmido com chuvas de outono a inverno) e Bsh (semiárido com chuvas de verão) (PAE-PB, 2011).

Considerando-se então o fator limitante água nesses municípios, a média acumulada de precipitação dos últimos oito anos e as temperaturas médias anuais, segundo AESA (2016), foram de 1319,8 mm (22°C), 875,4 mm (24°C), 567,1 mm (26°C) e 406 mm (23 e 32°C) nos municípios de Areia, Alagoa Grande, Cuité e Pocinhos, respectivamente. Levando-se em consideração a irregularidade dessas precipitações e consequente distribuição ao longo de cada ano desses volumes, tendo como bases os modelos climáticos de koppen, vislumbra-se a necessidade do conhecimento mais pormenorizado das características físico-hídricas dos solos desses municípios com vistas a produção agrícola e uso mais racional da água.

2.2 Classes de solo

2.2.1 Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd)

Localizado no município de Areia-PB, Microrregião do Brejo Paraibano, tem como material originário saprolito proveniente de rochas do Pré-cambriano (CD), destacando-se biotita gnaisse, com influência de material sedimentar, oriundo do Grupo Barreiras-Terciário, no desenvolvimento da parte superficial dos perfis. O relevo regional é ondulado, com vertentes convexas ou

ligeiramente côncavos, vales em V e de fundo chato (Brasil, 1972). A mineralogia dessa classe de solo, segundo Monteiro (2010), apresenta como predominante a caulinita, mineral de argila do grupo 1:1, com baixa área superficial específica em relação aos do grupo 2:1, porém que confere a essa classe de solo uma melhor agregação.

De acordo com EMBRAPA (2013), os Argissolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B, e satisfazendo, ainda, os seguintes requisitos: horizonte plântico, se presente, não satisfaz os critérios para Plintossolo e; horizonte glei, se presente, não satisfaz os critérios para Gleissolo, sendo a classe em epígrafe distrófico (saturação por bases < 50%), na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

2.2.2 Argissolo Vermelho Eutrófico abruptico (Pve)

Esta classe de solo foi identificada no município de Alagoa Grande, e de acordo com BRASIL (1972), possui horizonte B textural não hidromórfico, com argila de atividade baixa ($T < 24 \text{ m.E/100 g}$ de argila após correção para carbono), e saturação por bases alta. É argiloso e possui cores avermelhadas (bruno avermelhado escuro e vermelho). Como característica morfológica importante, apresenta abundante cerosidade e estrutura em blocos angulares e subangulares, pequenos e muito pequenos, moderada a fortemente desenvolvida, bem como uma relação textural baixa. Apresenta com material originário saprólito proveniente do Pré-Cambriano (CD), com destaque para Hornblenda biotita-gnaiss, com influência de material pseudo-autóctone no desenvolvimento do horizonte A. O relevo regional é ondulado com vales em V e de fundo chato e algumas elevações em forma de meia laranja, ocorrendo também relevo forte ondulado (BRASIL, 1972). Segundo MONTEIRO (2010), a rocha biotita hornblenda gnaiss apresenta uma mineralogia mais máfica (ricas em ferro e magnésio), O teor de Al_2O_3 encontrado é compatível com a mineralogia da argila com predomínio de caulinita.

O Argissolo Vermelho abrupto apresenta matiz 2,5YR ou mais vermelho ou com matiz 5YR e valores e cromas iguais ou menores que 4, na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2013).

2.2.3 Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA)

Essa classe de solo, identificada no município de Cuité (PB), tem como material originário sedimentos argilo-arenosos e argilosos da Série Serra dos Martins proveniente do Terciário. O relevo local é plano, regionalmente pode ocorrer ondulações muito suaves (BRASIL, 1972). São solos intermediários para Argissolos com gradiente textural $> 1,4$ e/ou parte do horizonte B (inclusive BA) com estrutura em blocos moderada, e cerosidade pouca e fraca dentro dos 200 cm superficiais, apresentando saturação por base baixa ($V < 50\%$) e bem drenado (EMBRAPA, 2013). A mineralogia dessa classe de solo é composta basicamente por quartzos angulosos a subangulosos, as concreções argilosas ocorrem em toda a fração arenosa com um percentual em torno de 1 %. Turmalina, magnetita, concreções Fe e biotitas estão presentes como traços em toda a fração arenosa (MONTEIRO, 2010).

2.2.4 Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX)

Encontram-se em área referida ao Pré-Cambriano (CD), onde foram constatadas as seguintes rochas: gnaisses com biotita e hornblenda, as quais constituem a principal fonte de material originário desta unidade. O saprólito destas rochas, com provável influência de material pseudo-autóctone em alguns locais, constitui o material de origem destes solos. O relevo local é suavemente ondulado, sendo no regional domínio de relevo ondulado com colinas de topo arredondado e vales secos abertos (BRASIL, 1972). De acordo com EMBRAPA (2013), são solos que apresentam horizonte vértico, dentro dos 120 cm superficiais do solo, em posição não diagnóstica para Vertissolo.

Na mineralogia da fração argila o predomínio é da illita e caulinita, o que provoca nesse solo, sob condições de déficit hídrico, ressecamento

acompanhado de fendilhamento entre os agregados, fazendo com que, no período chuvoso o solo fique encharcado (MONTEIRO, 2010).

2.2.5 Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL)

Solo originário de saprolito do gnaiss do Pré-Cambriano, com relevo local plano a suave ondulado, apresentando nos 20 cm iniciais cores bruno avermelhadas (5YR 4/4, úmido e úmido amassado), bruno amarelado (10 YR 5/4, seco e seco pulverizado); textura franco-arenoso com cascalho; estrutura muito fraca pequena a média blocos subangulares; muitos poros muito pequenos e pequenos, poucos médios; ligeiramente duro, muito friável, não plástico então pegajoso; transição gradual e plana. A fração areia composta por 94% de quartzo hialino, vítreo e leitoso, arestados a semi desarestados; 6% de anfibólio; traços de: biotita, concreções argilo humosas, feldspato potássio e detritos: fragmentos de raiz, casca de semente e carvão. (BRASIL, 1972).

Na mineralogia desse solo, segundo MONTEIRO (2010), merecem destaque os percentuais de óxidos de ferro elevados, ratificados na análise de fluorescência química, além da presença de hornblenda e biotita, que apresentam Fe na sua composição. O estágio de alteração dos feldspatos contribui para a formação dos minerais de argilas com um percentual elevado de 4,7% de K_2O e 5,2% de CaO . Nos minerais de argila, o solo apresenta domínio de argilas de atividade alta como illita e esmectitas.

2.2.6 Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ)

Classe de solo formada a partir de saprolito de migmatito, apresentando nos primeiros 20 cm bruno acinzentado escuro (10 YR 4/2, úmido e úmido amassado), cinzento brunado claro (10 YR 6/2, seco e seco pulverizado); areia; grãos simples; muitos poros pequenos e comuns médios e grandes; solto, solto, não plástico e não pegajoso; transição gradual e plana. O relevo regional é suave ondulado com topos planos, encostas longas e vales em V. A mineralogia da fração areia é 100% de quartzo hialino, alguns grãos com inclusão de biotita; traços de feldspato e alcalino, magnetita, turmalina e

detritos (BRASIL, 1972). A análise mineralógica realizada por MONTEIRO (2010) corroborou com os resultados anteriores, acrescentando a da fração argila, onde verificou a presença de caulinita, esmectita e illita. Como o pico da illita foi mais intenso, sugeriu uma maior quantidade do mineral ou uma melhor cristalinidade da illita.

2.3 Uso atual do solo

Considerando o aspecto uso do solo, a microrregião do Brejo Paraibano onde estão inseridos os municípios de Areia e Alagoa Grande, apresentaram como sistema de exploração principal a cana-de-açúcar e, após o declínio do sistema sucroalcooleiro, no início da década de 1990, começou a introdução das pastagens. Nos últimos anos, com o intuito de produzir estacas e mourões para cercas, foi introduzido o cultivo de sabiá em áreas de pastagens (SILVA et al., 2013).

Na Microrregião do Curimataú Ocidental onde situam-se os municípios de Cuité e Pocinhos a vegetação nativa deu lugar a exploração do sisal, como cultura principal, consorciado com milho, feijão e algodão (EMATER, 1984), o que de acordo com MARQUES & HENRIQUE (2010), esse tipo de exploração marcou a estruturação territorial dessa região. No entanto, com o fim da exploração do sisal em função principalmente do surgimento de fibras sintéticas, muitas áreas foram abandonadas, houve o avanço da algarobeira utilizada para produção de lenha, criação de pequenos e médios animais. Atualmente, em solos um pouco mais desenvolvidos (no caso dos Latossolos em Cuité e Neossolo Regolítico em Pocinhos) ocorre a exploração do milho e feijão sob condições de sequeiro e com preparo convencional.

2.4 Fatores físicos que influenciam na retenção de água pelo solo

2.4.1 Granulometria

A granulometria do solo representa a proporção relativa das frações areia, silte e argila presentes. É descrita por MONTENEGRO(1976) como sendo a

característica mais estável do solo e um dos atributos mais importantes, em função de sua correlação com a área superficial específica. A ela estão ligados outros atributos importantes, sendo eles: a retenção de água, consistência, capacidade de troca catiônica, permeabilidade, estrutura e outros. Segundo REICHARDT (1987), a granulometria do solo, em especial os quantitativos de argila, define em boa parte a distribuição do diâmetro dos poros do solo, determinando assim a área de contato entre as partículas sólidas e a água, sendo por isso responsável pela força de retenção, principalmente nos potenciais mais baixos, como aquele relacionado ao ponto de murcha permanente (-1,5 MPa).

Avaliando a capacidade de retenção e disponibilidade de água em Latossolo Amarelo, Latossolo Coeso e Neossolo Quartzarênico do tabuleiro costeiro da Paraíba, CORREIA (2005) verificou aumento no conteúdo de água disponível e retenção de água com a profundidade no Latossolo Coeso e atribuiu tal resultado a presença de maiores teores de argila nesse solo, tendo resultado oposto verificado no Neossolo Quartzarênico em função dos baixos teores de argila.

KLEIN et al. (2010), quantificando a influência da granulometria do solo na retenção de água na condição de ponto de murcha permanente (PMP) em um Latossolo Vermelho Distrófico com 58% de argila afirmaram que 91% da variação do teor de água do solo no limite inferior dos potenciais relacionados (-1,5 MPa) foi atribuído ao teor de argila. Onde foi observado um incremento do teor de água com o aumento do teor de argila, na proporção de $0,1\text{g kg}^{-1}$ para um aumento de 294g kg^{-1} no teor de argila. Esses autores ao ajustarem útero de água na condição de PMP, em função do teor de argila + silte verificaram também que 85% da variação do teor de água no PMP podem ser atribuídos ao somatório das frações argila + silte.

MICHELON (2010) verificou a ocorrência de correlações positivas dos teores de argila na geração da FPT $\theta_{-0,5\text{MPa}} = -0,4888 + 0,2307D_s + 0,2807M_{\text{Macro}} + 0,6468M_{\text{Micro}} + 0,0010S_i + 0,0022A_{\text{rg}}$, inferindo que essa maior contribuição está relacionada à adsorção das moléculas de água às partículas de solo, devido às cargas existentes nos minerais de argila, uma vez que por ser uma fração muito pequena e com grande área superficial específica, possui

alta densidade de cargas capazes de reter água, principalmente em altas tensões.

2.4.2 Densidade do solo

A densidade do solo é uma propriedade dinâmica que varia com as condições estruturais do solo. Em geral, aumenta com a profundidade do solo devido às pressões exercidas pelas camadas superiores provocando a compactação, reduzindo a porosidade. A movimentação de material fino dos horizontes superiores por eluviação, também contribui para a redução dos espaços porosos aumentando a densidade do solo dessas camadas.

HAMZA & ANDERSON (2005), afirmam que a densidade do solo em ambientes não alterados é uma propriedade física que depende dos fatores e processos pedogenéticos. Os efeitos do aumento da densidade do solo estão ligados diretamente a outros atributos físicos, como por exemplo a porosidade, infiltração e retenção de água. A formação de camadas adensadas em solos arenosos, reduz o quantitativo de macroporos, predominantes nestes e responsáveis pelo transporte de ar e água. Nesse sentido, considerando-se também os percentuais reduzidos da fração argila o que denota também uma redução da área específica do solo, a retenção de água nesses é prejudicada, ficando na dependência da matéria orgânica, presente ou em adição, para melhoria desse processo.

A densidade do solo e a textura possuem uma relação muito estreita com o conteúdo de água do solo e ambas têm sido utilizadas em funções de pedotransferência (FPT) para predição de conteúdo de água do solo. A exemplo da pesquisa desenvolvida por OLIVEIRA et al. (2002) utilizando funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específico sem solos do estado de Pernambuco. Segundo os autores, FPT contendo dados granulométricos e de densidade do solo podem ser utilizadas na predição de água retida nos potenciais -0,033 e 1,5 MPa e a água disponível nos solos do estado de Pernambuco.

FIDALSKI & TORMENA (2007) avaliando FPT para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração em sistemas de manejo com plantas de cobertura permanente em citros concluíram que as FPT foram

dependentes da densidade do solo, do carbono orgânico e do tratamento para o ajuste das curvas de retenção de água ($R^2=0,94$) e de resistência do solo à penetração ($R^2=0,87$). Alternativamente, as funções de pedotransferência exigem apenas as determinações dos teores de água e da densidade do solo para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração.

2.4.3 Agregação do solo

O estado de agregação do solo é o resultado da união entre as partículas de areia, silte e argila pela ação de agentes cimentantes e de forças de coesão e adesão que se estabelecem nas interfaces entre as partículas e entre as partículas e substâncias presentes no meio. É esse arranjo que define a porosidade do solo, a qual é condicionadora da aeração e do movimento da solução do solo em seu interior.

Segundo PEQUENO et al.(2003), em curto espaço de tempo, a estabilidade dos agregados de um solo modifica-se sob influência de tratamentos de cultivos, e está, provavelmente, mais relacionada a mudanças nos constituintes orgânicos do que conteúdo total de matéria orgânica. Tratando-se de períodos longos, a estabilidade do agregado diminui, uma vez que a matéria orgânica é também diminuída, por ser usada como fonte de energia pelos microrganismos do solo. Porém, de acordo com LEITE et al. (2004), em solos sob floresta, onde o aporte de material orgânico na camada superficial é mais intenso e duradouro, há uma intensa atividade biológica, o que resulta em produtos que desempenham função na formação e estabilização de agregados.

Desta forma, a estabilidade dos agregados do solo é um dos indicadores da sua qualidade física, uma vez que segundo BASTOS et al. (2005), que sofre influência de fatores como: tipo e teor de argila, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, exsudatos orgânicos de plantas, substâncias orgânicas provenientes da ação de microrganismos e outros compostos orgânicos. A matéria orgânica, os óxidos e os hidróxidos são agentes cimentantes, tanto das partículas primárias quanto das partículas secundárias do solo.

Segundo MARTINS (2008), a decomposição de resíduos vegetais, a liberação de exsudatos pelos sistemas radiculares das plantas e a influência que as plantas exercem sobre os microorganismos do solo, são formas de influência das plantas sobre a agregação do solo. Por sua vez, os microorganismos influenciam indiretamente a estabilidade dos agregados do solo por meio da liberação de compostos orgânicos (gomos e mucilagens) ou diretamente, como a junção de pequenos agregados por hifas de fungos.

SILVA et al. (2009) avaliaram diferentes áreas de Luvisolo no Núcleo de desertificação de Cabrobó-PE considerando três estágios atuais das áreas: Conservada, moderadamente degradada e intensamente degradada. Os autores concluíram que os índices de agregação e estabilidade dos agregados em água foram eficientes em diferenciar as áreas submetidas a níveis crescentes de degradação, podendo ser utilizados como indicadores da qualidade destes solos.

Considerando a onerosidade, tanto de tempo quanto equipamento, para determinação das várias etapas antecedentes a determinação da estabilidade de agregados do solo, TAVARES FILHO et al. (2012) desenvolveram funções de pedotransferência para estimativa do índice de estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho eutrófico, no estado do Paraná, sob plantio direto utilizando vários atributos físicos que mantinham uma relação direta com a agregação. Utilizando argila total, densidade do solo, resistência do solo à penetração, matéria orgânica e pH em água concluíram serem esses os atributos mais importantes na predição, cuja FTP determinada $IEA_E = 27,80 + 0,04 \text{ Arg} + 27,97Ds + 12,35RP + 0,45MO - 9,72pH$ obteve um coeficiente de determinação (R^2) igual 0,90, denotando assim uma alta correlação dos atributos utilizados com o índice de estabilidade de agregados.

2.4.4 Porosidade do solo

A porosidade do solo representa todos os espaços existentes entre partículas e/ou entre agregados e servem ao transporte de água, ar e nutrientes. Esses espaços são determinados pela textura e estrutura do solo, onde quantidade e a natureza existente variam de acordo com o arranjo ou a

geometria das partículas sólidas (HILLEL, 1980). Logo, apenas a análise do volume total de poros não permite a distinção da qualidade desse espaço poroso, bem como, os efeitos benéficos ou deletérios do uso e manejo do solo sobre o mesmo.

O destacado papel do espaço poroso na dinâmica da água no solo foi reconhecido por vários pesquisadores, como AMARO FILHO (1982) e ANDERSON & BOUMA (1973), que ressaltam que para se entender melhor o comportamento do solo, a distribuição dos poros por seus tamanhos é mais importante que a porosidade total. A esse respeito, KLEIN (1998) e VOMOCIL (1965) afirmam que, para diversos objetivos, tais como o movimento e armazenamento de água e gases, fluxo e retenção de calor e desenvolvimento do sistema radicular, a determinação somente da porosidade total fornece informações de importância limitada. Deste modo, a determinação da distribuição dos poros na matriz do solo apresenta-se mais importante, visto que, de acordo com a distribuição dos diferentes tamanhos dos poros, pode haver restrição do fluxo de água no solo.

Nesse sentido, considerando-se os efeitos do uso e manejo do solo, REICHERT et al. (2007) inferem que solos sob compactação, os macroporos, responsáveis pela aeração, diminuem e são substituídos por poros menores, principalmente por microporos. Esse decréscimo da porosidade de aeração pode ser 1,5 a 2 vezes maior que o decréscimo no espaço poroso total.

SANTOS et al. (2011) avaliaram os efeitos do sistema lavoura-pecuária comparados com pastagem contínua e Cerrado nativo na qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférico verificaram impactos negativos nos atributos físicos do solo, principalmente na porosidade, onde a pastagem contínua considerada degradada foi a que menos efeitos negativos proporcionou, provavelmente em função do tempo de estabelecimento e contribuição permanente.

WENDLING et al. (2012), avaliando os impactos da conversão de áreas naturais para áreas agrícolas em Latossolo Vermelho distrófico em ambiente de Cerrado mineiro em atributos físicos do solo, encontraram variação na porosidade total com a mudança do uso do solo apenas nos primeiros 10 cm de profundidade, enquanto que em subsuperfície não foi constatado efeito. No entanto, a qualificação dessa porosidade por meio da análise da

macroporosidade e microporosidade permitiu verificar diferenças significativas tanto entre sistemas de uso, quanto entre as profundidades.

2.4.5 Matéria orgânica

A matéria orgânica, segundo SOARES (2013), devido a sua alta capacidade adsortiva e a sua influência sobre a estrutura do solo, influi sobre a porosidade, distribuição de tamanho de poros, retenção de água e sobre outras características físicas do solo. Assim, a redução do carbono orgânico total está relacionada à degradação física dos solos, e seu incremento através do manejo adequado modifica a capacidade de carga dos solos, que se tornam menos vulneráveis à compactação (BLANCO-CANQUI et al., 2009; VIANA, et al., 2011; WENDLING et al., 2012).

Estudos relativos a influência da matéria orgânica na retenção de água no solo tem mostrado que a incorporação desta ao solo pode aumentar ou reduzir a capacidade de retenção de água por unidade de volume do solo, dependendo do seu conteúdo inicial.

BEUTLER et al. (2002) avaliaram a retenção de água em um Latossolo Vermelho distrófico típico textura média/argilosa A moderado caulinítico (LVd) e outro Latossolo Vermelho eutroférico típico textura argilosa/argilosa A moderado caulinítico/oxídico (LVef) sob os sistemas de uso algodão, cana de açúcar, ambos no 5º ano, e mata nativa. Segundo os autores, foi evidenciado correlação positiva significativa entre conteúdo de água retida e teores de matéria orgânica apenas no LVd, indicando uma influência da matéria orgânica na retenção de água apenas em horizontes arenosos. De acordo com eles, a matéria orgânica exerceu pouca influência nas áreas com cultivo de algodão e cana de açúcar, como também na área de mata. Nesta, apesar de teores acima de 47 g kg^{-1} a retenção de água foi menor que nas profundidades inferiores em todas as tensões nas duas classes de solo.

SILVA et al. (2005) avaliando atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo observaram variações entre as curvas de retenção de água e atribuíram a influência da estrutura e composição dos materiais em termos de

matéria orgânica e argila, o que determina alterações na quantidade e distribuição dos poros.

CAMPINAS et al. (2013) avaliaram o comportamento das propriedades físicas do solo nos sistemas de uso da terra sob vegetação secundária, cultivo de laranja e pastagem abandonada, ambos em Latossolo Amarelo. Segundo os autores a matéria orgânica pode ter influenciado diretamente a capacidade de retenção de água do solo, uma vez que em área com vegetação secundária, mesmo com textura franco-arenosa, houve uma maior retenção de água tanto na capacidade de campo, quanto no ponto de murcha permanente. Inferiram também que devido ao fato da matéria orgânica atuar na estruturação de agregados do solo, o que possibilitou maior arranjo dos poros, implicou na maior retenção de água.

2.5 Funções de Pedotransferência (FPTs)

Segundo BARROS & JON Van LIER (2014), o termo *Pedotransfer function* ou função de pedotransferência foi introduzido na Ciência do Solo na década de 80 em substituição a expressões antigas denominadas pedofunções ou funções de transferências por BOUMA & VAN LANEN (1987) e BOUMA (1989). As primeiras tentativas de desenvolvimento de dados de função de pedotransferência, de acordo com os autores, ocorreram no início do século XX através de BRIGGS & MCLANE (1907) e melhoradas por BRIGGS & SHANTZ (1912), os quais propuseram uma correlação entre conteúdo de água no solo e textura.

Após a introdução dos conceitos de capacidade de campo e ponto de murcha permanente por VEIHMEYER & HENDRICKSON (1931), tornou-se cada vez mais comum correlacionar distribuição de partículas por tamanho, porosidade, densidade e conteúdo de matéria orgânica com o conteúdo de água e disponibilidade de água para a planta. Assim, a obra mais completa foi desenvolvida por WILLIAMS et al. (1983) os quais determinaram a retenção de água do solo através das classes texturais.

MINASNY et al. (2003) relatam, em estudo envolvendo predição de propriedades do solo utilizando funções de pedotransferência e correlações ambientais, que para desenvolvimento e/ou utilização de uma FPT existente é

necessário o conhecimento de dois princípios básicos: O primeiro é o de eficiência, ou seja, não prognosticar algo que é mais fácil e mais barato medir ou determinar, uma vez que o objetivo de funções de pedotransferência é prever propriedades cujas medidas ou determinações diretas são difíceis, laboriosas ou muito caras, os preditores devem ser de obtenção mais fácil ou mais barata. O custo e o esforço para obter a informação sobre o preditor, deverá ser menor do que o de obter a informação sobre o que se pretende prever. O segundo princípio é o da incerteza, se refere a não usar FPTs, a menos que se possa avaliar a incerteza associada e, para um determinado problema, se um conjunto de FPTs alternativas está disponível, usar aquela com menor variância.

Para MICHELON (2010), as FPTs permitem que informações básicas de solo, disponíveis em relatórios de levantamentos de solos ou em Sistemas de Informação Geográfica, sejam transformadas em outras, de obtenção mais difícil e, geralmente, de custo elevado. O princípio das FPTs consiste em que o sistema de informação, ou os dados, possibilitem expressar, de forma matemática, funções de pedotransferência específicas para uma variedade de propriedades e qualidades de solo.

No Brasil, ARRUDA et al. (1987) foram um dos precursores na geração de função de pedotransferência. Utilizando amostras deformadas de solo, avaliaram as relações existentes entre a capacidade de campo, ponto de murcha permanente e a densidade do solo com a textura em solos denominados por eles de “terra alta” e agricultáveis, ambos passíveis de serem explorados com irrigação. Foram ajustados 17 modelos para estimar o conteúdo de água na capacidade de campo e outros 17 para estimativa do conteúdo no ponto de murcha permanente. Segundo eles, as maiores diferenças encontradas entre capacidade de campo e ponto de murcha permanente, portanto, a maior disponibilidade de água, ocorreu nos solos de texturas intermediárias de 30 a 60% que naqueles com teores de argila+silte mais baixos ou mais altos.

SILVA et al. (1990) avaliando parâmetros do solo em função da umidade na capacidade de campo em áreas irrigáveis estabeleceram as primeiras FPTs para a região semiárida. Eles utilizaram 4.288 amostras deformadas, coletadas em diversos locais do Trópico Semiárido brasileiro (TSA), englobando os

principais solos agricultáveis e irrigáveis da região em classes texturais. As amostras foram coletadas nos horizontes A e B, até 60cm de profundidade, a partir da superfície natural do terreno. Os autores com base nos coeficientes de correlação dividiram as amostras em três classes texturais: solos de textura grossa (TG), textura média (TM) e textura fina (TF) e concluíram que o teor de umidade do solo na capacidade de campo poderia ser estimada através das FPTs 1) $TG = 4,589 - 0,2514CC + 0,427CC^2$ ($r^2 = 0,965$); 2) $TM = - 2,821 + 0,939CC + 0,0309CC^2$ ($r^2 = 0,85$); e 3) $TF = - 4,073 + 1,718CC - 0,0113CC^2$ ($r^2 = 0,99$), dentro dos limites de variação de umidade do solo entre 5 e 13%, para TG; de 8 a 14%, para TM; e de 10 a 38% para os solos de textura fina.

Para solos do estado de Pernambuco, OLIVEIRA et al. (2002) desenvolveram funções de pedotransferência utilizando amostras deformadas e indeformadas de 98 perfis de solos, as quais foram comparadas com outras FPTs da literatura que apresentassem como características o envolvimento apenas de propriedades texturais e/ou densidade do solo e, ter sido desenvolvida a partir de amostras de solo deformadas. Foram determinadas a granulometria, densidade do solo, atividade de argila e grau aproximado de desenvolvimento pedogenético. De acordo com os autores, o agrupamento de dados em subconjuntos baseados na classe textural ou na atividade da fração argila ou no grau aproximado de desenvolvimento, de maneira geral, não produziu melhorias consideráveis na capacidade preditiva das pedofunções quanto à reunião dos dados em um conjunto único, visto que pequenos aumentos que foram constatados para alguns coeficientes de determinação foram, quase sempre, acompanhados por um aumento do erro-padrão da estimativa. Eles ainda inferiram que as melhores correlações foram obtidas para predição da umidade a -1,5 MPa, reforçando, segundo eles, a discussão de que a relação entre a retenção de água e a textura dos solos estreita-se à medida que aumenta a tensão.

Funções de pedotransferência para sistemas de manejo com plantas de cobertura permanente foram obtidas por FIDALSKI & TORMENA (2007). Os autores avaliaram os sistemas de manejo gramínea, leguminosas e vegetação espontânea, nas entrelinhas do pomar de laranja pêra (*Citrus cinensis*), em um Argissolo Vermelho Distrófico latossólico. Para obtenção da FPTs foram avaliados a densidade do solo, teores de carbono orgânico, teor de água e

resistência do solo a penetração. Eles concluíram que as gramíneas melhoraram a qualidade física e hídrica do solo nas entrelinhas e as FPTs obtidas para esse tipo de manejo foram: $\hat{Y}_\theta = 0,0947 + \{(0,3680 - 0,0947)/[1+(0,0192\Psi)^{2,6315}]^{(1-1/2,6315)}\}$ e $^{\wedge}RP = 0,027 \theta^{-1,1211} D_s^{3,9031}$.

SILVA et al. (2008) desenvolveram funções de pedotransferência para predição da curva de retenção de água e resistência do solo à penetração em Latossolos Vermelhos com ampla variação textural no estado de São Paulo. Os resultados mostraram uma alta correlação entre os teores de carbono orgânico e densidade do solo com os teores de argila, onde esta exerceu influência significativa na retenção de água. De acordo com os autores, apesar deter-se verificado o efeito do aumento da retenção de água pelo solo com o incremento de argila, o teor de água disponível no solo predito através das funções de pedotransferência foram similares entre os diferentes teores de argila, caracterizando a homogeneidade da água disponível em toda a extensão dos solos na topossequência.

DALBIANCO (2009) partiu do pressuposto que áreas com diferentes sistemas de manejo implicam em valores de condutividade hidráulica do solo saturado diferentes e esses valores podem ser estimados satisfatoriamente por funções de pedotransferência (FPT). Nesse sentido, determinaram quatro FPTs onde para o cálculo da equação 1 foram usadas como variáveis preditoras somente classes de tamanho de partículas; para a equação 2, além dessas variáveis texturais, usou-se densidade do solo e carbono orgânico; na equação 3 foram acrescentadas as variáveis relativas à porosidade e grau de dispersão; e na equação 4, as variáveis referentes à retenção e disponibilidade de água. Os autores também comparam os dados estimados com os gerados a partir de FPTs existentes na literatura. Para aquelas determinadas, os autores obtiveram melhor acurácia na equação foi a 4, correspondendo a: $K_s = -49,49 + 0,43 A_G + 35,04 \log A_F - 1765,78 CO^{-1} + 7163,72 M_A - 3866,73 P_T + 1,31 GF - 4010,91 \theta_1 + 8728,80 \theta_6 - 1253,99 \theta_{10}$, onde as variáveis independentes utilizadas foram A_F =areia fina; D_s =densidade do solo; CO =carbono orgânico; M_A =macroporosidade; A_G = areia grossa; P_T = porosidade total; GF =grau de floculação; θ_1 = umidade volumétrica na tensão 1 kPa; θ_6 = umidade volumétrica na tensão 6kPa; θ_{10} = umidade volumétrica na tensão 10 kPa. Com

essa FPT 87% das variações do K_s foram explicadas. Obtendo também menor dispersão dos dados que as outras.

No que concerne as FPTs da literatura, os testes de confiabilidade mostraram que as mesmas não se adaptaram às condições físico-hídricas do local. Segundo os autores, tais resultados foram devido a essas terem sido geradas em banco de dados de solos de clima temperado e, na sua grande maioria, usam propriedades granulométricas como variáveis independentes.

Em amostras de solos pertencentes a Latossolos e Argissolos Amarelos de ambiente de Tabuleiros Costeiros brasileiro, NASCIMENTO et al. (2010) desenvolveram funções de pedotransferência para estimar o conteúdo de água nos potenciais -0,033 e -1,5 MPa e os teores de água disponível a partir de dados granulométricos, densidade do solo e de carbono orgânico. Os solos foram agrupados em cinco classes texturais variando de arenosa a muito argilosa, porém esse arranjo não melhorou a capacidade preditiva das FPTs, provocou redução do r^2 e aumento do erro padrão da estimativa. Os autores analisando a contribuição de cada variável independente na previsão da variável dependente constataram que as variáveis argila ou areia, tomadas isoladamente, foram as que melhor explicaram as variações do conteúdo de água retida pelo solo nos potenciais especificados. Com isso, concluíram que o conteúdo de água retido nos potenciais -0,033 e -1,5 MPa, para os solos e condição em questão, pode ser estimado com boa precisão a partir dos dados de argila ou areia, ou de argila ou areia mais silte e densidade do solo.

MICHELON et al. (2010) desenvolveram e testaram funções de pedotransferência para predição de retenção de água em solos irrigados de algumas regiões do Rio Grande do Sul. O estudo envolveu amostras deformadas e indeformadas de solo, coletadas na camada superficial dos solos (12,5 cm de profundidade), nas quais foram determinados o conteúdo de água nos potenciais: 0; -0,001; -0,033; -0,1; -0,5 e; -1,5 MPa, densidade do solo, densidade de partícula macro e microporosidade, porosidade total, areia grossa, areia fina, silte e argila. As FPTs desenvolvidas foram: $\theta_0 = 0,2255 - 0,0804Ds + 0,5122Micro + 0,4115Pt$; $\theta_{-0,001} = 0,1398 - 0,0409Ds + 0,2069Macro + 0,8809Micro$; $\theta_{-0,033} = -0,0789 + 0,0362Ds + 1,0011Micro - 0,0004AF$; $\theta_{-0,1} = -0,1014 + 0,0430Ds + 0,9891Micro - 0,0006AF$; $\theta_{-0,5} = -0,4888 + 0,2307Ds + 0,2807Macro + 0,6468Micro + 0,0010Si + 0,0022Arg$; $\theta_{-1,5} = -0,1974 + 0,1093Dp$

- $0,3050\text{Macro} + 0,0011\text{Si} + 0,0024\text{Arg}$. Baseados nos resultados, os autores concluíram que a curva característica de umidade dos solos irrigados do Rio Grande do Sul pode ser estimada com precisão utilizando FPT a partir dos atributos areia fina, silte, densidade do solo, densidade de partículas, macroporosidade, microporosidade e porosidade total.

BERNARDES (2010) avaliou a capacidade de várias funções de pedotransferência existentes na literatura em prever atributos físicos do solo do Norte Fluminense. Segundo ela, FPTs com melhor desempenho para estimar θ_{CC} e θ_{PMP} foram desenvolvidas a partir de solos mais intemperizados, de clima tropical, com destaque para OLIVEIRA et al. (2002), ARRUDA et al. (1987), SOLANO PERAZA (2003) e URACH (2007), cujas FPTs para essas umidades também se destacaram, utilizaram solos brasileiros, indicando que a eficiência das equações está vinculada à aplicação em solos de natureza similar.

TAVARES FILHO et al. (2012) desenvolveram funções de pedotransferência para estimativa do índice de estabilidade de agregados em um Latossolo Vermelho eutrófico. Para a obtenção dos modelos de estimativa do índice de estabilidade de agregados como variável dependente (I_{eaE}), foram avaliadas dez variáveis independentes: argila total (Arg), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (RP), matéria orgânica (MO), pH em água (pH), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC_{pH7}), água disponível (AD), volume total de poros (VTP), macroporosidade (Ma) e umidade gravimétrica (Ug). As variáveis Arg, Ds, RP, MO e pH foram significativas e originaram o modelo com maior R^2 (90%) $I_{eaE} = 27,80 + 0,04\text{Arg} + 27,97\text{Ds} + 12,35\text{RP} + 0,45\text{MO} - 9,72\text{pH}$, cujos pontos estimados estão próximos dos valores reais determinados pela análise de laboratório. Com isso, os autores concluíram que os atributos argila total, densidade do solo, resistência do solo à penetração, matéria orgânica e pH em água são os mais importantes para a estimativa do índice de estabilidade de agregados, em Latossolo Vermelho sob plantio direto e que é possível estimar o índice de estabilidade de agregados com boa precisão a partir do uso dessas variáveis em modelo de regressão múltipla “stepwise”.

Face ao enfocado, percebe-se a importância da determinação de funções de pedotransferência em banco de dados mais homogêneos, de sorte que as variáveis utilizadas retratem o mais fidedigno possível às condições

edafoclimáticas locais, como também que as metodologias de determinação sejam uniformes, com vistas a melhoria da acurácia dos FPTs e precisão do parâmetro predito. Segundo MICHELON (2010), é importante considerar que, no momento de usar FPTs, o pesquisador perceba que métodos indiretos não existem sem métodos diretos, pois é somente com a obtenção e a quantificação dos dados diretos do solo que se criam os bancos de dados dos quais são derivados os métodos indiretos (FPTs).

Outro aspecto que deve ser levado em consideração e que justificar ainda mais a geração novas FPTs é retratado por TOMASELLA et al. (2000), onde ele infere que a maior parte das equações encontradas na literatura não são adequadas às condições dos solos do Brasil, pois elas foram desenvolvidas em regiões temperadas, em solos com características diferentes da maioria dos solos tropicais brasileiros.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA – AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DA PARAÍBA. **Precipitações acumuladas no estado da Paraíba por município**. Disponível em. Acessado em 23 de janeiro de 2016.

AMARO FILHO, J. **Determinação da condutividade capilar mediante o método do perfil instantâneo**. 1982. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 1982.

ANDERSON, J. L.; BOUMA, J. Relationships between saturated hydraulic conductivity and morphometric data of an argillic horizon. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v. 37, n. 3, p. 408-413, 1973.

ANGELOTTI NETTO, A. **Estimativa da retenção de água no solo a partir do uso de equipamentos não convencionais: redes neurais artificiais e funções de pedotransferência**. 2007. 176 p. (Tese de Doutorado). São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.

ARRUDA, F. B.; ZULLO JUNIOR, 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.

BARROS, A. H. C.; JONG van LIER, Q. Pedotransfer for Brazilian soils. IN: TEIXEIRA, W. G. et al. Application of soil physics in environmental Analysis: measuring, modelling and data integration. **Progress in soil science**. Switzerland: Springer International Publishing. DOI 10.1007/978-3-319-06013-2_6.p. 131-162, 2014.

BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S. ALVAREZ, V.H. CORRÊA, M.M. Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29 n. 1,. 2005.

BERNARDES, R. S. **Funções de pedotransferência e qualidade física de três solos do norte fluminense para a cultura do coqueiro anão**. 2010. 140 p. (Tese de Doutorado).Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2010.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:829-834, 2002.

BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L. R.; SCHLEGEL, A. J.; LYON, D. J.; VIGIL, M. F.; MIKHA, M. M.; STAHLMAN, P. W.; RICE, C. W. No-till induced increase in organic carbon reduces maximum bulk density of soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, p. 1871-1879, 2009.

BOUMA, J.; LANEN, H. A. J. **Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities**. In: Beek, K., P. A. Barrough and D. D McCormack (Editors). Proc. WORKSHOP BY ISSS/SSSA ON QUANTIFIED LAND EVALUATION PROCEDURES, ITC publication. 6., Enschede. Proceedings... Netherlands, 1987.p.106-111.

BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 9, p. 177-213, 1989.

BRASIL.Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisa e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. I. Levantamento exploratório de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro: 1972. 683 p. (**Boletim Técnico**, 15; SUDENE. Série Pedologia, 8).

BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H.L. **The wilting coefficient for different plants and its indirect determination**. Washington DC. United States: Department of Agriculture, Bureau of Plant Industries, 1912. 83p. (Bulletin n.30).

BRIGGS, L. J.; McLANE, J. W. **The moisture equivalents of soil**. USDA: Bureau of soils bulletin, 45, Washington DC, 23 p., 1907.

CAMPINAS, D. S. N.; FARIAS, P. R. S.; LIMA, H. V. Atributos físicos e matéria orgânica em sistemas de uso do solo. **Revista Educação da Amazônia**, v. 10, n. 1, p. 109-125, 2013.

CORREIA, G. G. **Capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de tabuleiro costeiro da Paraíba**. 2005. 46 p. (Dissertação de Mestrado). Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco/Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2005.

DALBIANCO, L. **Variabilidade espacial e estimativa da condutividade hidráulica e caracterização físico-hídrica de uma microbacia hidrográfica rural**. 2009. 116 p. (Dissertação de Mestrado) Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. Ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2013, 353 p.

EMATER - EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DA PARAÍBA. **Sistema de produção de sisal**: Microrregiões do Curimataú, Seridó Paraibano e Cariris Velhos-PB. João Pessoa: Sistema de Produção, 1984.

FIDALSKI, J; TORMENA, C. A. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração em sistemas de manejo com plantas de cobertura permanente em citros. Santa Maria: **Ciência Rural**, v. 35, p. 1316-1322, 2007.

HAMZA, M. A. & ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Tillage Research**, n.82, p.121-145, 2005.

HILLEL, D. **Soil and water: Physical principles and processes**. New York: Academic Press, 1972. 288 p.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press. 1980. 413p.

HILLEL, D. **Enviromental soil physics**.Massachusetts: Academic, 1998. 771p.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. UFRSM: **Ciência Rural**, v. 40, p. 1550-1556, 2010.

KLEIN, V. A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 1998. 150 f. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.

LEITE, J. A.; FERNANDEZ, B.; CAVALCANTE, L. F. Infiltração e retenção de água em dois Bruno Não-Cálcicos do município de São Mamede. **Agropecuária Técnica**, v. 2., n. 1., 1981.

LEITE, L. F. C.; AZEVEDO, D. M. P. de & NETO, M. L. T. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros maranhenses: características físicas sob sistema de preparo convencional e floresta nativa**. In: XV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. Santa Maria: UFSM, 2004 (Anais CDROOM).

MARQUES, A. C. S.; HENRIQUE, F. M. **Uma análise territorial sobre o uso do solo nas microrregiões do Curimataú Paraibano**. IN: XVI ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS. Porto Alegre: AGB, 2010, Anais.

MARTINS, M. R. **Carbono orgânico e polissacarídeos em agregados de um Latossolo Vermelho eutrófico em seqüências de culturas sob semeadura direta**. 2008. 59 p. (Dissertação de Mestrado). Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. 2008.

MICHELON, C. J.; CARLESSO, R.; OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E.; PETRY, M. T. MARTINS, J. C. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. Santa Maria: **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 848-853, 2010.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; MCKENZIE, N. J.; GRUNDY, M. J. **Predicting soil properties using pedotransfer functions and environmental correlation**. Disponível

em:http://www.academia.edu/1196619/Predicting_soil_properties_using_pedotransfer_functions_and_environmental_correlation. Acessado em: 28 de outubro de 2014.

MONTENEGRO, J. O. **Características físicas e valor de erodibilidade de solos da depressão central do Rio Grande do Sul**. 1976. 120 p. (Dissertação de Mestrado). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1976.

MONTEIRO, A. L. **Caracterização mineralógica de solos representativos do estado da Paraíba**. 2010, 139 p. (Dissertação de Mestrado). Areia: Universidade Federal da Paraíba, 2010.

NASCIMENTO, G. B.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A.; SANTOS, H. G. Funções de pedotransferência do conteúdo de água em Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.5, n.4, p.560-569, 2010.

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, n.2, p.315-323, 2002.

PAE - **PROGRAMA DE AÇÃO ESTADUAL DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DA SECA**. PAE-PB João Pessoa: Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Administração do Meio Ambiente, 158 p., 2011.

PEQUENO, P.L de L. et. al. Aspectos sobre a matéria orgânica do solo. **Revista do CREA**. p. 21. Porto Velho: CREA – RO, DEZ 2002/JAN 2003.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188p.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. Santa Maria: **Tópicos Ciência do Solo**, 5:49-134, 2007.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, p.1339-1348, 2011.

SILVA, A. S.; SILVA, I. F.; FERREIRA, L. E.; BORCHARTT, L.; SOUZA, M. A.; PEREIRA, W. E. Propriedades físicas e químicas em diferentes usos do solo no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1064-1072, 2013.

SILVA, R. M.; ALMEIDA NETO, L. A.; GALINDO, I. C. L.; MARTINS, C. M.; COSTA, J. A.; SANTOS, M. A.; PESSOA, T. D. B. **Índices de agregação de solos do semiárido utilizados como indicadores de desertificação**. Acessado em: 17 de outubro de 2015. Disponível em <http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R1243-1.pdf>.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUCK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35, p. 544-552, 2005.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1-10, 2008.

SILVA, A. S.; BRITO, L. T. L.; OLIVEIRA, C. A. V.; MOITA, A. W. Parâmetros de solo em função da umidade na capacidade de campo em áreas irrigáveis do trópico semi-árido brasileiro. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, p. 103-116, 1990.

SOLANO PERAZA, J.E.S. **Retenção de água e pedofunções para solos do Rio Grande do Sul**. 2003.118 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SOARES, F. C. **Uso de diferentes metodologias na geração de funções de pedotransferência para a retenção de água em solos do Rio Grande do Sul**. 2013. 200 p. (Tese de Doutorado). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

TAVARES FILHO, J.; FELTRAN, C. T. M.; OLIVEIRA, J. F.; ALMEIDA, E.; GUIMARÃES, M. F. Atributos de solo determinantes para a estimativa do índice de estabilidade de agregados. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.436-441, 2012.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 327-338, 2000.

URACH, F. L. **Estimativa de retenção de água em solos para fins de irrigação**. 2007. 81 p. (Dissertação de Mestrado). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2105-2114, 2011.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soil. **Soil Science**, v.32, p.181-193, 1931.

VOMOCIL, J. A. **Porosity**. New York: Academic, 1965.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 256-265, Mar. 2012.

WILLIAMS, J.; PREBBLE, R. E.; WILLIAMS, W. T.M.; HIGGNET, C. T. The influence of texture, structure and and clay mineralogy on the soil moisture characteristics. **Australian journal Soil Research**. n. 21, p. 15-32, 1983.

CAPÍTULO 1

ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS DA MESORREGIÃO DO AGRESTE PARAIBANO

RESUMO

PETRUS LUIZ DE LUNA PEQUENO. **Atributos físicos de solos da mesorregião do Agreste Paraibano.** Areia-PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, fevereiro de 2016. Cap. I. 68 p.il. Tese. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira

Tanto quanto as características químicas e biológicas, às físicas desempenham um papel primordial no desenvolvimento dos solos e na agricultura, uma vez que a interdependência entre as mesmas pode alterar positivamente ou negativamente o desenvolvimento de uma outra, haja vista serem responsáveis pelo movimento de água, ar, nutrientes, crescimento e desenvolvimento das raízes. Assim, a pesquisa objetivou avaliar os atributos físicos e adicionalmente químicos em seis classes de solos da Mesorregião do Agreste do estado da Paraíba (PB). Foram estudadas as classes de solo: Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA), Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (Pve), Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd), Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ), Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) e Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX), ambas componentes do banco de solos representativos do estado da Paraíba. Em cada classe de solo foram coletadas amostras indeformadas de solo para estudo dos atributos físicos de porosidade do solo (total, macro e microporosidade), estabilidade de agregados, densidade do solo, curva de retenção de água nas tensões -0,006, -0,01, -0,033; -0,1; -0,3; -0,5; -1,0; -1,5 MPa e condutividade hidráulica do solo saturado, além de amostras deformadas para determinação dos atributos granulometria, argila dispersa em água, grau de floculação, densidade de partícula, além dos parâmetros químicos do solo (K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} e carbono orgânico total). Os dados de umidade retida em cada potencial foram ajustados pelo modelo de van Genuchten com a restrição $m = 1-1/n$. Pelos resultados pode-se concluir que: A fração areia predominou em relação às demais frações, em todas as classes de solo e profundidades; A utilização de amostras indeformadas e deformadas de solo permitiu verificar a influência dos componentes estruturais e texturais no comportamento hidráulico do solo em todas as classes de solo; Os teores de cálcio, magnésio e sódio, além dos de argila, determinados nas classes de solo mostraram exercer influência no índice de estabilidade de agregados; Tanto para os solos mais desenvolvidos quanto para os menos desenvolvidos o quantitativo de argila presente influenciou na maior e menor retenção de água nos diferentes potenciais matriciais.

Palavras Chave: Banco de Dados, Paraíba, solos representativos, retenção de água

ABSTRACT

PETRUS LUIZ DE LUNA PEQUENO. **Soil physical attributes of mesoregion of the Agreste Paraibano.** Areia - PB, Agricultural Science Center, UFPB, dezembro de 2016. 68f. Thesis. (Postgraduate Program in Soil Science). Adviser: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira.

Similarly to the soil chemical and biological properties, the physical properties play an important role in the development of the soil and in the agriculture, since the interdependence between them can change positively or negatively development of another, being responsible for the movement of water, air, nutrients, growth and root development. The objective of this study was to quantify soil physical attributes, and additionally, attributes chemical in six soils of Mesoregion of the Agreste of Paraíba state. Were studied classes Ferrasol, Lixisol, Acrisol, Arenosol, Leptosol and Planosol. In each soil class were undisturbed soil samples collected to study the physical attributes total porosity, macro and microporosity, aggregate stability, bulk density, water retention curve tensions -0.006, -0.01, -0.033; -0.1; -0.3; -0.5; -1.0; -1.5 MPa and hydraulic conductivity saturated, and deformed samples for determination of particle size attributes, water dispersible clay, flocculation, particle density, addition of chemical soil parameters K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} and total organic carbon. The dates of the humidity retention in each matricial potential were adjusted by Van Genuchten model with the restriction $m = 1-1/n$. Through the obtained results, it can be concluded that: a) The sand fraction was predominant in relation to the other fractions in all soils class and depths; b) The use of disturbed and undisturbed soil samples allowed to verify the influence of structural and textural components in the hydraulic behavior of the ground in all soils class; c) The contents of calcium, magnesium and sodium, addition to the clay, determinate at all soil class showed exert influence on aggregate stability index; d) both developed soils, as undeveloped soils the amount of clay present influenced on the high and low water retention in different matric potentials.

Keywords: Data Bank, Soils, Paraíba state, Water retention

1. INTRODUÇÃO

Tanto quanto as características químicas e biológicas, às físicas desempenham um papel primordial no desenvolvimento dos solos e na agricultura, uma vez que a interdependência entre as mesmas pode alterar positivamente ou negativamente o desenvolvimento de uma outra, haja vista serem responsáveis pelo movimento de água, ar, nutrientes, crescimento e desenvolvimento das raízes.

Hierarquicamente, as duas mais importantes propriedades físicas do solo são a textura, que é definida pela distribuição de tamanho de partículas, e a estrutura, definida pelo arranjo das partículas em agregados. Ambas definem a área superficial e a arquitetura do sistema poroso e são os principais fatores associados ao armazenamento e disponibilidade da água nos solos, assim como, com a habilidade dos mesmos em deixar passar água na sua matriz para camadas profundas do perfil e da camada terrestre (REINERT & REICHERT, 2006).

Os solos de textura arenosa apresentam uma capacidade maior de infiltração e percolação de água no perfil, uma vez que a predominância de partículas maiores condiciona a formação de macroporos, facilitando assim o movimento de água e gases. No entanto, a capacidade de armazenamento de água é muito baixa e depende de fatores condicionantes, como a matéria orgânica, a qual auxilia na formação de agregados, redução da densidade do solo, redução da macroporosidade e aumento da microporosidade, além de contribuir através da área específica com cargas negativas na retenção de água, principalmente em potenciais matriciais mais baixos. CAMPINAS et al. (2013) corroboram com essas afirmações ao constatarem, através de pesquisa avaliando o comportamento das propriedades físicas do solo sob diferentes usos, que a matéria orgânica influenciou diretamente na capacidade de retenção de água por ter atuado na estruturação de agregados do solo, o que possibilitou maior arranjo dos poros e, conseqüentemente, implicou na maior retenção de água.

Os solos de textura argilosa apresentam baixa permeabilidade, maior força de coesão entre as partículas e alta capacidade de retenção de água, devido principalmente ao predomínio dos microporos na porosidade total do solo, além da superfície específica das argilas. No entanto, a exemplo como ocorre nos solos com alto teor de matéria orgânica, essa retenção não significa em maior quantidade de água disponível às plantas, uma vez que a retenção ocorre a tensões superiores a força de sucção radicular.

A estrutura do solo desempenha um papel fundamental no movimento (infiltração e percolação) e retenção de água no solo, sendo afetada negativamente pelo uso e manejo incorretos do solo. Consiste de partículas primárias e secundárias dispostas geometricamente, onde as primeiras conjuntamente agregadas por agentes cimentantes formam a segunda. Esses agregados formam a rede de poros responsáveis pelo transporte de ar e água (macroporos), bem como pela retenção de água (microporos), além de facilitar o desenvolvimento radicular no perfil do solo. Segundo HILLEL (1980), os macroporos são resultados da disposição dos agregados, da ação da mesofauna e raízes e da expansão e contração da massa do solo responsáveis pelo fluxo de água por gravidade: infiltração, drenagem e transporte de solutos e tocas gasosas com a atmosfera, onde esse fluxo depende da sua continuidade perfil abaixo. Os microporos, são capilares dentro dos agregados responsáveis pela retenção de água, onde quanto menor o diâmetro do poro maior a força de retenção. No entanto, o predomínio desse tipo de poro no solo em relação aos macroporos, indica redução da infiltração e arejamento.

O estudo dos atributos físicos do solo permite entender os mecanismos que governam a funcionalidade dos solos e seu papel na biosfera (REINERT & REICHERT, 2006), onde estudos desenvolvidos em solos representativos de uma região corroboram para melhor acurácia e representatividade, com isso reduzindo o erro nas predições (OLIVEIRA et al., 2006).

Nesse sentido, a pesquisa objetivou avaliar os atributos físicos e adicionalmente químico sem seis classes de solos da Mesorregião do Agreste do estado da Paraíba

2. MATERIALE MÉTODOS

2.1 Formação do banco de dados geográfico

Inicialmente, analisou-se a constituição do banco de solos representativos do estado da Paraíba criado por Oliveira et al. (2006), bem como a localização geográfica das classes de solos dentro das mesorregiões do Estado. Em função da maioria das classes de solos do referido banco estarem localizadas na Mesorregião do Agreste paraibano, foram escolhidas nesta três bem desenvolvidas e outras três menos desenvolvidas, ambas com algum tipo de exploração agrícola.

2.2. Localização das classes de solo estudadas e respectivos usos atuais

a) Município de Cuité – PB: Localizado na Microrregião do Curimataú Ocidental, com modelo climático Bsh (semiárido com chuvas de verão) da classificação de Koppen (Brasil, 1972). A média da precipitação dos últimos oito anos na região foi de 567,1 mm e temperatura média anual de 26°C (AESAs, 2016). Nesse município duas classes de solos foram selecionadas:

LA - Latossolo Amarelo Distrófico argissólico textura franco arenosa fase floresta subcaducifólia relevo plano (SiBCS, 2013) localizado no topo plano da Chapada da Serra do Cuité – PB nas coordenadas geográficas 6°58'32,1"S e 35°43'19,2"O. O uso atual da área é com a cultura do milho (*Zea mays*) em condições de sequeiro, sendo o preparo inicial do solo no modo convencional. Após a colheita, o solo passa a maior parte do tempo descoberto, uma vez que os restos de cultura é utilizado na alimentação de animais de médio e grande porte;

SX - Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico fase caatinga hiperxerófila textura franco-arenosa relevo ondulado (EMBRAPA, 2013), localizado à margem direita da BR 104 distando em 15,7 km da entrada da sede do município de Cuité nas coordenadas geográficas 6°37'23,2"S e 36°08'46"O. O uso do solo limita-se a uma vegetação esparsa com a presença de algumas algarobeiras (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.), além da presença de alguns animais

de porte médio, apresentando, porém, na maior parte do ano, a superfície do solo descoberta.

b) Município de Pocinhos – PB: localizado na microrregião do Curimataú Ocidental, com modelo climático Bsh (semiárido com chuvas de verão) da classificação de Koppen (Brasil, 1972). A média da precipitação dos últimos oito anos na região foi de 406 mm (AESAs, 2016) e temperatura média anual de 23 a 32°C (Carvalho & Melo, 2012). Foram selecionadas duas classes de solos nesse município:

RL - Neossolo Litólico Eutrófico típico fase caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado (SiBCS, 2013). Localizado na margem direita da BR 412, nas coordenadas geográficas 7° 9'17.59"S e 36° 7'3.10"O, teve a vegetação removida e o solo encontra-se descoberto na maior parte do ano;

RQ - Neossolo Quartzarênico Órtico típico fase floresta caducifólia relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2013), localizado no lado direito da PB-121 distando aproximadamente em 8,5 km da sede do município nas coordenadas geográficas 7°9'18.24"S e 7°9'18.24"S. O uso atual é com culturas em condições de sequeiro, principalmente milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*), porém, é feita a remoção dos restos culturais para alimentação animal e a área passa a maior parte do ano sem cobertura.

c) Município de Areia – PB: localizado na Microrregião do Brejo Paraibano, modelo climático de Koppen é As' (quente e úmido com chuvas de outono a inverno) (Brasil, 1972). No município, a média da precipitação anual dos últimos oito anos foi de 1.319,8 mm (AESAs, 2016), com temperatura média anual de 22°C. A classe de solo selecionada nesse município foi:

PVd - Argissolo Vermelho Distrófico abráptico fase floresta subperenifólia relevo forte ondulado (EMBRAPA, 2013). A área está localizada no CCA/UFPB nas coordenadas geográficas 6°58'32,1"S e 35°43'19,2"O. O uso atual é pastagem natural com *Brachiaria decumbens* estando a superfície do solo coberta durante todo o ano.

d) Município de Alagoa Grande – PB: localizado na Microrregião do Brejo Paraibano, modelo climático de Koppen é As' (quente e úmido com chuvas de outono a inverno) (Brasil, 1972). No município, a média da precipitação anual dos últimos oito anos foi de 875,4 mm (AESAs, 2016), com temperatura média anual de 24°C. A classe de solo selecionada nesse município foi:

PVe - Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto fase floresta subcaducifólia relevo ondulado (EMBRAPA, 2013). A área está localizada em estrada vicinal no lado direito da PB-079 sentido sede do município de Alagoa Grande, distando em 1,33 km da referida rodovia, nas coordenadas geográficas 7°01'55,4"S e 35°38'48,8"O. O uso atual é com gramíneas e leguminosas que sucederam a retirada da cana de açúcar (*Saccharum officinarum*), mantendo a superfície do solo coberta durante todo o ano.

2.3. Coleta de amostras de solo

Após seleção das classes de solo, foram delimitadas, para cada solo, áreas de amostragem representativas de 1,0 ha. Em cada uma das áreas foram realizadas aberturas de cinco mini trincheiras nas dimensões de 0,30 m x 0,30 m x 0,40 m e utilizando-se o GPS Garmim modelo GPS Garmin MAP 76CSx, procedeu-se a localização geográfica de cada mini trincheira.

Considerando as particularidades de cada atributo físico e químico do solo, foram coletadas 240 amostras em dois procedimentos de coleta:

A) **Amostras indeformadas:** I) Profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm: em cada mini trincheira, utilizando anéis volumétricos de 98,17 cm³. Foram coletadas três amostras de solo (uma por profundidade), perfazendo 15 amostras por classe de solo e 90 amostras totais, as quais foram utilizadas na determinação da umidade retida no solo nos potenciais matriciais -0,006, -0,01, -0,033, -0,1, -0,3, -0,5, -1,0 e -1,5 MPa, porosidade (total, macro e microporosidade) e densidade do solo; II) Profundidades de 0-10 e 10-20 cm: em cada mini trincheira, utilizando anéis volumétricos de 269,39 cm³, foram coletadas duas amostras de solo (uma por profundidade), perfazendo um total de 10 amostras por classe de solo e 60 amostras totais, as quais foram utilizadas na determinação da condutividade hidráulica saturada do solo; III) Profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm: foram coletadas três amostras por mini trincheira (uma por profundidade), perfazendo um total de 15 amostras por classe de solo e 90 amostras totais, utilizadas na determinação da estabilidade de agregados;

B) **Amostras deformadas:** Após determinação da estabilidade de agregados (item III), as amostras foram destorroadas e passadas em peneira de 2,00 mm para quantificação das frações granulométricas do solo (areia, silte e argila), determinação da densidade de partículas e dos teores dos atributos químicos do solo carbono orgânico total, potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocável.

2.4 Determinação dos atributos físicos

As determinações dos atributos físicos do solo foram realizadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba - DSER/CCA/UFPB e constaram de:

2.2.4.1 Granulometria

A quantificação das frações granulométricas dos solos (areia, silte e argila), bem como a fragmentação da fração areia, foram realizadas conforme DONAGEMA et al. (2011) e a classificação textural feita com base na proporcionalidade das frações presentes no solo e interpoladas no triângulo de classificação textural de solos.

2.2.4.2 Argila dispersa em água (ADA)

A determinação seguiu os mesmos procedimentos da análise granulométrica (DONAGEMA et al., 2011), excetuando a adição de agente dispersante.

2.2.4.3 Grau de flocculação (GF)

Determinou-se com base na metodologia descrita por DONAGEMA et al. (2011), utilizando os resultados dos teores de argila da análise granulométrica (argila total) e os de argila naturalmente dispersa em água.

2.2.4.4 Estabilidade de Agregados

A estabilidade dos agregados foi determinada através da separação de agregados por via úmida e por via seca seguindo o método descrito por TISDALL et al. (1978), adaptado por CARPENEDO & MIELNICZUCK (1990), onde foram obtidos os valores de diâmetro médio ponderado dos agregados nas duas condições de tamizagem (DMPAu – úmida e DMPAs - seca).

O índice de estabilidade de agregados (IEA) em cada classe de solo foi determinado através da relação DMPAu/DMPAs estabelecida por SILVA & MIELNICZUK (1997).

2.2.4.5 Densidade do solo (Ds)

A densidade do solo foi determinada através do método do anel volumétrico (Kopecky), utilizando-se a relação massa de solo seco pelo volume total do anel, conforme DONAGEMA et al. (2011).

2.2.4.6 Densidade de partículas (Dp)

A densidade de partículas foi determinada seguindo a metodologia descrita por FORSYTHE (1975) e consistiu da utilização de água destilada fervida para medir o volume deslocado por uma massa conhecida de solo, num balão volumétrico de 250 ml.

2.2.4.7 Porosidade total do solo (Pt), macroporosidade (MACP) e microporosidade (MICP)

O volume total de poros foi determinado em amostras de solo coletadas com anéis volumétricos de 98,17 cm³, onde a relação entre a massa de água presente na amostra e o volume do anel correspondido a porosidade total.

A macroporosidade e a microporosidade foram determinadas seguindo a metodologia de DONAGEMA et al. (2011).

2.2.4.8 Condutividade hidráulica saturada do solo (Ksat)

A condutividade hidráulica saturada de cada solo foi determinada em amostras indeformadas de solo coletadas em anéis volumétricos de 269,39 cm³, utilizando permeâmetro de carga constante (DONAGEMA et al., 2011).

2.2.4.9 Curva de retenção de água (CRA)

A curva de retenção de água de cada classe de solo foi elaborada através dos valores de umidade retida á diferentes tensões no solo determinados na mesa de tensão (-0,006 MPa) e no conjunto aparelho extrator de Richards (-0,01; -0,033; -0,1; -0,3; -0,5 e -1,5 MPa) contendo duas câmaras modelos 1600 (5 Bar Plate Extractor) e 1500 (15 Bar Plate Extractor) e compressor Soilmoisture modelo 505 20 Bar Compressor, conforme DONAGEMA et al. (2011).

Para representar a relação não linear entre umidade volumétrica e potencial matricial, foi ajustado o modelo de Van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_R + \theta_S + (\theta_R - \theta_S) * [1 / (1 + (\alpha * \psi_m)^n)]^m$$

com $m = 1 - 1/n$ (MUALEM, 1976), sendo $\theta(\psi_m)$ a umidade volumétrica correspondente para cada potencial matricial (ψ_m); θ_R e θ_S a umidade volumétrica residual e de saturação, respectivamente, e n e α parâmetros de ajuste. Para tal, foi utilizado o programa CRVG.sas (curva de retenção de van

Genuchten) desenvolvido por MAIA et al. (2006) em linguagem de programação SAS, utilizando os procedimentos do software estatístico SAS/STAT® (SAS, 2004).

Para determinação do volume retido na capacidade de campo (CC), considerou-se os potenciais matriciais -0,006 e -0,01 MPa sugeridos por REICHARDT (1988), DARDENGO et al. (2010) e ALMEIDA (2014), além do clássico -0,033 MPa, porém, este apesar de ser ainda amplamente utilizado, fora fixado para solos das regiões Temperadas e úmidas. O potencial matricial -1,5 MPa foi utilizado na presente pesquisa como sendo o mais extremo em negatividade, porém, não como vem sendo referenciado como indicativo da umidade no ponto de murcha permanente (PMP), uma vez que SALTER & GOODE (1967), SLATYER (1967) e ARRUDA et al. (1987) relatam que os sintomas de murchamento na planta e o decréscimo na produção por stress hídrico ocorrem muito antes que a tensão da água no solo atinja 1,5 MPa, porém existindo culturas que conseguem absorver água a tensões maiores como a Celósia (FELISBERTO et al., 2014) e *Vigna unguiculata* (COELHO et al., 2014). O conteúdo de água disponível (AD) foi determinado através da diferença entre os conteúdos da CC e o potencial matricial -1,5 MPa.

2.5 Determinação dos atributos químicos do solo

Os atributos químicos foram determinados em amostras de TFSA (terra fina seca ao ar) no Laboratório de Fertilidade do Solo do DSER/CCA/UFPB e constaram dos teores de K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} e carbono orgânico total utilizando a metodologia descrita em TEDESCO et al. (1995).

2.6 Sistematização do banco de dados geográfico

Os resultados das análises dos atributos físicos e químicos do solo foram inseridos em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel objetivando facilitar a interpretação das interações entre atributos físicos e químicos de cada classe de solo, bem como, facilitar a manipulação do banco de dados geográfico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise granulométrica do solo

A Tabela 1 apresenta o resultado da análise granulométrica das seis classes de solos da Mesorregião do Agreste paraibano. Observou-se a presença da fração areia predominando em todas as profundidades nas classes de solos avaliadas, onde verificou-se variação na ordem de 603 a 795 (0-5 cm), 529 a 791 (5-10 cm) e 498 a 800 (10-20 cm). A fração argila variou de 81 a 291 (0-5 cm) de solo, 91 a 191 (5-10 cm) e 82 a 358 (10-20 cm). O fracionamento da fração areia mostrou que nas classes de solos menos desenvolvidas o maior percentual é de areia fina (AF) em todas as profundidades, comportamento semelhante no PVe. No LA os maiores percentuais foram de areia média (AME) e no PVd foram de areia grossa (AG) e areia média (AME).

A classe LA apresentou um incremento nos teores de argila com a profundidade, razão esta que pode ter influenciado na mudança da classificação textural na profundidade de 10-20 cm para franco-argilo-arenosa, enquanto que nas demais foi franco-arenosa. Esses resultados corroboram com os de MEDEIROS et al., (2010) e MONTEIRO (2010), onde esta última destaca que tais resultados são devido a ser esta classe de solo predominantemente caulinítica, pobre em minerais primários, apresentando nas frações areia e silte ocorrência maior de quartzo, mineral este muito resistente ao intemperismo químico.

Tabela1. Resultado da análise granulométrica nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm das seis classes de solos e respectivas classificações texturais.

CLASSES DE SOLO	AREIA TOTAL g kg ⁻¹		Fragmentação da fração areia g kg ⁻¹					SILTE g kg ⁻¹		ARGILA g kg ⁻¹		CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
	Média	DP	AMG	AG	AM	AF	AMF	Média	DP	Média	DP	
0-5 cm												
Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA)	655	15	26	118	238	224	50	189	42	156	42	Franco-arenosa
Argissolo Vermelho Distrófico abráptico (PVd)	740	53	46	208	242	196	48	82	10	178	61	Franco-arenosa
Argissolo Vermelho Eutrófico abráptico (PVe)	603	65	19	60	146	288	90	105	16	291	66	Franco argilo-arenosa
Planossolo Háptico Eutrófico vertissólico (SX)	675	83	66	113	168	242	86	179	60	146	52	Franco-arenosa
Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL)	795	40	21	132	256	285	101	124	25	81	30	areia franca
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ)	720	25	11	96	223	286	104	163	26	117	21	Franco-arenosa
5-10 cm												
Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA)	629	5	25	109	226	220	49	180	50	191	53	Franco arenosa
Argissolo Vermelho Distrófico abráptico (PVd)	756	63	93	244	209	168	43	89	22	155	51	Franco arenosa
Argissolo Vermelho Eutrófico abráptico (PVe)	529	32	17	52	124	252	84	123	36	348	58	Franco argila arenosa
Planossolo Háptico Eutrófico vertissólico (SX)	657	98	50	100	161	250	95	169	74	174	60	Franco arenosa
Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL)	791	47	17	128	252	287	106	118	35	91	21	areia franca
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ)	753	39	13	107	236	291	107	126	38	121	14	Franco arenosa
10-20 cm												
Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA)	594	32	26	104	206	210	49	196	67	209	90	Franco argilo arenosa
Argissolo Vermelho Distrófico abráptico (PVd)	699	85	78	207	197	171	46	108	27	194	73	Franco arenosa
Argissolo Vermelho Eutrófico abráptico (PVe)	498	57	17	51	113	256	81	143	39	358	78	argilo arenosa
Planossolo Háptico Eutrófico vertissólico (SX)	637	76	53	100	151	234	98	176	75	187	92	Franco arenosa
Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL)	800	48	20	146	259	278	98	118	44	82	25	Areia Franca
Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ)	733	36	9	100	241	291	92	126	13	141	48	Franco arenosa

Onde: DP – desvio padrão; AMG – areia muito grossa; AG – areia grossa; AM – areia média; AF – areia fina; AMF – areia muito fina

No PVd verificou-se também valores elevados da fração areia e baixos de argila e silte, nessa ordem. A classificação textural foi franco arenosa nas três profundidades. Nesse solo, MONTEIRO (2010) também encontrou predominância da fração areia (660 g kg^{-1}), e os teores das frações argila e silte na ordem de 230 e 110 g kg^{-1} de solo, respectivamente, o que segundo a autora, deve-se ao fato do mesmo ser muito intemperizado oriundo de rochas do embasamento Pré-Cambriano como a biotita gnaiss, o que justifica o conteúdo da fração argila, além das alterações dos minerais primários como feldspatos e biotitas constituintes da biotita gnaiss.

A classe PVe cujo material originário é a biotita hornblenda gnaiss (rocha que apresenta uma mineralogia mais máfica, ou seja, rica em ferro e magnésio, foi a única com teores médios de argila acima de 220 g kg^{-1} de solo, além de teores de areia menor que as demais nas três profundidades. Os teores de argila encontrados podem ser resultantes da situação do relevo local ondulado e bem drenado, associado à influência do material originário (saprólito de hornblenda biotita gnaiss), submetido às condições da microrregião do Brejo Paraibano, resultando no enriquecimento da fração argila (MONTEIRO, 2010). Esses teores de argila tiveram incremento com a profundidade, sendo a variação em relação à média bastante proeminente, conforme pode ser verificado pelos valores dos desvios padrões nas três camadas. No entanto, a predominância da fração mais grosseira, no caso a areia, e baixos valores de silte, associados aos de argila, conferiam a classificação textural de franco-argilo-arenosa a argilo arenosa.

Ainda segundo a autora, a mineralogia das frações arenosas desse solo indica pobreza em minerais intemperizáveis com predomínio de quartzo, mineral este predominante também na fração silte, enquanto que na fração argila o predomínio é da caulinita, justificado pelos teores elevados de Al_2O_3 (em torno de 25%).

No SX, verificou-se teores de areia predominantes, com valores superiores a 600 g kg^{-1} de solo, em relação aos de argila e silte. Nesse mesmo solo, MONTEIRO (2010) encontrou teores de areia na ordem de 850 g kg^{-1} de solo. A autora destacou que se trata de um solo que sofreu poucos efeitos dos agentes intempéricos apresentando $K_i > 2,46$ (relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$). Nesse solo as argilas de alta atividade (ilita, esmectitas), mediante a falta de

água provocam ressecamento acompanhado de fendilhamento entre os agregados do solo, fazendo com que, no período chuvoso o solo fique encharcado. Além deste aspecto, é raso tornando o seu manejo com culturas agrícolas bastante difícil, com intervalos curtos para manejo do solo.

ALVES (2012), encontrou valores das frações granulométricas semelhantes, porém em área localizada no município de Remígio-PB. A intersecção desses teores no triângulo de classificação textural determinou uma textura Franco arenosa. Uma das características encontradas nessa classe de solo, além da ocorrência em relevo plano e baixo desenvolvimento, foi a presença de um horizonte adensado e cores escurecidas. Os valores do desvio padrão, utilizado para verificar o comportamento dos valores em torno da média, demonstram a variação dos teores de argila nas três profundidades, verificando-se também o incremento desses com a profundidade, o que segundo a EMBRAPA (2013) a desargilização da camada superficial e acúmulo ou concentração intensa no horizonte superficial, além de evidências de processos de redução, com ou sem segregação de ferro, que se manifesta nos atributos de cor, são critérios de identificação dessa classe de solo.

A classe RQ apresentou teores elevados da fração areia em todas as profundidades (acima de 700 g kg^{-1} de solo). Os valores de erro padrão, desvio-padrão e coeficiente de variação demonstram a baixa variação dos valores encontrados em relação a média, onde os teores de areia, silte e argila estão muito próximos, dentro de cada fração. A classificação textural verificada para todas as profundidades foi areia franca, corroborando com os resultados obtidos por MONTEIRO (2010) na mesma área, SILVA et al. (2013) no município de Areia-PB, BORCHARTT et al. (2011) e MENESES & SILVA (2008), no município de Esperança-PB, ambos com predominância da fração areia em relação a argila e silte, nessa ordem. SANTOS et al. (2012) caracterizando os Neossolos Regolíticos da região semiárida de Pernambuco, observaram o predomínio da fração areia total, cujos valores variaram entre 713 e 902 g kg^{-1} , com maior quantidade de areia grossa, com teores entre 456 a 640 g kg^{-1} , enquanto os teores de areia fina variaram entre 212 e 333 g kg^{-1} , enquanto que os teores de argila variaram entre 34 e 104 g kg^{-1} .

SANTOS et al. (2012) caracterizando Neossolos Regolíticos na Região Semiárida do estado de Pernambuco afirmaram que o predomínio de areia

nesses solos está relacionado ao material de origem, em especial aos elevados teores de quartzo, fato este confirmado pela mineralogia da fração areia descrita por MONTEIRO (2010).

O RL, a exemplo do RQ, é também um solo pouco intemperizado. Neste, foram encontrados fragmentos de rocha por todo o solo, além da profundidade bem reduzida (não chegando aos 30 cm o início do contato lítico). O uso da área é agrícola, segundo o agricultor, porém sem sucesso produtivo em função das condições edafoclimáticas. A predominância da fração areia ocorreu com teores acima dos 700 g kg⁻¹ de solo nas três profundidades, chegando a 800 g kg⁻¹ de solo nas profundidades 3, seguida das frações silte e argila com valores médios variando de 118 a 124 g kg⁻¹ de solo e 82 a 91 g kg⁻¹ de solo, respectivamente. A classificação textural areia franca foi comum a todas as profundidades, resultados congruentes aos de MONTEIRO (2010), a qual destaca que na mineralogia desse solo merecem destaque os percentuais de óxidos de ferro elevados, além da presença de hornblenda e biotita, que apresentam Fe na sua composição. O estágio de alteração dos feldspatos contribui para a formação dos minerais de argilas com um percentual elevado de 4,7% de K₂O e 5,2% de CaO. Nos minerais de argila, o solo apresenta domínio de argilas de atividade alta como illita e esmectitas. Além disso, a pouca espessura do perfil, pedregosidade e rochosidade impossibilitam o uso de implementos agrícolas, além de limitações impostas pela deficiência de água, pela ocorrência expressiva na região da Borborema Central.

3.2 Agregação do Solo

3.2.1 Distribuição percentual de tamanho de agregados

A Tabela 2 contém a distribuição percentual da massa de agregados por classes de diâmetro obtidas através de tamizagem via seca e úmida para as seis classes de solo nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm.

Nos Argissolos Amarelo distrófico e Vermelho Amarelo, bem como no Planossolo Háptico, ambos sob baixos conteúdos de umidade (tamizagem via seca), houve maior resistência a desagregação com tendência de manutenção

de um maior percentual de agregados na classe $>2,00$ mm em todas as profundidades, enquanto que nas demais classes ocorreu uma maior fragmentação a classes de menores diâmetros. No entanto, por esse método não permitir distinção dos agregados formados recentemente daqueles que já sofreram processo de estabilização, essa resistência não representa ainda o estado de agregação do solo (SILVA, 1993).

A submissão ao processo de umedecimento e secagem, através do peneiramento úmido, provocou uma fragmentação dos mesmos à macroagregados menores ($1,00 - 0,500$ mm e $0,500 - 0,250$ mm) e microagregados ($0,250 - 0,106$ mm) em todas as classes de solo e profundidades. Considerando-se a textura desses solos, associado aos baixos conteúdos de matéria orgânica e sistema de exploração convencional constata-se a fragilidade desses agregados, reportando a necessidade de mudanças nos sistemas de uso e manejo desses solos de sorte promover melhorias na formação de agregados estáveis, o que segundo BASTOS et al. (2005), diversos são os fatores que interferem na agregação do solo. Dentre esses, os principais são: tipo e teor de argila, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, exsudatos orgânicos de plantas, substâncias orgânicas provenientes da ação de microrganismos e outros compostos orgânicos.

A acumulação de agregados em classes de diâmetro $<1,00$ mm ocorrem em função de sua estabilidade ao rápido umedecimento, não sendo destruídos por práticas agrícolas, uma vez que são constituídos por partículas de 2 a $20\mu\text{m}$ de diâmetro, unidas através de agentes cimentantes, conforme SILVA (1993) e TISDAL & OADES (1982).

Tabela 2. Distribuição percentual da massa de agregados obtida por peneiragem via seca e via úmida sob diferentes profundidades.

Classes de solo	Classes de tamanho de agregados, mm													
	> 2,00		2,00 - 1,00		1,00 - 0,500		0,500 - 0,250		0,250 - 0,106		0,106 - 0,053		< 0,053	
	sc	ud	sc	ud	sc	ud	sc	ud	sc	ud	sc	ud	sc	ud
0 - 5 cm														
LA	15,54	14,80	13,04	10,40	23,04	20,97	27,10	18,25	15,82	18,28	4,21	5,70	1,25	2,99
PVd	40,70	18,40	12,09	10,80	22,93	20,94	15,70	18,75	6,58	18,48	1,04	4,50	0,96	2,37
PVe	37,84	3,38	19,30	6,25	16,01	10,89	13,34	18,15	9,23	31,99	1,71	12,93	2,58	6,59
SX	38,19	4,49	10,73	7,10	11,33	12,56	14,75	17,20	14,07	31,57	4,00	10,29	6,93	10,29
RL	11,73	1,74	6,54	4,73	17,59	13,75	27,17	26,71	24,87	19,64	7,73	18,76	4,38	10,81
RQ	7,60	1,79	5,60	3,32	17,25	14,08	28,89	22,36	24,65	32,38	6,57	10,82	9,43	6,11
5 - 10 cm														
LA	27,19	10,95	12,28	14,35	20,63	25,06	22,78	16,89	12,56	14,29	2,85	7,85	1,70	4,02
PVd	37,82	11,75	20,45	15,15	24,17	26,55	11,35	17,71	4,54	15,19	0,83	4,86	0,84	2,3
PVe	40,68	2,25	17,83	6,69	17,27	12,04	12,66	19,26	7,75	30,79	1,78	13,45	2,04	6,94
SX	34,59	7,95	12,12	8,33	12,45	12,33	15,10	17,10	13,79	29,66	3,88	9,40	8,06	5,98
RL	17,11	2,16	7,38	3,90	17,26	14,82	25,40	21,38	21,87	25,18	6,26	18,73	4,73	10,89
RQ	7,51	0,74	5,49	3,70	18,57	14,21	31,10	23,85	27,10	26,08	6,89	15,55	3,34	8,87
10 - 20 cm														
LA	21,70	10,97	14,12	13,34	22,57	23,68	24,35	15,23	12,00	19,18	4,28	9,73	0,98	5,99
PVd	35,63	10,87	20,05	13,24	23,81	23,51	12,74	15,11	5,56	19,09	0,63	7,77	1,56	4,66
PVe	41,68	7,98	17,46	6,22	16,32	12,56	12,90	18,16	7,92	33,59	1,77	4,92	1,95	2,65
SX	31,85	3,63	10,52	6,04	13,33	11,64	16,81	16,76	13,19	29,16	4,84	16,75	9,46	4,92
RL	19,37	1,41	7,01	4,38	16,16	14,37	24,50	24,20	22,53	29,93	6,60	11,97	3,84	7,39
RQ	16,88	0,52	9,80	3,03	21,74	13,86	26,23	26,31	18,67	27,87	4,45	11,59	2,24	6,79

Onde: LA – Latossolo Amarelo Distrófico argissólico; PVd – Argissolo Vermelho Distrófico abrupto; PVe – Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto; RL – Neossolo Litólico Eutrófico vertissólico; RQ – Neossolo Quartzarênico Órtico típico; sc – peneiragem seca; ud – peneiragem úmida

3.2.2 Diâmetro médio ponderado de agregados secos (DMPA_s) e Úmidos (DMPA_u)

O diâmetro médio ponderado dos agregados obtido após peneiragem seca indica o estado atual de agregação do solo antecedente a peneiragem úmida, ou seja, permitiu verificar o tamanho desses agregados sob condições de baixa umidade e sem sofrer ações severas de desagregação, sem, no entanto, indicar se aqueles agregados foram recém-formados ou não.

Nesse sentido, observando-se a tabela 3, constata-se que os Neossolos apresentaram os menores valores de DMPAs em todas as profundidades, corroborando com os resultados texturais dos dois solos. Os valores de desvio padrão mostram a baixa dispersão entre os valores utilizados no DMPAs. Logo, a formação desses agregados está ligada a outros fatores, a exemplo dos destacados anteriormente por TISDALL & OADES (1982), CHAN et al. (2001) e BOENI(2007), uma vez que a predominância da fração areia, seguida de silte e baixos da fração argila nesses solos mostrou uma provável redução da atividade eletroquímica entre as partículas.

No Latossolo Amarelo, os valores de DMPAs foram muito próximos, demonstrados também pelo desvio padrão. Os resultados são consoantes com os teores das frações granulométricas determinadas nesse solo, retratadas na distribuição percentual dos agregados obtidos via seca. No entanto, esses resultados poderiam ser melhores com adoção de práticas de uso e manejo disponíveis nas pesquisas para esses solos, como os obtidos por ALMEIDA et al. (2014) avaliando *Poaceae cespitosa* e decumbente sob adubação NPK na agregação de um Latossolo Amarelo na microrregião do Brejo Paraibano. Embora que os autores não tenham verificado diferenças estatísticas entre os resultados encontrados de DMPAs, estes por si só foram maiores que os encontrados na presente pesquisa, denotando assim a importância do correto uso e manejo do solo.

Tabela 3. Diâmetro médio ponderado dos agregados nas diferentes classes de solos obtidos por peneiragem via seca

Classes de solo	DMPAs, mm					
	Profundidade, cm					
	0-5	DP	5-10	DP	10-20	DP
LA	1,323	0,30	1,973	0,55	1,634	0,44
PVd	2,948	0,84	3,084	0,78	2,597	0,75
PVe	2,766	0,78	2,707	0,83	3,098	0,86
SX	2,617	0,84	2,791	0,73	1,535	0,75
RL	0,770	0,28	1,530	0,36	1,470	0,41
RQ	0,793	0,15	0,825	0,16	1,013	0,40

Onde: DMPAs – diâmetro médio ponderado agregado seco; DP – desvio padrão; LA – Latossolo Amarelo Distrófico argissólico; PVd – Argissolo Vermelho Distrófico abrupto; PVe – Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto; RL – Neossolo Litólico Eutrófico vertissólico; RQ – Neossolo Quartzarênico Órtico típico.

Os Argissolos apresentaram valores de DMPAs maiores que os dos Neossolos, mesmo tendo-se observado através dos dados do desvio padrão uma acentuada variação por profundidade. Esses valores elevados podem ser atribuídos a provável efeito do aspecto textural, em especial os teores de argila, pois segundo SILVA et al. (2014) a textura do solo afeta a estabilidade e a própria formação de agregados, e solos com maior teor de argila favorecem a agregação.

Para VEZZANI & MIELNICZUK (2011) estudando agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola, a maior presença de argila contribuiu para aumentar a aproximação das partículas do solo. SANTOS et al. (2010) avaliando atributos físicos e químicos do solo de áreas sob pastejo na microrregião do Brejo Paraibano em PVd, também encontraram valores elevados de DMPAs e inferiram que horizontes arenosos dificultam a proteção física da matéria orgânica, dificultando a formação de agregados.

No SX, os valores de DMPAs foram semelhantes aos dos Argissolos, seguindo o mesmo comportamento no que concerne à relação com a textura do solo. Nesse solo, considerando às condições climáticas em que o mesmo se

encontra, região do Curimataú paraibano, o que pode ter contribuído para formação desses agregados é o que descreve HARRIS et al. (1966) e BAVER et al. (1973), os quais relatam que o solo quando seco ocorre uma contração dos seus colóides e desidratação dos cimentos orgânicos, o que tende para o incremento da agregação.

Além disso, SILVA & MIELNICZUCK (1997) avaliando sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados, observaram pouca variação entre os valores de DMPAs entre solos, sistemas de cultivo e profundidades analisadas e afirmaram que os resultados obtidos devem-se ao método empregado, que não distingue os agregados recentemente formados daqueles que, além de formados, sofreram um processo de estabilização.

Na tabela 4, estão apresentados os dados referentes ao diâmetro médio ponderado dos agregados obtidos por peneiragem úmida (DMPAu). Comparando-se os valores destes com os constantes na tabela 3, constata-se serem menores. Segundo SANTIAGO (1997), isso ocorre em função dos agregados secos quando submetidos ao umedecimento e a ação mecânica do peneiramento, sofrem alterações, com maiores efeitos, justamente naqueles de maior diâmetro, os quais contribuem para aumentar a quantidade de agregados das classes de menor diâmetro e, conseqüentemente, diminuir os valores de DMPAu.

Ainda na referida tabela, observou-se que o Latossolo Amarelo foi o que apresentou agregados mais estáveis, uma vez que os valores de DMPAu apresentados foram próximos aos de DMPAs, ou seja, a fragmentação a agregados menores após a peneiragem via úmida foi pequena, permitindo inferir que nesse solo pode ter ocorrido influência das frações granulométricas predominantes, assim como do efeito residual do uso anterior do solo.

Os Argissolos PVd e PVe, além do SX foram os que obtiveram menores valores de DMPAu, demonstrando que suas unidades estruturais estavam bastante vulneráveis à desagregação sob ação da água. Isso denota necessidade de melhorias nas condições de uso e manejo do solo de forma reduzir o impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície desses solos, como também diminuição da incidência direta dos raios solares, favorecendo o desenvolvimento vegetal e atividade microbiana para formação e estabilização dos agregados, tendo assim melhoria estrutural.

Tabela 4. Diâmetro médio ponderado dos agregados nas diferentes classes de solos obtidos por peneiragem via úmida.

Classes de solo	DMPAu, mm					
	Profundidade, cm					
	0-5	DP	5-10	DP	10-20	DP
LA	1,250	0,287	1,120	0,217	1,070	0,228
PVd	1,050	0,380	1,440	0,237	1,130	0,225
PVe	0,460	0,074	0,520	0,054	0,410	0,115
SX	0,636	0,225	0,541	0,084	0,511	0,067
RL	0,380	0,048	0,420	0,058	0,370	0,044
RQ	0,340	0,047	0,390	0,037	0,360	0,039

Onde: DMPAu – diâmetro médio ponderado do agregado úmido; DP – desvio padrão; LA – Latossolo Amarelo Distrófico argissólico; PVd – Argissolo Vermelho Distrófico abrupto; PVe – Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto; RL – Neossolo Litólico Eutrófico vertissólico; RQ – Neossolo Quartzarênico Órtico típico.

Observando-se os valores de DMPAu para RL e RQ e comparando-os com os valores de DMPAs da tabela 3, pode-se constatar a fragilidade também de suas unidades estruturais, uma vez que a fragmentação dos agregados maiores à menores, após umedecimento e peneiragem via úmida, estiveram no intervalo de 51 a 75%.

A desagregação no Neossolo Quatzarenico pode ser explicada principalmente pela área ser utilizada com sistema de preparo convencional, plantio em condições de sequeiro e remoção dos restos culturais da área. Somado a isso, tem-se a distribuição das frações granulométricas, onde há predominância das frações areia (em maior quantidade), silte e por última argila. Nesse sentido, atividades eletroquímicas nesse solo tenderam a ser muito baixas e, adicionados ao sistema de uso e manejo corroboraram para os baixos valores de DMPAu.

Segundo TERASSI et al. (2014) avaliando a variação da estabilidade de agregados e as suas relações com a vulnerabilidade dos solos ao longo de uma vertente na região noroeste do Paraná, a elevação da fração areia dos horizontes A e C desses solos é uma característica que implica em aumento da instabilidade dos agregados e da susceptibilidade à erosão.

3.2.3 Índice de Estabilidade de Agregados (IEA)

Observou-se uma grande variação nos valores de IEA em todas as profundidades e classes de solo (tabela 5). Dentre os solos mais desenvolvidos, o LA e PVe apresentaram melhores IEA médios, sendo nos primeiros 5 cm onde ocorreu os agregados mais estáveis. Dos solos menos intemperizados, apenas o SX apresentou um bom IEA, porém, apenas nos primeiros 5 cm iniciais. A baixa estabilidade dos agregados nesses solos pode estar diretamente relacionada com a textura dos mesmos e aos baixos teores de matéria orgânica, uma vez que, segundo WOHLBERGET al. (2004), as moléculas orgânicas atuam nas etapas de formação e estabilização dos agregados, além de servirem de fonte de energia para os microrganismos, que são importantes agentes de agregação. Exceto nos Argissolos analisados, nas demais classes de solos, as áreas encontravam-se desnudas, não sendo encontrados restos culturais remanescentes, corroborando para os baixos teores de matéria orgânica verificados, o que devido a textura predominantemente arenosa desses solos, contribuiu para baixa formação de agregados estáveis em água, consequentemente, reduzindo a relação DMPAu/DMPAs.

AGUIAR (2008) avaliou a qualidade física do solo em dois ambientes edafoclimáticos diferentes, sendo um na Zona da Mata mineira em áreas com cafeeiro (a pleno sol e em sistema agroflorestal) e Mata Atlântica sob Latossolo Amarelo textura argilosa e outro no semiárido cearense em três sistemas de uso (consórcio milho+feijão+algodão a pleno sol; consórcio milho+feijão+algodão em sistema agroflorestal; e Caatinga secundária) sob Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico abrupto textura arenosa. Nos sistemas da Zona da Mata o autor encontrou índices elevados de agregação do solo em todas as áreas e atribuiu a ocorrência de agregados maiores (4,00-2,00 e 2,00-1,00mm). Nas áreas do semiárido o autor não encontrou efeito estatístico em nenhuma das áreas e justificou os resultados em função da predominância da fração areia (aproximadamente 75%) com estrutura constituída por grãos simples, onde a maioria das partículas retidas nas peneiras de maiores diâmetros foram de cascalho e areia, além dos baixos valores de carbono

orgânico total, sendo este pouco retido também em função da textura arenosa do solo da área.

Tabela 5. Valores mínimos, máximos e médios do índice de estabilidade de agregados (IEA) em água nas seis classes de solo

Classes de solo	Prof (cm)	Valores de IEA		
		Min	Máx	Média
PVd	0-5	0,40	0,68	0,55 ± 0,05
	5-10	0,35	0,70	0,47 ± 0,06
	10-20	0,20	0,79	0,47 ± 0,10
PVe	0-5	0,63	0,98	0,83 ± 0,07
	5-10	0,53	0,97	0,72 ± 0,08
	10-20	0,28	0,91	0,66 ± 0,12
LA	0-5	0,89	0,99	0,92 ± 0,02
	5-10	0,47	0,75	0,61 ± 0,05
	10-20	0,44	0,95	0,66 ± 0,11
RQ	0-5	0,39	0,62	0,52 ± 0,05
	5-10	0,31	0,71	0,46 ± 0,07
	10-20	0,15	0,42	0,28 ± 0,05
RL	0-5	0,24	0,81	0,47 ± 0,11
	5-10	0,18	0,70	0,36 ± 0,09
	10-20	0,21	0,42	0,31 ± 0,04
SX	0-5	0,82	0,99	0,89 ± 0,03
	5-10	0,48	0,72	0,58 ± 0,04
	10-20	0,46	0,90	0,66 ± 0,09

Onde: Prof – profundidade em cm; Min – valor menor; Máx – valor maior; $\pm$ erro padrão da média; LA – Latossolo Amarelo Distrófico argissólico; PVd – Argissolo Vermelho Distrófico abrupto; PVe – Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto; RL – Neossolo Litólico Eutrófico vertissólico; RQ – Neossolo Quartzarênico Órtico típico.

Considerando a influência das características químicas e físicas na estabilidade dos agregados do solo, a tabela 6 sumaria essas relações como auxílio na interpretação dos resultados do IEA observados nos solos, segundo o grau de desenvolvimento. Observou-se que nos solos mais desenvolvidos o IEA esteve ligado diretamente com os teores de areia e argila, com pouca influência dos teores de MO. O PVd mesmo tendo apresentado um maior quantitativo de MO que o PVe e LA, seus baixos teores de argila e elevados de areia, em relação aos outros dois, contribuíram para o baixo IEA. A importância da fração argila nesses solos, no que concerne à agregação, está no fato da predominância da caulinita, argilomineral do grupo 1:1, que devido as suas características permite a esses solos uma melhor agregação. Segundo

PEDROTTI et al. (2003), os solos tropicais revelam, de modo geral, a predominância na composição mineralógica da fração argila de argilominerais do tipo 1:1 e de óxidos de ferro e de alumínio, o que resulta numa tendência de maior agregação do que solos com elevados teores de argilominerais 2:1 e pobres em óxidos de ferro e de alumínio.

Adicionando-se a esses resultados, observou-se através das características químicas desses solos que a presença em maior quantidade de $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ e os baixos valores de Na^{+} podem ter contribuído para a melhor agregação do LA e PVe. Segundo OLIVEIRA et al. (2012), esses cátions influenciam nos processos de floculação e dispersão das argilas, e de acordo com DONTSOVA & NORTON (2001), quando há predominância do Ca^{+2} em relação ao Mg^{+2} o processo de floculação é favorecido devido ao menor raio de hidratação do Ca^{+2} corroborar para uma maior aproximação das argilas, aumentando desta feita a resistência à desagregação e elevando os valores de IEA. Nesse sentido, os efeitos do Na^{+} na dispersão das argilas pode ter ocorrido com maior intensidade no PVd, uma vez que os teores desse cátion encontrados em relação ao PVe e LA foram 7,89 e 3,7 vezes maiores, respectivamente.

Ainda na referida tabela e nos solos menos desenvolvidos, verificou-se que os teores elevados de carbono orgânico e de argila encontrados no SX e RQ proporcionaram aos mesmos melhores valores de IEA, tendo o SX se sobressaído em relação ao RQ e RL. No que diz respeito às características químicas desses solos, constatou-se que a presença dos maiores quantitativos de $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ no SX, onde a proporção de Ca^{+2} em relação ao Mg^{+2} foi de 2,21:1, pode ter contribuído também para o melhor IEA. Apesar dos teores de silte tenham sido superiores aos de argila, aliado a predominância da fração areia, observou-se que a combinação teores mais elevados de CO e argila, proporcionaram melhor estabilidade, onde o SX se sobressaiu das demais.

Nesse sentido, os resultados são corroborados pelos obtidos por OLIVEIRA et al. (2012) estudando fatores relacionados à suscetibilidade a erosão em amostras de solo de um Neossolo Litólico distrófico típico no Rio Grande do Sul, verificaram que os maiores valores de argila e de MO no tratamento mata nativa explicaram em parte a maior estabilidade dos agregados (IEA), assim como a relação Ca^{+2} e Mg^{+2} em relação a CTC do solo.

Logo, considerando que a proximidade do valor de IEA da unidade indica melhor estabilidade (SILVA & MIELNICZUCK, 1997), verificou-se como solos com melhor estabilidade de agregados o PVd, LA e SX e com maior suscetibilidade a desagregação, ou seja, com mais instabilidade as classes PVd, RQ e RL.

BOCHNER et al. (2008) avaliaram a estabilidade de agregados e a relação com as características químicas da serapilheira de dois Planossolos Háplicos (um gleissólico e outro arênico), onde o primeiro sob floresta secundária (FS) e o segundo com Andiroba (*Carapa guianensis*) (PA) e sabiá (*Mimosa caesalpinaefolia*) (PM). Segundo os autores, na área com floresta secundária o IEA foi superior as demais áreas, sendo o dobro dos valores verificados para as áreas PA e PM e atribuíram os resultados a qualidade da serapilheira e ao conteúdo de carbono orgânico presente nesta.

Avaliando a matéria orgânica em Planossolo Háplico eutrófico solódico sob sistemas de manejo no cultivo do arroz irrigado no Sul do Brasil, ROSA (2010) relatou que os teores de carbono orgânico total e das frações físicas da matéria orgânica do solo não se correlacionaram com o diâmetro médio ponderado dos agregados do solo obtidos por via úmida nos sistemas com preparo convencional, evidenciando que a MO não está contribuindo para a estabilização dos agregados do solo e/ou a agregação do solo nesses sistemas. O intenso revolvimento do solo provoca a quebra dos agregados expondo a matéria orgânica o que diminui a proteção física e o tempo de conta toda fração orgânica com a mineral para que haja interação entre elas.

VENDRUSCOLO et al. (2011) avaliando propriedades físicas de um Latossolo e Argissolo comparados a quatro tipos de solos na Paraíba encontrou IEA de 0,95 para o Latossolo Amarelo. Segundo os autores, o resultado pode ser atribuído ao fato da área estudada se encontrar com um grande aporte de matéria orgânica, oriunda da mata nativa associado à ciclagem de nutrientes nesses sítios e por esse motivo, por não ser uma área de cultivo, coexiste um maior aporte de carbono orgânico mantendo o equilíbrio do sistema, principalmente sobre as propriedades físicas do solo.

Tabela 6. Parâmetros químicos e físicos auxiliares na interpretação dos valores de IEA nos solos estudados.

Classe de solo	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺² +Mg ⁺²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	CO	Areia	Silte	Argila	IEA
	mmol _c dm ⁻³						g kg ⁻¹				-
	Mais desenvolvidos										
LA	19,76	2,11	58,63	36,8	21,8	0,06	13,32	626	189	186	73
PVd	3,16	7,89	34,17	26,0	8,2	1,04	18,84	732	93	175	50
PVe	5,45	1,00	38,93	25,5	13,5	0,21	16,86	543	124	333	74
Menos desenvolvidos											
RQ	16,16	2,11	56,47	22,6	33,9	0,04	16,23	735	138	126	42
RL	18,63	1,80	56,93	40,1	16,9	0,08	14,22	795	120	85	38
SX	5,66	1,24	156,83	108,1	48,8	0,01	15,67	656	175	169	71

Onde LA – Latossolo Amarelo Distrófico argissólico; PVd – Argissolo Vermelho Distrófico abrupto; PVe – Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto; RL – Neossolo Litólico Eutrófico vertissólico; RQ – Neossolo Quartzarênico Órtico típico

3.2.4 Argila dispersa em água (ADA) e Grau de flocculação (GF)

Considerando-se que o grau de flocculação indica o percentual de argila, em relação ao total, que pode estar aderida a outras partículas formando agregados e que não é facilmente transportada pela água, sendo um parâmetro indireto da agregação do solo, constatou-se que em todas as classes de solo estudadas os percentuais médios foram superiores aos 60%, tendo os solos mais desenvolvidos apresentado melhores valores em relação aos menos desenvolvidos (tabela 7).

Nos solos mais desenvolvidos, observou-se que no PVd e PVe, onde existe cobertura do solo, os valores do GF foram maiores que no LA, fato esse que pode estar associado ao sistema de uso do solo, uma vez nesse último o preparo do solo é feito de forma convencional. Nos solos menos desenvolvidos, foi verificada redução também do GF com o revolvimento, sendo o RQ, que anualmente é cultivado com milho, o que apresentou menor valor de GF e maior de ADA. Segundo ALMEIDA et al. (2009) e GASPARETTO et al. (2009), a desestruturação do solo através do cultivo modifica a interação entre as partículas minerais, aumentando o quantitativo de argila dispersa em água e reduzindo o grau de flocculação.

Segundo FREITAS (2011), mesmo teores baixos da ADA, a migração dessas para camadas mais profundas do solo onde possa haver condições de flocculação, poderão afetar a dinâmica da água e ar do solo pela obstrução de poros. Em solos com valores elevados, de acordo com LEVY et al. (1993), influencia no encrostamento superficial e na taxa de infiltração, provocando diminuição da porosidade do solo com consequente restrição na movimentação de água no perfil, uma vez que, conforme SPERA et al. (2008), a porosidade natural passa a ser obstruída pelas partículas de argila iluviadas, elevando a densidade do solo. Dessa forma, a perda de estabilidade dos macroagregados e o fracionamento em microagregados, bem como a consequente iluviação da argila, desenvolvem acamada superficial dispersa, com estrutura maciça de grãos simples.

Tabela 7. Valores mínimos, máximos e médios de argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF) nos solos estudados.

Classes de solos	Prof	Valores de GF, %			Valores de ADA, g kg ⁻¹		
	(cm)	Min	Máx	Médio	Min	Máx	Médio
PVd	0-5	79	100	87 ± 4	0,0	37,3	22,6 ± 6,1
	5-10	72	100	90 ± 5	0,0	25,3	12,6 ± 5,6
	10-20	78	100	89 ± 4	0,0	51,8	20,5 ± 8,8
PVe	0-5	71	93	83 ± 4	25,4	76,5	45,8 ± 10,4
	5-10	70	93	85 ± 5	25,5	76,9	48,5 ± 11,7
	10-20	79	94	88 ± 3	25,7	76,6	41,0 ± 10,2
LA	0-5	66	87	77 ± 4	25,3	51,1	35,5 ± 6,3
	5-10	61	89	77 ± 5	25,3	50,7	40,5 ± 6,2
	10-20	62	95	83 ± 6	12,7	50,7	27,9 ± 6,2
RQ	0-5	56	82	68 ± 5	23,2	49,9	37,6 ± 5,9
	5-10	57	83	73 ± 5	23,4	48,1	32,0 ± 4,8
	10-20	23	85	63 ± 11	23,7	51,0	43,7 ± 5,1
RL	0-5	69	100	84 ± 7	0,0	25,5	15,2 ± 6,2
	5-10	43	100	74 ± 9	0,0	51,2	25,6 ± 8,1
	10-20	68	100	78 ± 6	0,0	25,7	20,5 ± 5,1
SX	0-5	68	84	75 ± 3	25,3	51,1	35,5 ± 6,3
	5-10	73	90	81 ± 4	25,3	50,7	40,5 ± 6,2
	10-20	48	86	71 ± 6	12,7	50,7	27,9 ± 6,2

Sendo: LA – Latossolo Amarelo Distrófico argissólico; PVd – Argissolo Vermelho Distrófico abrupto; PVe – Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto; RL – Neossolo Litólico Eutrófico vertissólico; RQ – Neossolo Quartzarênico Órtico típico; GF – Grau de floculação; ADA – Argila dispersa em água; Min – valor menor; Máx – Valor maior; Prof – profundidade em cm; ± - erro padrão da média.

3.3 Estrutura do solo

Corroborando com os resultados das análises granulométricas, o espaço poroso predominante em todas as profundidades nas classes de solos estudadas foi a macroporosidade (tabela 8). Naqueles mais desenvolvidos (Argissolos e Latossolo) o volume médio de macroporos esteve entre 0,35 e 0,40 m³ m⁻³, enquanto que nos menos desenvolvidos (Neossolos e Planossolo) variou de 0,27 a 0,44 m³ m⁻³. Apenas os Neossolos e Planossolo apresentaram volumes de macroporosidade menores na profundidade 10 - 20 cm. Verificou-se, em geral, através dos valores do erro padrão da média, que as variações concernentes ao volume médio de macroporos nas três profundidades em todas as classes de solos foram muito baixas.

Os resultados sugerem que as classes de solo apresentam uma boa capacidade de infiltração e percolação de água, o que de acordo com MONTEIRO (2010), às condições de drenagem desses solos variam em moderadamente drenado (PVd e SX), bem drenado (LA, PVe e RL) a fortemente drenado (RQ).

Os dados referentes a microporosidade também são reflexos da textura arenosa dos solos. Com a predominância das frações de maior diâmetro em todas as profundidades, os baixos volumes de microporos eram previsíveis, sugerindo que os mesmos apresentem uma baixa capacidade de retenção de umidade, haja vista ser a microporosidade responsável pelo armazenamento de água no solo através do fenômeno de capilaridade.

Os baixos valores médios da densidade do solo encontrados no PVd, PVe e LA (Tabela 9), não exerceram influência na porosidade dos mesmos. Já nos RL, RQ e SX, os elevados valores da densidade do solo promoveram redução no espaço poroso total com a profundidade, porém não significou incremento na microporosidade. Comportamento semelhante foi verificado por STRECK et al. (2004) em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arsênico.

Avaliando atributos físicos de um Argissolo Amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo, CORTEZ et al. (2011) concluíram que os sistemas e a intensidade de preparo pouco interferiram na densidade do solo, sendo esta maior na camada de 10-20 cm. Os valores determinados na área sem preparo variaram de 1,30 a 1,40 g dm⁻³, enquanto que a porosidade total reduziu com a profundidade, sendo de 0,48; 0,47 e 0,42 m³ m⁻³.

VENDRUSCOLO et al. (2011) avaliaram parâmetros físicos de um Latossolo Amarelo e um Argissolo Vermelho amarelo encontraram valores de densidade do solo variando de 1,33 a 1,43 g dm⁻³ e 1,27 a 1,34 g dm⁻³, respectivamente. A porosidade total média no Latossolo foi de 0,48 m³ m⁻³, enquanto que no Argissolo variou de 0,49 a 0,52 m³ m⁻³.

Tabela 8. Valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total nas seis classes de solo estudadas.

Classes de solos	Prof	Macroporosidade, m ³ m ⁻³			Microporosidade, m ³ m ⁻³			Porosidade total, m ³ m ⁻³		
		Min	Máx	Médio	Min	Máx	Médio	Min	Máx	Médio
PVd	0-5	0,350	0,440	0,39 ± 0,02	0,050	0,120	0,08 ± 0,01	0,404	0,545	0,47 ± 0,02
	5-10	0,340	0,480	0,40 ± 0,03	0,070	0,070	0,07 ± 0,00	0,390	0,418	0,40 ± 0,005
	10-20	0,360	0,490	0,40 ± 0,02	0,040	0,090	0,06 ± 0,01	0,424	0,458	0,43 ± 0,006
PVe	0-5	0,320	0,380	0,35 ± 0,01	0,050	0,150	0,08 ± 0,02	0,407	0,465	0,43 ± 0,01
	5-10	0,340	0,400	0,36 ± 0,01	0,070	0,070	0,07 ± 0,00	0,341	0,414	0,38 ± 0,01
	10-20	0,340	0,390	0,37 ± 0,08	0,050	0,080	0,06 ± 0,005	0,396	0,476	0,44 ± 0,01
LA	0-5	0,360	0,410	0,38 ± 0,02	0,040	0,130	0,06 ± 0,01	0,396	0,499	0,44 ± 0,01
	5-10	0,390	0,450	0,37 ± 0,01	0,010	0,030	0,07 ± 0,00	0,271	0,420	0,39 ± 0,006
	10-20	0,160	0,350	0,37 ± 0,01	0,070	0,080	0,06 ± 0,01	0,234	0,432	0,44 ± 0,01
RQ	0-5	0,320	0,430	0,38 ± 0,01	0,010	0,080	0,06 ± 0,01	0,402	0,484	0,44 ± 0,06
	5-10	0,340	0,420	0,44 ± 0,03	0,070	0,070	0,02 ± 0,004	0,366	0,405	0,35 ± 0,02
	10-20	0,340	0,400	0,24 ± 0,05	0,040	0,090	0,08 ± 0,002	0,399	0,486	0,32 ± 0,05
RL	0-5	0,360	0,420	0,37 ± 0,09	0,030	0,090	0,07 ± 0,01	0,424	0,457	0,45 ± 0,02
	5-10	0,370	0,540	0,41 ± 0,01	0,010	0,030	0,02 ± 0,004	0,273	0,416	0,35 ± 0,03
	10-20	0,100	0,350	0,27 ± 0,03	0,070	0,080	0,07 ± 0,002	0,177	0,422	0,35 ± 0,03
SX	0-5	0,310	0,380	0,35 ± 0,01	0,050	0,070	0,06 ± 0,004	0,384	0,439	0,42 ± 0,09
	5-10	0,350	0,470	0,40 ± 0,02	0,020	0,050	0,03 ± 0,006	0,338	0,436	0,37 ± 0,02
	10-20	0,110	0,350	0,27 ± 0,04	0,070	0,080	0,07 ± 0,002	0,186	0,426	0,35 ± 0,04

Sendo: LA – Latossolo Amarelo Distrófico argissólico; PVd – Argissolo Vermelho Distrófico abrupto; PVe – Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto; RL – Neossolo Litólico Eutrófico vertissólico; RQ – Neossolo Quartzarênico Órtico típico; Min – valor menor; Máx – Valor maior; Prof – profundidade em cm; ± - erro padrão da média.

Tabela 9. Valores mínimos, máximos e médios da densidade do solo nas seis classes estudadas.

Classe de solo	Prof	Min	Máx	Médio
PVd	0-5	1,16	1,53	1,37 ± 0,07
	5-10	1,37	1,54	1,45 ± 0,02
	10-20	1,32	1,55	1,45 ± 0,02
PVe	0-5	1,40	1,49	1,44 ± 0,02
	5-10	1,30	1,57	1,44 ± 0,02
	10-20	1,46	1,54	1,49 ± 0,04
LA	0-5	1,37	1,47	1,42 ± 0,04
	5-10	1,33	1,53	1,42 ± 0,02
	10-20	1,31	1,52	1,41 ± 0,01
RQ	0-5	1,51	1,60	1,54 ± 0,04
	5-10	1,52	1,69	1,62 ± 0,05
	10-20	1,57	1,63	1,59 ± 0,03
RL	0-5	1,57	1,68	1,61 ± 0,03
	5-10	1,51	1,70	1,63 ± 0,03
	10-20	1,43	1,69	1,61 ± 0,05
SX	0-5	1,52	1,75	1,60 ± 0,05
	5-10	1,48	1,77	1,62 ± 0,03
	10-20	1,53	1,69	1,62 ± 0,03

Sendo: LA – Latossolo Amarelo Distrófico argissólico; PVd – Argissolo Vermelho Distrófico abrupto; PVe – Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto; RL – Neossolo Litólico Eutrófico vertissólico; RQ – Neossolo Quartzarênico Órtico típico; Min – valor menor; Máx – Valor maior; Prof – profundidade em cm; ± - erro padrão da média.

SANTOS et al. (2012) caracterizando Neossolos Regolíticos no estado de Pernambuco encontraram densidade do solo variando de 1,29 a 1,68 g dm⁻³, classificando como normais para solos de textura arenosa. MEDEIROS et al. (2013) avaliando as condições físicas e químicas de um Neossolo Litólico na Região do Seridó-RN, encontraram valores de porosidade total variando de 24 a 42%, enquanto que os valores de densidade do solo variaram de 1,45 a 1,99 g kg⁻¹, valores maiores desta atribuídos pelo autor ao incremento de argila com a profundidade.

QUEIROZ (2013) avaliando as características físicas de solos representativos do município de Casa Nova-BA, verificaram que no Planossolo Háptico distrófico com predomínio da fração areia, os valores de densidade do solo variaram de 1,30 (profundidade com maior incremento de silte e argila) a 1,58 g dm⁻³ e a porosidade total nesse solo esteve entre 38 a 49%.

3.4 Dinâmica da água

3.4.1 Condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat)

A condutividade hidráulica saturada das seis classes de solos estudadas está representada na tabela 10. Dos solos menos desenvolvidos, o Neossolo Quartzarenico foi o que apresentou melhores valores médios de Ksat, corroborando com os resultados da porosidade total (tabela 8) e da densidade do solo (tabela 9), nas quais constatou-se que essa classe de solo apresentou melhores resultados que o Neossolo Litólico e Planossolo Háptico, ou seja, melhor porosidade total e menores densidade do solo. Segundo BERNARDES (2005) e PREVEDELLO (2012), valores elevados de densidade do solo exercem influência na redução da condutividade hidráulica do solo saturado, uma vez que reduz a quantidade de poros grandes. Por outro lado, teores elevados da fração areia contribuem na maior proporção de macroporos, promovendo incremento na transmissão da água em solo saturado.

Dos solos menos desenvolvidos, apenas o Neossolo Litólico apresentou um aumento de Ksat com a profundidade, o que pode ser atribuído a presença de pequenos fragmentos de rocha no interior da amostra, o que pode ter contribuído para formação de poros maiores, facilitando o movimento de água.

O Planossolo Háptico (SX), foi o de menor Ksat entre as classes estudadas, justificado pelos menores volumes de porosidade total e valores elevados de densidade do solo, além dos percentuais mais elevados de argila, que as outras duas classes de solo, em todas as profundidades. Como a condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat) depende da quantidade e da geometria do espaço poroso, particularmente, dos macroporos (BERNARDES, 2005), esta varia de solo para solo, ou dentro de um mesmo solo, cujas variações podem ser de textura, estrutura e compactação.

No que diz respeito aos solos mais desenvolvidos, o PVe foi o que apresentou os menores valores médios de Ksat, muito embora os volumes de macroporos e a porosidade total tenham sido muito próximos, bem como os valores de densidade do solo, em relação ao PVd e LA. Nesse sentido, o que pode ter contribuído para redução do Ksat foram os teores de argila crescentes com a profundidade nesse solo e os menores percentuais das frações areia e

silte, onde dos teores de argila total presentes no PVe, entre 4,1 a 4,8% corresponderam a argila dispersa em água, as quais sob ação da água, podem ter sido lixiviadas e provocado a redução da macroporosidade e, conseqüentemente, da Ksat desse solo. Segundo ALMEIDA NETO et al. (2010), as partículas finas de um solo assim dispersado obstruem o seu espaço poroso, reduzindo acentuadamente a infiltração da água nesse meio e, com isso, a quantidade de água disponível para as culturas, além de poder formar crostas superficiais, proporcionando problemas na germinação de sementes e emergência de plântulas.

Tabela 10. Valores de condutividade hidráulica (Ksat) das seis classes de solos representativas do estado da Paraíba

Prof. (cm)	Menos desenvolvidos		
	RL	RQ	SX
0-10	0,284 ± 0,041	1,011 ± 0,089	0,095 ± 0,004
10-20	0,368 ± 0,010	0,501 ± 0,114	0,067 ± 0,004
	Mais desenvolvidos		
	LA	PVd	PVe
0-10	0,606 ± 0,074	3,607 ± 0,758	0,162 ± 0,013
10-20	1,819 ± 0,111	1,569 ± 0,256	0,101 ± 0,009

Onde: Ksat: Condutividade hidráulica do solo saturado (cm h^{-1}); LA – Latossolo Amarelo Distrófico argissólico; PVd – Argissolo Vermelho Distrófico abruptico; PVe – Argissolo Vermelho Eutrófico abruptico; RL – Neossolo Litólico Eutrófico vertissólico; RQ – Neossolo Quartzarênico Órtico típico; ± - erro padrão da média

O PVd foi a classe de solo com maior Ksat na profundidade 1, enquanto o LA destacou-se na profundidade 2, sendo ambos classificados com moderado e bem drenados por MONTEIRO (2010). Ambos apresentaram valores elevados de macroporosidade e porosidade total (tabela 8), porém valores próximos de densidade do solo.

Quando comparados ao PVe no tocante aos componentes granulométricos, verificou-se que o diferencial entre estes e aquele que contribuiu para melhores valores de Ksat foi a predominância das frações areia e silte no componente textural. Outrossim, a topografia e o manejo dos solos também podem ter sido outros condicionantes na condutividade hidráulica, onde o LA ocorreu em relevo suave ondulado, sendo preparado mecanicamente anualmente para plantio do milho (*Zea mays*); o PVd sob

gramíneas de hábito prostrado e relevo forte ondulado e; o PVe utilizado anteriormente na exploração da cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) e atualmente recoberto por gramíneas e leguminosas forrageiras. Segundo ALVES et al. (2007), há alteração das propriedades do solo com o cultivo, onde modificações no arranjo das partículas do solo contribui na redução do espaço poroso maior, afetando assim a K_{sat} , o que fora encontrado por GONÇALVES & MORAES (2012), os quais avaliando a porosidade e a infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo, concluíram que a infiltração é influenciada por alterações na porosidade do solo causadas pelas práticas de manejo.

COSTA et al. (2015) avaliaram movimento de água e porosidade total em Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho Amarelo e também concluíram que solos com propriedades físicas sob processo de degradação, principalmente a porosidade e a densidade do solo, ocorre efeitos negativos na dinâmica da água, podendo ocasionar com o tempo menor permeabilidade, e consequentemente maior suscetibilidade à erosão.

Observou-se também que, exceto no RL e LA, nas demais classes de solo a K_{sat} foi maior na camada mais superficial, o que segundo KAISER (2010) e PREVEDELLO (2012), isso ocorre em função da presença de poros maiores e contínuos nessa camada, uma vez que o fluxo de água em solo saturado ocorre preferencialmente nos macroporos.

3.4.2 Curva de retenção de água no solo

3.4.2.1 Classe de solos mais desenvolvidos

Nas figuras de 01a 16 são apresentadas as curvas de retenção de água no solo nas classes de solo PVd, PVe, LA, RQ, RL e SX obtidas através do método de Richards e ajustas pelo modelo de GENUCHTEN (1980), como também os conteúdos de água na capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e disponível às plantas (AD).

No PVd (figura 1), as maiores retenções ocorreram inicialmente nas tensões -0,006 e -0,01 MPa, onde os volumes médios retidos foram maiores na

profundidade de 0-5 cm, correspondendo a 35% do total (em relação ao -0,006 MPa), em cada. No potencial -0,033 MPa, observou-se que do conteúdo total de água retido no mesmo, aproximadamente 34% ocorreu na camada de 0-5 cm e o restante igualmente retido nas outras duas profundidades. A medida em que a tensão foi aumentando, os conteúdos de água retidos foram diminuindo, corroborados também pelo aumento da densidade do solo (tabela 9) e redução da porosidade total e da microporosidade com a profundidade (tabela 8). Nos potenciais mais elevados (mais negativos), -1,0 e -1,5 MPa, observou-se que 41 e 39%, respectivamente, do total da água ficou retido, onde neste último está o volume de água indisponível às plantas, em cujo a influência é puramente textural, através superfície específica das argilas, contribuindo para ocorrência do fenômeno de adsorção de água, conforme HILLEL et al. (1972), REICHARDT & TIMM (2004) e MICHELON (2010).

O quantitativo retido na capacidade de campo (CC) determinado conforme REICHARDT (1988), DARDENGO et al. (2010) e ALMEIDA (2014), permitiu verificar que o volume retido nas tensões de -0,006 e -0,01 MPa são muito próximos em todas as profundidades e entre os dois potenciais matriciais, nos quais os volumes totais retidos foram de $0,651 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,622 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente. Pelo potencial matricial clássico (-0,033 MPa) encontrado na literatura, o conteúdo total foi de $0,529 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, ou seja, não representou o volume real de CC pelo solo, ficando abaixo dos dois potenciais mais elevados em 19 e 15%, respectivamente.

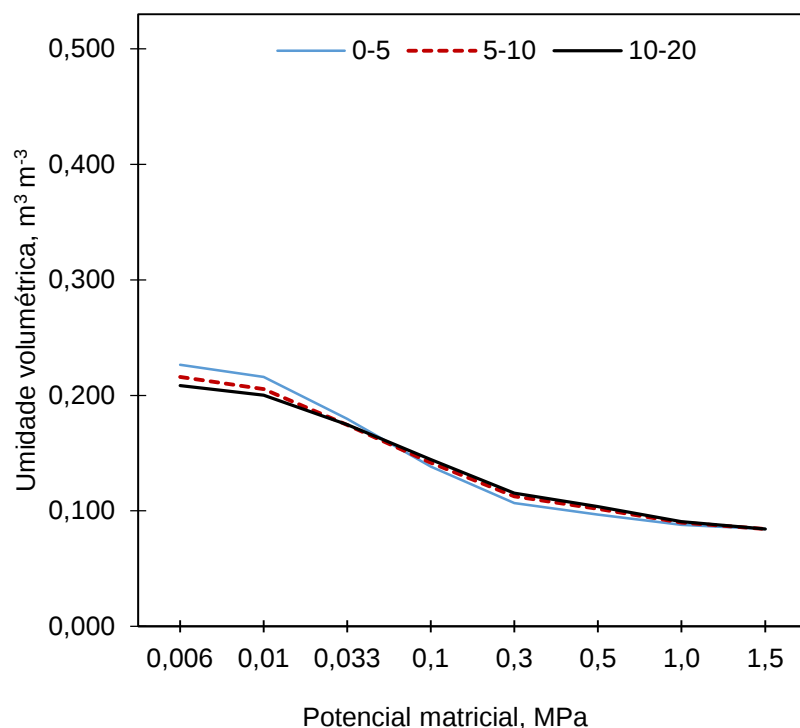


Figura 1 Curva de retenção de água em três profundidades no Argissolo Vermelho Distrófico abrupto do município de Areia-PB.

O conteúdo de água disponível (AD) no PVd determinado através da diferença entre o quantitativo retido na CC e o potencial matricial -1,5 MPa está apresentado na figura 2. Observou-se que utilizando os conteúdos retidos nos potenciais matriciais -0,006 e -0,01 MPa como limites superiores, ou seja, como CC, os volumes de AD foram elevados e próximos, superando aqueles cujo limite superior fixado na literatura é o correspondente ao potencial -0,033 MPa, em todas as profundidades.

Os resultados obtidos são superiores aos obtidos por RESENDE (2012) que avaliou a influência de diferentes sistemas de manejo nas propriedades hídricas de um PVA na região de tabuleiros costeiros de Sergipe, cuja precipitação média local está em torno de 1200 mm anuais. O autor tendo como potencial matricial de capacidade de campo o -0,033 MPa encontrou volumes de água retido na CC variando de 0,15 a 0,160 m³ m⁻³, no potencial matricial -1,5 MPa variando de 0,07 a 0,08 m³ m⁻³ e AD de 0,05 a 0,06 m³ m⁻³.

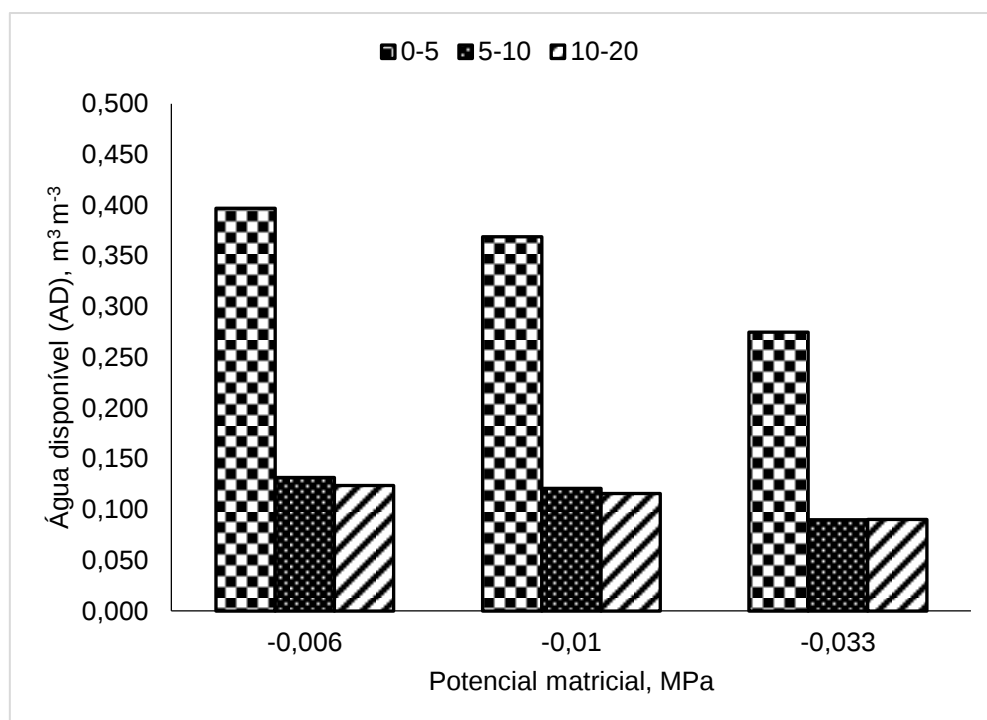


Figura 2. Conteúdo de água Disponível no PVD nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm do município de Areia-PB.

No PVe (figura 3), as maiores retenções de água ocorreram também nos potenciais mais elevados (-0,006 e -0,01 MPa), com volumes totais por potencial nos quantitativos de 0,631 e 0,615 m³ m⁻³, respectivamente. Desses valores, o quantitativo maior retido foi na profundidade de 0-5 cm (34%), enquanto que nas outras profundidades foi 33%, cada. Esses maiores volumes retidos podem estar relacionados a influência da estrutura do solo, o que segundo SAXTON &RAWS (2006) e MAJOUet al. (2008) ocorre em potenciais mais elevados (menos negativos), onde a curva de retenção de água é dependente do arranjo e da distribuição dos poros no solo.

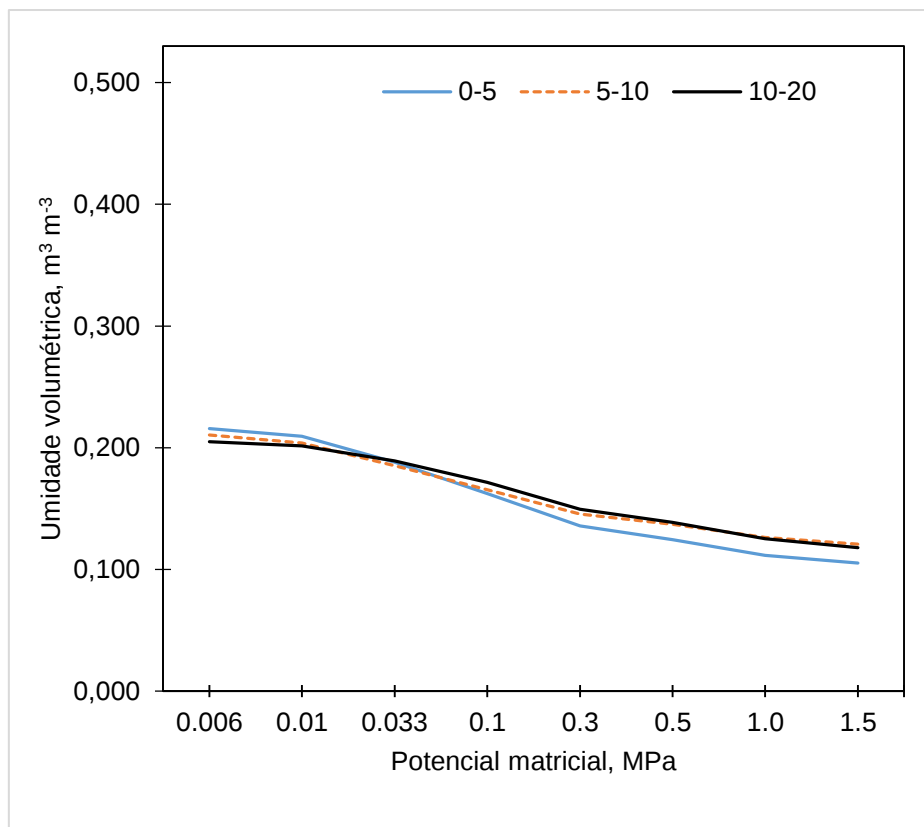


Figura 3. Curva de retenção de água nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm no Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto do município de Alagoa Grande-PB.

No potencial $-0,033$ MPa, o volume retido foi menor em 10 e 8 % que nos potenciais $-0,006$ e $-0,01$ MPa, respectivamente. Consoante com o aumento da tensão, os volumes retidos foram diminuindo, sendo mais acentuada a redução no potencial $-1,5$ MPa. Já os maiores valores retidos a partir do potencial matricial $-0,1$ MPa, nas profundidades 5-10 cm e 10-20 cm podem ser explicados pelo incremento nos valores de argila nestas, corroborados por HILLEL et al. (1972), REICHARDT & TIMM (2004) e MICHELON (2010), os quais inferem que sob condições de baixos conteúdos de água no solo, a retenção depende dos fenômenos de adsorção, os quais são influenciados pela textura e superfícies específicas das partículas.

O conteúdo de AD (figura 4) determinado através da diferença entre o quantitativo retido na CC e o retido no PMP foi mais expressivo quando se utilizou os conteúdos de água retidos nos potenciais mais elevados ($-0,006$ e $-0,01$ MPa). Quando se utilizou o potencial $-0,033$ MPa, os volumes de AD

foram inferiores aos encontrados nos potenciais mais elevados. Os resultados corroboram com o sugerido por REICHARDT (1988), o qual infere sobre a necessidade de alteração no critério para determinação da CC para solos das regiões tropicais e úmidas, utilizando potenciais maiores na determinação da CC invés do -0,033 MPa.

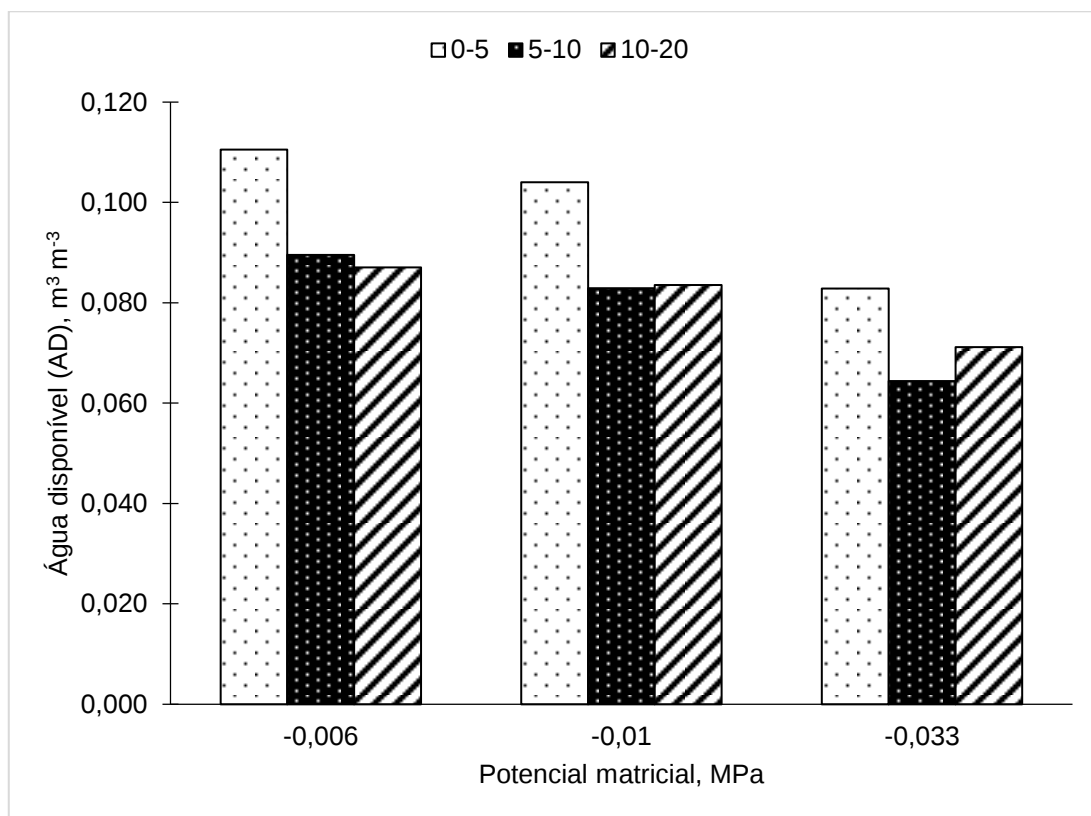


Figura 4. Conteúdo de água Disponível no Argissolo Vermelho Eutrófico abruptico nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm no município de Alagoa Grande-PB

A figura 5 apresenta a curva de retenção de água no Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA). Conforme ocorreu no PVd e PVe, os maiores valores de retenção de água ocorreram nos potenciais matriciais -0,006 e -0,01 MPa. A medida em que a energia de retenção foi aumentando, ou seja, aumentando a negatividade dos potenciais, o quantitativo de água retido reduziu, estando, porém, em maior quantidade nas profundidades de 0 - 5 cm e 5 - 10 cm. Esses resultados foram reflexo do incremento de argila observado com a profundidade, uma vez que estruturalmente as três profundidades apresentaram valores semelhantes de macroporos, microporos e volume total de poros. Mesmo a mineralogia da argila predominante nesse solo ser caulinita

1:1(MONTEIRO, 2010), os menores valores de superfície específica em relação à 2:1 foram importantes na retenção de água com a profundidade. KLEIN & Klein (2015) ressaltam a importância a maior influência da textura do solo na retenção de água por ser a propriedade que não se modificada com o tempo, exceto se considerar milênios de anos e a ação do intemperismo, onde diferenças na mesma, na cobertura, espécies vegetais utilizadas, quantidade de água recebida (precipitação/irrigação) exercem influência na dinâmica da água no solo, especialmente em ambientes semiáridos, mas as respostas no armazenamento de água são modificadas pela época do ano e profundidade do perfil.

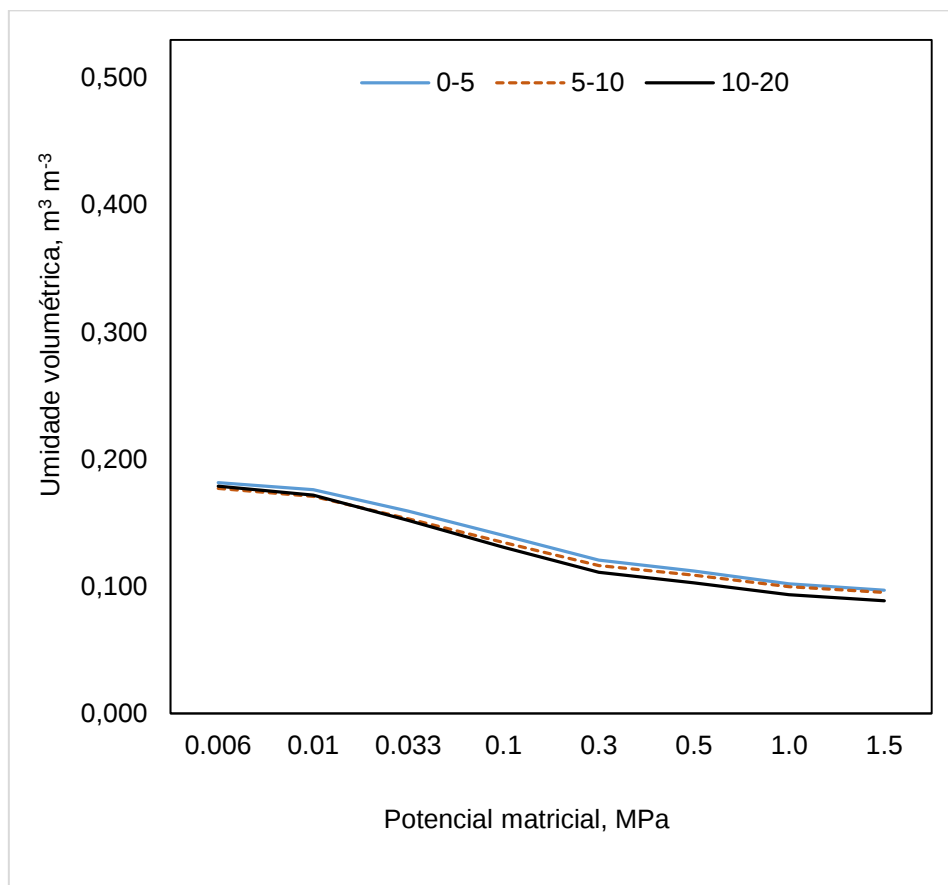


Figura 5. Curva de retenção de água em três profundidades no Latossolo Amarelo Distrófico argissólico do município de Cuité-PB.

Concernente a capacidade de campo (CC) nessa classe de solo, observou-se que o conteúdo total variou entre os potenciais matriciais utilizados. Os volumes retidos (referente as três profundidades) nos potenciais -

0,006 MPa e -0,01 MPa foram de 0,537 e 0,518 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, enquanto que no -0,033 MPa foi de 0,464 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, ou seja, a diferença de volumes acumulados naqueles foi de 13,5 e 10,4 %, respectivamente, maiores que neste. Essa diferença de corrobora com REICHARDT (1988), DARDENGO et al. (2010) e ALMEIDA (2014), denotando a não representatividade de máxima retenção para capacidade de campo no potencial -0,033 MPa para essa classe de solo nas condições do estado da Paraíba. Na determinação do volume de água disponível no solo para as plantas (AD) através da relação $AD = CC - (C_{-1,5 \text{ MPa}})$, observou-se que os maiores volumes disponíveis no solo são verificados quando se teve os potenciais -0,006 e -0,01 MPa como representantes da condição de CC desse solo (figura 6). A diferença no quantitativo disponível no solo nesses potenciais em relação ao -0,033 MPa foi de 29 e 23%, respectivamente. Logo, a diferença verificada na CC promoveu um incremento maior na AD.

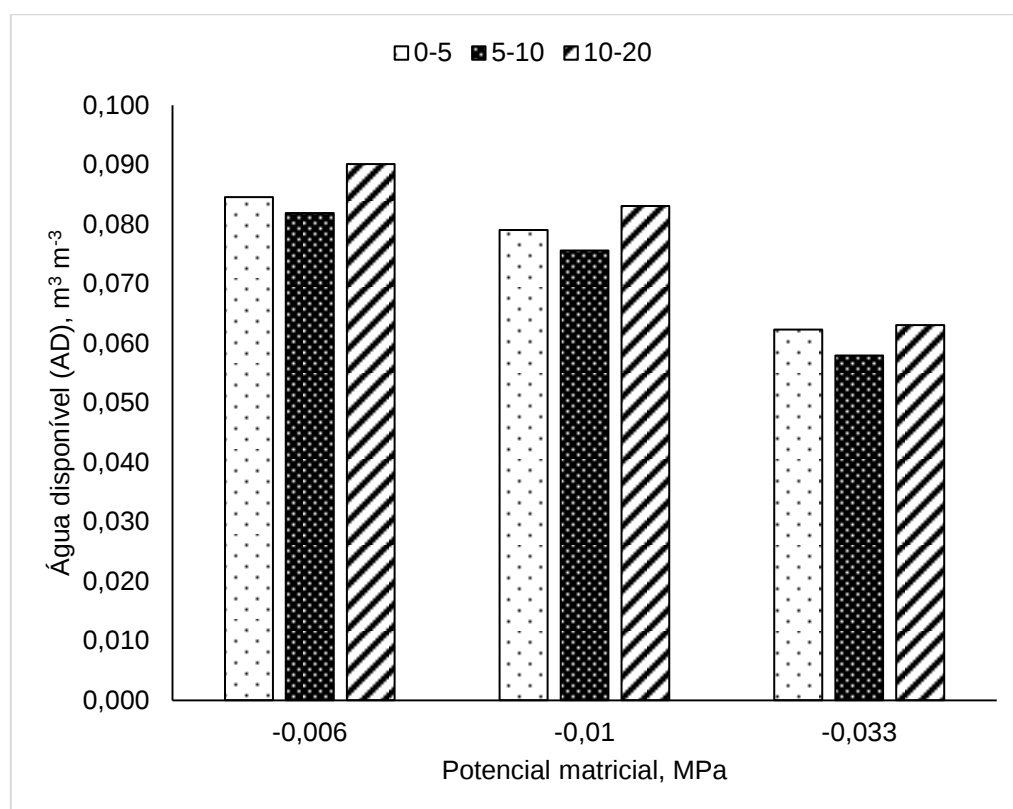


Figura 6. Conteúdo de água Disponível no Latossolo Amarelo Distrófico argissólico do município de Cuité-PB

Uma análise comparativa envolvendo as curvas de retenção de água nas diferentes profundidades das classes de solos LA, PVd e PVe é apresentada na figura 7. Muito embora os comportamentos das curvas não tenham sido semelhantes, constatou-se que os maiores volumes de água retidos estão relacionados aos potenciais matriciais mais elevados nas três classes de solos e em todas as profundidades. Observou-se que a medida em que houve o esvaziamento dos poros com a redução do potencial matricial (tornando-se mais negativo), ocorreu a partir do -0,3 MPa uma maior retenção de água nos solos com maior incremento de argila, como se deu no PVe e LA (tabela 1). No PVd ficou mais destacado, a partir desse potencial, uma redução acentuada nos teores de água retidos, corroborando com os resultados granulométricos desse solo.

A gradualidade na redução do conteúdo de água retido com o aumento da negatividade dos potenciais é explicado por BEUTLER et al. (2002). Segundo eles, solos com presença maior das frações mais finas, no caso argila, a distribuição dos poros por tamanho é maior e mais uniforme, proporcionando a adsorção de maior quantidade de água e decréscimo mais gradual da umidade do solo com o aumento da tensão.

SILVA NETO et al. (2012) caracterizando físico-hidricamente solos representativos da região do Agropolo Assu-Mossoró, ambos com textura variando desde arenosa a argilosa, também verificaram que as maiores retenções de água ocorreram em potenciais mais altos e que naqueles com conteúdo maior de argila, a redução do conteúdo retido com o aumento da tensão foi menos acentuada que aqueles de fração mais grosseira.

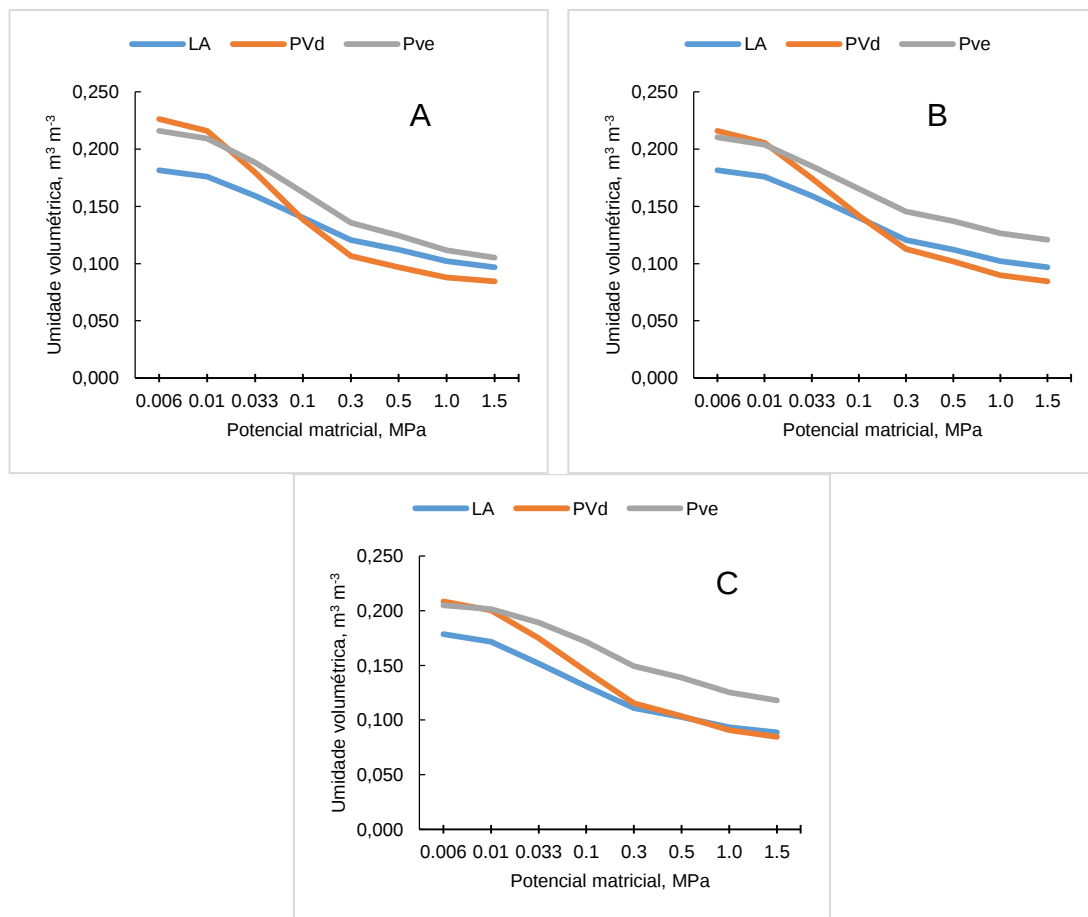


Figura 7. Curvas de retenção de água do Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd), Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (PVe) e Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA) nas profundidades de 0-5 (A), 5-10 (B) e 10-20 cm (C) em oito potenciais matriciais.

Os resultados referentes aos conteúdos totais de água disponíveis (AD) nos solos LA, PVd e PVe, apresentados na figura 8, mostram que os maiores volumes foram verificados nos dois Argissolos. Os resultados também mostraram a expressividade dos potenciais matriciais -0,006 e -0,01 MPa como referência para capacidade de campo (CC) desses solos, reforçando o já inferido por Reichardt (1988) no que tange a mudança no potencial indicativo da CC.

CORREIA et al. (2008) avaliando a capacidade de retenção e disponibilidade de água em Latossolo Amarelo, Latossolo Coeso e Neossolo Quartzarênico, ambos do Tabuleiro Costeiro paraibano, concluíram que a tensão ideal para representar a condição de CC e AD nesses solos foi a -0,01 MPa. DARDENGO et al. (2010) e ALMEIDA (2014) reforçam a não

representatividade do potencial $-0,033$ MPa como indicativo do estado de capacidade de campo dos solos tropicais e úmidos.

Outro fator influente tanto na CC quanto na AD foi a estrutura do solo, verificado através dos volumes de microporosidade (tabela 8) em cada um dos solos, onde o PVd e PVe apresentaram maiores volumes que o LA, que pode ser corroborado também pelos valores de densidade do solo daqueles em relação a esse. CORREIA et al. (2008) concluíram que o conteúdo de AD nos solos estudados por eles, com destaque para o LA, esteve diretamente ligado ao aumento da porosidade e dos teores de argila com a profundidade.

Considerando o aspecto uso e manejo do solo, das três classes apenas o LA não apresentou uma cobertura efetiva, apesar de ser anualmente utilizado no cultivo convencional com milho (*Zea mays*), o que pode ter contribuído para maior exposição da superfície desse solo a incidência direta dos raios solares, aumentando a temperatura do solo, haja vista a localização da referida classe de solo na região do Curimataú paraibano, e consequentemente ocorrendo uma maior perda de umidade por evaporação. Fato este não verificado com a mesma intensidade no PVd e PVe, uma vez que o primeiro se encontra com a superfície coberta por *Brachiaria decumbens* e o segundo por outras invasoras sucessoras ao cultivo anterior, o que através dos sistemas radiculares pode ter contribuído para melhoria da porosidade, assim como da redução da temperatura do solo, com consequente aumento dos valores retidos e disponíveis e menores perdas por evaporação.

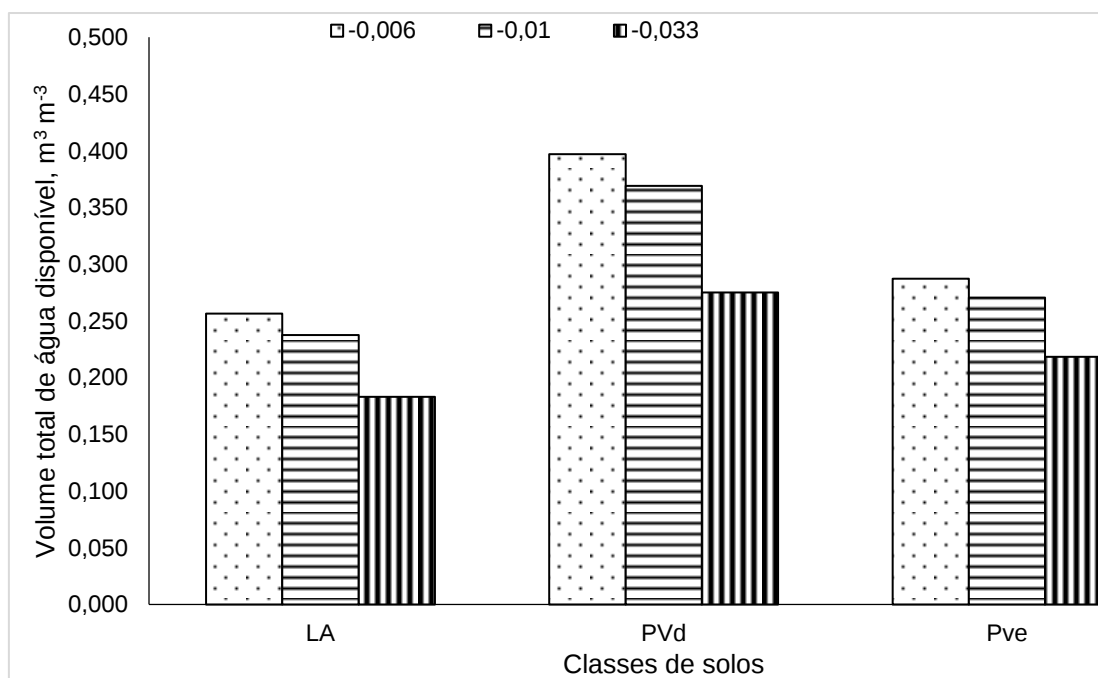


Figura 8. Conteúdo de água Disponível (AD) Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd), Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (PVe) e Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA)

3.4.2.2 Solos menos desenvolvidos

A curva de retenção de água em três profundidades no Neossolo Litólico localizado no município de Pocinhos é apresentada na figura 9. Verificou-se que os maiores volumes retidos ocorreram nos potenciais mais elevados (menos negativos). Os conteúdos maiores nas profundidades de 0-5 cm e 10-20 cm são explicados pela presença de maior volume de microporos e menor de macroporos nas mesmas (tabela 8), denotando a influência estrutural na retenção de água, conforme inferem HILLEL et al. (1972) e REICHARDT & TIMM(2004) que a curva de retenção de água em elevados conteúdo desta no solo é dependente do arranjo e da distribuição da porosidade do solo, enquanto que sob baixos conteúdos de água no solo a dependência da retenção é dos fenômenos de adsorção, mais influenciados pela textura e superfície específica das partículas, fato este também verificado, onde os maiores volumes retidos nos potenciais mais baixos (mais negativos) ocorreram na profundidade de 5-

10 cm, a qual apresentou os maiores percentuais de argila (tabela 1) e menores volumes de microporos (tabela 8).

A mineralogia da fração argila desse solo, segundo MONTEIRO (2010) é composta predominantemente por esmectitas e ilitas, argilominerais do grupo 2:1, sendo a primeira expansiva e a segunda pouco expansiva, com área superficial específica variando de 600 a 800 m² g⁻¹. Apesar da predominância da fração areia no solo, essa particularidade, permite uma certa melhoria na retenção de água, mesmo considerando-se as limitações concernentes a sua localização na região da Borborema Central. Por outro lado, sob condições de baixos potenciais matriciais (mais negativos), os quantitativos retidos no interior das camadas dos minerais de argila tornam-se cada vez mais indisponíveis às plantas. Nessa classe de solo, os potenciais -0,006 e -0,01 MPa foram muito mais representativos como ponto de capacidade de campo (CC) que o -0,033 MPa comumente utilizado, sendo este inferior àqueles em 14,6 e 11,5 %, respectivamente.

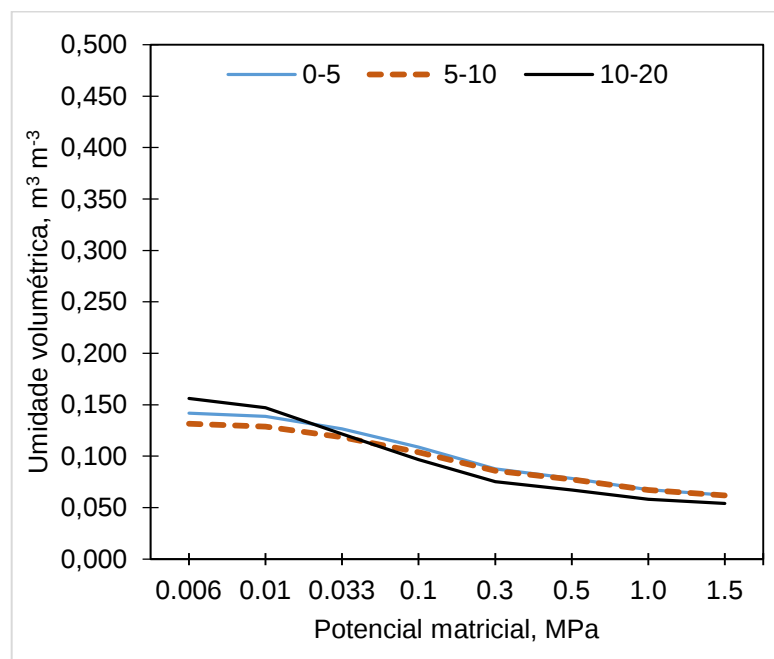


Figura 9. Curva de retenção de água em três profundidades no Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) do município de Pocinhos – PB.

Outro fator influente na retenção de água, principalmente na camada mais superficial, pode ter sido os teores de carbono orgânico, que muito embora os valores encontrados nas três profundidades tenham sido baixos (26,7; 24,2 e;

22,8 g kg⁻¹, respectivamente), porém, devido a sua área superficial específica elevada (800 a 900 m² g⁻¹) permite que seus componentes orgânicos atuem como ligantes na formação e estabilização de agregados, alterando a porosidade, permeabilidade e capacidade de retenção de água (SILVA et al, 2005).

O conteúdo de água disponível (AD) nessa classe de solo, tendo como base a diferença entre os valores da capacidade de campo (CC) nos potenciais matriciais -0,006, -0,01 e -0,033 MPa e o os valores retidos no potencial -1,5 MPa, estão apresentados na figura 10. Verificou-se que utilizando-se o conteúdo de água retido no potencial -0,033 MPa como CC, subestima-se em 25% em relação ao -0,006 MPa e em 20% ao -0,01 MPa.

Levando-se em consideração os resultados da análise granulométrica (tabela 1), os elevados valores de densidade do solo (tabela 9), corroborados pelos baixos teores de matéria orgânica determinados (variando de 22,8 a 26,7 g kg⁻¹), associados a baixa estabilidade dos agregados do solo (tabela 5), era esperado que essa classe de solo apresentasse uma baixa capacidade de retenção de água e consequentemente, de AD. No entanto, os resultados da mineralogia da fração argila da mesma (predomínio de argilominerais 2:1 expansivo), segundo MONTEIRO (2010), pode ter ocasionado uma melhor retenção de água, e, consequentemente, quantitativo maior de água disponível para as plantas (AD).

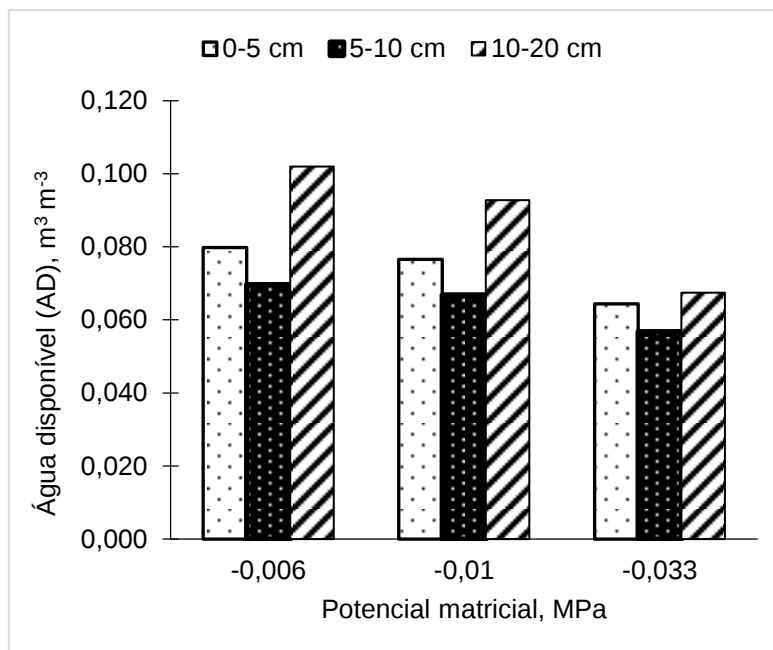


Figura 10. Conteúdo de água Disponível (AD) no Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) do município de Pocinhos – PB.

A retenção de água no Neossolo Quartzarenico (RQ) (figura 11) mostrou-se melhor diferenciada entre as profundidades, que no RL. Os maiores volumes ocorreram nos potenciais -0,006, -0,01 e -0,033 MPa, após os quais houve uma redução com aumento da tensão, sendo mais acentuada na profundidade 5 -10 cm, em cuja também ocorreram os menores volumes de água retidos. Estruturalmente, a presença de um maior volume de microporos nas camadas de 0-5 cm e 10-20 cm (tabela 8) pode ter sido ocasionada pela fragilidade dos agregados desse solo ao processo de umedecimento, promovendo redução na macroporosidade, aumento na microporosidade e consequentemente, melhoria da retenção de água. O aporte de carbono orgânico pelo sistema de uso e manejo empregado na área foi baixo, com teores variando entre 14,4 e 17,3 g kg⁻¹, uma vez que todo o resíduo orgânico oriundo do cultivo do milho (*Zea mays*) fora removido da superfície por ocasião da colheita para ser utilizado na alimentação animal.

Um outro fator importante que pode ter contribuído também para a formação da microporosidade a partir da diminuição da macroporosidade nessa classe de solo foi que a fragmentação da fração areia permitiu verificar a predominância da fração areia fina (AF) sobre a soma das frações mais finas

(silte + argila), o que segundo SANTOS et al. (2012) pode reduzir a percolação de água e aumentar a retenção e disponibilidade de água.

Os volumes de água retidos nos potenciais mais elevados (-0,006 e -0,01 MPa) mostraram ser estes os potenciais matriciais que podem ser utilizados como indicadores de capacidade de campo do RR, uma vez que superam o volume do -0,033 MPa, que fora preestabelecido para solos de clima temperado na literatura (REICHARDT, 1988), em 23 e 22%, respectivamente.

No que diz respeito ao volume disponível nesse solo (AD), quando se tomou como referência de CC os potenciais matriciais -0,006 e -0,01 MPa os volumes totais foram de 0,476 e 0,468 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente, enquanto que quando se considerou como CC o quantitativo retido no potencial matricial -0,033 MPa, o volume total retido disponível foi de 0,342 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, subestimando, respectivamente, em 28 e 27% os potenciais matriciais -0,006 e -0,01 MPa (figura 12).

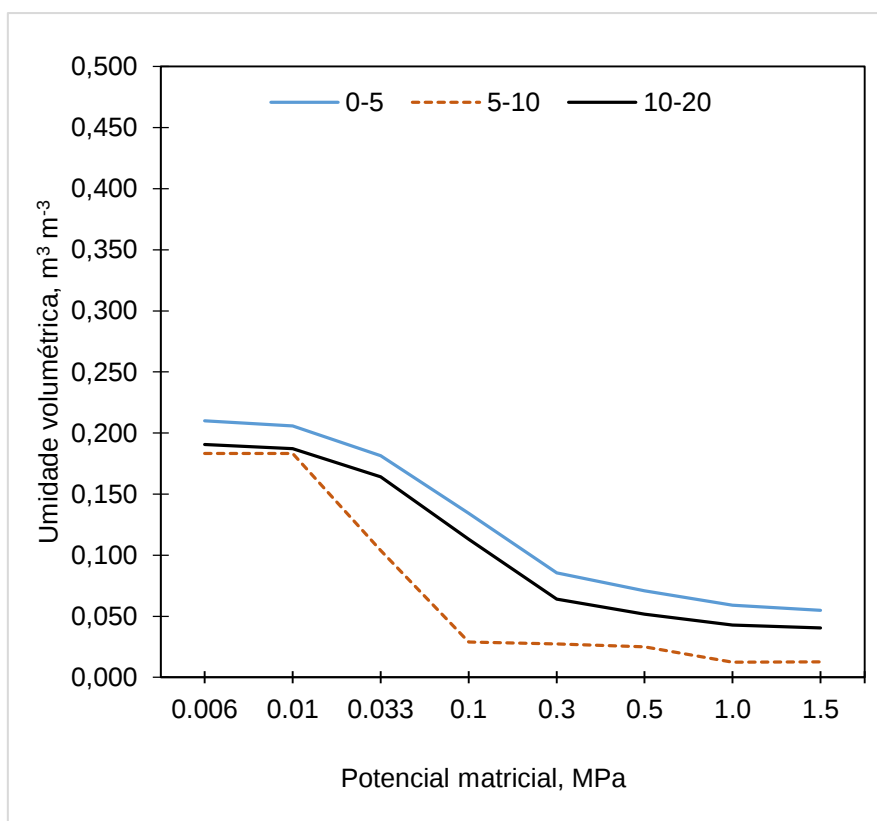


Figura 11. Curva de retenção de água em três profundidades no Neossolo Quartzarenico Órtico típico (RQ) do município de Pocinhos – PB.

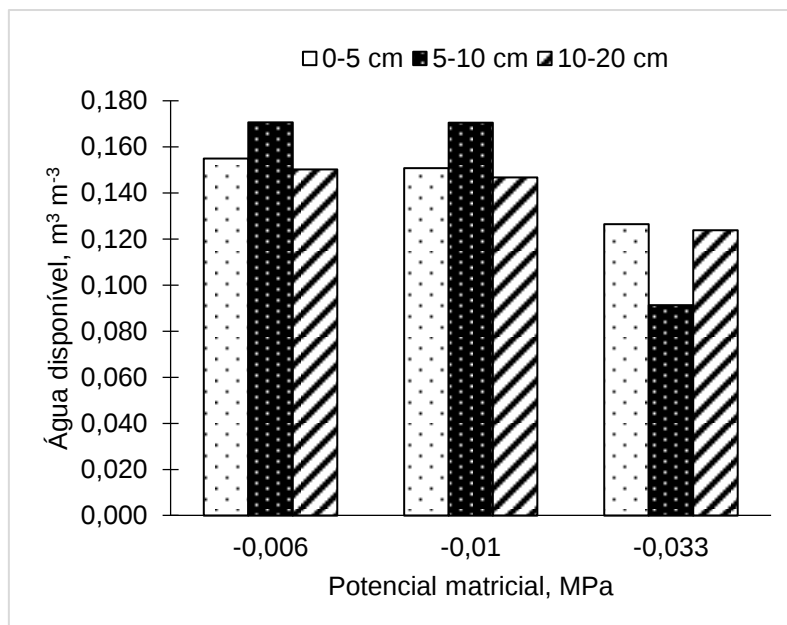


Figura 12. Conteúdo de água Disponível (AD) no Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ) do município de Pocinhos – PB.

Das três classes de solos menos desenvolvidas analisadas (RQ, RL e SX), o Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX) foi a que apresentou menor proporção da fração areia e maior percentual de argila e silte nas três profundidades. A figura 13 apresenta a curva de retenção de água nessa classe de solo nas profundidades de 0-5, 5-10, e 10-20 cm. Os maiores volumes retidos, a exemplo das anteriores, também ocorreram nos potenciais matriciais mais elevados, porém a redução com aumento da tensão de forma mais suave que as demais corroboram com os resultados granulométricos, concordando com BEUTLER et al. (2002), segundo eles, solos com presença maior das frações mais finas, no caso argila, a distribuição dos poros por tamanho é maior e mais uniforme, proporcionando a adsorção de maior quantidade de água e decréscimo mais gradual da umidade do solo com o aumento da tensão.

A mineralogia da fração argila desse solo indicou, segundo MONTEIRO (2010), o predomínio de dois argilominerais do grupo 2:1, a ilita e a esmectita. Segundo PEREIRA (2013), a ilita não apresenta expansibilidade entre camada sem função da forte ligação iônica geradas pelos íons K^+ entre as camadas estruturais, onde a água e outros líquidos polares dificilmente podem penetrar

entre as camadas. Já a esmectita por apresentarem expansibilidade intra cristalina, permitem a entrada de água e outros líquidos polares provocando a hidratação dos cátions existentes entre as camadas, reduzindo a força atrativa entre essas. Nesse caso, a retenção de água medida no SX pode estar relacionada com os percentuais maiores de argila presentes no mesmo, em especial a predominância da esmectita, o que torna a energia de retenção ainda maior.

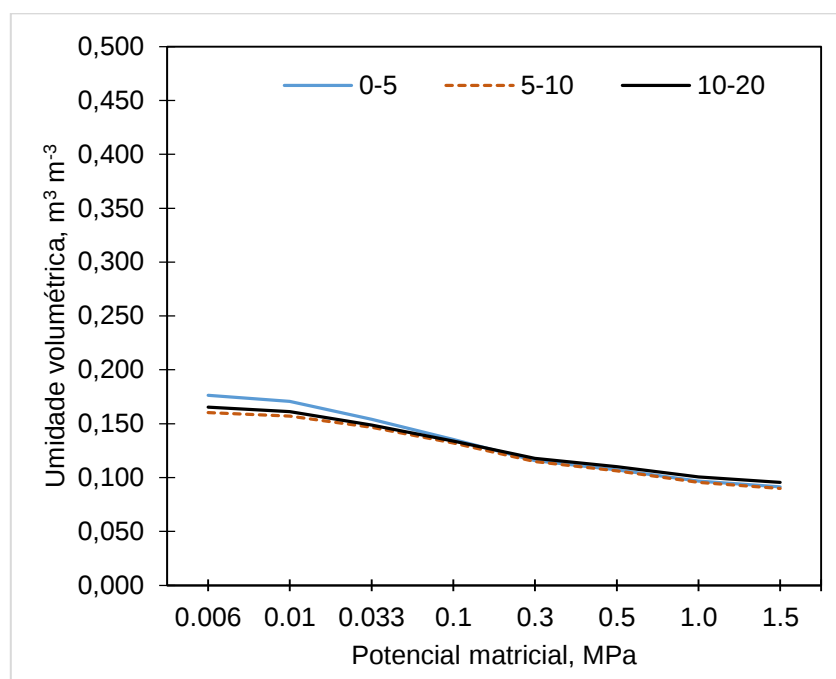


Figura 13. Curva de retenção de água em três profundidades no Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (RQ) do município de Cuité – PB.

Os potenciais matriciais -0,006 e -0,01 MPa representaram melhor a condição de capacidade de campo (CC) nesse solo que o -0,033 MPa, cuja diferença entre este e aqueles no tocante ao volume retido nas três profundidades variou de 7 a 13%. Considerando a região climática onde está inserido o SX (Curimataú paraibano), esta é uma diferença significativa, a qual refletiu nos teores de água disponível (AD) (figura 14), onde ao se ter como parâmetros de capacidade de campo aqueles conteúdos retidos nos dois primeiros potenciais mais elevados os valores variaram entre 0,212 e 0,225 m³ m⁻³, enquanto que tendo como ponto de CC o potencial matricial -0,033 MPa o volume de AD não ultrapassou 0,172 m³ m⁻³, sendo 23% menor que o primeiro

e 19% menor que o segundo, reforçando o já inferido por DARDENGO et al. (2010) e ALMEIDA (2014).

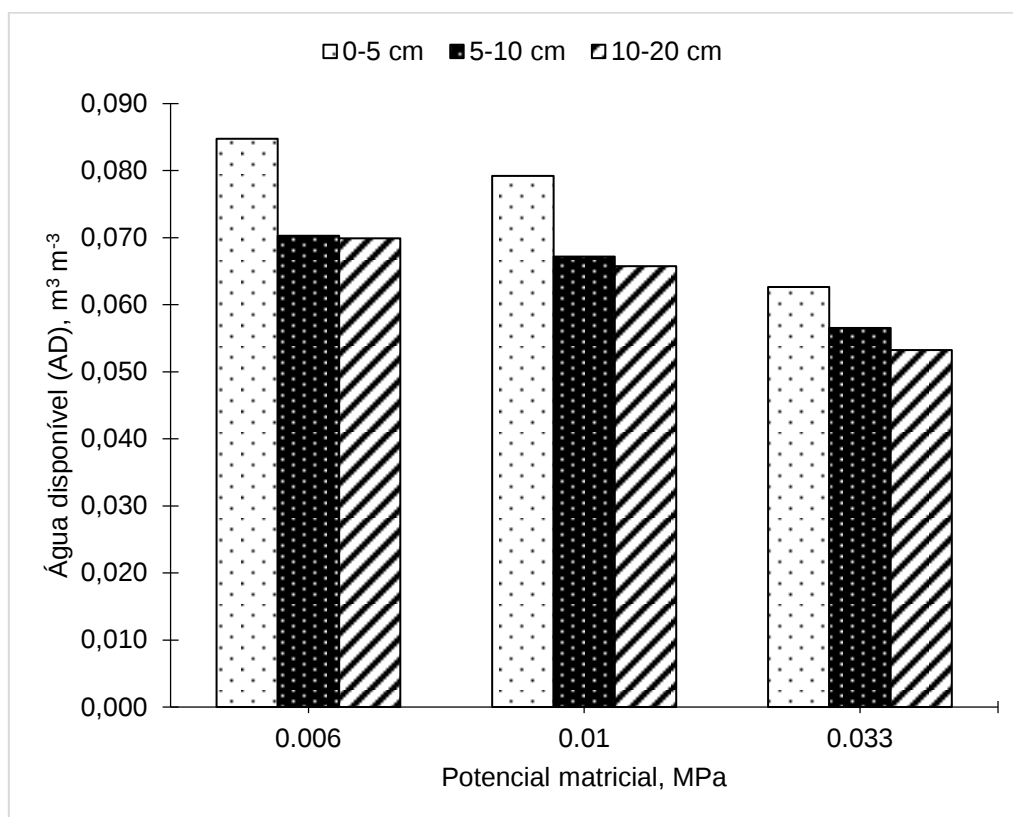


Figura 14. Conteúdo de água disponível(AD) no Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (RQ) do município de Cuité – PB.

De uma forma comparativa, a figura 15 apresenta as curvas de retenção de água das classes de solo SX, RQ e RL. Em ambas as classes os maiores volumes retidos ocorreram nos potenciais matriciais mais elevados (-0,006 e -0,01 MPa), tendo o RQ apresentado o maior volume retido. No entanto, observou-se que a referida classe de solo apresentou uma redução acentuada nos volumes de água retidos com aumento da tensão em todas as profundidades, fator este devendo-se a maior condutividade hidráulica média ($0,76 \text{ cm h}^{-1}$), menor densidade do solo ($1,58 \text{ kg dm}^{-3}$), além da predominância da ilita, a qual mesmo sendo do grupo 2:1, é não expansiva devido a rigidez das ligações entre as camadas, impedindo a penetração de moléculas de água, o que pode ter proporcionado as menores retenções nessa classe de solo a partir do potencial matricial -0,1 MPa.

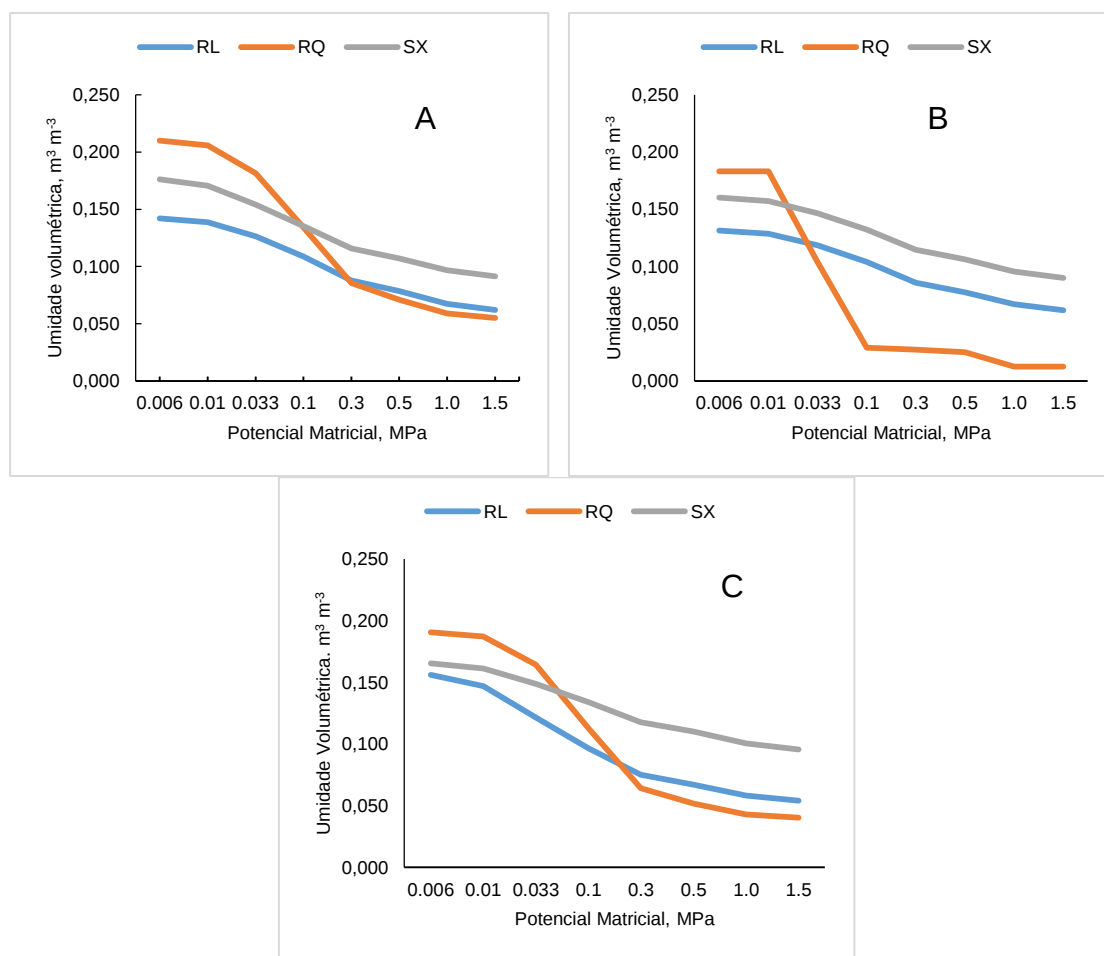


Figura 15. Curvas de retenção de água do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ), Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) e Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX) nas profundidades de 0-5 (A), 5-10 (B) e 10-20 cm (C) em oito potenciais matriciais.

No Planossolo Háplico, excetuando-se nos dois potenciais mais elevados, a influência da textura na retenção ocorreu de forma mais equilibrada em todas as profundidades. Com K_{sat} média baixa ($0,08 \text{ cm h}^{-1}$), predomínio de esmectitas (2:1) expansivas na mineralogia da fração argila, a capacidade de retenção de água pelo solo foi melhor.

A curva de retenção de água do RL apresentou o mesmo comportamento que a do Planossolo Háplico, no entanto os volumes de água retidos foram menores em todos os potenciais matriciais e profundidades, atribuindo-se aos elevados valores da fração areia, baixos valores da fração argila (mesmo com predominância das esmectitas na mineralogia), K_{sat} intermediária entre as Classes.

Verificou-se também que a predominância de minerais de argila 2:1 expansivos e não expansivos proporcionaram também volumes retidos diferenciados no potencial matricial-1,5 MPa entre as classes de solos, sendo maior no SX, seguido de RL e RQ. Com isso, os resultados do quantitativo disponível às plantas (AD) inverteram essa ordem, revelaram que os maiores volumes estavam retidos no RQ, seguido do RL e SX (Figura 16).

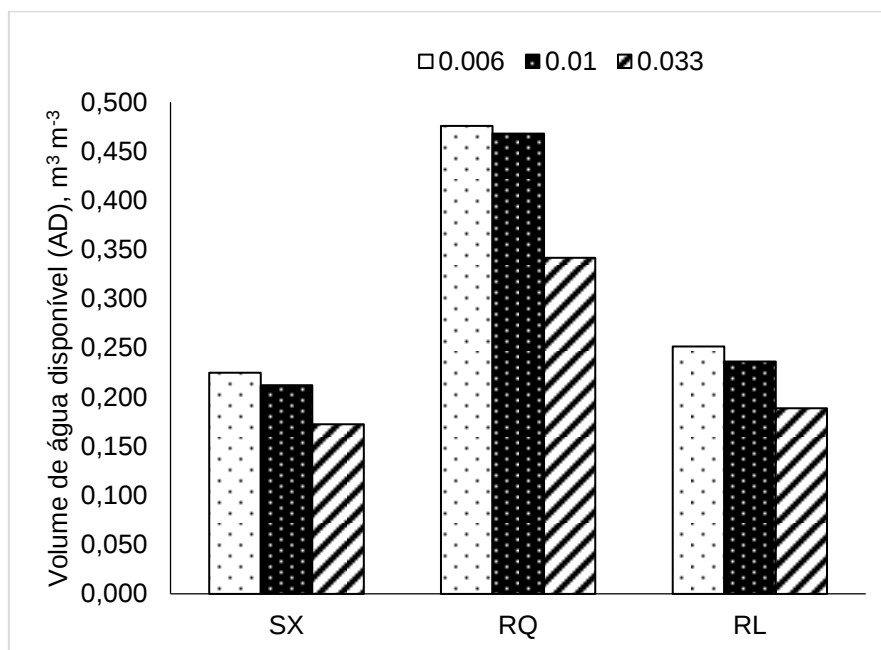


Figura 16. Conteúdo de água disponível (AD) nas classes de solo Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ), Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) e Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX) na profundidade de 0-20 cm.

Ainda na figura 16, constata-se que para esses solos a utilização de um dos potenciais matriciais -0,006 ou -0,01 MPa como ponto de capacidade de campo auferia a esses solos um maior volume disponível, denotando que o potencial -0,033 MPa não representa também a condição de capacidade de campo desses solos, a exemplo dos resultados daqueles mais desenvolvidos, corroborando com REICHARDT (1988), DARDENGO et al. (2010) e ALMEIDA (2014).

4. CONCLUSÕES

Para às condições de desenvolvimento da presente pesquisa pode-se concluir:

A fração areia predominou em relação às demais frações, em todas as classes de solo e profundidades;

A utilização de amostras indeformadas e deformadas de solo permitiu verificara influência dos componentes estruturais e texturais no comportamento hidráulico do solo em todas as classes de solo;

Os teores de cálcio, magnésio e sódio, além dos de argila, determinados nas classes de solo mostraram exercer influência no índice de estabilidade de agregados;

Tanto para os solos mais desenvolvidos quanto para os menos desenvolvidos o quantitativo de argila presente influenciou na maior e menor retenção de água nos diferentes potenciais matriciais;

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA – AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DA PARAÍBA. **Precipitações acumuladas no estado da Paraíba por município**. Disponível em. Acessado em 23 de janeiro de 2016.

AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistema agroflorestal**. 2008. 89 p. (Dissertação de Mestrado). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2008.

ALMEIDA, A. V. D. L. **Caracterização morfológica, química e físico-hídrica de Neossolos Regolíticos no Agreste Meridional de Pernambuco**. 2014. 75p. (Dissertação de Mestrado). Garanhuns: Universidade Federal Rural e Pernambuco, 2014.

ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F.; JORGE, R. F.; ANDRIOLI, I.; VIDAL, A. A.; SERAFIM, R. S. Índice de floculação e agregação de um latossolo vermelho sob dois sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 123-129, 2009.

ALMEIDA NETO, O. B.; MATOS, A. T.; MATOS, V. P.; LAMBERT, T. F.; DIAS, E. F. Influência da qualidade da água no comportamento dispersivo da argila do Latossolo Vermelho Amarelo. Viçosa: **Engenharia na agricultura**, v.18, n.3, 2010.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 617-625, 2007.

ALVES, M. S. **Uso eficiente de esterco bovino na cultura da mandioca em Planossolo Háplico**. 2012. 41 p. (Monografia). Areia: Universidade Federal da Paraíba, 2012.

ARRUDA, F. B.; ZULLO JUNIOR, 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.

ASSIS JUNIOR, R. N.; SILVA, E. F. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre os atributos físicos de um Neossolo Flúvico do município de Quixeré, CE – Brasil. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.36. p.1778-1786, 2012.

BASTOS, R.S.MENDONÇA, E.S. ALVAREZ, V.H. CORRÊA, M.M. Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29 n. 1, 2005.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. M.; GARDNER, W. R. **Física de suelos**. México: Hispano-Americana, 1973. 529 p. il.

BERNARDES, R. S. **Condutividade hidráulica de três solos da região norte fluminense**. 2005, 80p. (Dissertação de Mestrado). Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2005

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 26. p.829-834, 2002.

BOCHNER, J. K.; FERNANDES, M. M.; PEREIRA, M. G.; BALIEIRO, F. C.; SANTANA, I. K. S. Matéria orgânica e agregação de um Planossolo sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Cerne**, p. 46-53, 2008.

BOENI, M. **Proteção física da matéria orgânica em Latossolos sob sistemas com pastagens na região do Cerrado brasileiro**. 2007. 152 p. (Tese de Doutorado). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007

BORCHARTT, L.; SILVA, I. F.; SANTANA, E. O.; SOUZA, C.; FERREIRA, L. E. Adubação orgânica da batata com esterco bovino no município de Esperança – PB. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 482-487, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisa e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. I. Levantamento exploratório de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro: 1972. 683 p. (**Boletim Técnico**, 15; SUDENE. Série Pedologia, 8).

CAMPINAS, D. S. N.; FARIAS, P. R. S; LIMA, H. V. Atributos físicos e matéria orgânica em sistemas de uso do solo. Amazonas: UFAM, **Revista Educamazônia**, v.10, p. 109-125, 2013,

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 99-105, 1990.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A. M.; SMITH, W.; ASHLEY, R. Restoring soil fertility of degraded hardsetting soils in semiarid areas with difference pastures. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 41, p. 507-514, 2001.

COELHO, J. B. M.; BARROS, M. F. C.; BEZERRA NETO, E.; SOUZA, E. R. Ponto de murcha permanente fisiológico e potencial osmótico de feijão caupi cultivado em solos salinizados. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, p.708–713, 2014.

CORREIA, G. G.; MOURA, R. F.; RODRIGUES, J. J. V.; BARROS, M. F. C.; CORREIA, K. G. Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de Tabuleiros Costeiros paraibanos. Mossoró: **Caatinga**, v.21, p.156-162, 2008.

CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. S.; MOURA, M. R. D.; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do Argissolo Amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1207-1216, 2011.

COSTA, C. D. O.; ALVES, M. C.; SOUSA, A. P. Movimento de água e porosidade dos solos de uma sub-bacia hidrográfica no noroeste do estado de São Paulo. Botucatu: **Revista Irriga**, v.20, p.304-318, 2015.

DARDENGO, M. C. J. D.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R. Influência da capacidade de campo na taxa de crescimento do cafeeiro Conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, p. 042-047, 2010.

DONAGEMA, G. K., CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos, Documentos, 132).

DONTSOVA, K.; NORTON, L. D. Effects of exchangeable Ca:Mg ratio on soil clay flocculation, infiltration and erosion. In: Stott, d. e. Steinhardt, G. C. (ed). Sustaining the global farm. In: International Soil Conservation Organization Meeting, 10, **Proceedings**, 2001. P.24-29.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011, 230 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. Ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2013, 353 p.

FELISBERTO, T. S.; MARINHO, L. B., DEON, M. D.; ANDRADE, E. A.; SOUZA FILHO, J. R. **Água disponível no solo com ponto de murcha permanente obtido por diferentes métodos.** IN: II INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING. Fortaleza: INCTSal, 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1004246/1/Magnus2014.pdf>. Acessado em 10 de fevereiro de 2016.

FORSYTHE, W. M. Física de suelos: **manual de laboratório**. San José: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 212 p., 1975.

FREITAS, R. C. A. **Argila dispersa em água determinada por agitação rápida, lenta e ultrassom.** 2011. 63p. (Dissertação de Mestrado). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011

GASPARETTO, E. C.; BRAIDA, J. A.; CARNEIRO, M.; SCARIOT, J. J.; TABOLKA, C. L. Grau de floculação da argila de um Latossolo Vermelho utilizado com lavoura e mata nativa. Pato Branco: UTFP, **Synergismus Scyentifica**. v.4, n.1, 2009.

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

GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. Botucatu: **Revista Irriga**, v.17, p.337-345, 2012.

HARRIS, R. F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O. N. Dynamics of soil aggregation. **Advance of Agronomy**., New York, v. 18, p. 107-169, 1966.

HARRIS, R.F.; KARLEN, D.L.; MULLA, D.J. **A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health.** In: Doran, J.W, and Jones, A.J. (eds). Methods for assessing soil quality. Madison : Soil Science Society of America, 1996. p.61-82. (SSSA Special Publication, 49).

HILLEL, D. **Soil and water: Physical principles and processes**. New York: Academic Press, 1972. 288 p.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press. 1980. 413p.

KAISER, D. R. **Estrutura e água em Argissolo sob distintos preparos na cultura do milho**. 2010, 151p. (Tese de Doutorado). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e a disponibilidade de água no solo. Santa Maria: **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, p.21-29, 2015.

LEVY, G.J.; EISENBERG, H.; SHAINBERG, I. **Clay dispersion as related to soil properties and water permeability**. Soil Science, Baltimore, v.155, p.15-22, 1993.

MAIA, A. H. N.; RODRIGUES, L. N.; PASSO, D. P. **Programa SAS® para ajuste de curvas de retenção**. IN: In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios, 2009, Fortaleza-CE.

MACHADO, J. L. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 495-502, 2008.

MAJOU, H. A.; BRUAND, A.; DUVAL, O.; BAS, C. L.; VAUTIER, A. Prediction of soil water retention properties after stratification by texture, bulk density and the type of horizon. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 383-391, 2008.

MEDEIROS, L. C.; MEDEIROS, B. V. V.; EUDES SOBRINHO, F.; GURGEL, M. T. Caracterização físico química de um Neossolo Litólico na região Seridó do RN. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**.V. 9, p. 01-07, 2013.

MEDEIROS, J. S.; OLIVEIRA, F. H. T.; ARRUDA, J. A.; VIEIRA, M. S.; FONTES, M. P. F. Eficiência de extratores de potássio disponível em solos do estado da Paraíba com graus de desenvolvimento pedogenético diferentes. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 183-194, 2010.

MENESES, R. S. C.; SILVA, T. O. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, p.251–257, 2008.

MICHELON, C. J. **Pedofunções para retenção de água de solos do Rio Grande do Sul irrigados por aspersão**. 2010, 111p. (Tese de Doutorado). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

MONTEIRO, A. L. **Caracterização mineralógica de solos representativos do estado da Paraíba**. 2010, 139 p. (Dissertação de Mestrado).Areia: Universidade Federal da Paraíba, 2010.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, Water Resource [5] **Research**, v. 12, p. 513-522, 1976.

OLIVEIRA, F.H.T.; LEAL, J.V.; SANTOS, D.J.; FARIAS, D.R.; ARRUDA, J.A. **Banco de Solos Representativos do Estado da Paraíba**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., Aracaju, 2006. Anais. Aracaju, SBCE, 2006. CD-ROM.

OLIVEIRA, F. P. O.; BUARQUE, D. C.; VIERO, A. C.; MERTEN, G. H.; CASSOL, E. A.; MINELLA, J. P. G. Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, p.337-346, 2012.

OLNESS, A.; ARCHER, D. Effect of organic carbon on available water in soil. **Soil Science**, v. 170, p. 90-101, 2005.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; CARVALHO, R. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, 2003.

PEREIRA, A. A. **Uso e degradação do solo em áreas sob diferentes sistemas de manejo, município de Reserva – PR**. 2013, 61p. (Dissertação de Mestrado). Guarapuava: Universidade Estadual do Centro Oeste, 2013.

PREVEDELLO, J. **Dinâmica do armazenamento e da disponibilidade de água em Argissolo sob eucalipto e campo nativo**. 2012. 120p. (Tese de Doutorado). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

QUEIROZ, A. F. **Caracterização e classificação de solos do município de Casa Nova-BA para fins de uso, manejo e conservação**. 2013, 76p. (Dissertação de Mestrado). Mossoró: Universidade Federal Rural do Semiárido, 2013.

RAWLS, W.J.; PACHEPSKY, Y.A.; RITCHIE, J.C.; SOBECKI, T.M.; BLOODWORTH, H. Effect of Soil Organic Carbon on Soil Water Retention. **Geoderma/SSSA**. n.16, p.1569-1578, 2003.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188p.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.211-216, 1988.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e teste. **Ciência Rural**, v. 36, p. 1931-1935, 2006.

RESENDE, S. C. **Influência de diferentes sistemas de manejo nas propriedades físico-hídricas de Argissolo Vermelho Amarelo da região dos Tabuleiros Costeiros sergipanos**. 2012. 71p. (Tese de Doutorado). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2012.

ROSA, C. M. **Matéria orgânica em Planossolo Háplico sob sistemas de manejo no cultivo do arroz irrigado no Sul do Brasil**. 2010.94 p. (Tese de Doutorado).Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2010.

SAS Institute Inc, **SAS/STAT® User's Guide**, Version 9.1, v.1-7.SAS Institute Inc., Cary, NC, 2004.

SALTER, P. J.; GOODE, J. E. Crop response to water at different stages of growth. Bucks, Common wealth Agricultural Bureaux, 1967. **Research Review**, n. 2, 1967.

SANTIAGO, R. D.; **Agregação do solo: efeito de diferentes gramíneas na formação e estabilização**. 1997. 64 p. (Dissertação de Mestrado). Areia: Universidade Federal da Paraíba, 1997.

SANTOS, J. C. B.; SOUZA JUNIOR, V. S.; CORRÊA, M. M.; RIBEIRO, M. R.; ALMEIDA, M. C.; BORGES, L. E. P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 683-695, 2012.

SANTOS, J. T. S.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; SILVA, D. S.; SANTOS, E. M.; SILVA, A. P. G. Atributos físicos e químicos do solo de áreas sob pastejo na Microrregião do Brejo Paraibano. Santa Maria: **Ciência Rural**, v.40, 2010.

SAXTON, K.E.; RAWLS, W.R. Soil water characteristic estimates by texture and organic Matter for hydrologic solutions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.70, p. 1569-1578, 2006.

SILVA NETO, S. J.; BARRETO, H. B. F.; AMARAL JUNIOR, V. P.; MAIA, P. M. E. Caracterização físico-hídrica de solos representativos da região do Agropolo Assu-Mossoró. Mossoró: **Revista Verde**. v.7, p.81-84, 2012.

SILVA, A. S.; SILVA, I. F.; FERREIRA, L. E.; BORCHARTT, L.; SOUZA, M. A.; PEREIRA, W. E. Propriedades físicas e químicas em diferentes usos do solo no Brejo Paraibano. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1064-1072, 2013.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUCK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v.35, p. 544-552, 2005.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 313-319, 1997.

SILVA, I. F. **Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso agrícola**. 1993. 126p. (Tese de Doutorado). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993.

SILVA, A. S.; SILVA, I. F.; BANDEIRA, L. B.; DIAS, B. O.; SILVA NETO, L. F. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. Santa Maria: **Revista Ciência Rural**, v.44, n. 10, 2014.

SLATYER, R. O. Plant water relationship. New York: **Academy Press**, 366p., 1967.

SOARES, F. C. **Uso de diferentes metodologias na geração de funções de pedotransferência para a retenção de água em solos do Rio Grande do Sul**. 2013. 200 p. (Tese de Doutorado). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

SPERA, S. T.; DENARDIN, J. E.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; SANTOS, H. P.; FIGUEROA, E. A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.32, p. 2613-2620, 2008.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. Santa Maria: **Revista Ciência Rural**, v.34, n.3, 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, planta e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS. Boletim técnico n. 5. 1995, 2 ed. rev. amp. 174p.

TERASSI, P. M. B.; SILVEIRA, H.; BONIFÁCIO, C. M. Variação da estabilidade de agregados e as suas relações com a vulnerabilidade dos solos ao longo de uma vertente na região noroeste do Paraná. Maringá: **Boletim de Geografia**, v.32, p.166-176, 2014.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, n.33, p.141-162, 1982.

VASCONCELOS, R. F. B; CANTALISE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um latossolo amarelo distrocoes o de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.2, 2010.

VENDRUSCOLO, J.; RIBEIRO, T. S.; MESQUITA, F. O.; ALVES, A. S.; SANTOS, G. A. Propriedades físicas de um Latossolo e Argissolo comparados a quatro tipos de solos na Paraíba – Brasil. **Revista Verde**, Mossoró, v.6, n.4, p.204-212, 2011.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.1, 2011.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.28, p. 891-900, 2004.

CAPÍTULO 2

**FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA ESTIMATIVA DA
RETENÇÃO DE ÁGUA EM SOLOS DA MESORREGIÃO DO AGRESTE
PARAIBANO**

RESUMO

PEQUENO, PETRUS LUIZ DE LUNA. **Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em solos da mesorregião do Agreste Paraibano.** Areia - PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, fevereiro de 2016. 84 f. Tese. (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo). Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira.

Funções de pedotransferências são modelos matemáticos lineares utilizadas principalmente na predição de propriedades físico-hídricas do solo, em especial da retenção de água pelo solo. Em se tratando de estudos dessa natureza, poucos foram os desenvolvidos para o estado da Paraíba, principalmente considerando a correlação entre parâmetros estruturais e texturais na geração de funções eficientes na estimativa da retenção de água pelo solo. Nesse sentido, a presente pesquisa objetivou desenvolver banco de dados individuais e unificado para estabelecer, testar e validar funções de pedotransferência (FPT) capazes de estimar a retenção de água nos solos na camada de 0-20 cm em seis classes de solos da Mesorregião do Agreste do estado da Paraíba. O banco de dados foi formado a partir de determinações físicas e químicas realizadas em 240 amostras deformadas e indeformadas de solo coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm nas classes de solo Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (PvD), Argissolo Vermelho Eutrófico abruptico (PVe), Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA), Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL), Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ) e Planossolo Háptico Eutrófico vertissólico (SX). Para geração das FPT foram utilizadas 70% do total das amostras (168 amostras), enquanto os outros 30% (72 amostras) foram utilizados para validação. As variáveis componentes de cada FPT foram selecionadas através do método *Stepwise* e tiveram suas respectivas eficiências preditivas analisadas através dos indicadores estatísticos coeficiente de determinação (R^2), erro médio da estimativa (ME) e raiz quadrada do erro médio (RMSE), procedendo-se da mesma forma com as FPT selecionadas da literatura. Houve influência positiva dos parâmetros estruturais na acurácia das FPT para todas as classes de solos estudadas e principalmente nos potenciais matriciais mais elevados; A heterogeneidade provocada pela união dos bancos de dados individuais gerados na composição das FPT proporcionou reflexo positivo na melhoria da acurácia e da capacidade preditiva de todas as FPT em todos os potenciais matriciais; As funções de pedotransferência obtidas da literatura apresentaram baixa capacidade preditiva para as condições edafoclimáticas da Mesorregião do Agreste da Paraíba.

Palavras Chave: Modelagem, Variáveis texturais, Variáveis estruturais, Banco de solos

ABSTRACT

PEQUENO, PETRUS LUIZ DE LUNA. **Pedotransfers function to estimate the water retention in soils of mesoregion of the Agreste Paraibano.** Areia - PB, Agricultural Science Center, UFPB, February de 2016. 84 f. Thesis.(Pós-Graduate Program in Soil Science). Adviser: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira.

Pedotransferências functions are linear mathematical models used primarily for predicting physical and hydraulic properties of the soil, especially soil by water retention. When it comes to this kind of study, few have been developed for the Paraíba state, especially considering the correlation between structural and textural parameters in generating efficient functions for estimating soil water retention. In this sense, this research aimed to develop individual and unified database to establish, test and validate pedotransfer functions (FPT) able to estimate the water retention in the soil in 0-20cm layer in six soil classes of Mesoregion do Agreste of the Paraíba state. The database formation occurred from physical and chemical determinations carried out in 240 disturbed and undisturbed soil samples collected on the depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm in the soil classes Acrisol, Lixisol, Ferrasol, Leptosol, Arenosol and Planosol. For generation of FPT were used 70% of total samples (168 samples), while the other 30% (72 samples) were used for validation. The variables components of each FPT were selected by the method Stepwise and had their respective predictive efficiencies analyzed by the statistical indicators coefficient of determination (R^2), average error of estimation (ME) and mean square error (RMSE), procedendo- the same way with the FPT selected from the literature. There was a positive influence of structural parameters on the accuracy of the FPTs developed for all soil studied classes, especially on the potentials higher matrix (-0.006 and -0.01 MPa); Only on Entisol, and in the matric potentials -1.0 and -1.5 MPa correlations between organic matter content and retention and water were significant enough for inclusion in the FPT, and in these a reduction of 0,001 units of MO content between the FPTs, influenced the accuracy and predictive ability of the PFT (-1.5 MPa) compared to FPT (-1.0 MPa); The heterogeneity resulting from the union of the individual databases generated in the composition of the FPTs, corroborated for occurrence of a positive reflex on improving the accuracy and predictive ability of all FPT in all matric potentials; The pedotransfer functions obtained from the literature showed low predictive ability for all soil classes and climatic conditions of the Mesoregion of the Agreste of Paraíba State.

Key words: Water retention, FPT, Textural variables, Structural variables, Data bank

1. INTRODUÇÃO

O termo “funções de pedotransferência” refere-se a um modelo matemático linear constituído por uma ou mais variáveis independentes utilizado na predição de propriedades físico-hídricas do solo. Segundo BARROS & JON VAN LIER (2013), o termo *Pedotransfer function* ou função de pedotransferência foi introduzido na Ciência do Solo na década de 80 em substituição a expressões antigas denominadas pedofunções ou funções de transferências por BOUMA & VAN LANEN (1986) e BOUMA (1989). As primeiras tentativas de desenvolvimento de dados de função de pedotransferência, de acordo com os autores, ocorreram no início do século XX através de BRIGGS & MCLANE (1907) e melhoradas por BRIGGS & SHANTZ (1912), os quais propuseram uma correlação entre conteúdo de água no solo e textura. Após a introdução dos conceitos de capacidade de campo e ponto de murcha permanente por VEIHMEYER & HENDRICKSON (1931), tornou-se cada vez mais comum correlacionar distribuição de partículas por tamanho, porosidade, densidade e conteúdo de matéria orgânica com o conteúdo de água e disponibilidade de água para a planta. Assim, a obra mais completa foi desenvolvida por WILLIAMS et al. (1983) os quais determinaram a retenção de água do solo através das classes texturais.

No Brasil, estudos relativos ao desenvolvimento e validação de FPT para os solos brasileiros teve como precursores ARRUDA et al. (1987), sendo, porém, SILVA et al. (1990) os primeiros a estabelecerem FPTs para a região semiárida brasileira. Outras pesquisas foram desenvolvidas por OLIVEIRA et al. (2002) para solos do estado de Pernambuco; SILVA et al. (2008) em Latossolos Vermelhos com ampla variação textural no estado de São Paulo; BARROS (2010), no desenvolvendo modelo agro hidrológico para região nordeste; NASCIMENTO et al. (2010) para Argissolos e Latossolos Amarelos de Tabuleiros brasileiros; MICHELLON et al. (2010) para solos irrigados do Rio Grande do sul; BERNARDES (2010) para Argissolo Amarelo, Cambissolo Háplico e Neossolo Flúvico no norte fluminense; SILVA (2014) para os principais solos do Tabuleiro Costeiro brasileiro e; OLIVEIRA JUNIOR et al. (2014) em Neossolo Regolítico no Agreste Pernambucano.

Os modelos preditivos utilizados em pesquisas na Paraíba são os desenvolvidos para outras regiões, como os de BROOKS & COREY (1964) e VAN GENUCHTEN (1980), utilizados na determinação de propriedades hidrodinâmica do solo (curva de retenção e condutividade hidráulica do solo), a exemplo de SOUZA et al. (2008) em Latossolo amarelo e Neossolo Flúvico, PAIXÃO et al. (2009) em Neossolo Regolítico, SANTOS et al. (2012) em Argissolo Vermelho Amarelo e Espodossolos, e SALES (2013) em solos da Bacia do Rio Gramame.

Assim, a FPT é uma ferramenta útil capaz de prever importantes propriedades do solo que antes eram mensuráveis apenas a partir de métodos mais sofisticados e que demandam muito tempo. No entanto, dada a necessidade de melhor acurácia e reduzir o erro nas predições, pesquisas vêm demonstrando a importância de banco de dados com uniformidade de métodos e qualidade nas amostragens que possibilitem também a inclusão de variáveis estruturais, além das texturais do solo, de forma que sejam os mais representativos possíveis das condições regionais, uma vez que quanto mais homogêneo for o banco de dados, melhor será o desempenho das FPT. Segundo BARROS & JONG VAN LIER (2014), tanto no Brasil quanto no resto do mundo a maioria dos estudos para avaliar a performance de FPT não consideram a qualidade nem as diferenças nos métodos utilizados no desenvolvimento das FPT, onde problemas metodológicos ocasionaram a não formação de um banco de dados padrão, tendo como exemplo a determinação do conteúdo de água a $-0,033$ e $-0,01$ MPa serem medidos ainda em amostras deformadas.

Nesse sentido, a utilização de funções/modelos capazes de prever o conteúdo de água retido no solo a partir de informações básicas e melhor qualificadas consiste numa informação promissora para o estado da Paraíba, uma vez que torna o processo de obtenção mais simples, rápido e com menor custo. Salientando-se, nesse sentido, conforme MICHELON (2010) que métodos indiretos não existem sem métodos diretos, pois é somente com a obtenção e a quantificação dos dados diretos do solo que se criam os bancos de dados dos quais são derivados os métodos indiretos (FPTs).

Face ao exposto, a presente pesquisa objetivou desenvolver banco de dados individuais e unificado para estabelecer, testar e validar funções de

pedotransferência (FPT) capazes de estimar a retenção de água nos solos na camada de 0-20 cm em seis classes de solos da Mesorregião do Agreste do estado da Paraíba.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Banco de dados

O banco de dados utilizado foi desenvolvido no capítulo 1 formado a partir de determinações físicas e químicas realizadas em 240 amostras de solo (180 amostras indeformadas e 60 amostras deformadas) coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm nas classes de solo Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LAd), Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (PVe), Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd), Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ), Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) e Planossolo Háptico Eutrófico vertissólico (SX), localizados na Mesorregião do Agreste Paraibano.

As variáveis componentes do banco de dados constaram de: granulometria (teores de areia total, areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina, silte e argila), porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e de partículas, estabilidade de agregados, índice de agregação, argila natural, grau de floculação, teores de água retidos nos potenciais -0,006, -0,01, -0,033, -0,1, -0,3, -0,5, -1,0 e -1,5 MPa, além dos teores de carbono orgânico.

2.2. Geração e obtenção das funções de pedotransferências (FPT)

Para geração das FPT foram utilizadas 70% do total das amostras, selecionadas aleatoriamente no banco de dados. Em seguida, os dados foram submetidos a análise estatística ($P \leq 0,05$) utilizando-se o software estatístico SAS, onde, primeiramente, foi realizada a análise de correlação simples entre todas as variáveis com o intuito de se verificar àquelas preditoras que mais se relacionavam com as preditas. Posteriormente, procedeu-se a análise de regressão múltipla por meio da opção “Stepwise”, para obtenção das FPT, onde os teores de areia (muito grossa, grossa, média, fina, muito fina e total), silte, argila, argila natural, grau de floculação, densidade do solo, densidade de partículas, índice de agregação, matéria orgânica, macro e microporosidade foram as variáveis independentes da equação.

Na definição das equações de regressão linear múltiplas, para predizer os parâmetros do modelo, adotou-se o procedimento de MICHELLON (2010), onde o comportamento de uma característica na equação deveria afetar o parâmetro a ser predito (variável dependente) de forma coerente com o conhecimento empírico e teórico do processo.

Assim, foram geradas FPTs por classe de solo, além de FPTs considerando-se a unidade do banco de dados, ou seja, funções que pudessem representar os solos conjuntamente.

2.2.1 FPT geradas através do banco de dados

Das FPT geradas pelo banco de dados construído para as seis classes de solos, foram testadas e validadas aquelas indicadas pela análise Stepwise com maior R^2 e F significativo ($P \leq 0,05$), para tal utilizou-se os 30% restantes das amostras totais.

2.2.2 Avaliação da eficiência das funções de pedotransferências

A eficiência tanto das funções geradas quanto das obtidas da literatura foi analisada graficamente, seguindo a metodologia utilizada por OLIVEIRA et al. (2002), BERNARDES (2010), MICHELON (2010), NASCIMENTO et al. (2010) pela relação 1:1 dos dados estimados versus os observados e por meio dos indicadores estatísticos: R^2 - Coeficiente de determinação (avalia o ajuste do modelo, onde quanto mais próximo da unidade melhor o ajuste) com significância $P \leq 0,05$; ME - Erro médio (indica a exatidão da estimativa, revelando a tendência da FPT superestimar (se positivo) ou subestimar (se negativo) os valores determinados, sendo quanto mais próximo de zero for o ME, maior a acurácia da FPT) e; RMSE - raiz quadrada do erro médio (indica a dispersão dos valores medidos e estimados em torno da reta 1:1, onde quanto mais próximo de zero melhor o ajuste entre dados). A obtenção do ME e RMSE foi através das equações 11 e 12:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ei - mi) \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ei - mi)^2} \quad (12)$$

Onde: n = número de observações;

ei = valor estimado pela FPT da variável de interesse;

mi = valor medido da variável de interesse (observado).

2.3. Aplicação das funções de pedotransferências obtidas a partir da literatura

O critério inicial de seleção das FPT da literatura foi que as mesmas deveriam ter sido desenvolvidas para solos brasileiros. A partir destas identificou-se algumas desenvolvidas para a Região Nordeste e com certa proximidade do estado da Paraíba, além de outros modelos que já vêm sendo testados por outros autores. Nesse sentido, as FPT selecionadas são apresentadas na tabela 1. Não foi possível uniformidade no que concerne aos potenciais matriciais, uma vez que a maioria dos artigos consultados gerou e validou FPT para predição do conteúdo de água retido no solo apenas nos potenciais -0,033 e -1,5 MPa. Das FPT selecionadas, apenas as obtidas por MICHELON (2010) foram originadas de amostras deformadas e indeformadas. As demais FPT foram geradas a partir de banco de dados formados a partir de amostras deformadas.

Tabela 1 Funções de pedotransferências selecionadas a partir da literatura.

Autor	FPT
MICHELON (2010)	$\hat{Y}_{-0,01} = 0,1398 - 0,0409Ds + 0,2069*Macro + 0,8809*Micro$ $\hat{Y}_{-0,033} = -0,0789 + 0,0362*Ds + 1,0011*Micro - 0,0004*AF$ $\hat{Y}_{-0,1} = -0,1014 + 0,0430*Ds + 0,9891*Micro - 0,0006*AF$ $\hat{Y}_{-0,5} = -0,4888 + 0,2307*Ds + 0,2807*Macro + 0,6468*Micro + 0,0010*Si + 0,0022*Arg$ $\hat{Y}_{-1,5} = -0,1974 + 0,1093*Dp - 0,3050*Macro + 0,0011*Si + 0,0024*Arg$
ARRUDA et al. (1987)	$\hat{Y}_{-0,033} = (9,93029 + 0,289568*(Si + Arg))/100$ $\hat{Y}_{-1,5} = (1,07387 + 0,271212*(Si + Arg))/100$
NASCIMENTO et al. (2010)	$\hat{Y}_{-0,033} = 0,0409 + 0,000377*Arg + 0,000108*Si$ $\hat{Y}_{-1,5} = 0,0812 + 0,000279*Arg + 0,0000713*Si - 0,0457*Ds$
OLIVEIRA et al. (2002)	$\hat{Y}_{-0,033} = 0,000333*Si + 0,000387*Arg$ $\hat{Y}_{-1,5} = 0,000038*Ar + 0,000153*Si + 0,000341*Arg - 0,030861*Ds$
URACH (2007)	$\hat{Y}_{-0,006} = 0,45862 - 0,00167*Ar + 0,00062*Arg - 0,03332*Ds$ $\hat{Y}_{-0,01} = 0,40971 - 0,00268*Ar - 0,00123*Si + 0,00084*Ds$ $\hat{Y}_{-0,033} = 0,34086 - 0,00225*Ar + 0,00055*Arg + 0,03737*Ds$ $\hat{Y}_{-0,1} = 0,37320 - 0,00285*Ar + 0,03340*Ds$ $\hat{Y}_{-0,5} = 0,12366 + 0,00090*Arg + 0,10908*Ds$ $\hat{Y}_{-1,5} = 0,11238 + 0,00087*Arg + 0,08496*Ds$
MASUTTI (1997)	$\hat{Y}_{-0,033} = (-1,5691 + 0,4289(Arg + Si)/10)/100$ $\hat{Y}_{-1,5} = (-0,530482 + 0,301235*Si/10 + 0,092822*Arg/10)/100$

Onde: FPT – função de pedotransferência; DS – densidade do solo; Macro – macroporosidade; MICRO – microporosidade; Ar – areia total; AF – areia fina; Si – silte; Arg – argila; Dp – densidade de partículas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Amplitude de variação dos componentes do banco de dados

Os dados concernentes da granulometria mostraram variações muito pequenas nos teores médios de areia total nas três profundidades independente da classe de solo. Quanto aos teores de silte, o Argissolo Vermelho Distrófico abráptico (PVd) apresentou teores médios inferiores aos demais solos, enquanto que o Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) apresentou o mesmo comportamento, porém em relação aos teores de argila (Tabela 2). Os valores de desvio padrão mostram a variação dentro de cada profundidade e classe de solo, refletindo o que se é observado nos valores mínimos e máximos de cada parâmetro. Assim, o Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX) foi a classe com maior dispersão nos teores de areia nas profundidades 1 e 2, de silte nas três profundidades e de argila nas profundidades 2 e 3. O Argissolo Vermelho Distrófico abráptico (PVd) apresentou maiores dispersões nos valores de areia na profundidade 3 e o Argissolo Vermelho Eutrófico abráptico (PVe) nos teores de argila na profundidade 1.

Ainda na referida tabela, observou-se que em todas as classes de solo ocorreu um incremento da fração argila e um decréscimo da fração areia com a profundidade. Nos solos mais desenvolvidos (LA, PVd e PVe) os teores de silte apresentaram aumento com a profundidade, comportamento inverso apresentado pelos menos desenvolvidos (RL, RQ e SX).

Em função do fracionamento aleatório do banco de dados original de cada solo, os dados referentes aos valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferências, mostraram--se semelhantes, comportamento semelhante foi observado também por MICHELLON (2010) após utilizar o mesmo procedimento para geração e validação de FPTs para solos do Rio Grande do Sul.

Tabela 2. Valores mínimos, máximos e médios dos teores de areia, silte e argila em três profundidades nas seis classes de solo estudadas.

argila em tres profundidades nas seis classes de solo estudadas.												
Classes de solo	Areia				Silte				Argila			
	-----g kg ⁻¹ -----											
	Mín.	Ā	Máx	DP	Mín.	Ā	Máx	DP	Mín.	Ā	Máx	DP
	0 - 5 cm											
LA	636	655	667	15	141	189	247	42	90	156	192	42
PVd	657	740	792	53	69	83	94	10	119	177	274	61
PVe	541	604	691	65	88	105	125	16	221	291	362	66
SX	577	675	800	83	93	179	248	60	79	146	208	52
RL	745	795	856	40	98	124	165	25	32	81	112	30
RQ	692	720	744	25	128	163	197	26	88	117	144	21
5 - 10 cm												
LA	624	629	634	5	113	180	235	50	131	191	263	53
PVd	698	756	853	71	59	89	112	22	88	155	212	51
PVe	508	529	584	36	95	123	164	36	255	348	392	58
SX	552	657	786	98	86	169	263	74	99	174	245	60
RL	747	791	870	47	72	118	164	35	58	91	112	21
RQ	704	753	788	39	93	126	185	38	106	121	141	14
10 - 20 cm												
LA	560	595	643	32	102	196	264	67	99	209	307	90
PVd	582	699	800	85	78	107	144	27	114	194	274	73
PVe	420	498	578	57	112	144	205	39	264	358	459	78
SX	563	637	723	76	109	176	291	75	76	187	327	92
RL	739	800	854	48	67	118	169	44	40	82	107	25
RQ	696	733	787	36	114	126	148	13	66	141	190	48

Min – valor mínimo; Máx – valor máximo; Ā - valor médio; DP – Desvio padrão

3.2 Análise de correlação entre as variáveis e a retenção de água nos diferentes potenciais matriciais (Ψ_m) com $P \leq 0,05$)

As tabelas de 3a 8apresentam os coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre as variáveis granulométricas e estruturais com a umidade retida a diferentes potenciais matriciais utilizadas para gerar e validar as FPTs. Este coeficiente, segundo BRAGA et al., (2014) indica a força e a direção do relacionamento entre as variáveis, variando de -1 a +1, onde a relação linear perfeita ocorre com valor +1 e também perfeita, porém em sentido inverso no valor -1, mas quando o valor é zero, não há correlação entre as variáveis. Assim, nas referidas tabelas pode-se observar, segundo seus respectivos valores, a relação isolada de cada variável independente com o quantitativo de água retido nos diferentes potenciais matriciais, sendo maior esta relação ou dependência com o aumento positivo do coeficiente r .

Nesse sentido, analisando-se cada classe de solo isoladamente, observa-se na tabela 3 que a variável que melhor se relacionou positivamente com os teores de umidade retidos em todas as tensões no PVd foi a microporosidade, denotando que melhorias nessa variável pode ocasionar um aumento também nos teores de água retidos. Comportamento inverso foi verificado na densidade do solo, onde ocorreram os maiores valores negativos do índice de correlação de Pearson, demonstrando que quanto menor for a densidade do solo, melhor a retenção de água. As frações granulométricas, com exceção da argila, e a matéria orgânica apresentaram uma baixa correlação com a retenção de água. Dos componentes granulométricos do solo, a fração argila foi a única a apresentar uma correlação mediana com a retenção de água em todos os potenciais matriciais, sendo superior as demais frações.

Tabela 3. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e a umidade retida a diferentes potencias das amostras do Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd) utilizadas para gerar e validar as FPTs.

Variáveis	Potencial, MPa							
	$\Theta_{-0,006}$	$\Theta_{-0,01}$	$\Theta_{-0,033}$	$\Theta_{-0,1}$	$\Theta_{-0,3}$	$\Theta_{-0,5}$	Θ_{-1}	$\Theta_{-1,5}$
AMG	-0,43	-0,50	-0,56	-0,55	-0,51	-0,56	-0,56	-0,58
AG	-0,19	-0,28	-0,26	-0,26	-0,23	-0,27	-0,26	-0,31
AME	0,23	0,19	0,32	0,30	0,26	0,32	0,32	0,32
AF	-0,16	-0,09	-0,07	-0,07	-0,13	-0,01	-0,02	0,03
AMF	-0,52	-0,39	-0,44	-0,44	-0,48	-0,37	-0,38	-0,33
AREIA T	-0,35	-0,41	-0,36	-0,36	-0,38	-0,33	-0,33	-0,35
SILTE	-0,47	-0,37	-0,39	-0,40	-0,39	-0,40	-0,43	-0,40
ARGILA	0,57	0,60	0,55	0,55	0,57	0,52	0,53	0,55
MO	0,01	0,04	0,06	0,06	-0,01	0,11	0,12	0,16
DS	-0,90	-0,89	-0,93	-0,92	-0,92	-0,88	-0,89	-0,86
MICP	0,96	0,87	0,86	0,85	0,86	0,82	0,85	0,85
MACP	0,05	0,18	0,27	0,26	0,25	0,27	0,22	0,19
IEA	-0,09	-0,11	-0,25	-0,23	-0,22	-0,19	-0,16	-0,11
GFLOC	-0,09	-0,20	-0,12	-0,12	-0,11	-0,08	-0,08	0,01
ADA	0,24	0,41	0,29	0,29	0,29	0,25	0,25	0,17
DP	-0,67	-0,48	-0,54	-0,51	-0,51	-0,42	-0,44	-0,41

Onde: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AME: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; AREIA T: areia total; MO: matéria orgânica; DS: densidade do solo; MICP: microporosidade; MACP: macroporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados em água; GFLOC: grau de floculação; ADA: argila dispersa em água; DP: densidade de partículas.

No PVe (tabela 4) a variável que melhor se correlacionou foi a microporosidade (MICP) nos potenciais $\Psi_{-0,006}$ e $\Psi_{-0,01}$ com valores de r iguais a 1,00 e 0,99, respectivamente. A densidade do solo se correlacionou negativamente com a retenção de água em todos os potenciais, demonstrando assim a influência deletéria de valores altos sobre a estrutura do solo, consequentemente na retenção de água. Dos componentes granulométricos a fração argila apresentou o melhor valor de r no $\Psi_{-0,033}$ com valores mais baixos, porém superiores as demais frações granulométricas, nos demais potenciais matriciais.

Tabela 4. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e a umidade retida a diferentes potencias das amostras do Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (PVe) utilizadas para gerar e validar as FPTs.

Variáveis	Potencial, MPa							
	$\Theta_{-0,006}$	$\Theta_{-0,01}$	$\Theta_{-0,033}$	$\Theta_{-0,1}$	$\Theta_{-0,3}$	$\Theta_{-0,5}$	Θ_{-1}	$\Theta_{-1,5}$
AMG	-0,06	-0,06	0,00	-0,01	-0,01	0,03	-0,01	-0,05
AG	-0,20	-0,19	-0,60	-0,48	-0,41	-0,38	-0,35	-0,30
AME	0,01	0,02	-0,48	-0,29	-0,21	-0,20	-0,17	-0,15
AF	0,02	0,02	-0,45	-0,25	-0,18	-0,15	-0,11	-0,07
AMF	-0,02	0,00	-0,38	-0,16	-0,07	-0,03	0,04	0,18
AREIA T	-0,02	-0,01	-0,48	-0,29	-0,21	-0,18	-0,14	-0,10
SILTE	-0,34	-0,32	-0,13	-0,17	-0,15	-0,14	-0,09	0,01
ARGILA	0,18	0,16	0,53	0,36	0,28	0,24	0,18	0,09
MO	0,51	0,51	0,17	0,38	0,42	0,39	0,39	0,42
DS	-0,76	-0,75	-0,57	-0,75	-0,74	-0,72	-0,70	-0,70
MICP	1,00	0,99	0,41	0,63	0,67	0,65	0,58	0,54
MACP	-0,21	-0,20	-0,19	0,15	0,21	0,21	0,29	0,34
IEA	0,18	0,14	0,27	0,13	0,11	0,06	0,00	-0,04
GFLOC	0,09	0,07	0,27	0,11	0,09	-0,01	-0,06	-0,07
ADA	0,09	0,11	-0,12	0,06	0,04	0,17	0,19	0,16
DP	0,09	0,11	-0,54	-0,03	0,14	0,12	0,16	0,16

Onde: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AME: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; AREIA T: areia total; MO: matéria orgânica; DS: densidade do solo; MICP: microporosidade; MACP: macroporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados em água; GFLOC: grau de floculação; ADA: argila dispersa em água; DP: densidade de partículas.

Assim como ocorreu nos Argissolos, no LA a microporosidade foi a variável com maior correlação com os teores de água retido em todos os potenciais (tabela 5). A variável AG foi a segunda maior correlação, indicando possível efeito da área superficial das partículas, segundo SOLANOPERAZA(2003) e MICHELLON (2010), na estruturação do solo, corroborado pelas correlações apresentadas pelas variáveis ADA e IEA com a retenção de água, denotando a baixa susceptibilidade desse solo à erosão acompanhada de melhorias na estrutura do solo, conforme correlação da MICP e IEA, refletiu na retenção de água, principalmente nos potenciais mais

elevados onde as forças capilares são mais atuantes, as quais sofrem efeito da estruturação do solo, de acordo com HILLEL (1998).

Tabela 5. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e a umidade retida a diferentes potencias das amostras do Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA) utilizadas para gerar e validar as FPTs.

Variáveis	Potencial, MPa							
	$\Theta_{-0,006}$	$\Theta_{-0,01}$	$\Theta_{-0,033}$	$\Theta_{-0,1}$	$\Theta_{-0,3}$	$\Theta_{-0,5}$	Θ_{-1}	$\Theta_{-1,5}$
AMG	0,42	0,25	0,22	0,21	0,21	0,24	0,39	0,38
AG	0,64	0,57	0,60	0,61	0,60	0,65	0,55	0,52
AME	0,23	0,22	0,21	0,27	0,23	0,32	0,25	0,23
AF	-0,53	-0,36	-0,44	-0,44	-0,41	-0,40	-0,25	-0,23
AMF	-0,33	0,00	-0,12	-0,25	-0,21	-0,24	-0,18	-0,16
AREIA T	0,08	0,19	0,13	0,13	0,13	0,20	0,23	0,22
SILTE	-0,12	0,10	0,02	-0,12	-0,12	-0,14	-0,14	-0,13
ARGILA	0,05	-0,17	-0,08	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00
MO	0,21	0,09	0,04	0,01	0,05	0,02	0,02	0,01
DS	-0,73	-0,49	-0,51	-0,52	-0,50	-0,54	-0,58	-0,55
MICP	0,94	0,78	0,81	0,86	0,80	0,84	0,77	0,75
MACP	-0,06	-0,08	0,00	-0,04	-0,08	-0,08	-0,20	-0,22
IEA	0,28	0,35	0,37	0,25	0,26	0,27	0,23	0,20
GFLOC	-0,14	-0,19	-0,24	-0,20	-0,18	-0,21	-0,19	-0,18
ADA	0,43	0,49	0,50	0,41	0,37	0,42	0,30	0,28
DP	0,02	-0,15	-0,18	-0,16	-0,08	-0,10	-0,05	-0,07

Onde: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AME: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; AREIA T: areia total; MO; matéria orgânica; DS: densidade do solo; MICP: microporosidade; MACP: macroporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados em água; GFLOC: grau de floculação; ADA: argila dispersa em água; DP: densidade de partículas.

Observando-se de uma forma geral as tabelas 3, 4 e 5 percebe-se que dos componentes estruturais do solo a microporosidade apresentou altas correlações positivas com os conteúdos de água em todos os potenciais matriciais, enquanto que as correlações entre as frações granulométricas e o conteúdo de água retido não seguiram a mesma tendência. Apenas no PVE onde os conteúdos de argila foram mais proeminentes (tabela 2) a correlação foi mais acentuada, fato esse ocorrente provavelmente em função do tipo de mineral de argila presente nesses solos, que segundo MONTEIRO (2010) a predominância é de caulinita, um argilomineral não expansivo (1:1) cuja força das ligações entre as camadas não permite a penetração de moléculas de água, podendo estas serem adsorvidas apenas nas superfícies basal e lateral.

Na tabela 6, referente ao RQ, observa-se que as maiores correlações positivas ocorreram nos potenciais $\Psi_{-0,006}$ e $\Psi_{-0,01}$ entre a MICP e os conteúdos de água retidos. Os valores de r negativos nesses mesmos potenciais apresentados pelas variáveis MACP e DS, corroboram com a função de transporte de água e ar no solo pela primeira e que valores elevados da segunda interferem negativamente na estrutura do solo e consequentemente, na retenção de água. As correlações apresentadas pela variável silte nos diferentes potenciais podem estar relacionadas aos teores presentes no solo, bem como com a superfície específica da mesma.

Tabela 6. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e a umidade retida a diferentes potencias das amostras do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ) utilizadas para gerar e validar as FPTs.

Variáveis	Potencial, MPa							
	$\Theta_{-0,006}$	$\Theta_{-0,01}$	$\Theta_{-0,033}$	$\Theta_{-0,1}$	$\Theta_{-0,3}$	$\Theta_{-0,5}$	Θ_{-1}	$\Theta_{-1,5}$
AMG	-0,002	0,01	-0,06	0,12	0,16	0,13	0,10	0,09
AG	-0,22	-0,21	-0,31	-0,31	-0,31	-0,31	-0,32	-0,29
AME	-0,30	-0,29	-0,18	-0,24	-0,25	-0,23	-0,21	-0,20
AF	-0,06	-0,07	-0,37	-0,38	-0,40	-0,37	-0,35	-0,39
AMF	-0,05	-0,04	-0,37	-0,42	-0,43	-0,55	-0,56	-0,55
AREIA T	-0,29	-0,28	-0,50	-0,53	-0,54	-0,56	-0,56	-0,54
SILTE	0,60	0,60	0,69	0,70	0,68	0,63	0,60	0,59
ARGILA	-0,28	-0,29	-0,14	-0,12	-0,09	-0,02	0,02	0,01
MO	0,33	0,32	0,15	0,07	0,06	0,06	0,06	0,04
DS	-0,80	-0,78	-0,14	0,06	0,04	0,05	0,11	0,12
MICP	0,91	0,92	0,43	0,32	0,30	0,23	0,11	0,12
MACP	0,47	0,48	0,53	0,50	0,45	0,39	0,33	0,34
IEA	0,16	0,16	-0,20	-0,26	-0,28	-0,40	-0,41	-0,42
GFLOC	-0,11	-0,12	-0,45	-0,45	-0,37	-0,32	-0,30	-0,33
ADA	-0,09	-0,08	0,54	0,59	0,52	0,49	0,49	0,50
DP	-0,17	-0,18	0,07	0,05	0,07	0,08	0,15	0,18

Onde: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AME: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; AREIA T: areia total; MO: matéria orgânica; DS: densidade do solo; MICP: microporosidade; MACP: macroporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados em água; GFLOC: grau de floculação; ADA: argila dispersa em água; DP: densidade de partículas.

Na tabela 7, relativa ao RL, o maior índice de correlação de Pearson positivo foi verificado no potencial $\Psi_{-0,006}$ com a MICP e o negativo também nesse mesmo potencial com a DS. Embora que mais baixas, foram verificadas correlações positivas entre variáveis granulométricas do solo e a retenção de água (AMG, AME) e silte. Isso denota a importância da avaliação de variáveis granulométricas e estruturais na predição de retenção de água nesses solos. Esses resultados são coerentes com as características físicas desse solo, onde

há o predomínio das frações grosseiras em relação a argila, além do seu pouco grau de desenvolvimento.

Tabela 7. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e a umidade retida a diferentes potencias das amostras do Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) utilizadas para gerar e validar as FPTs.

Variáveis	Potencial, MPa							
	$\Theta_{-0,006}$	$\Theta_{-0,01}$	$\Theta_{-0,033}$	$\Theta_{-0,1}$	$\Theta_{-0,3}$	$\Theta_{-0,5}$	Θ_{-1}	$\Theta_{-1,5}$
AMG	0,34	0,24	0,46	0,43	0,45	0,41	0,42	0,42
AG	0,31	0,22	0,17	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18
AME	0,29	0,33	0,45	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43
AF	-0,54	-0,18	-0,15	-0,11	-0,14	-0,10	-0,13	-0,14
AMF	-0,52	-0,41	-0,53	-0,49	-0,49	-0,46	-0,47	-0,47
AREIA T	0,02	0,19	0,24	0,21	0,22	0,25	0,25	0,25
SILTE	0,14	-0,31	-0,43	-0,42	-0,39	-0,41	-0,39	-0,39
ARGILA	-0,24	0,09	0,18	0,20	0,15	0,12	0,11	0,10
MO	0,14	-0,11	0,35	0,29	0,27	0,28	0,26	0,25
DS	-0,77	-0,41	-0,25	-0,23	-0,25	-0,24	-0,31	-0,31
MICP	0,57	0,29	0,47	0,34	0,30	0,30	0,32	0,32
MACP	-0,12	0,16	0,26	0,30	0,25	0,29	0,21	0,19
IEA	0,23	-0,10	0,01	-0,05	-0,04	-0,04	0,00	0,01
GFLOC	0,26	0,10	0,12	0,04	0,02	0,04	0,02	0,03
ADA	-0,27	-0,06	-0,05	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02
DP	-0,17	-0,42	-0,38	-0,42	-0,43	-0,45	-0,46	-0,47

Onde: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AME: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; AREIA T: areia total; MO; matéria orgânica; DS: densidade do solo; MICP: microporosidade; MACP: macroporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados em água; GFLOC: grau de floculação; ADA: argila dispersa em água; DP: densidade de partículas.

Correlações altamente positivas foram verificadas também no SX (tabela 8) entre MICP e os teores de água retidos nos potenciais $\Psi_{-0,006}$ e $\Psi_{-0,01}$, com menores valores nos potenciais mais baixos. A partir do potencial $\Psi_{-0,033}$ as variáveis silte e ADA apresentaram correlações positivas mediana com os teores de água retidos. A DS continuou correlacionando-se negativamente com

as variáveis potenciométricas de retenção de água no solo, porém desta feita, apenas nos dois mais altos ($\Psi_{-0,006}$ e $\Psi_{-0,01}$).

Tabela 8. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e a umidade retida a diferentes potencias das amostras do Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX) utilizadas para gerar e validar as FPTs.

Variáveis	Potencial, MPa							
	$\Theta_{-0,006}$	$\Theta_{-0,01}$	$\Theta_{-0,033}$	$\Theta_{-0,1}$	$\Theta_{-0,3}$	$\Theta_{-0,5}$	Θ_{-1}	$\Theta_{-1,5}$
AMG	-0,20	-0,20	-0,13	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,10
AG	0,06	0,06	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48
AME	0,43	0,43	-0,41	-0,45	-0,45	-0,46	-0,46	-0,47
AF	0,42	0,42	-0,21	-0,25	-0,26	-0,26	-0,26	-0,27
AMF	0,00	-0,01	-0,65	-0,68	-0,68	-0,69	-0,69	-0,69
AREIA T	0,36	0,36	-0,50	-0,54	-0,54	-0,55	-0,55	-0,56
SILTE	0,00	0,00	0,62	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68
ARGILA	-0,43	-0,44	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
MO	-0,19	-0,19	0,11	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
DS	-0,85	-0,84	-0,06	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
MICP	0,95	0,95	0,44	0,39	0,39	0,38	0,38	0,37
MACP	-0,54	-0,54	0,17	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22
IEA	0,26	0,26	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
GFLOC	-0,28	-0,28	-0,14	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13
ADA	-0,01	-0,01	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
DP	-0,36	-0,36	-0,73	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75

Onde: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AME: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; AREIA T: areia total; MO: matéria orgânica; DS: densidade do solo; MICP: microporosidade; MACP: macroporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados em água; GFLOC: grau de floculação; ADA: argila dispersa em água; DP: densidade de partículas.

De forma geral, as correlações observadas entre as variáveis granulométricas e estruturais com a retenção de água nos diferentes potenciais matriciais nos solos analisados nas tabelas de 6a 8 corroboram com o afirmado por HILLEL (1998), ASSAD et al. (2001) e SOUZA, et al. (2014), segundo os quais em potenciais mais elevados a estruturado solo exerce maior influência na retenção de água favorecendo o efeito da capilaridade, enquanto que em potenciais mais baixos a influência das áreas superficiais específicas da partículas, especialmente das argilas, uma vez que nestes predomina o fenômeno de adsorção.

3.3 Funções de pedotransferências desenvolvidas a partir de dados granulométricos e estruturais

3.3.1 Funções de pedotransferência para o Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA)

As FPTs geradas para o LA e o respectivo coeficiente de determinação apresentados na tabela 9, mostram que as contribuições de atributos granulométricos ocorreram apenas nos potenciais mais elevados, enquanto que dos atributos estruturais a microporosidade ocorreu em todos os potenciais, contribuindo significativamente com as variações apresentadas, resultados esses apresentados pelos valores dos coeficientes de determinação parcial. Essa influência dos componentes granulométricos e estruturais corrobora com os resultados da correlação apresentada pela tabela 5 para essa mesma classe de solo.

Tabela 9. Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais (Ψ_m) para estimativa da retenção de água no Latossolo Amarelo Distrófico argissólico do município de Cuité-PB na profundidade de 0-20 cm.

$\Psi_{-0,006}$ ($R^2 = 0,94$)			$\Psi_{-0,01}$ ($R^2 = 0,79$)		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,04790		Intersec.	0,03423	
AG	0,00048447	0,04	AF	-0,00022009	0,08
AME	-0,00036446	0,03	AMF	0,00065648	0,09
MICP	0,57311	0,88	MICP	0,30762	0,61
$\Psi_{-0,033}$ ($R^2 = 0,66$)			$\Psi_{-0,1}$ ($R^2 = 0,73$)		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,01812		Intersec.	0,01313	
MICP	0,29653	0,65	MICP	0,30532	0,73
$\Psi_{-0,3}$ ($R^2 = 0,64$)			$\Psi_{-0,5}$ ($R^2 = 0,70$)		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,01865		Intersec.	0,00741	
MICP	0,26123	0,64	MICP	0,28532	0,70
$\Psi_{-1,0}$ ($R^2 = 0,59$)			$\Psi_{-1,5}$ ($R^2 = 0,57$)		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,01122		Intersec.	0,01321	
MICP	0,23453	0,59	MICP	0,20505	0,57

Onde: AG – areia grossa; AME – areia média; MICP – microporosidade; AF – areia fina; AMF – areia muito fina.

Na figura 1 estão contidos os resultados referentes a capacidade preditiva de cada FPT avaliadas através da relação 1:1 (dados presentes no banco obtidos através do extrator de Richards e dados estimados pela FPT) associada aos indicadores estatísticos R^2 , ME e RMSE. Assim, observando-se a figura 1 $_{(\Psi-0,006)}$, percebe-se que há um ajuste quase perfeito entre os valores observados e preditos, representados pelo ME igual a $0,0002 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, com leve superestimativa dos valores retidos. O valor de RMSE ($0,002 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) explica a pequena dispersão ocorrida em torno da reta 1:1, o que ocasionou $R^2 = 0,96$. Nesse sentido, a FPT desenvolvida para estimativa de água no potencial $\Psi_{-0,006}$ apresentou boa acurácia.

Na figura 1 $_{(\Psi-0,01)}$, o valor de ME ($0,0003 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) indica leve superestimativa dos dados em relação aos observados. A baixa dispersão dos valores em relação a reta 1:1 são mostrados a partir dos valores de RMSE ($0,003 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e, considerando que o R^2 (coeficiente de determinação) expressa a relação entre a variação explicada (somatório ao quadrado da diferença entre os valores estimados dos observados) e a variação total, bem como é igual ao quadrado do coeficiente de correlação, percebe-se então que a variação entre os dados foram baixas e a correlação elevada, apresentando, portanto, a FPT boa acurácia para estimativa da retenção de água nesse potencial.

Na figura 1 $_{(\Psi-0,033)}$, onde a FPT gerada tem como variável independente apenas a microporosidade (MICP), os valores de ME e de RMSE muito próximos da nulidade (zero), indicaram uma boa precisão do modelo, além de um ajuste quase perfeito do modelo onde a confluência entre as retas inicia após valores observados acima de $0,060 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, com leve dispersão ao longo do eixo 1:1, além do valor de $R^2(0,75)$ retratar a certa variação. Esses resultados, a exemplo das tensões anteriores, denotam a acurácia da FPT em prever valores de água retidos nesse potencial.

A figura 1 $_{(\Psi-0,1)}$, mostra o comparativo dos dados de retenção de água observados com os preditos. O ME, que representa a exatidão do modelo apresentou valor positivo, leve superestimativa dos dados em relação aos observados, porém muito próximo da nulidade indicando uma boa acurácia da FPT.

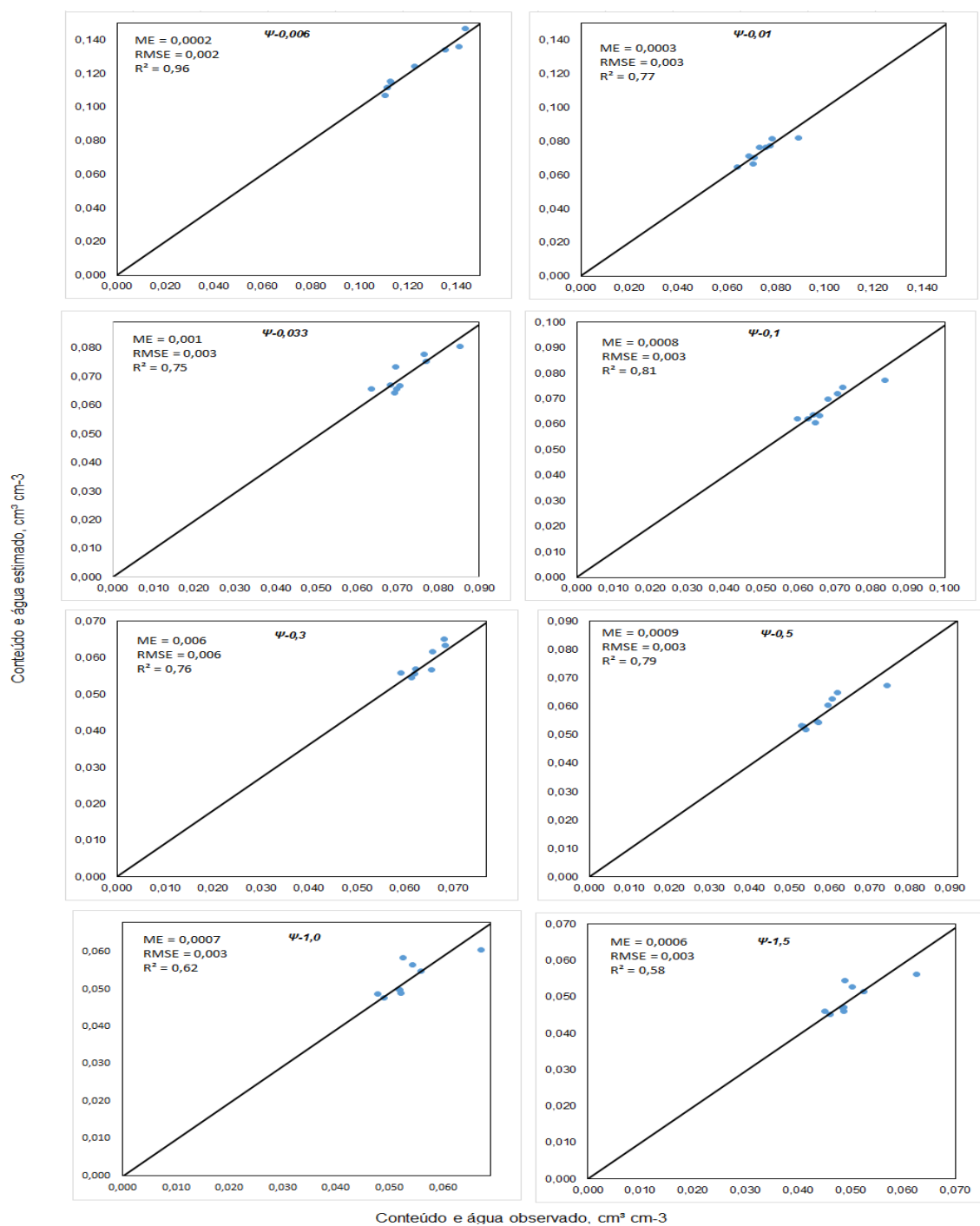


Figura 1. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido nos potenciais $\Psi-0,006$, $\Psi-0,01$, $\Psi-0,033$, $\Psi-0,1$, $\Psi-0,3$, $\Psi-0,5$, $\Psi-1,0$ e $\Psi-1,5$ no Latossolo Amarelo Distrófico argissólico do município de Cuité-PB.

A dispersão entre os valores medidos através da RMSE bem próximo a zero ($0,003 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) indicou um bom ajuste entre os dados estimados e observados, onde, de acordo com o R^2 , 81% das variações ocorridas são explicadas pelo modelo gerado e validado. Logo, levando-se em consideração os resultados obtidos, a FPT é eficiente na predição de retenção de água no potencial $\Psi_{-0,1}$.

A análise da eficiência da FPT gerada para predição de retenção de água no potencial $\Psi_{-0,3}$ é mostrada na figura 1 $_{(\Psi_{-0,3})}$. Nesta observa-se uma boa precisão do modelo através do ME com valor muito próximo da nulidade (zero). Considerando que valores positivos desse indicador estatístico caracterizam superestimativa e valores negativos subestimativa dos valores preditos em relação aos observados, constata-se que o primeiro ocorreu. A confluência entre as duas retas, demonstrada pelo valor de RMSE ($0,006 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) infere em um bom ajuste entre os dados estimados e os observados do conteúdo de água retido. O coeficiente de determinação ($R^2=0,76$) indica que 76% das variações são explicadas pelo modelo.

A FPT desenvolvida para o potencial $\Psi_{-0,5}$ (figura 1 $_{(-0,5)}$), também apresentou uma eficiência muito favorável para estimativa da retenção de água. Esse resultado é corroborado pelos valores de: ME ($0,0009 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), que mesmo sendo positivo e indicar uma leve superestimativa dos valores preditos em relação aos observados, encontra-se muito próximo de zero; de RMSE que pela sua proximidade com a nulidade indica uma baixa dispersão e um ajuste quase perfeito dos dados, além do R^2 que indica que 79% das variações são explicadas pelo modelo.

A avaliação da acurácia da FPT $\hat{Y} = 0,01122 + 0,23453 * MICP$ através da figura 1 $_{(\Psi_{-1,0})}$ permitiu inferir que a mesma apresenta uma regular eficiência na estimativa de retenção de água. Os indicadores estatísticos utilizados no comparativo entre os dados observados e preditos mostraram uma leve superestimativa dos dados em relação aos observados ($ME = 0,0007 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Ocorreu uma certa dispersão dos dados em torno da reta 1:1, demonstrada pelo valor de RMSE, onde o coeficiente de determinação, que relaciona as variações ocorridas, diz que 62% dessas variações são explicadas pelo modelo.

No potencial mais baixo ($\Psi_{-1,5}$), a FPT gerada demonstrou uma baixa capacidade preditiva, uma vez que mesmo tendo ocorrido uma leve superestimativa ($ME = 0,0006 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), a variação ocorrida ($RMSE = 0,003 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) contribuiu para o R^2 igual a 0,58.

Analisando-se de uma forma geral as FPT geradas para o LA, constatou-se que, excetuando aquelas geradas para os potenciais matriciais -1,0 e -1,5 MPa, todas apresentaram eficiência na predição do conteúdo de água retido no solo. A utilização de variáveis granulométricas e estruturais no mesmo banco de dados corroborou para um melhor aprofundamento das correlações entre estas e os conteúdos de água retidos, uma vez que se as variáveis estruturais estivessem suprimidas não teria sido possível o desenvolvimento de FPT com significatividade e acurácia para o referido solo, a exemplo das geradas para as tensões -0,033, -0,1, -0,3, -0,5, -1,0 e -1,5 MPa, em cujas a MICP foi a única variável selecionada através da metodologia *stepwise*. A ampliação das possibilidades através a entrada de novas variáveis, mesmo criando novas demandas analíticas, podem tornar as FPTs mais eficientes, conforme obtido por BERNARDES (2010), a qual avaliando FPT de SAXTON &RAWS (2006) para as condições de edafoclimáticas do Norte Fluminense, obteve redução significativa do EM (erro médio) acrescentando a variável porosidade total (PT) ao modelo.

Outro fator a ser considerado é o tipo de amostra utilizado na geração do banco de dados, onde neste utilizou-se amostras indeformadas para determinação dos parâmetros estruturais do solo e deformadas para geração dos parâmetros granulométricos. A utilização apenas de amostras deformadas, segundo OLIVEIRA et al. (2002), não é uma condição ideal, uma vez que a retenção de umidade pelo solo, especialmente na capacidade de campo, é também influenciada pela estrutura do solo, e alterações na mesma podem limitar a exatidão dos resultados obtidos. Segundo os autores, a utilização de amostras indeformadas representa melhor às condições de campo.

3.3.2 Funções de pedotransferência para o Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (PVd)

A tabela 10 contém as FPT geradas e validadas para o PVd nos diferentes potenciais matriciais. Observa-se que no potencial $\Psi_{-0,006}$ apenas componentes estruturais contribuíram para geração da FPT (macro e microporosidade), onde a microporosidade foi responsável por 91% da variação da retenção de água. Nos demais potenciais, as contribuições foram através de componentes estruturais e granulométricos, estando a densidade do solo presentes em todos, exceto no $\Psi_{-0,006}$, com contribuição variando de 74 a 86% na variação do conteúdo de água retido. Dos componentes granulométricos, as variações variaram de 7 a 10%, onde a variável argila ocorreu nos potenciais $\Psi_{-0,001}$ e $\Psi_{-0,3}$ e AG (areia grossa) nos potenciais $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$, $\Psi_{-1,5}$.

Tabela 10. Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais ($-\Psi_m$) para estimativa da retenção de água no Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (PVd) do município de Areia-PB na profundidade de 0-20 cm.

$\Psi_{-0,006}$ ($R^2 = 0,95$)			$\Psi_{-0,01}$ ($R^2 = 0,88$)		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	-0,08937		Intersec.	0,35488	
MICP	0,84861	0,91	ARGILA	0,00014083	0,09
MACP	0,24272	0,04	DS	-0,17004	0,78
$\Psi_{-0,033}$ ($R^2 = 0,94$)			$\Psi_{-0,1}$ ($R^2 = 0,92$)		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,24907		Intersec.	0,24077	
AG	-0,00007519	0,07	AG	-0,00007373	0,07
DS	-0,11508	0,86	DS	-0,11337	0,85
$\Psi_{-0,3}$ ($R^2 = 0,91$)			$\Psi_{-0,5}$ ($R^2 = 0,85$)		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,19530		Intersec.	0,21718	
ARGILA	0,00006975	0,07	AG	-0,00007239	0,07
DS	-0,10280	0,84	DS	-0,10248	0,78
$\Psi_{-1,0}$ ($R^2 = 0,86$)			$\Psi_{-1,5}$ ($R^2 = 0,84$)		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,20934		Intersec.	0,19817	
AG	-0,00006859	0,07	AG	-0,00007741	0,10
DS	-0,09921	0,79	DS	-0,09215	0,74

Onde: AG – areia grossa; MICP – microporosidade; MACP – macroporosidade; DS – densidade do solo.

Na figura 2 estão contidos os resultados referentes a capacidade preditiva de cada FPT avaliadas através da relação 1:1 (dados presentes no banco obtidos através do extrator de Richards e dados estimados pela FPT) associada aos indicadores estatísticos R^2 , ME e RMSE para o PVd. Observa-se na figura 2($\Psi_{-0,006}$) a comparação entre os valores observados e os estimados através da FPT, juntamente com os valores de ME e RMSE mostram que houve uma leve subestimativa dos valores de água retidos ($ME = -0,0002 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Comparando-se as linhas de tendência e relação 1:1, observa-se que houve uma leve subestimativa do conteúdo de água retido no solo a partir de valores superiores a $0,130 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. A dispersão dos valores em torno da relação 1:1 foi pequena, conforme RMSE ($0,006 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), resultando no elevado coeficiente de determinação $R^2 = 0,96$.

Na figura 2($\Psi_{-0,01}$) onde a FTP tem como variáveis independentes argila e DS, houve tendência para subestimar os valores do conteúdo de água retido no

solo em relação aos observados ($ME = -0,0009 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Por ser um potencial influenciado pela estrutura do solo (Hillel, 1998), demonstrado na análise de correlação, conforme tabela 4, cujo r^2 da microporosidade (MIC) foi igual a 0,87, esperava-se como uma das variáveis presentes na FPT a MICP, porém não ocorreu uma vez o procedimento *Stepwise* seleciona o melhor modelo a partir de inclusão ou exclusão de variáveis preditoras, e esta não se enquadrava dentro desse método. Observou-se a ocorrência de uma dispersão dos valores em relação a reta 1:1, demonstrado pelo valor de RMSE igual a $0,008 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ gerando um R^2 igual a 0,87, denotando um bom ajuste do modelo.

Nas figuras $2_{(\Psi-0,033)}$, $2_{(\Psi-0,1)}$, $2_{(\Psi-0,5)}$, $2_{(\Psi-1,0)}$, e $2_{(\Psi-1,5)}$, ao observa-se os valores de ME, RMSE e R^2 em ambos os potenciais, verifica-se que houve leve subestimativa dos conteúdos de água retidos em relação aos observados, pequena dispersão dos dados em torno da reta 1:1 corroborado pelos valores elevados dos coeficientes de determinação. Tais resultados permitem inferir que estas FPTs apresentaram acurácia satisfatória na estimativa de retenção de água nos respectivos potenciais para o Argissolo Vermelho Amarelo. Na figura $2_{(\Psi-0,3)}$, o conjunto dos indicadores estatísticos mostram que a leve superestimativa dos dados em relação aos observados não interferiu na boa acurácia do modelo.

OLIVEIRA et al. (2002), também utilizaram dados granulométricos e de densidade do solo para gerar funções de pedotransferência para solos de Pernambuco, dentre eles Latossolos e Argissolos, e verificaram que apenas no potencial $\Psi_{-1,5}$ a correlação entre dados observados e estimados apresentou menor variação com $R^2 = 0,92$ e baixa para $\Psi_{-0,033}$. Ao compararem com outras FPT existentes na literatura com a mesma composição de variáveis independentes, também verificaram baixa capacidade preditiva.

Tanto as FPT geradas quanto as da literatura utilizadas por OLIVEIRA et al. (2002) têm em comum a utilização apenas de dados oriundos de amostras deformadas de solo, limitação esta reconhecida pelos autores em função da única disponibilidade na época. De acordo eles a melhor correlação em baixos potenciais (mais negativos) reforçam a relação existente entre a textura do solo e a retenção de água nestes, principalmente através as áreas superficiais específicas.

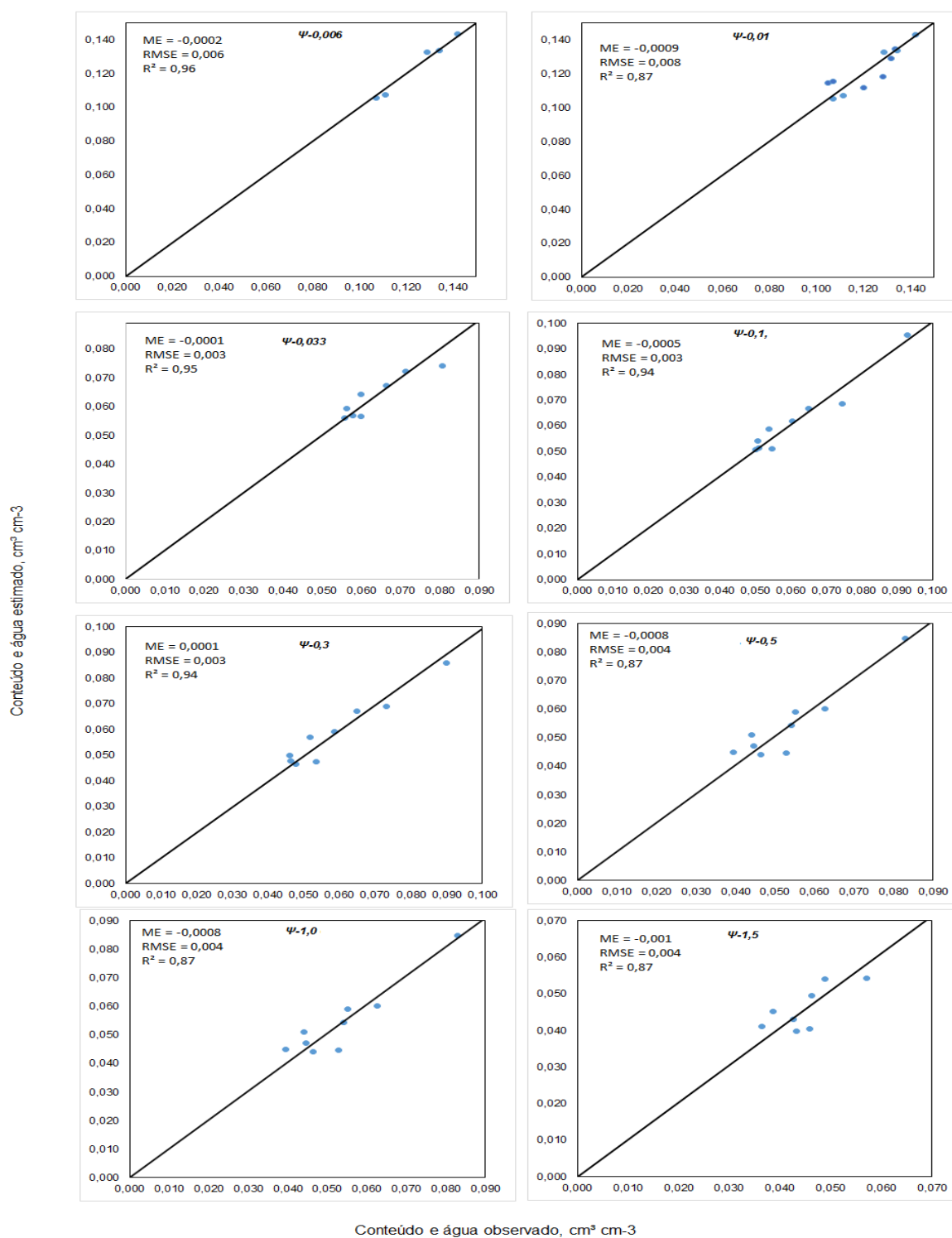


Figura 17. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido nos potenciais $\Psi-0,006$, $\Psi-0,01$, $\Psi-0,033$, $\Psi-0,1$, $\Psi-0,3$, $\Psi-0,5$, $\Psi-1,0$ e $\Psi-1,5$ no Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PvD) do município de Areia-PB.

FIDALSKI & TORMENA (2007) desenvolveram funções de pedotransferência em Argissolo Vermelho Distrófico sob sistemas de manejo com plantas de cobertura permanente em citros e obtiveram FPT dependentes da densidade do solo, do carbono orgânico e do ajuste das curvas de retenção de água. Na presente pesquisa, a dependência da densidade do solo ocorreu em todos os potenciais matriciais, exceto no $\Psi_{-0,006}$, onde a porosidade do solo foi a que proporcionou melhor resultado no modelo *stepwise*.

NASCIMENTO et al. (2010) desenvolveram funções de pedotransferências para os potenciais $\Psi_{-0,033}$ e $\Psi_{-1,5}$, utilizando banco de dados contendo informações granulométricas, de densidade do solo e valores de carbono orgânico referentes a Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo, formado por NASCIMENTO (2005) a partir da literatura. Segundo os autores, a maioria das estimativas subestimou ou superestimou os valores dos conteúdos de água retidos, onde para predição de AD (água disponível) o modelo apresentou baixa capacidade preditiva. Considerando como AD os conteúdos retidos entre os potenciais $\Psi_{-0,033}$ e $\Psi_{-1,5}$, as FPT geradas pela presente pesquisa mostraram uma eficiente capacidade preditiva, mesmo tendo como variáveis independentes apenas DS, argila e AG.

O fator que possivelmente contribuiu para melhoria na predição neste em relação aos autores anteriormente citados pode ter sido o tipo de amostra utilizada, haja vista as utilizadas por eles serem de origem de banco diversos onde amostras indeformadas foram utilizadas apenas para determinação da densidade do solo, enquanto que para determinação do conteúdo de água retido foram utilizadas amostras indeformadas, o que pode ter reduzido sobremaneira a capacidade preditiva das FPT geradas por NASCIMENTO et al. (2010).

3.3.3 Funções de pedotransferência para o Argissolo Vermelho Eutrófico abruptico (PVe)

As funções de pedotransferência geradas e apresentadas na tabela 11 nos diferentes potenciais matriciais mostram que, nos potenciais mais altos ($\Psi_{-0,006}$ e $\Psi_{-0,01}$) a influência da estrutura do solo através da porosidade do solo foi

a que mais contribuiu significativamente para a composição da FPT, sendo responsável por 99 e 98%, respectivamente, da variação do conteúdo de água retido. Resultado congruente com os apresentados na tabela 4, onde verificou-se uma alta correlação positiva entre a microporosidade e a retenção de água nesses potenciais.

Tabela 11. Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais ($-\Psi_m$) para estimativa da retenção de água no Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (PVe) do município de Alagoa Grande-PB na profundidade de 0-20 cm.

$\Psi_{-0,006}$ ($R^2 = 0,99$)			$\Psi_{-0,01}$ ($R^2 = 0,99$)		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	-0,04922		Intersec.	-0,03442	
DS	0,03254	0,006	DS	0,03132	0,008
MICP	0,68355	0,99	MICP	0,59511	0,98
$\Psi_{-0,033}$ ($R^2 = 0,72$)			$\Psi_{-0,1}$ ($R^2 = 0,67$)		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,33983		Intersec.	0,19797	
AG	-0,00037477	0,36	AG	-0,00032586	0,11
DS	-0,06527	0,21	DS	-0,07464	0,56
DP	-0,05612	0,14			
$\Psi_{-0,3}$ ($R^2 = 0,54$)			$\Psi_{-0,5}$ ($R^2 = 0,52$)		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,18361		Intersec.	0,18811	
DS	-0,07838	0,54	DS	-0,08465	0,52
$\Psi_{-1,0}$ ($R^2 = 0,48$)			$\Psi_{-1,5}$ ($R^2 = 0,48$)		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,18168		Intersec.	0,16288	
DS	-0,08206	0,48	DS	-0,07336	0,48

Onde: DS – densidade do solo; MICP – microporosidade; AG – areia grossa; DP – densidade de partícula

No $\Psi_{-0,033}$ a FPT foi composta por três variáveis (AG, DS e DP) que apresentaram elevada correlação negativa com a retenção de água (tabela 4), onde reduções destas implicam em aumento na retenção de água. Dessa forma, os 72% de variação dos teores de água retidos são de responsabilidade dessas variáveis.

A partir do potencial $\Psi_{-0,033}$ a DS foi componente comum a todos e com maior contribuição da variação do quantitativo de água retido. Com correlação negativa variando de 0,70 a 0,75 a presença dessa variável como componente principal nas FPT indica que as retenções de água dependeram da redução

dos valores de DS, uma vez que a variação nos quantitativos retidos ocorreram devido a DS, estando esta compreendida entre 48 e 56%. Apenas no potencial $\Psi_{-0,1}$ a variável AG respondeu por 11% da variação dos conteúdos de água retidos, porém contribuindo para um coeficiente de determinação maior (0,67) que nos potenciais posteriores.

Os dados estimados pelas FPT constantes na tabela 11 foram comparados com os dados observados, e analisados também por indicadores estatísticos, nos diferentes potenciais matriciais, e seus resultados mostrados na figura 3. Nos potenciais mais elevados (figuras 3($\Psi_{-0,06}$), e 3($\Psi_{-0,01}$)), a subestimativa e superestimativa dos dados ocorridas foram muito pequenas, demonstradas pelos respectivos valores de ME. As dispersões ocorridas em torno da reta 1:1 foram também muito baixas, propiciando um R^2 igual 0,99 em ambos, denotando um ajuste quase perfeito. O conjunto de indicadores estatísticos também permitiu observar que as FPT apresentaram uma boa acurácia e podem ser utilizadas na predição do conteúdo de água retido nesses potenciais.

Subestimativas também foram verificadas nos dados preditos pelas FPT para os potenciais matriciais -0,033, -0,3 e -0,5 MPa (figuras 3($\Psi_{-0,033}$), 3($\Psi_{-0,3}$) e 3($\Psi_{-0,5}$)) cujos valores de ME foram de -0,001, -0,0007 e -0,00008 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, respectivamente. Apenas no primeiro a dispersão ocorrida em torno da reta 1:1 ($\text{RMSE} = 0,004 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$) contribuiu para um menor ajuste entre os dados e, conseqüentemente, para uma regular acurácia da FPT na predição do conteúdo de água retido naquele potencial matricial.

Nas figuras 3($\Psi_{-0,1}$), 3($\Psi_{-1,0}$) e 3($\Psi_{-1,5}$) observa-se também que as respectivas FPT tenderam a superestimar os dados (ME iguais a 0,0005, 0,0001 e 0,0001 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), porém não afetando a acurácia das mesmas, as quais também apresentaram uma baixa dispersão entre valores observados e preditos em torno da reta 1:1, conforme valores de RMSE e R^2 .

MICHELON (2010), trabalhando com FPT em solos do Rio Grande do Sul encontrou variáveis estruturais e granulométricas nas FPT geradas nos potenciais -0,033; -0,1; -0,5 e -1,5 MPa. As primeiras foram responsáveis pela maioria da variação do conteúdo de água retido nos dois primeiros potenciais, enquanto que nos potenciais mais baixos (-0,5 e -1,5 MPa) foram as granulométricas.

Os valores de r^2 , ME e RMSE no potencial -1,5 MPa são melhores que os encontrados por OLIVEIRA et al. (2002), utilizando FPT em solos do estado de Pernambuco, com banco de dados oriundos de amostras deformadas (ME = $0,0252 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; RMSE = $0,0174 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e; $r^2 = 0,92$) e NASCIMENTO et al. (2010) quando desenvolveram FPT para estimativa de retenção de água em Argissolo e Latossolo Amarelos utilizando banco de dados de mais de 1200 perfis desses solos em Tabuleiros Costeiros (ME = $0,0256 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; RMSE = $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e $r^2 = 0,77$).

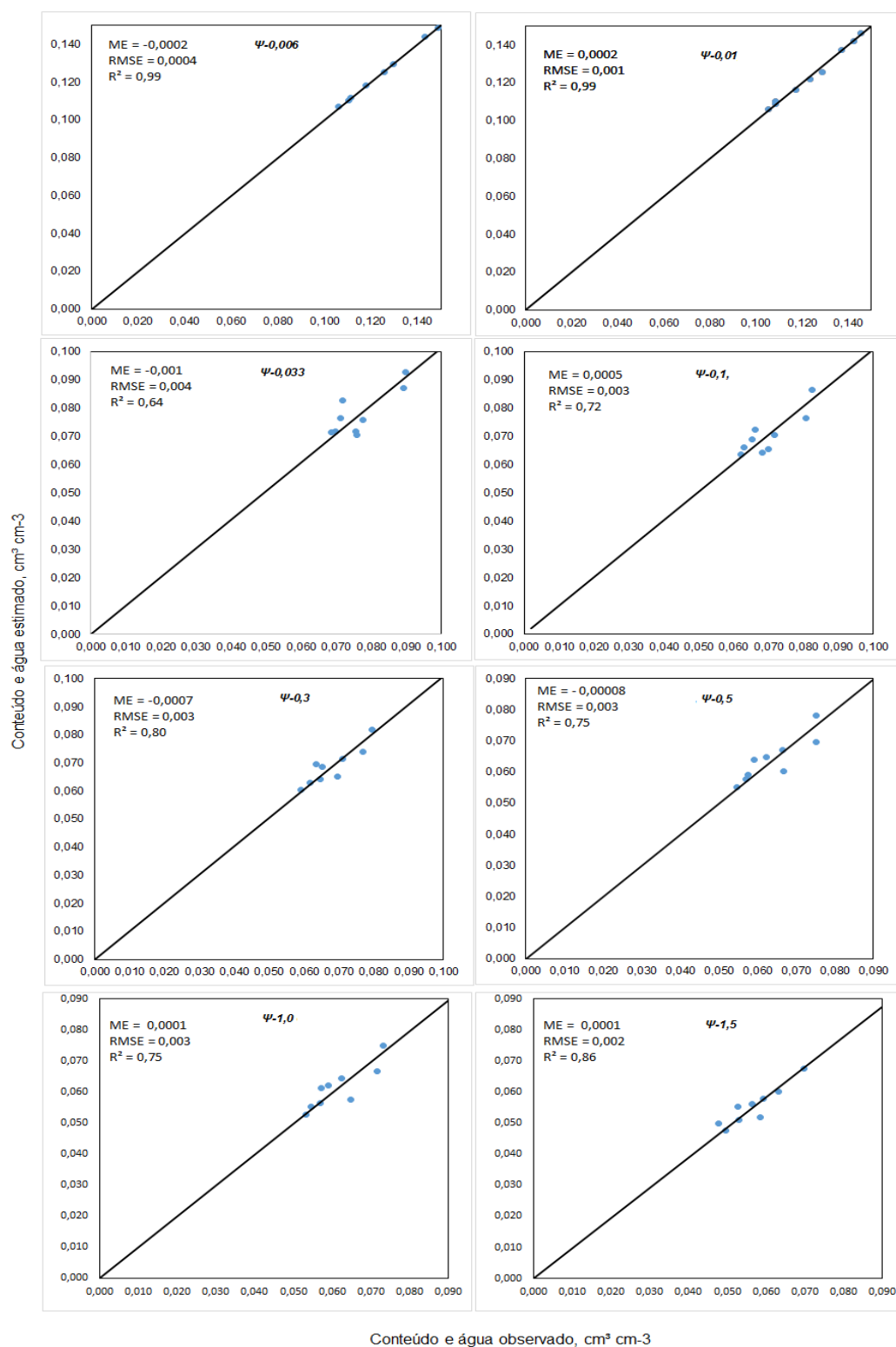


Figura 3. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido nos potenciais Ψ -0,006, Ψ -0,01, Ψ -0,033, Ψ -0,1, Ψ -0,3, Ψ -0,5, Ψ -1,0 e Ψ -1,5 no Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (PVe) do município de Alagoa Grande-PB

3.3.4 Funções de pedotransferência para o Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL)

As funções de pedotransferência geradas para os diferentes potenciais matriciais para o RL com seus respectivos coeficientes de determinação e de determinação parcial de cada variável são apresentados na tabela 12. Observa-se que no potencial $\Psi_{-0,006}$ apenas variáveis estruturais compõem a FPT, condizentes com a análise de correlação da tabela 7. Nela, a maior correlação negativa entre DS, que exerceu influência na estrutura do solo, e a retenção de água ficou ainda mais evidente na FPT, onde redução em seus valores implicou na tendência ao aumento na retenção de água, corroborado pela presença da variável MICP, que obteve maior valor de correlação positiva com a retenção de água, na mesma tabela. Logo, o aumento na microporosidade refletiu diretamente no quantitativo retido, sendo dessa forma de suma importância nesse potencial, haja vista as forças atuantes serem de capilaridade, conforme destacado por HILLEL (1998), MAJOU et al., (2008) e MICHELLON (2010). No potencial $\Psi_{-0,01}$ a influência textural foi compartilhada com a estrutural, onde redução nas variáveis DS e SILTE contribuíram para melhoria do conteúdo estimado pela FPT.

A variável areia predominou nos potenciais $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$ e $\Psi_{-1,0}$, possivelmente pela própria granulometria do solo, onde o quantitativo das frações mais grosseiras predominaram em mais de 70% em relação a fração argila. Nos potenciais $\Psi_{-0,033}$ e $\Psi_{-0,1}$ leve aumento nos valores da variável AME e redução nos de AG e AMF tendem a proporcionar melhorias nos quantitativos retidos estimados, enquanto que nos outros três, a retenção é função da redução nos valores das variáveis

Já no potencial $\Psi_{-1,5}$, a FPT é composta por variáveis mistas, sendo uma granulométrica (AMG) e outras duas ligadas a estrutura do solo (IEA e DP), ambas com valores de R^2 parcial muito próximos, denotando a contribuição conjunta para a função gerada. Ao observar-se as correlações destas variáveis com a retenção de água na tabela 8, percebe-se que mesmo apresentando a menor correlação positiva, o IEA, que reflete o grau de estabilidade do solo, assumiu importância sobremaneira na geração da função, haja vista o mesmo representar a estrutura do solo em sua maior parte.

Na figura 4 estão expostos os resultados dos comparativos entre os conteúdos de água observados e os preditos em cada potencial matricial por suas respectivas FPT, bem como as análises realizadas através dos indicadores estatísticos ME, RMSE e R^2 .

Na figura 4($\Psi_{-0,006}$) observa-se que o valor de ME ($-0,0005 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) indica uma leve subestimativa dos dados. A dispersão dos dados observados e preditos em torno da reta 1:1 também foi baixa, representada pelo valor de RMSE igual a $0,002 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, e corroborado pelo R^2 igual a 0,85. Logo, a função de pedotransferência demonstrou uma elevada acurácia na predição do conteúdo de água retido para as condições dessa classe de solo no potencial $\Psi_{-0,006}$.

Tabela 12. Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais ($-\Psi_m$) para estimativa da retenção de água no Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL) do município de Pocinhos-PB na profundidade de 0-20 cm.

$\Psi_{-0,006} (R^2 = 0,86)$			$\Psi_{-0,01} (R^2 = 0,44)$		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,15365		Intersec.	0,26018	
DS	-0,06988	0,59	SILTE	-0,00021828	0,14
MICP	0,47391	0,27	DS	-0,11028	0,15
$\Psi_{-0,033} (R^2 = 0,75)$			$\Psi_{-0,1} (R^2 = 0,69)$		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,06177		Intersec.	0,05698	
AG	-0,00041281	0,31	AG	-0,00039998	0,30
AME	0,00029075	0,16	AME	0,00028046	0,15
AMF	-0,00038934	0,28	AMF	-0,00036900	0,24
$\Psi_{-0,3} (R^2 = 0,50)$			$\Psi_{-0,5} (R^2 = 0,43)$		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,11840		Intersec.	0,10628	
AG	-0,00023465	0,26	AG	-0,00021531	0,22
AMF	-0,00050847	0,24	AMF	-0,00047259	0,21
$\Psi_{-1} (R^2 = 0,44)$			$\Psi_{-1,5} (R^2 = 0,56)$		
Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial	Variáveis	Coeficiente	R^2 parcial
Intersec.	0,09812		Intersec.	0,10070	
AG	-0,00020045	0,22	AMG	0,00065694	0,14
AMF	-0,00044444	0,22	IEA	-0,02232	0,19
			DP	-0,03206	0,22

Onde: DS – densidade do solo; MICP – microporosidade; AG – areia grossa; AME – areia media; AMF – areia muito fina; IEA – índice de estabilidade de agregados; DP – densidade de partículas.

No potencial $\Psi_{-0,01}$ (figura 4 $\Psi_{-0,01}$), uma leve subestimativa do conteúdo de água retido foi verificada através do valor negativo de ME ($-0,001 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). No entanto, o RMSE indicou uma significativa variação entre os valores preditos e os estimados ao longo da reta 1:1, o que originou um coeficiente de determinação com valor igual a 0,40, demonstrando que não houve um bom ajuste dos dados através desse modelo. Logo, pode-se inferir que essa FPT tendo como variáveis independentes apenas a fração silte e a densidade do solo (DS), e nenhuma das componentes estruturais do solo, não apresentou acurácia satisfatória para ser utilizada para predição do conteúdo de água retido nesse potencial.

Nos potenciais mais baixos(figuras 4 $\Psi_{-1,0}$ e 4 $\Psi_{-1,5}$),, as FPT não apresentaram boa capacidade preditiva. No primeiro as subestimativas foram acentuadas ($\text{ME}=-0,03 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), aliada a grande dispersão em torno da reta 1:1, demonstrada pelos valores de RSME que corroborou para o valor do R^2 (0,05). Muito embora que as subestimativas tenham sido menores no segundo, em relação ao primeiro, $\text{ME} = -0,00005 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, bem como a dispersão entre os valores preditos e observados na reta 1:1, a FPT para esse potencial (-1,5 MPa) apresentou também uma baixa capacidade preditiva.

Nas figuras 4 $\Psi_{-0,033}$, 4 $\Psi_{-0,1}$, 4 $\Psi_{-0,3}$ e 4 $\Psi_{-0,5}$ ocorreram leves superestimativas, porém as respectivas FPT apresentaram boa acurácia e as baixas variações em torno da reta 1:1 expressa pelos respectivos valores de RMSE e R^2 , externaram um bom ajuste entre os dados observados e preditos.

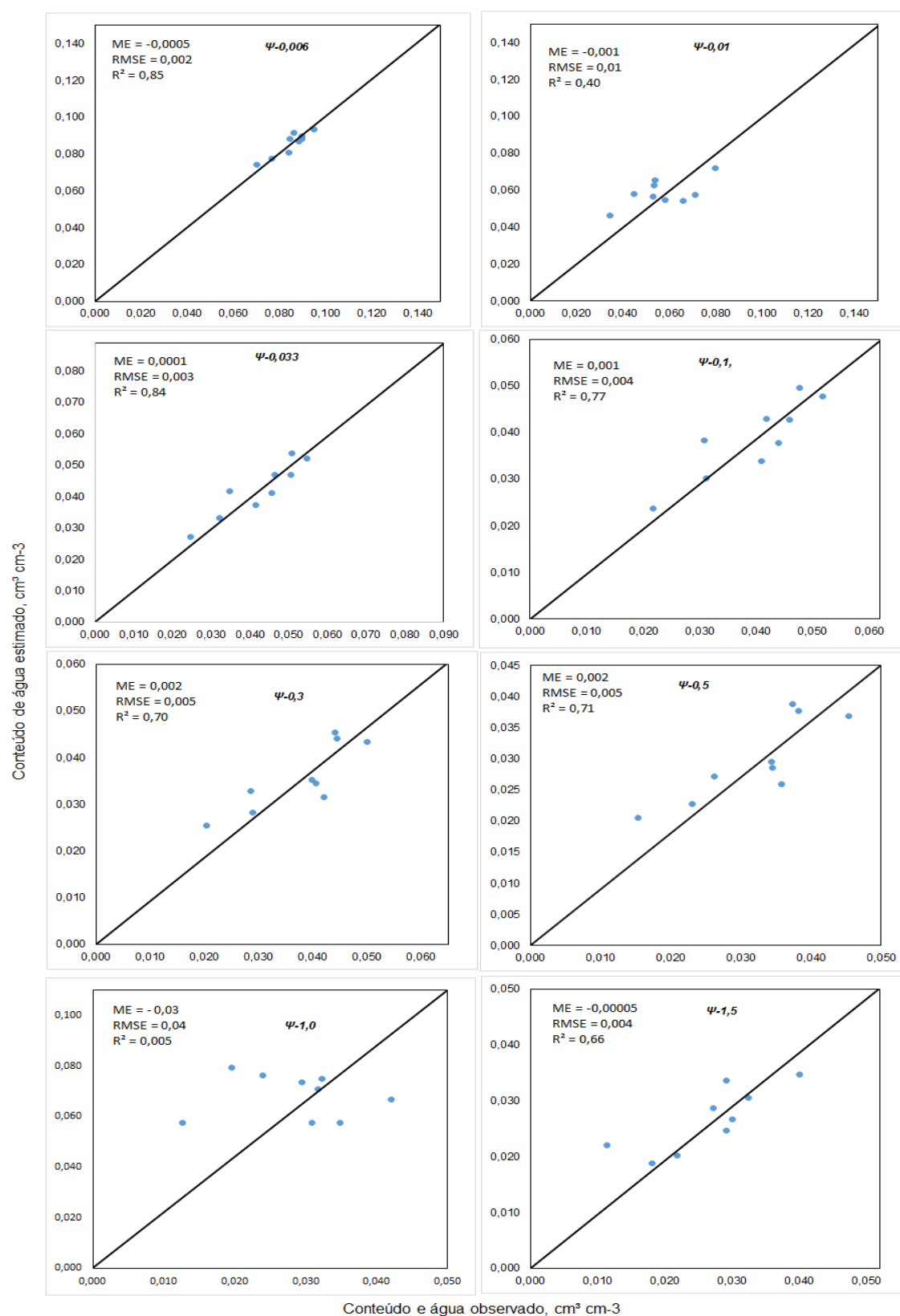


Figura 18. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido nos potenciais $\Psi-0,006$, $\Psi-0,01$, $\Psi-0,033$, $\Psi-0,1$, $\Psi-0,3$, $\Psi-0,5$, $\Psi-1,0$ e $\Psi-1,5$ no Neossolo Litólico Eutrófico típico do município de Pocinhos-PB.

3.3.5 Funções de pedotransferência para o Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ)

Na tabela 13 estão contidas as FPT desenvolvidas para os potenciais matriciais $\Psi_{-0,006}$, $\Psi_{-0,01}$, $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$, assim como seus respectivos coeficientes de determinação.

Nos potenciais $\Psi_{-0,006}$ e $\Psi_{-0,01}$ (tabela 14) as FPT foram formadas por variáveis estruturais e granulométricas, onde a MICP foi a que mais contribuiu para as funções geradas com coeficientes de determinação parcial iguais a 0,83 e 0,84, respectivamente, refletindo o estudo de correlações entre essas variáveis e o conteúdo de água. No potencial $\Psi_{-0,033}$, apenas silte está como variável independente com coeficiente de determinação igual 0,47. Isso quer dizer que, para o banco de dados utilizado a variável silte foi responsável por 47% da variação da retenção de água. Nos potenciais $\Psi_{-0,1}$ e $\Psi_{-0,3}$ apenas variáveis granulométricas compõem as FPT, das quais o silte, a exemplo do potencial $\Psi_{-0,033}$, foi a que mais contribuiu para as funções geradas com coeficientes de determinação parcial iguais a 0,48 e 0,46, permitindo inferir que foi a variável responsável por 48% e 46%, respectivamente, das variações da retenção de água nos dois potenciais no presente banco de dados. Esses resultados também corroboram com os valores positivos dos coeficientes de correlação dessa variável constante na tabela 6.

No potencial $\Psi_{-0,5}$, além do silte, o IEA foi a variável independente que contribuiu para a função. É o índice que representa a estrutura do solo através de sua relação com a agregação do solo, logo, diretamente ligado com a porosidade. Nesse potencial, juntamente com a variável silte, foram responsáveis por 59% da variação da retenção de água.

Nos potenciais $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$ além das variáveis estruturais e granulométricas, a matéria orgânica também está como componente, respondendo por menos de 10% na variação da retenção de água. A variável silte continua sendo a que mais contribuiu para o modelo, com coeficiente de determinação parcial de 0,36 e 0,35, respectivamente. A contribuição maior de variáveis granulométricas em potenciais mais baixos é esperada, segundo HILLEL et al. (1972), REICHARDT & TIMM (2004) em função da dependência da retenção de água do fenômeno de adsorção.

Tabela 13. Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais ($-\Psi_m$) para estimativa da retenção de água no Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ) do município de Pocinhos-PB na profundidade de 0-20 cm.

$\Psi_{-0,006}$ ($R^2 = 0,98$)			$\Psi_{-0,01}$ ($R^2 = 0,98$)		
Variáveis	Coeficiente	R ² parcial	Variáveis	Coeficiente	R ² parcial
Intersec.	0,17952	-	Intersec.	0,1441	-
AMG	0,00074115	0,02	AMG	0,0007	0,02
AMF	-0,00012829	0,02	AMF	-0,00012371	0,02
SILTE	-0,00004883	0,01	SILTE	-0,00005146	0,009
DS	-0,10188	0,09	DS	-0,0906	0,08
MICP	0,7636	0,83	MICP	0,75804	0,84
ADA	0,00016895	0,01	ADA	0,00016515	0,01
$\Psi_{-0,033}$ ($R^2 = 0,47$)			$\Psi_{-0,1}$ ($R^2 = 0,80$)		
Variáveis	Coeficiente	R ² parcial	Variáveis	Coeficiente	R ² parcial
Intersec.	0,0152	0,47	Intersec.	0,0072	0,06
SILTE	0,0001		AMG	0,0012	
			AG	0,00018262	0,09
			SILTE	0,00009003	0,48
			ADA	0,00035055	0,15
$\Psi_{-0,3}$ ($R^2 = 0,65$)			$\Psi_{-0,5}$ ($R^2 = 0,59$)		
Variáveis	Coeficiente	R ² parcial	Variáveis	Coeficiente	R ² parcial
Intersec.	-0,014	0,07	Intersec.	0,0095	0,40
AMG	0,0007		SILTE	0,0001	
SILTE	0,0001	0,46	IEA	-0,019	0,19
ADA	0,0003	0,11			
Ψ_{-1} ($R^2 = 0,74$)			$\Psi_{-1,5}$ ($R^2 = 0,72$)		
Variáveis	Coeficiente	R ² parcial	Variáveis	Coeficiente	R ² parcial
Intersec.	-0,096	0,36	Intersec.	-0,084	0,35
SILTE	0,0001		SILTE	0,0001	
MO	0,001	0,09	MO	0,0008	0,08
DS	0,0516	0,09	DS	0,0464	0,09
IEA	-0,03	0,20	IEA	-0,026	0,20

Onde: AMG – areia muito grossa; AMF – areia muito fina; DS – densidade do solo; MICP – microporosidade; ADA – argila dispersa em água; AG – areia grossa; IEA – índice de estabilidade de agregados; MO – matéria orgânica.

Na figura 5 são apresentadas as comparações entre conteúdos de água observados, determinados através do extrator de Richards, e os preditos através das FPT constantes na tabela 13, em seus respectivos potenciais matriciais, bem como análise realizada através dos indicadores estatísticos ME, RMSE e R².

Na figura 5 _{$\Psi_{-0,006}$} observa-se que a FPT apresentou uma boa acurácia, mesmo tendo ocorrido uma leve subestimativa dos dados demonstrado pelo

valor de ME. A heterogeneidade do modelo proporcionou baixa dispersão em torno da reta 1:1, como também permitiu um ajuste quase perfeito entre os dados, conforme $R^2 = 0,97$. Na figura 5 $\psi_{-0,01}$, a boa capacidade preditiva da FPT é verificada através dos indicadores estatísticos. Assim como ocorreu no potencial -0,006 MPa, neste a influência conjunta dos parâmetros texturais e estruturais contribuíram para maior proximidade entre os dados preditos e observados em torno da reta 1:1, ocasionando um bom ajuste entre os dados.

Nos demais potenciais (figuras 5 $\psi_{-0,033}$, 5 $\psi_{-0,1}$, 5 $\psi_{-0,3}$, 5 $\psi_{-0,5}$, 5 $\psi_{-1,0}$ e 5 $\psi_{-1,5}$) as FPT apresentaram baixa capacidade preditiva, conforme indicadores estatísticos. Nos potenciais mais baixos, mesmo tendo como variáveis independentes a matéria orgânica (MO) e o IEA (índice de estabilidade de agregados), isso não foi suficiente para melhorar a capacidade preditiva das FPT nesses potenciais para esse solo.

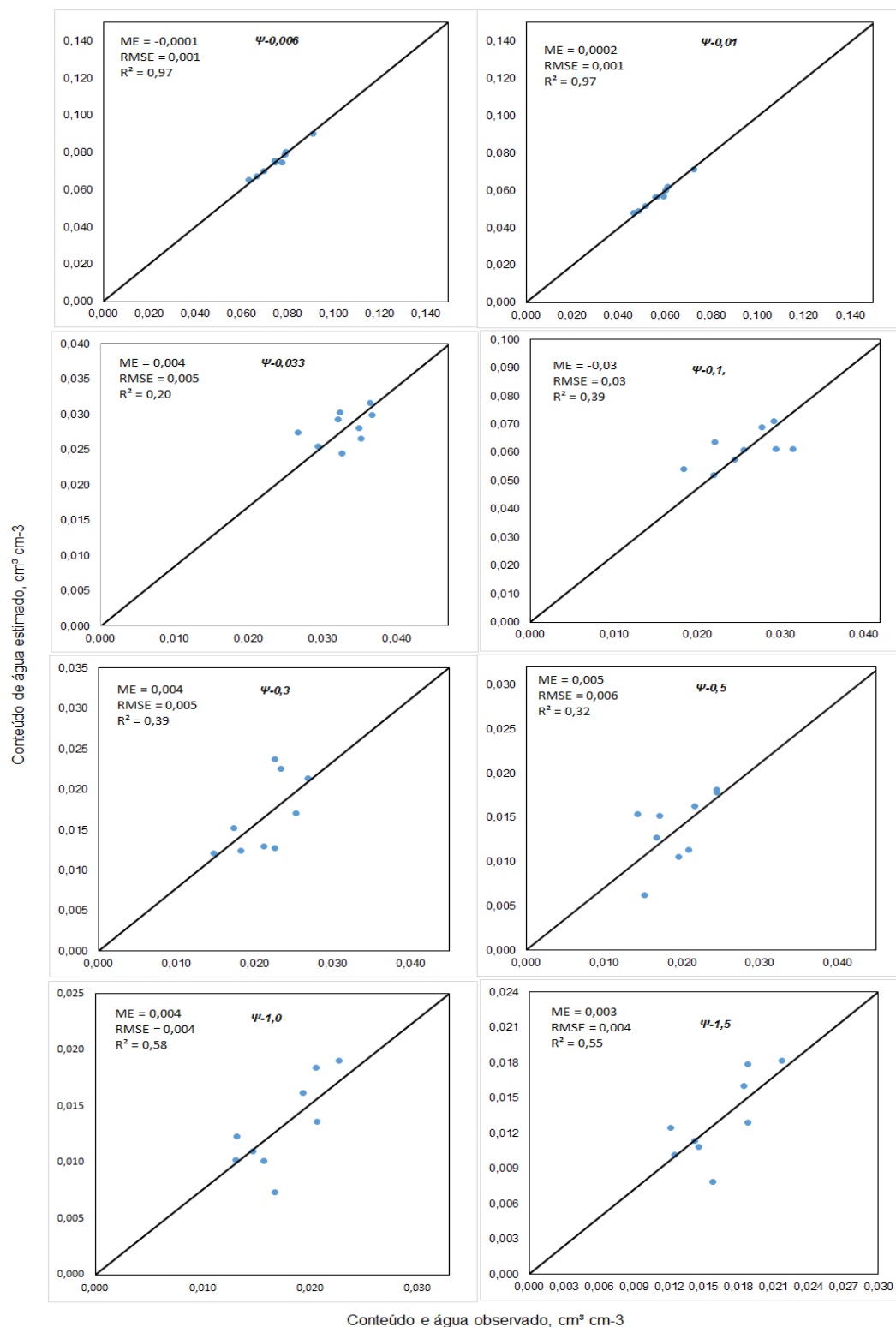


Figura 5. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido nos potenciais $\Psi-0,006$, $\Psi-0,01$, $\Psi-0,033$, $\Psi-0,1$, $\Psi-0,3$, $\Psi-0,5$, $\Psi-1,0$ e $\Psi-1,5$ no Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ) do município de Pocinhos-PB.

3.3.6 Funções de pedotransferência para o Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX)

As funções de pedotransferências geradas e respectivos coeficientes de determinação nos potenciais $\Psi_{-0,006}$, $\Psi_{-0,01}$, $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$ para o banco de dados referente ao Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX) do município de Cuité-PB encontram-se dispostas na tabela 14.

Como já referenciado anteriormente, em potenciais mais elevados, a retenção de água é dependente do arrançamento e distribuição dos poros no solo, logo é influenciada pela estrutura do solo, tornando-se uma função da densidade e da porosidade do solo, uma vez que nesses potenciais os fenômenos de capilaridade são importantes. Enquanto que em potenciais mais baixos, dependentes do fenômeno de adsorção, a influência é maior das variáveis granulométricas e respectivas superfícies específicas (HILLEL et al., 1972; REICHARDT & TIMM, 2004).

Assim, a composição das FPT dos potenciais $\Psi_{-0,006}$ e $\Psi_{-0,01}$ foram unicamente por variáveis estruturais, onde a MICP foi quem mais contribuiu para as funções geradas, sendo responsável por 89% da variação da retenção de água nos dois potenciais.

A partir do potencial $\Psi_{-0,033}$, a composição das FPT apresentou variáveis texturais e estruturais, demonstrando a influência destas na retenção de água pelo solo em potenciais mais baixas, como também reforçando ainda mais a importância da utilização de amostras indeformadas de solo. A predominância da fração areia em mais de 70% na textura do solo, explica a correlação entre a areia grossa (AG) e o conteúdo de água, o que contribuiu para sua presença nas FPT dos potenciais $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$, sendo responsável por 17% das variações do conteúdo de água.

A densidade de partículas (DP), importante componente na determinação da porosidade total do solo, mostrou-se como uma variável influente dentro dos modelos para os potenciais $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$, sendo responsável pela maioria das variações (entre 56 e 57%) ocorridas no conteúdo de água. Embora não sofra alteração pelo manejo do solo, segundo KLEIN (2008) e KAISER (2010), a composição mineralógica do mesmo a afeta, onde solos mais intemperizados e ricos em óxidos de ferro apresentam valores

próximos a $3,0 \text{ g cm}^{-3}$ e aqueles menos intemperizados valores próximos a $2,65 \text{ g cm}^{-3}$.

O índice de estabilidade de agregados em água (IEA), é um indicativo estrutural do solo por ser o resultado da relação entre o diâmetro médio ponderado dos agregados obtidos por via úmida e o diâmetro médio ponderado dos agregados obtidos por via seca, estabelecido por SILVA & MIELNICZUK (1997), onde valores próximos à unidade indicam um bom estado de agregação do solo. Com isso, a relação do IEA com a retenção de água no solo, ficou nítida pela presença do mesmo nas FPT nos potenciais $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$ mesmo tendo apresentado baixos valores de r (tabela 8), em cujas foi responsável por pelo menos 7% das variações no conteúdo de água retido.

Tabela 14. Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais ($-\Psi_m$) para estimativa da retenção de água no Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX) do município de Cuité-PB na profundidade de 0-20 cm.

$\Psi_{-0,006} (R^2 = 0,96)$			$\Psi_{-0,01} (R^2 = 0,96)$		
Variáveis	Coefficiente	R ² parcial	Variáveis	Coefficiente	R ² parcial
Intersec.	0,11948		Intersec.	0,11542	
DS	-0,065	0,07	DS	-0,0637	0,07
MICP	0,52324	0,89	MICP	0,52158	0,89
$\Psi_{-0,033} (R^2 = 0,71)$			$\Psi_{-0,1} (R^2 = 0,81)$		
Variáveis	Coefficiente	R ² parcial	Variáveis	Coefficiente	R ² parcial
Intersec.	0,19916		Intersec.	0,15682	
AG	-0,0004	0,17	AG	-0,0005	0,17
DP	-0,0396	0,54	IEA	0,02862	0,07
			DP	-0,0302	0,56
$\Psi_{-0,3} (R^2 = 0,81)$			$\Psi_{-0,5} (R^2 = 0,81)$		
Variáveis	Coefficiente	R ² parcial	Variáveis	Coefficiente	R ² parcial
Intersec.	0,15497		Intersec.	0,15274	
AG	-0,0005	0,17	AG	-0,0005	0,17
IEA	0,02856	0,07	IEA	0,02849	0,07
DP	-0,0301	0,56	DP	-0,03	0,57
$\Psi_{-1} (R^2 = 0,81)$			$\Psi_{-1,5} (R^2 = 0,81)$		
Variáveis	Coefficiente	R ² parcial	Variáveis	Coefficiente	R ² parcial
Intersec.	0,15053		Intersec.	0,14722	
AG	-0,0005	0,17	AG	-0,0005	0,17
IEA	0,02841	0,07	IEA	0,02831	0,07
DP	-0,0299	0,56	DP	-0,0298	0,56

Onde: DS – densidade do solo; MICP – microporosidade; AG – areia grossa; DP – densidade de partículas; IEA – índice de estabilidade de agregados.

A capacidade preditiva das FPT apresentadas na tabela 14, avaliadas em conjunto de dados diferentes daqueles que lhe deram origem, em seus respectivos potenciais matriciais, expressas pela relação 1:1 dos dados observados (presentes no banco) e estimados por cada FPT, juntamente com os indicadores estatísticos R^2 , ME e RMSE, são apresentadas na Figura 6. A análise dos indicadores estatísticos calculados para avaliar a FPT para o potencial $\Psi_{-0,006}$ indicou ter havido uma leve superestimativa do conteúdo de água predito (ME = 0,00009 cm³ cm⁻³). Verificou-se também uma ligeira dispersão dos dados em relação a reta 1:1, indicada pelo RMSE (0,002 cm³ cm⁻³) e um bom coeficiente de determinação $R^2 = 0,97$. Os resultados do conjunto de indicadores permitem inferir que a FPT tem uma boa acurácia na predição de água retida nesse potencial.

No potencial $\Psi_{-0,01}$ os indicadores estatísticos também mostraram uma leve superestimativa no conteúdo de água retida estimado pela FPT (ME = 0,0001 cm³ cm⁻³), além de uma baixa dispersão dos dados em relação a reta 1:1 com RMSE = 0,002 cm³ cm⁻³. O coeficiente de determinação com valor igual 0,97 indicando um bom ajuste de dados pelo modelo onde que 97% das variações ocorridas no conteúdo de água podem ser explicadas pelo mesmo.

Já no potencial $\Psi_{-0,033}$, o valor de ME (-0,002 cm³ cm⁻³) indicou uma leve subestimativa dos dados calculados através da FPT. A observância da reta 1:1 com valor de RMSE (0,008 cm³ cm⁻³) permitiu verificar uma moderada dispersão, demonstrando um bom ajuste entre os dados estimados e observados, originando um coeficiente de determinação igual a $R^2 = 0,74$. Logo, apenas 74% da variação no conteúdo de água retido é explicado pelo modelo.

No potencial $\Psi_{-0,1}$, também ocorreu uma leve subestimativa dos dados em relação aos observados, porém, menor que nos potenciais anteriores (ME= 0,0004cm³ cm⁻³), denotando uma boa acurácia do modelo. A raiz quadrada do erro médio ao quadrado (RSME) com valor de 0,009 cm³ cm⁻³ mostrou uma pequena dispersão em torno da reta 1:1, contribuindo para um melhor ajuste entre dados estimados e observados, corroborando para o $r^2 = 0,73$, indicando, portanto, que 73% da variação do conteúdo de água retido é explicado pelo modelo.

Nos potenciais $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, e $\Psi_{-1,0}$ os dados preditos subestimaram os observados, conforme valores dos erros médios (-0,006, -0,005, -0,005 0,002 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$). Os valores da RMSE revelaram uma pequena dispersão em torno da reta 1:1, porém os valores dos coeficientes de determinação indicam um bom ajuste dos dados. Com isso, os dados sugerem que as FPT geradas apresentaram boa acurácia na predição do conteúdo de água retido nesses potenciais para o Planossolo Háplico nas condições edafoclimáticas de Cuité-PB.

No potencial matricial-1,5 MPa (figura 6 $\Psi_{-0,5}$) os valores de ME, RMSE e R^2 demonstraram que a FPT não apresentou uma boa acurácia na estimativa do conteúdo de água retido nesse potencial.

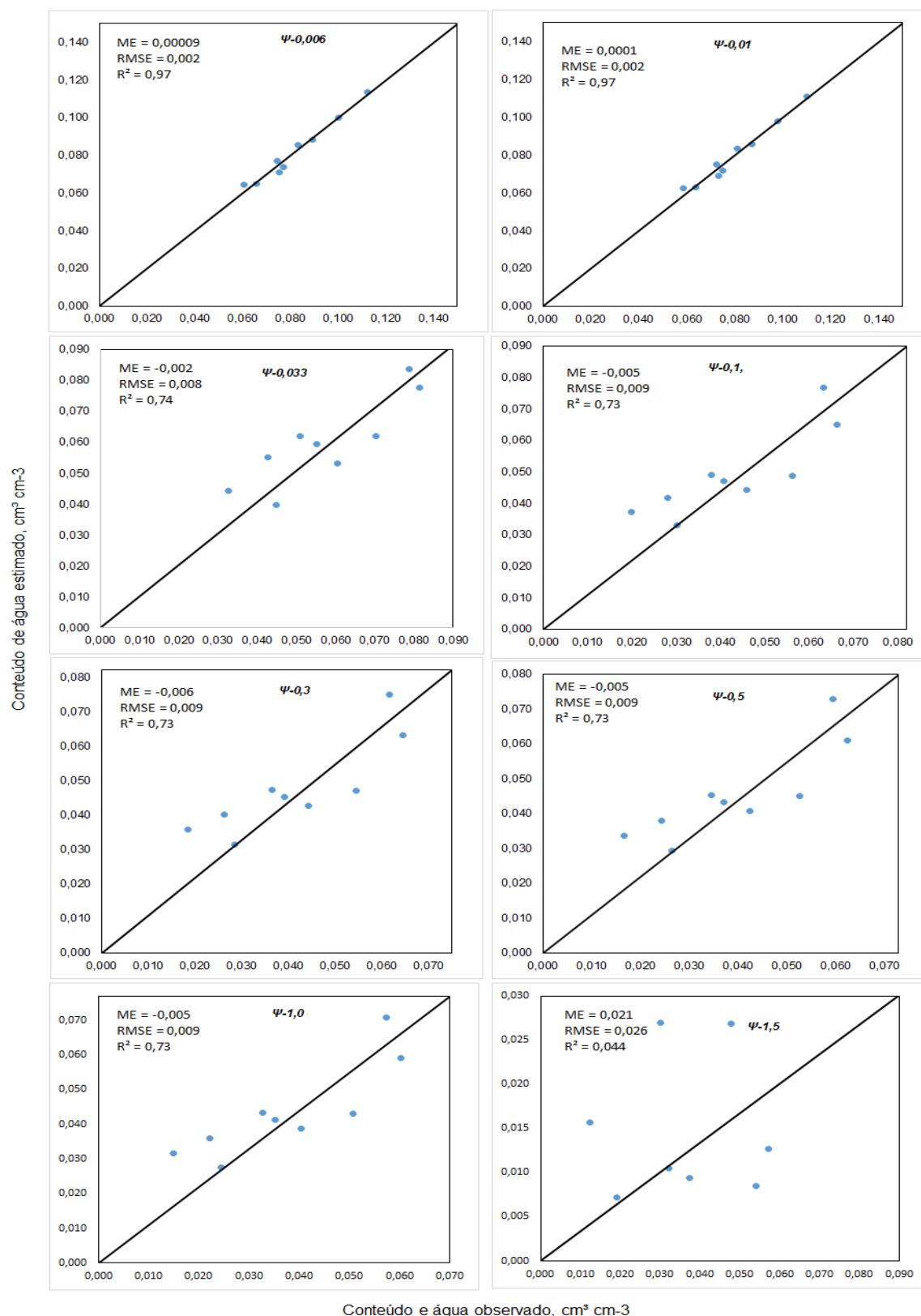


Figura 6. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido nos potenciais $\Psi-0,006$, $\Psi-0,01$, $\Psi-0,033$, $\Psi-0,1$, $\Psi-0,3$, $\Psi-0,5$, $\Psi-1,0$ e $\Psi-1,5$ no Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX) do município de Cuité-PB.

A tabela 15 sumaria as FPT desenvolvidas para cada potencial matricial em cada classe de solo. Excetuando o RL no potencial matricial $-0,01$ MPa, todas as demais classes de solo apresentaram FPT formadas por variáveis estruturais e texturais nos potenciais $\Psi_{-0,006}$, $\Psi_{-0,01}$, com valores elevados de R^2 e baixos de EM e RMSE, denotando a boa acurácia dessas FPT na predição de valores retidos na capacidade de campo nesses solos.

No LA as variações ocorridas na retenção de água estimada pelas FPT nos potenciais $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$ são explicadas tão somente pela variável estrutural MICP com r^2 variando de 0,57 a 0,73.

No PVd, a participação de variáveis texturais e estruturais na composição das FPT proporcionou valores de R^2 elevados e mesmo tendo havido leves superestimativa dos valores de retenção de água em relação aos encontrados, todas apresentaram boa acurácia.

As FPT geradas e validadas para o PVe apresentaram a densidade do solo (DS) como variável comum a todas, indicando que a redução nos valores desta corrobora para incremento da quantidade estimada retida.

O RL, em virtude da própria granulometria e grau de desenvolvimento, teve nas FPT a predominância de variáveis decorrentes da fração areia, onde apenas nos potenciais extremos (mais elevados e no mais baixo) a presença de variáveis estruturais.

O RQ foi o solo que apresentou o maior quantitativo de variáveis nas FPT dos potenciais $\Psi_{-0,006}$, $\Psi_{-0,01}$, cujos valores de R^2 estiveram bem próximos da unidade, onde 98% das variações ocorridas na retenção de água estimadas pelas FPT tendo sido explicadas pelas variáveis estruturais e texturais presentes. Apenas nesta classe de solo que as FPT apresentaram como uma de suas variáveis a matéria orgânica. Nos potenciais $\Psi_{-1,0}$, e $\Psi_{-1,5}$ aumentos nos valores de MO são condicionantes, juntamente com as outras variáveis, ao aumento dos valores de água retidos.

Tabela 15.Resumo das funções de pedotransferência geradas e validadas por classe de solo e respectivos coeficientes de determinação, erro médio e raiz quadrada do erro médio quadrado.

FPT	R ²	ME	RMSE
Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA)			
$\hat{Y}_{-0,006} = 0,0479 + 0,00048447AG - 0,00036446AME + 0,57311MICP$	0,96	0,002	0,002
$\hat{Y}_{-0,01} = 0,03426 - 0,00022009AF + 0,00065648AMF + 0,30762MICP$	0,77	0,0003	0,002
$\hat{Y}_{-0,033} = 0,01812 + 0,29653MICP$	0,75	0,001	0,003
$\hat{Y}_{-0,1} = 0,01313 + 0,30532MICP$	0,81	0,0008	0,003
$\hat{Y}_{-0,3} = 0,01865 + 0,26123MICP$	0,76	0,006	0,006
$\hat{Y}_{-0,5} = 0,00741 + 0,28532MICP$	0,79	0,0004	0,003
$\hat{Y}_{-1,0} = 0,01122 + 0,234532MICP$	0,62	0,0007	0,003
$\hat{Y}_{-1,5} = 0,01321 + 0,20505MICP$	0,58	0,0006	0,003
Argissolo Vermelho Distrófico abruptico (PVd)			
$\hat{Y}_{-0,006} = -0,08937 + 0,84861MICP + 0,24272MACP$	0,96	-0,0002	0,006
$\hat{Y}_{-0,01} = 0,35488 + 0,00014083ARGILA - 0,17004DS$	0,87	-0,0009	0,008
$\hat{Y}_{-0,033} = 0,24907 - 0,00007519AG - 0,11508DS$	0,95	-0,0001	0,003
$\hat{Y}_{-0,1} = 0,24077 - 0,00007373AG - 0,11337DS$	0,94	-0,0005	0,003
$\hat{Y}_{-0,3} = 0,19530 + 0,00006975ARGILA - 0,10280DS$	0,94	0,0001	0,003
$\hat{Y}_{-0,5} = 0,21718 - 0,00007239AG - 0,10248DS$	0,87	-0,0008	0,004
$\hat{Y}_{-1,0} = 0,20934 - 0,00006859AG - 0,09921DS$	0,87	-0,0008	0,004
$\hat{Y}_{-1,5} = 0,19817 - 0,00007741AG - 0,09215DS$	0,87	-0,001	0,004

Continuação tabela 15...

Argissolo Vermelho Eutrófico abruptico (PVe)			
$\hat{Y}_{-0,006} = -0,04922 + 0,03254DS + 0,68355MICP$	0,99	-0,0002	0,0004
$\hat{Y}_{-0,01} = -0,03442 + 0,03132DS + 0,59511MICP$	0,99	0,0002	0,001
$\hat{Y}_{-0,033} = 0,33983 - 0,00037477AG - 0,06527DS - 0,05612DP$	0,64	-0,001	0,004
$\hat{Y}_{-0,1} = 0,19797 - 0,00032586AG - 0,07464DS$	0,72	0,0005	0,003
$\hat{Y}_{-0,3} = 0,18361 - 0,07838DS$	0,80	-0,0007	0,003
$\hat{Y}_{-0,5} = 0,18811 - 0,08465DS$	0,75	-0,00008	0,003
$\hat{Y}_{-1,0} = 0,18168 - 0,08206DS$	0,75	0,0001	0,003
$\hat{Y}_{-1,5} = 0,16288 - 0,07336DS$	0,86	0,0001	0,002
Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL)			
$\hat{Y}_{-0,006} = 0,15365 - 0,06988DS + 0,47391MICP$	0,85	-0,0005	0,002
$\hat{Y}_{-0,01} = 0,26018 - 0,00021828SILTE - 0,11028DS$	0,40	-0,001	0,01
$\hat{Y}_{-0,033} = 0,06177 - 0,00041281AG + 0,00029075AME - 0,00038934AMF$	0,84	0,0001	0,003
$\hat{Y}_{-0,1} = 0,05698 - 0,00039998AG + 0,00028046AME - 0,00036900AMF$	0,77	0,001	0,004
$\hat{Y}_{-0,3} = 0,11840 - 0,00023465AG - 0,00050847AMF$	0,70	0,002	0,005
$\hat{Y}_{-0,5} = 0,10628 - 0,00021531AG - 0,00047259AMF$	0,71	0,002	0,005
$\hat{Y}_{-1,0} = 0,09812 - 0,00020045AG - 0,00044444AMF$	0,005	-0,03	0,04
$\hat{Y}_{-1,5} = 0,10070 + 0,00065694AMG - 0,02232IEA - 0,03206DP$	0,66	-0,00005	0,004

Continuação tabela 15...

Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ)			
$\hat{Y}_{-0,006} = 0,17952 + 0,00074115\text{AMG} - 0,00012829\text{AMF} - 0,00004883\text{SILTE} - 0,10188\text{DS} + 0,7636\text{MICP} + 0,00016895\text{ADA}$	0,97	-0,0001	0,001
$\hat{Y}_{-0,01} = 0,1441 + 0,0007\text{AMG} - 0,00012371\text{AMF} - 0,00005146\text{SILTE} - 0,0906\text{DS} + 0,75804\text{MICP} + 0,00016515\text{ADA}$	0,97	0,0002	0,001
$\hat{Y}_{-0,033} = 0,0152 + 0,0001\text{SILTE}$	0,20	0,004	0,005
$\hat{Y}_{-0,1} = 0,0072 + 0,0012\text{AMG} + 0,00018262\text{AG} + 0,00009003\text{SILTE} + 0,00035055\text{ADA}$	0,39	-0,03	0,03
$\hat{Y}_{-0,3} = -0,014 + 0,0007\text{AMG} + 0,0001\text{SILTE} + 0,0003\text{ADA}$	0,39	0,004	0,005
$\hat{Y}_{-0,5} = 0,0095 + 0,0001\text{SILTE} - 0,019\text{IEA}$	0,32	0,005	0,006
$\hat{Y}_{-1,0} = -0,096 + 0,0001\text{SILTE} + 0,001\text{MO} + 0,0516\text{DS} - 0,03\text{IEA}$	0,58	0,004	0,005
$\hat{Y}_{-1,5} = -0,084 + 0,0001\text{SILTE} + 0,0008\text{MO} + 0,0464\text{DS} - 0,026\text{IEA}$	0,55	0,003	0,004
Planossolo Háplico Eutrófico vertissólico (SX)			
$\hat{Y}_{-0,006} = 0,11948 - 0,065\text{DS} + 0,52324\text{MICP}$	0,97	0,00009	0,002
$\hat{Y}_{-0,01} = 0,11542 - 0,0637\text{DS} + 0,52158\text{MICP}$	0,97	0,0001	0,002
$\hat{Y}_{-0,033} = 0,19916 - 0,0004\text{AG} - 0,0396\text{DP}$	0,74	-0,002	0,008
$\hat{Y}_{-0,1} = 0,15682 - 0,0005\text{AG} + 0,02862\text{IEA} - 0,0302\text{DP}$	0,73	-0,005	0,009
$\hat{Y}_{-0,3} = 0,15497 - 0,0005\text{AG} + 0,02856\text{IEA} - 0,0301\text{DP}$	0,73	-0,006	0,009
$\hat{Y}_{-0,5} = 1,15274 - 0,0005\text{AG} + 0,02849\text{IEA} - 0,03\text{DP}$	0,73	-0,005	0,009
$\hat{Y}_{-1,0} = 0,15053 - 0,0005\text{AG} + 0,02841\text{IEA} - 0,0299\text{DP}$	0,73	-0,005	0,009
$\hat{Y}_{-1,5} = 0,14722 - 0,0005\text{AG} + 0,02831\text{IEA} - 0,0298\text{DP}$	0,044	0,021	0,026

3.4 FPT desenvolvidas considerando banco de dados único

3.4.1 Correlação entre as variáveis e o conteúdo de água retido

A tabela 16 apresenta o coeficiente de correlação (r) entre as variáveis independentes utilizadas na geração da FPT e o conteúdo de água retido no solo nos potenciais $\Psi_{-0,006}$, $\Psi_{-0,01}$, $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$.

Independentemente do potencial, observou-se efeitos conjuntos entre variáveis estruturais e texturais do solo na retenção de água. A microporosidade apresentou maior correlação, denotando a importância da estrutura do solo, principalmente nos potenciais mais elevados. O índice de estabilidade de agregados em água (IEA), que representa o estado de agregação do solo, foi outro componente estrutural que apresentou uma boa correlação com a retenção de água, sendo mais elevado com a redução dos potenciais, o que poderá estar relacionado às áreas superficiais específicas dos agregados, em função dos agentes participantes da agregação (partículas minerais e matéria orgânica). A matéria orgânica do solo também apresentou uma boa correlação com a retenção de água, cujos fatores podem estar relacionados a sua atuação na estruturação do solo, juntamente com a fração argila, a qual apresentou também valores elevados de r , crescentes com a redução do potencial (aumento da negatividade).

A correlação observada entre estrutura e granulometria do solo com a retenção de água, vai de encontro ao verificado por OLIVEIRA et al. (2002), SOLANO PERAZA (2003) e URACH (2007), os quais, utilizando banco de dados de amostras de solo deformadas, afirmaram ser apenas a composição granulométrica a que melhor descreve a retenção de água no solo, afirmação esta que apresenta sua fundamentação apenas nos potenciais mais baixos. Os resultados de HILLEL (1998), ASSAD et al. (2001) e MICHELON et al. (2010) corroboram com os obtidos na tabela 15, onde a estrutura do solo exerce influência em todos os potenciais, sendo mais contundentes nos mais altos, onde as forças capilares são mais atuantes, cabendo aos componentes texturais sua maior influência nos potenciais mais baixos, em função da retenção depender do fenômeno de adsorção, influenciado pela textura do solo e superfície específica das partículas. Nesse sentido, isso reforça a importância da utilização de banco de dados de amostras de solo indeformadas, com vistas a preservação da estrutura do solo.

Tabela 16. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis e o conteúdo de água retida em diferentes potenciais matriciais para o banco de dados unificado.

Variáveis	Potencial, MPa							
	$\Theta_{-0,006}$	$\Theta_{-0,01}$	$\Theta_{-0,033}$	$\Theta_{-0,1}$	$\Theta_{-0,3}$	$\Theta_{-0,5}$	Θ_{-1}	$\Theta_{-1,5}$
AMG	0,34	0,47	0,25	0,23	0,25	0,26	0,29	0,33
AG	0,32	0,28	-0,06	0,00	0,01	-0,01	0,00	0,04
AME	-0,20	-0,48	-0,63	-0,52	-0,52	-0,56	-0,59	-0,55
AF	-0,63	-0,57	-0,63	-0,65	-0,65	-0,64	-0,63	-0,67
AMF	-0,69	-0,56	-0,66	-0,72	-0,71	-0,70	-0,68	-0,71
AREIA T	-0,30	-0,35	-0,76	-0,70	-0,69	-0,71	-0,71	-0,68
SILTE	-0,39	-0,49	-0,04	-0,06	-0,06	-0,05	-0,08	-0,05
ARGILA	0,51	0,61	0,74	0,70	0,69	0,70	0,71	0,67
MO	0,44	0,60	0,32	0,34	0,35	0,37	0,41	0,42
DS	-0,88	-0,71	-0,63	-0,68	-0,68	-0,64	-0,62	-0,62
MICP	0,95	0,89	0,83	0,86	0,87	0,85	0,85	0,85
MACP	-0,71	-0,69	-0,48	-0,50	-0,51	-0,47	-0,47	-0,46
IEA	0,33	0,36	0,67	0,60	0,60	0,61	0,59	0,60
GFLOC	-0,07	-0,14	0,14	0,09	0,10	0,12	0,10	0,11
ADA	-0,13	-0,14	0,21	0,21	0,19	0,24	0,23	0,20
DP	0,08	0,00	-0,28	-0,22	-0,21	-0,24	-0,25	-0,28

Onde: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AME: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; AREIA T: areia total; MO: matéria orgânica; DS: densidade do solo; MICP: microporosidade; MACP: macroporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados em água; GFLOC: grau de floculação; ADA: argila dispersa em água; DP: densidade de partículas.

3.4.2 Funções de pedotransferências geradas

A tabela 17 contém as FPT geradas para os potenciais matriciais $\Psi_{-0,006}$, $\Psi_{-0,01}$, $\Psi_{-0,033}$, $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$, com seus respectivos coeficientes de determinação parcial e total, tendo como premissa a uniformidade do banco de dados referente as classes de solo PVd, PVe, LA, RQ, RL e SX componentes do banco representativo de solos do estado da Paraíba.

No potencial $\Psi_{-0,006}$, a composição do modelo por variáveis estruturais e texturais apresentou um coeficiente de determinação elevado. Os valores de R^2 parciais obtidos por cada variável componente do modelo traduzem a importância da estrutura do solo na retenção de água, das quais a microporosidade foi a que mais contribuiu para o modelo sendo responsável

por 89% da variação do conteúdo de água retido nesse potencial. Constatou-se que os componentes texturais presentes (AMG e AME) foram os que menos contribuíram para a retenção de água, conforme R^2 parciais, onde os mesmos foram responsáveis por 0,1 e 0,3%, respectivamente. Essa influência da estrutura é destacada na literatura devido à ação das forças capilares em potenciais mais elevados, onde o diâmetro dos poros e o estado de agregação, além da densidade do solo, são determinantes para que esse fenômeno ocorra e conseqüentemente a retenção de água no solo, conforme ANDERSON & BOUMA (1973), AMARO FILHO (1982), KLEIN (1998), REICHERT et al. (2007).

O $\Psi_{-0,01}$, por ser considerado ainda um potencial matricial elevado (menos negativo), e que também sofre os efeitos das forças capilares, teve a FPT gerada composta também por variáveis estruturais e texturais. Dos 92% da retenção de água no solo ocorrida nesse potencial e explicada pelo modelo a componente estrutural microporosidade contribuiu com 79%, seguida da matéria orgânica (MO) com 5%, índice de estabilidade de agregados (IEA) e grau de floculação (GFLOC) com 1% cada.

A FPT gerada para prever o conteúdo de água no potencial $\Psi_{-0,033}$ apresenta na sua composição variáveis estruturais e texturais, a exemplo do que ocorreu nos potenciais matriciais predecessores. No entanto, neste a contribuição do componente textural foi maior (11%), enquanto que 71% das variações ocorreram devido as componentes estruturais, sendo a microporosidade com 70%.

Nos potenciais $\Psi_{-0,1}$, $\Psi_{-0,3}$, $\Psi_{-0,5}$, $\Psi_{-1,0}$ e $\Psi_{-1,5}$, observou-se também que as FPT geradas para cada um foram compostas por variáveis texturais e estruturais. A microporosidade foi a variável que mais contribuiu com a retenção de água em todos os modelos, cujos valores, do maior para o menor potencial matricial, foram de 73, 73, 71, 72 e 71%, respectivamente. A contribuição maior da fração areia, dentre as variáveis texturais, se deveu provavelmente ao predomínio médio dessa fração nas classes de solo em relação a silte e argila, conforme tabela 2.

Tabela 17. Funções de pedotransferências em diferentes potenciais matriciais ($-\Psi_m$) para estimativa da retenção de água na profundidade de 0-20cm em banco de dados unificado.

$\Psi-0,006$ ($R^2=0,96$)			$\Psi-0,01$ ($R^2=0,92$)		
Variáveis	Coeficiente	R ² parcial	Variáveis	Coeficiente	R ² parcial
Intercept	0,11682		Intercept	0,0777	
AMG	-0,00006272	0,001	AME	-0,0003	0,007
AME	0,00005331	0,003	AREIA_T	0,0002	0,006
DS	-0,05618	0,03	ARGILA	0,0001	0,003
MICP	0,52237	0,89	MO	0,0011	0,05
IEA	-0,01356	0,01	DS	-0,0479	0,004
GFLOC	-0,00001122	0,02	MICP	0,4531	0,79
			IEA	-0,0171	0,01
			GFLOC	-0,00002	0,01
			DP	-0,0221	0,005
$\Psi-0,033$ ($R^2=0,86$)			$\Psi-0,1$ ($R^2=0,86$)		
Variáveis	Coeficiente	R ² parcial	Variáveis	Coeficiente	R ² parcial
Intercept	0,11429		Intercept	0,08917	
AREIA_T	-0,00006799	0,11	AME	0,00010	0,03
MICP	0,28462	0,70	AREIA_T	-0,00010	0,07
MACP	0,04477	0,008	MICP	0,29455	0,73
DP	-0,02548	0,04	MACP	0,04162	0,006
			DP	-0,01857	0,02
$\Psi-0,3$ ($R^2=0,86$)			$\Psi-0,5$ ($R^2=0,84$)		
Variáveis	Coeficiente	R ² parcial	Variáveis	Coeficiente	R ² parcial
Intercept	0,0727		Intercept	0,08557	
AF	0,00008935	0,004	AMG	-0,00008	0,01
AMF	-0,0001904	0,003	AREIA_T	-0,00005	0,09
AREIA_T	-0,00006288	0,07	MICP	0,30009	0,71
MICP	0,28829	0,73	MACP	0,04131	0,007
MACP	0,05051	0,005	DP	-0,02356	0,02
DP	-0,01764	0,01			
$\Psi-1,0$ ($R^2=0,84$)			$\Psi-1,5$ ($R^2=0,82$)		
Variáveis	Coeficiente	R ² parcial	Variáveis	Coeficiente	R ² parcial
Intercept	0,09045		Intercept	0,09715	
AREIA_T	-0,00004802	0,09	AREIA_T	-0,00004803	0,07
MICP	0,24585	0,72	MICP	0,22538	0,71
ADA	0,00009679	0,007	DP	-0,02314	0,04
DP	-0,02171	0,02			

Onde: AMG – areia muito grossa; AME – areia muito fina; DS – densidade do solo; MICP – microporosidade; IEA – índice de estabilidade de agregados; GFLOC – grau de floculação; AREIA_T – areia total; MO – matéria orgânica; DP – densidade de partículas; MACP – macroporosidade; AME – areia média; ADA – argila dispersa em água.

A figura 7 apresenta a capacidade preditiva da FPT gerada para o potencial $\Psi_{-0,006}$, avaliada em conjunto de dados uniforme, expressa pela

relação 1:1 dos dados observados e estimados, juntamente com os indicadores estatísticos R^2 , ME e RMSE.

Observa-se na referida figura que o modelo apresentou uma tendência de leve superestimativa do conteúdo de água no solo ($ME = 0,008 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$). No que concerne ao comportamento dos dados em torno da reta 1:1, verificou-se uma certa dispersão, apresentada através do $RMSE = 0,011\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$, originando um coeficiente de determinação igual 0,95, ou seja, 95% das variações ocorridas no conteúdo de água retido no solo a tensão de -0,006 MPa são explicados pelas variáveis estruturais e texturais componentes do modelo. Observando-se os dados de RSME obtidos nas classes de solo isoladamente, percebe-se que a dispersão ocorrida foi maior que nos modelos específicos para cada classe de solo. No entanto, essa dispersão era esperada em função do aumento do quantitativo de dados e da origem dos mesmos (em termos de classe de solo). Logo, a FPT gerada mostrou uma boa eficiência preditiva.

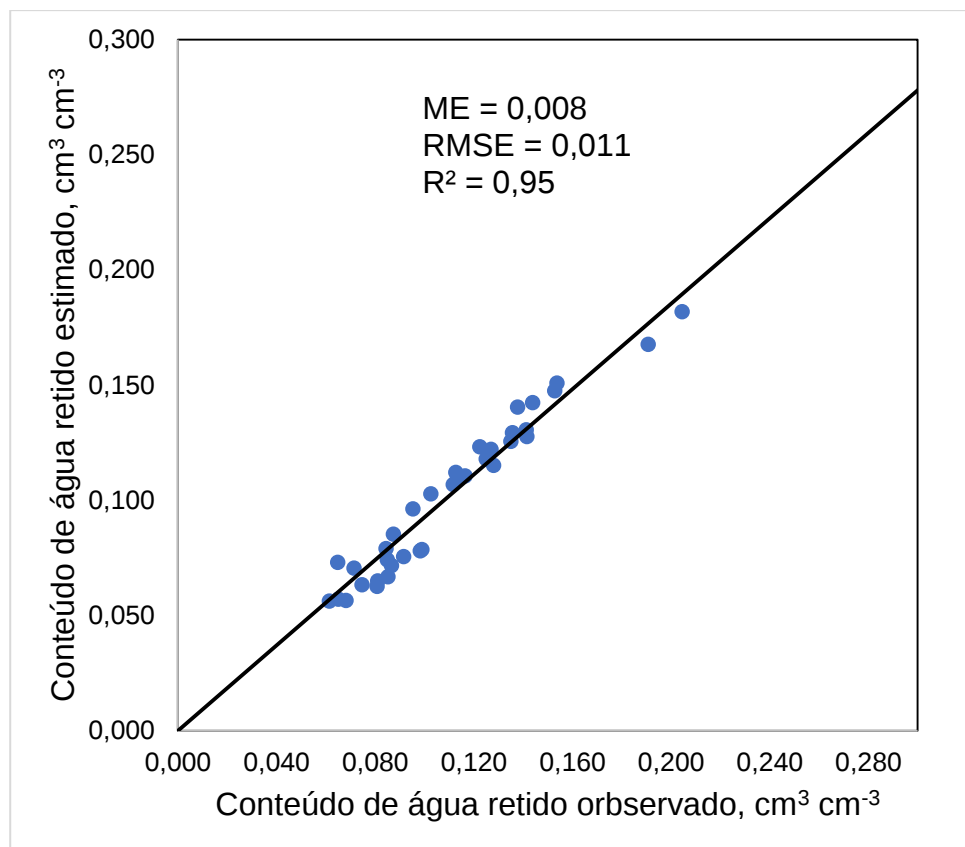


Figura 7. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial $\Psi_{-0,006}$ considerando o banco de dados uniforme.

Na figura 8 é apresentada a capacidade preditiva da FPT gerada para o potencial matricial $\Psi_{-0,001}$, avaliada em conjunto de dados uniforme, expressa pela relação 1:1 dos dados observados e estimados, juntamente com os indicadores estatísticos R^2 , ME e RMSE. Verificou-se uma leve subestimativa dos dados, externado pelo valor de $ME = -0,038 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Considerando que este indicador está relacionado com a acurácia do modelo, a presente FPT se destaca positivamente em relação aos valores obtidos no mesmo potencial matricial quando se avaliou individualmente as classes de solos, a exemplo do LA, PVd, PVe e RL.

Já o RMSE (raiz quadrada do erro médio ao quadrado), que representa o comportamento dos dados preditos e observados em torno da reta 1:1, mostrou a ocorrência de uma leve dispersão ($RMSE = 0,039 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) mais uma vez explicada pela composição do banco de dados, onde o quantitativo de variáveis correlacionadas com a retenção de água no solo nesse potencial foi

incrementado, conforme tabelas de 09 a 15. Com isso, o coeficiente de determinação obtido (R^2) mostrou que a variação ocorrida no conteúdo de água retido no solo em relação a variação total, é explicada em 92%. Assim, a FPT gerada apresentou uma boa eficiência na predição de água retida nos solos. Os resultados estão semelhantes aos obtidos por MICHELON (2010) em solos do Rio Grande do Sul, onde os valores de ME, RSME e R^2 foram $-0,0020 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, $0,0170 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e 0,87, respectivamente.

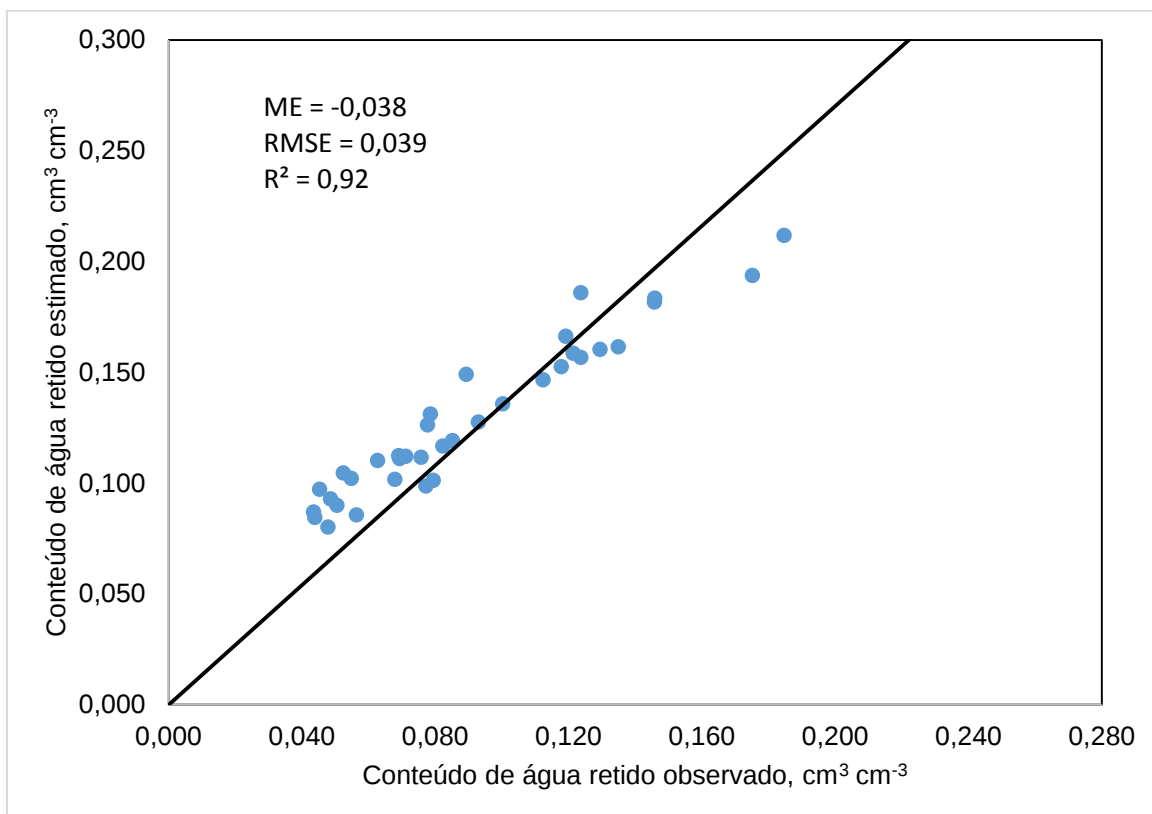


Figura 8. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial $\Psi_{-0,001}$ considerando o banco de dados uniforme.

A eficiência da FPT gerada para predição do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial $\Psi_{-0,033}$ juntamente com os indicadores estatísticos ME, RMSE e R^2 , são apresentados na figura 9. Foi verificada a tendência do modelo em superestimar o conteúdo de água retido no solo através do valor de $ME = 0,001 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Em termos de ajuste dos dados e comportamento em torno da reta 1:1, o valor de $RMSE = 0,006 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ mostrou uma dispersão entre os dados observados e preditos, o que corroborou para o coeficiente de determinação igual a 0,91. Assim, o resultado indica que apenas 91% das variações no conteúdo de água retido no solo na tensão de $-0,033 \text{ MPa}$ sejam

explicadas pelo modelo, denotando uma boa eficiência da FPT, principalmente quando se observa a FPT gerada para a classe de solo RR, onde o R^2 foi de 0,20, ou seja, a variação total ocorrida foi muito maior, sendo tal resultado devido provavelmente a composição do mesmo ser apenas da fração silte enquanto que a FPT desenvolvida considerando um único banco de dados tem na sua composição variáveis estruturais e texturais, sendo a primeira representada pela microporosidade (MICP), a qual foi a que melhor contribuiu para o modelo, conforme tabela 18.

OLIVEIRA et al. (2002) desenvolveram FPT para predição de água retida em solos de Pernambuco nos potenciais -0,033 e -1,5 MPa, a partir de banco de dados originados de amostras deformadas e constituídas apenas por variáveis texturais, não observaram melhorias na exatidão da estimativa com o agrupamento de solos em um único banco de dados. Segundo eles, pequenos aumentos no coeficiente de determinação vinham sempre acompanhados de pequenos aumentos no erro padrão da estimativa. Já SOARES (2013), utilizando banco de dados heterogêneo do Rio Grande do Sul, contendo além de variáveis texturais a porosidade total como representante da estrutura, encontrou melhorias na capacidade preditiva das FPT geradas. MICHELON (2010) desenvolveu FPT para os solos irrigados no Rio Grande do Sul a partir de banco de dados oriundos de amostras indeformadas, teve como componentes da $FPT_{-0,033}$ variáveis texturais e estruturais, sendo a microporosidade a que mais contribuiu com a retenção de água no solo tendo R^2 parcial igual a 0,93.

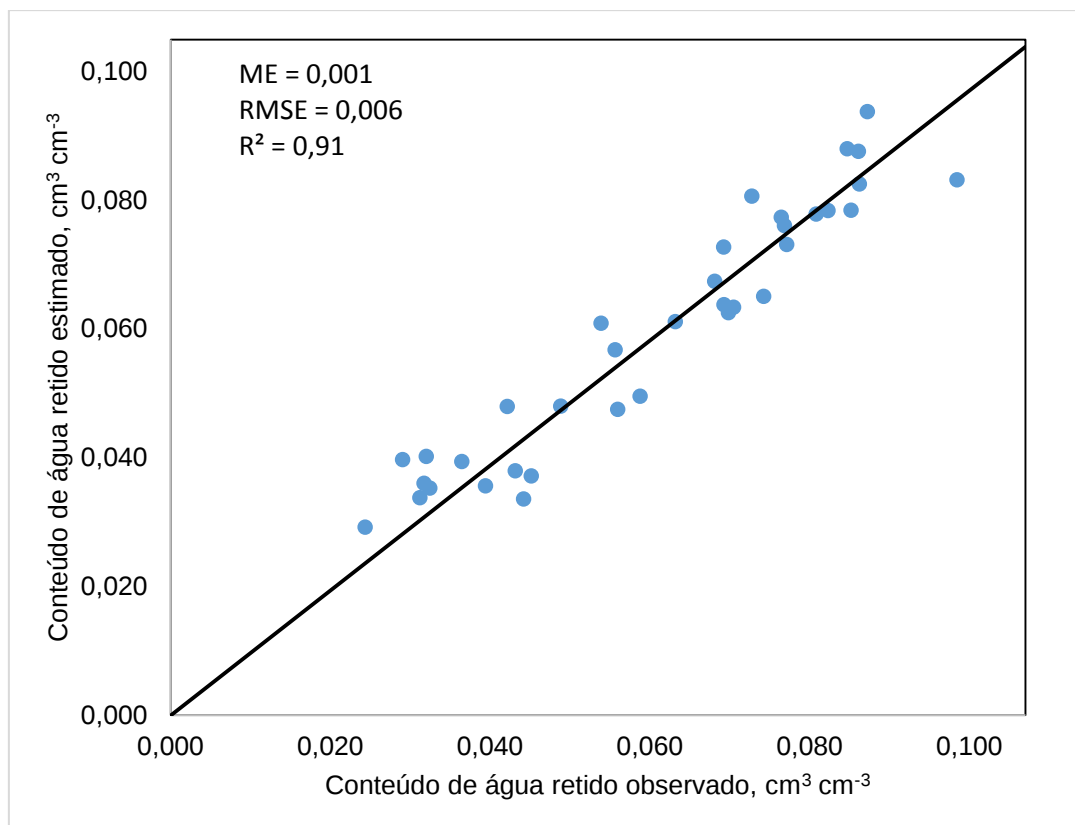


Figura 9. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial $\Psi_{-0,033}$ considerando o banco de dados uniforme.

Assim, nesse potencial foi verificado que a estrutura do solo também desenvolveu um papel importante na retenção de água no solo, o que de acordo com KLEIN & LIBARDI (2002) estudando a forma detalhada a distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo sob diferentes manejos, a retenção de água depende da estrutura do solo, onde os microporos exercem papel primordial, associados ao estado de agregação do solo.

A figura 10 apresenta a relação 1:1 dos dados preditos e observados analisados através dos indicadores estatísticos ME, RMSE e R^2 da FPT gerada para o potencial matricial $\Psi_{-0,1}$ considerando o banco de dados uniforme. Nela, percebe-se uma leve superestimativa dos dados referente ao conteúdo de água retido no solo, reportado pelo valor de $ME = 0,002 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Dispersão dos dados em torno da reta 1:1 também foi verificada com $RMSE = 0,006 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$, variação também esperada em função da agregação de dados das classes de solo em um mesmo banco de dados, o que também pode ter ocasionado um coeficiente de determinação igual 0,91. Assim, os resultados

dos indicadores estatísticos mostraram que a FPT apresentou uma boa eficiência na predição do conteúdo de água retido no solo.

URACH (2007) desenvolveu FPT para solos do Rio Grande do Sul a partir de banco de dados coletado na literatura compostos por informações referentes as frações granulométricas do solo, matéria orgânica, densidade do solo e de partículas para os potenciais -0,006; -0,01; -0,033; -0,1; -0,5; -1,0 e; -1,5 MPa. A função de pedotransferência gerada para o potencial -0,1 MPa foi composta apenas por variáveis texturais e densidade do solo apresentou um R^2 baixo (0,54). Segundo o autor, ocorreu um efeito negativo da areia e da densidade do solo sobre a retenção de água nesse potencial, indicando que solos arenosos e solos mais densos possuem menor capacidade de reter água. Já Michelin (2010), obteve $FPT_{-0,1}$ contendo variáveis texturais e estruturais, tendo a microporosidade com maior contribuição (R^2 parcial igual 0,89). Na pesquisa do autor, o resultado dos indicadores estatísticos R^2 (0,92), ME (-0,0024 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e RMSE (0,017 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) mostraram uma elevada precisão da $FPT_{-0,1}$ na predição do teor de água retido.

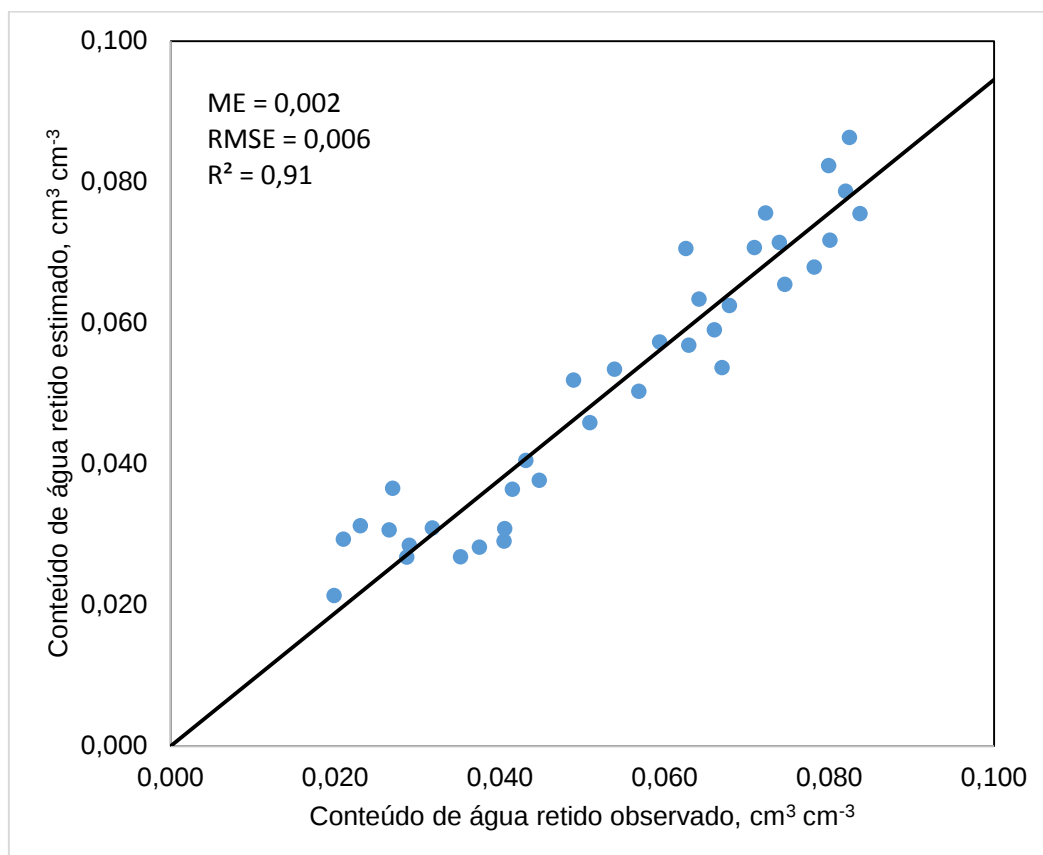


Figura 10. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial Ψ -0,1 considerando o banco de dados uniforme.

A relação 1:1 dos dados observados e estimados pela FPT para o potencial matricial $\Psi_{-0,3}$, juntamente com os indicadores estatísticos R^2 , ME e RMSE, calculados para todo o banco de dados considerado como uniforme, são apresentados na figura 11. O valor de ME (0,001 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) indica uma leve superestimativa dos dados de retenção de água no solo pela FPT. No entanto, esse valor é melhor que os obtidos para as classes de solo LA, RQ, RL e SX, quando utilizados banco de dados individuais, denotando desta forma que a FPT gerada apresentou uma boa acurácia. Dispersão dos dados em relação a reta 1:1 também foi observado ($\text{RMSE} = 0,006 \text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), podendo estar relacionada às características físicas do conjunto de solos formadores do banco de dados, especialmente aos constituintes da FPT.

MEDEIROS (2012) desenvolveu em seu estudo FPT para estudos do funcionamento hídrico do solo da região sudeste do Pará, utilizando banco de dados formados a partir de amostras indeformadas obteve ME, RSME e R^2 iguais a 0,01 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, 0,03 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ e 0,75, respectivamente. Segundo o autor, a FPT apresentou uma boa eficiência na predição do conteúdo de água.

Assim, o conjunto de indicadores estatísticos permite que se observe que a FPT gerada para esse potencial apresentou uma boa eficiência na estimativa do conteúdo de água retido no solo.

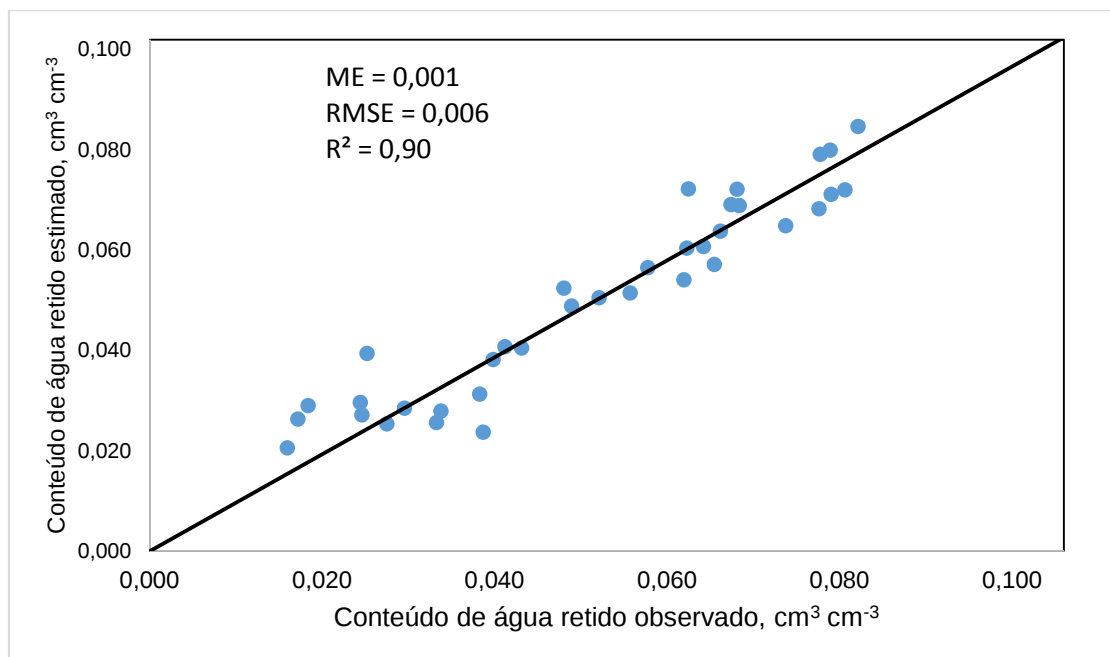


Figura 11. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial $\Psi_{-0,3}$ considerando o banco de dados uniforme.

A figura 12 apresenta a relação 1:1 dos dados observados e estimados pela FPT e os indicadores estatísticos ME, RMSE e R^2 , calculados com as amostras presentes no banco de dados referentes ao potencial $\Psi_{-0,5}$.

Ocorreu uma tendência de leve superestimativa dos dados pela FPT, verificado através $ME = 0,0001 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, sendo menor que os valores de ME encontrados nesse mesmo potencial, para banco de dados individuais (para cada classe de solo), nas classes de solos LA, PVd, RQ, RL e SX. Dispersão dos dados observados e preditos em torno da reta 1:1 foi verificada, onde o valor da RMSE foi igual a $0,006 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Esses resultados, juntamente com o coeficiente de determinação igual a 0,88 indicam que a FPT apresentou uma boa eficiência na predição do conteúdo de água retido.

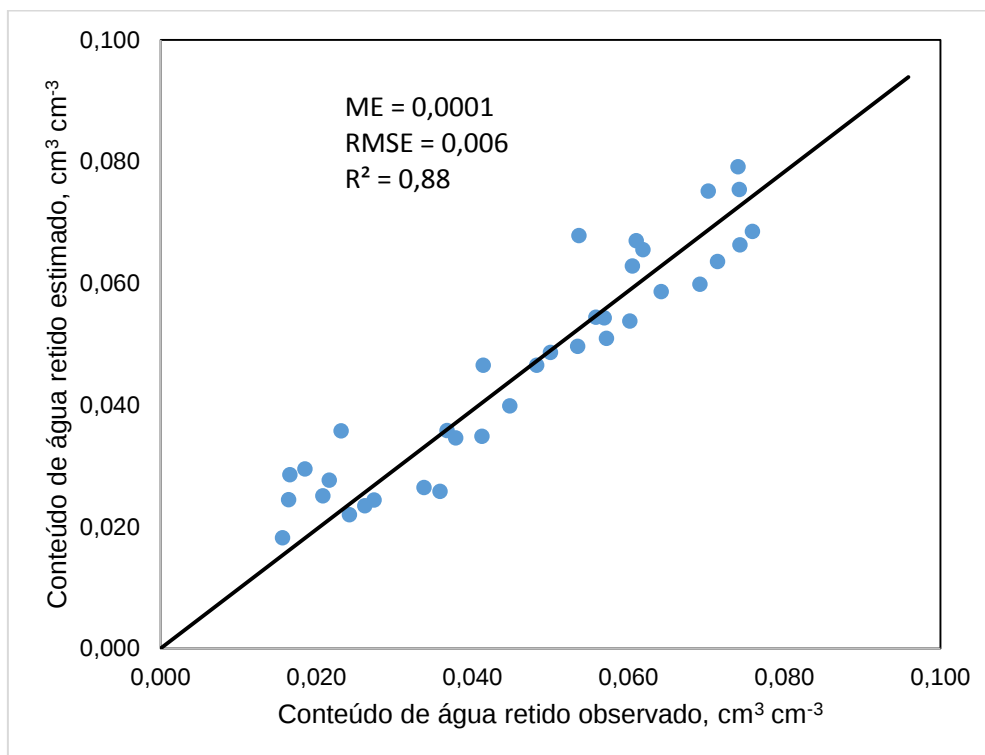


Figura 12. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial $\Psi_{-0,5}$ considerando o banco de dados uniforme.

O conjunto de valores obtidos são melhores que os de MICHELON (2010) avaliando FPT para estimativa da retenção de água em solos do Rio Grande do Sul. Para o potencial $-0,5 \text{ MPa}$ ele encontrou $ME = -0,0103 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, $RSME = -0,0310 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, e $R^2 = 0,71$.

Considerando a composição das FPT e a contribuição individual das variáveis através do R^2 parcial, tabela 17, verificou-se que nesse potencial ($\Psi_{0,5}$) também ocorreu influência das variáveis texturais representados pela fração areia, as quais são normalmente desprovidas de cargas elétricas e de diâmetros maiores. Por não ter havido contribuição significativa de componentes importantes como a matéria orgânica e a fração argila que as tornassem parte dessa FPT, coube a microporosidade a maior responsabilidade pela retenção, o que pode ter contribuído para os resultados observados, haja vista que em potenciais mais baixos a retenção de água ocorre com maior frequência através das forças de adsorção (HILLEL, 1998), que depende dos componentes texturais do solo, porém, nesse caso, sendo influenciada pelos componentes estruturais.

A figura 13, mostra a relação 1:1 entre dados observados e preditos pela FPT $\hat{Y}_{-1,0} = 0,09045 - 0,00004802*AREIA_T + 0,24585 * MICP + 0,00009679*ADA - 0,02171$, como também os valores dos indicadores estatísticos R^2 , ME e RSME para o potencial matricial $\Psi_{-1,0}$. Observou-se uma pequena superestimativa dos dados (ME = $0,0005 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), porém menor que nos potenciais mais elevados dentro do banco de dados uniforme, como também menor que os valores ocorridos dentro do mesmo potencial mas para banco de dados individualizado (por cada classe de solo), denotando uma boa acurácia. A variação encontrada (RMSE = $0,006 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) originou um coeficiente de determinação igual 0,88.

Considerando que a contribuição maior de variáveis granulométricas em potenciais mais baixos é esperada, segundo HILLEL et al. (1972), REICHARDT & TIMM (2004) em função da dependência da retenção de água do fenômeno de adsorção, verificou-se o inverso nesse potencial, onde a FPT $_{-1,0}$ (tabela 17) teve como variável com maior contribuição a microporosidade.

A variável argila dispersa em água também mostrou que um pequeno aumento em seu conteúdo também proporcionou um incremento na retenção de umidade, o que de acordo com SCHAEFER et al. (2002), poderá ter sido causado por entupimento dos macroporos através da migração desta no perfil do solo no momento da saturação, corroborando para a formação de macroporos, uma vez que em todas as classes a fração areia predominou na textura dos solos, conseqüentemente, o percentual da macroporosidade.

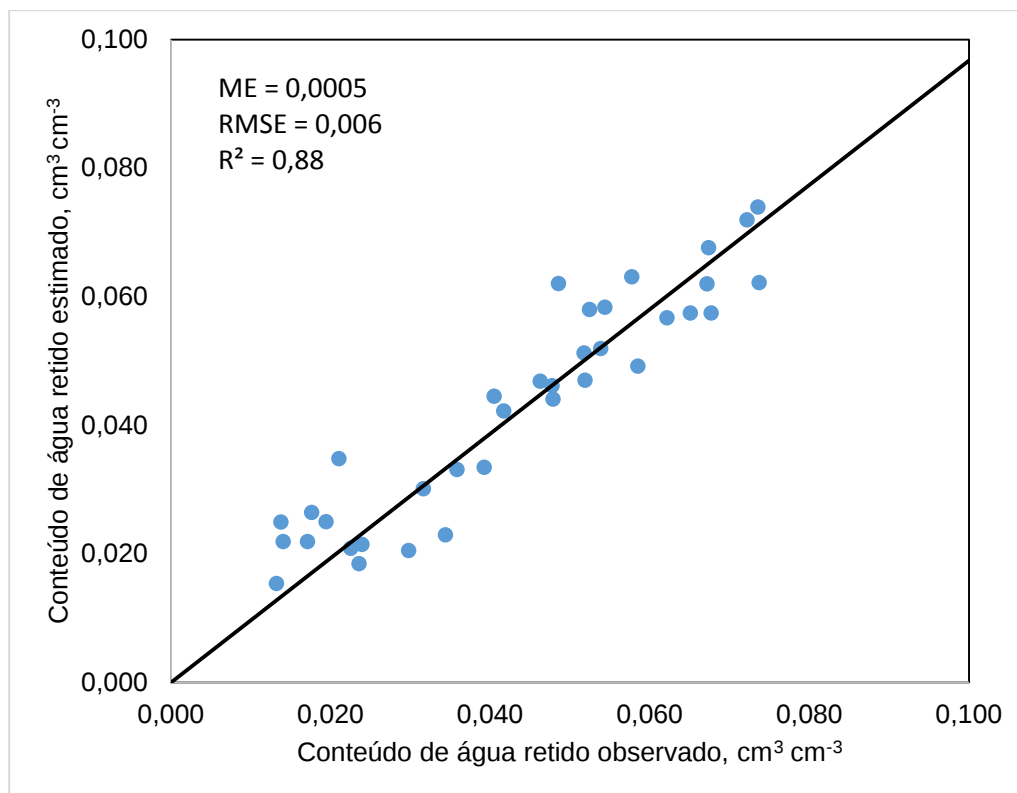


Figura 13. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial Ψ -1,0 considerando o banco de dados uniforme.

A figura 14 mostra a relação 1:1 entre os dados observados e preditos referente ao conteúdo de água retido no solo, como também os valores dos indicadores estatísticos R^2 , ME e RSME para o potencial matricial Ψ -1,5. Neste, a FPT foi composta por variáveis textural e estrutural, conforme ocorreu em todos os demais potenciais, utilizando o banco de dados unificado, sendo ela $\hat{Y} = 0,09715 - 0,000480 \cdot \text{AREIA_T} + 0,22538 \cdot \text{MICP} - 0,02314 \cdot \text{DP}$, das quais a microporosidade apresentou uma alta correlação com a retenção de água, $r = 0,85$, e foi a variável que mais contribuiu com a retenção de água na FPT, R^2 parcial igual a 0,85 (tabela 17).

O valor positivo de ME ($0,0002 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) indicou uma leve superestimativa dos dados, sendo, no entanto, semelhante ao potencial -1,0 MPa e menor que em todos os demais potenciais, incluindo para os bancos de dados individuais de cada classe de solo, denotando desta feita uma boa acurácia. O valor de RMSE igual a $0,006 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ também indicou uma dispersão dos valores preditos e observados em torno da reta 1:1. O coeficiente de determinação

igual a 0,86 indicou que 86% da variação do conteúdo de água retido estimado é explicada pela FPT gerada nesse banco de dados.

Os baixos teores da fração argila nos solos estudados pode ter sido o fator preponderante para não seleção pelo *Stepwise* para composição da FPT, o que poderia ter proporcionado melhorias na quantidade de água retida, haja vista HILLEL (1998), PACHEPSKY et al. (1999), TOMASELLA & HODNETT (2002), RAWLS et al. (2003), SOLANO PERAZA (2003), URACH (2007) e MICHELON (2010) destacarem a importância do teor de argila do solo na retenção de água, especialmente em baixos potenciais. Segundo esses autores, a argila, por ser uma fração muito pequena e com grande área superficial específica, possui cargas capazes de reter água mesmo em altas tensões.

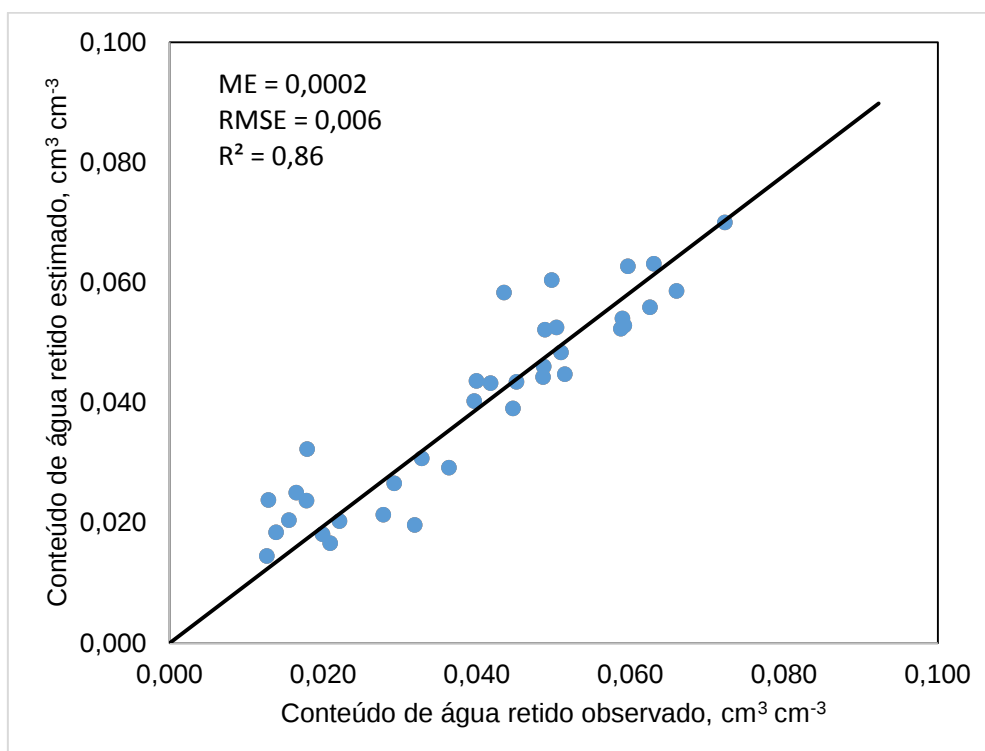


Figura 14. Comparação entre valores estimados e observados do conteúdo de água retido no solo no potencial matricial Ψ -1,5 considerando o banco de dados uniforme.

De modo geral, a unificação dos bancos de dados mostrou melhorias na capacidade preditiva das FPT através da participação de mais variáveis, o que foi verificado também por SOLANO PERAZA (2003), trabalhando com solos do Rio Grande do Sul e OLIVEIRA (2002), em Pernambuco, os quais encontraram resultados semelhantes, onde a medida que aumentou o número de variáveis

como preditoras o desempenho das PTF melhorou, principalmente na faixa mais úmida.

SILVA (2014) desenvolveu FPT para predição do conteúdo de água retido em solos de tabuleiros costeiros brasileiros. De acordo com a autora, as FPTs gerais apresentaram um coeficiente de determinação muito próximo ou superior àquele da estratificação dos dados por classe de solos, devido à menor variação pedológica deste ambiente. As FPTs gerais revelaram alto poder preditivo para a estimativa do conteúdo de água nos potenciais de -33 kPa e -1500 kPa, 73% e 75%, respectivamente. Na pesquisa ela observou através dos coeficientes de determinação, que a junção de duas classes de solos aumentou o poder preditivo das equações, possibilitando uma maior entrada de dados para geração das pedofunções.

Na tabela 18, observa-se através dos valores de ME uma leve subestimativa dos dados preditos em relação aos observados, bem como, uma dispersão muito baixa expressa pelos valores de RMSE, demonstrando um bom ajuste dos dados, onde as variações ocorridas na retenção de água são explicadas através do R^2 através dos valores que variaram de 0,82 a 0,96.

Tabela 18. Resumo das FPT geradas e validadas para cada potencial matricial com respectivos R^2 , ME e RMSE utilizando banco de dados único para as seis classes de solos representativos do estado da Paraíba.

FPT	R^2	ME	RMSE
$\hat{Y}_{-0,006} = 0,11682 - 0,00006272AMG + 0,00005331AME - 0,05618DS + 0,52237MICP - 0,01356IEA - 0,00001122GFLOC$	0,95	0,008	0,011
$\hat{Y}_{-0,01} = 0,0777 - 0,0003AME + 0,0002AREIA_T + 0,0001ARGILA + 0,0011MO - 0,0479DS + 0,4531MICP - 0,0171IEA - 0,00002GFLOC - 0,0221DP$	0,92	0,0038	0,0039
$\hat{Y}_{-0,033} = 0,11429 - 0,00006799AREIA_T + 0,28462MICP + 0,04477MACP - 0,02548DP$	0,91	0,001	0,006
$\hat{Y}_{-0,1} = 0,08917 + 0,0001AME - 0,0001AREIA_T + 0,29455MICP + 0,04162MACP - 0,01857DP$	0,91	0,002	0,006
$\hat{Y}_{-0,3} = 0,0727 + 0,00008935AF - 0,0001904AMF - 0,00006288AREIA_T + 0,28829MICP + 0,05051MACP - 0,01764DP$	0,90	0,001	0,006
$\hat{Y}_{-0,5} = 0,08557 - 0,00008AMG - 0,00005AREIA_T + 0,30009MICP + 0,04131MACP - 0,02356DP$	0,88	0,0001	0,006
$\hat{Y}_{-1,0} = 0,09045 - 0,00004802AREIA_T + 0,24585MICP + 0,00009679ADA - 0,02171DP$	0,88	0,0005	0,006
$\hat{Y}_{-1,5} = 0,09715 - 0,00048AREIA_T + 0,22538MICP - 0,02314DP$	0,86	0,0002	0,006

Onde: R^2 - coeficiente de determinação; ME - erro médio; RMSE - raiz quadrada do erro médio ao quadrado; DS - densidade do solo; MICP - microporosidade; IEA - índice de estabilidade de agregados; GFLOC - grau de floculação; MO - matéria orgânica; MACP - macroporosidade; DP - densidade de partículas; AF - areia fina; AMG - areia muito grossa; ADA - argila dispersa em água.

3.4.3 Comportamento do R^2 , ME e RMSE frente à relação BD único versus BD individuais

Na figura 15 é possível observar o comportamento do erro médio (ME) no sentido de super ou subestimativa dos dados estimados em relação aos observados quando se utilizou FPT oriundas dos bancos de dados de cada classe de solo e aquelas oriundas de um banco de dados unificados pra predição de volumes de água retidos nos diferentes potenciais matriciais. As maiores superestimativa dos dados ocorreu nos potenciais $\Psi_{-0,006}$ e $\Psi_{-0,01}$ no PVd quando se utilizou apenas o banco de dados do mesmo, seguido do LA. As subestimativas ocorreram apenas no RL (exceto no potencial $\Psi_{-0,006}$) e no RQ a partir do potencial $\Psi_{-0,01}$, em ambos utilizando o banco de dados específico para cada solo. Nas demais classes de solo, percebeu-se uma grande proximidade entre os dados resultantes das FPT oriundas de banco de dados individuais com àquelas do banco de dados unificado.

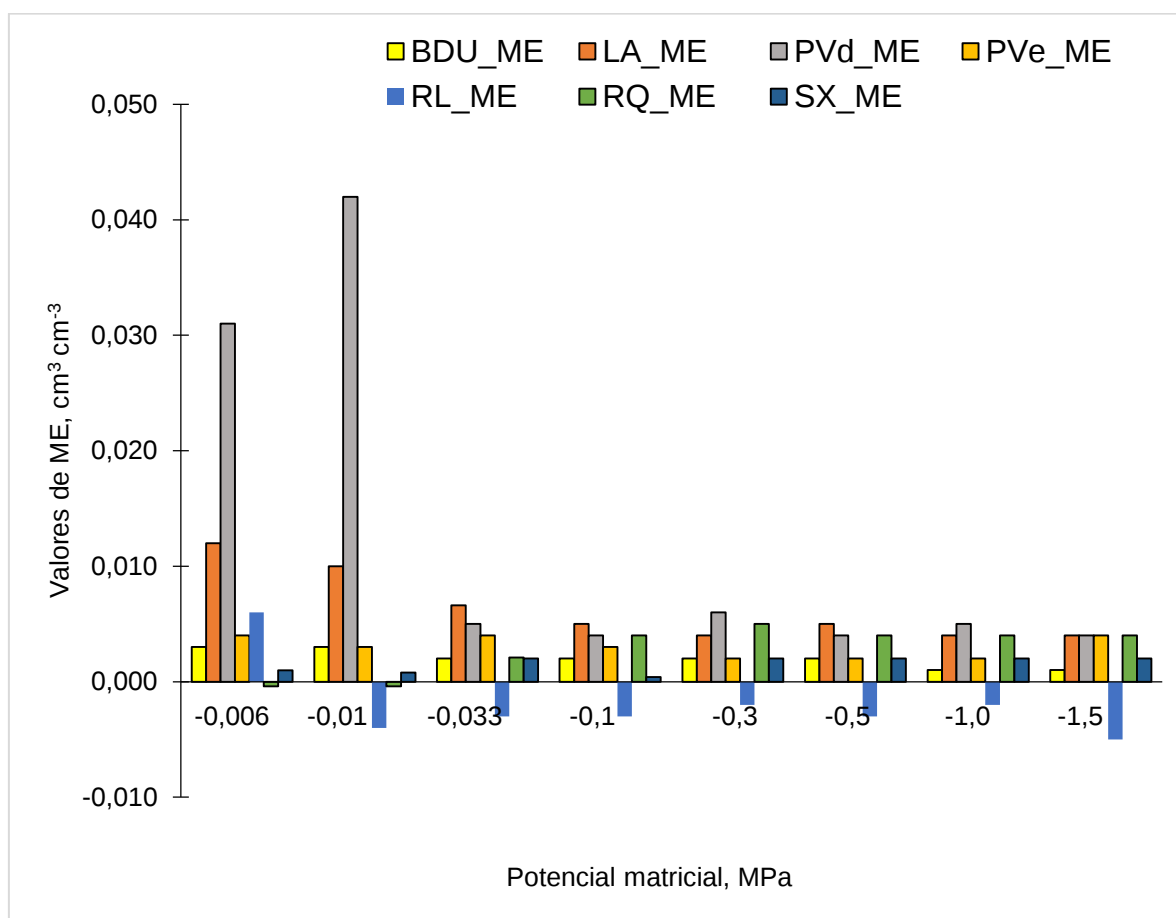


Figura 15. Valores de erro médio (EM) utilizando bancos de dados individualizados e unificado nas seis classes de solos dentro de cada potencial matricial.

A figura 16 mostra através dos valores RMSE, a dispersão ocorrida entre os valores preditos e observados em torno da reta 1:1 quando se utilizando banco de dados individuais e o banco de dados unificado das seis classes de solos representativas do estado da Paraíba. Constatou-se que as maiores dispersões se deram no PVd seguido do SX nos potenciais mais altos ($\Psi_{-0,006}$ e $\Psi_{-0,01}$), demonstrando que a precisão da estimativa para essas classes de solo foi melhores quando se utilizou o banco de dados unificado. Nas demais classes de solos, as dispersões estiveram próximas ($\leq 0,02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), independentemente do tipo de banco de dados.

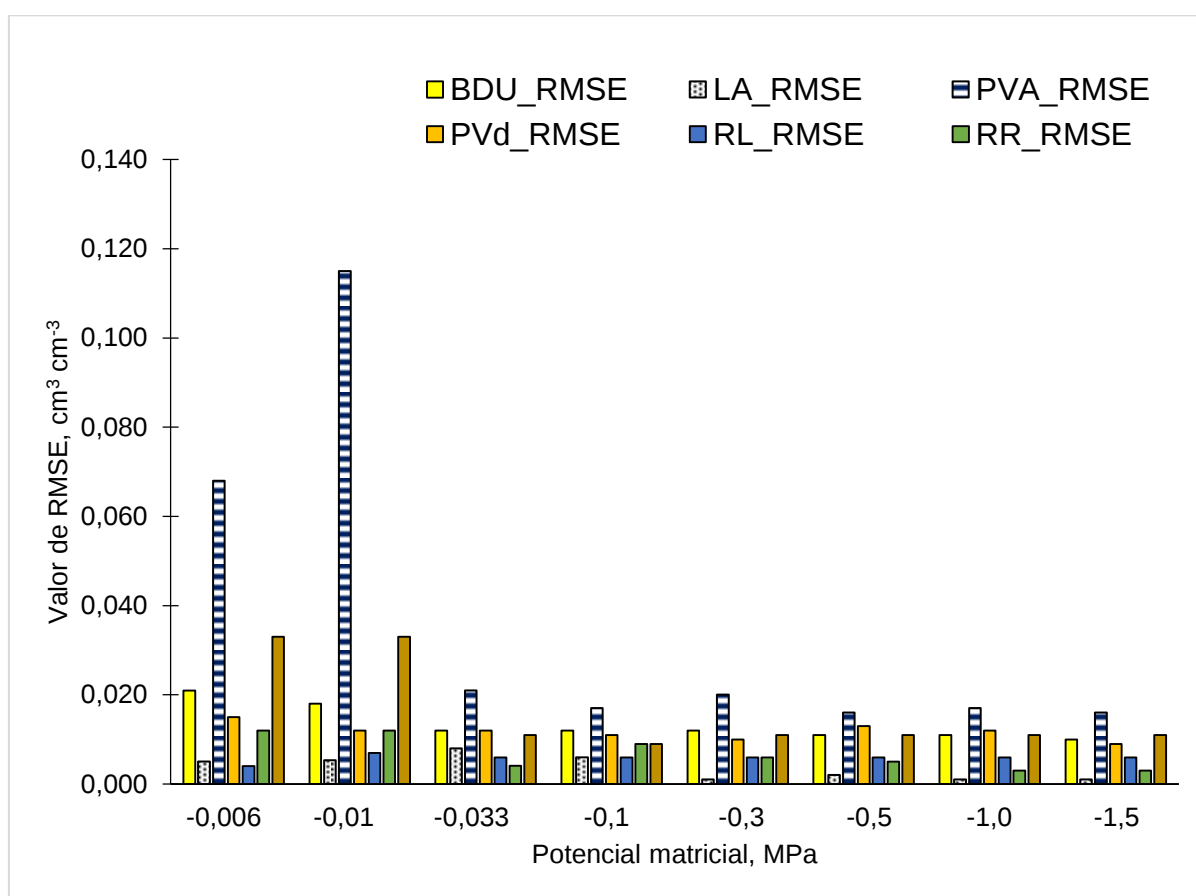


Figura16. Valores da raiz quadrada do erro médio ao quadrado (RMSE) utilizando bancos de dados individualizados e unificado nas seis classes de solos dentro de cada potencial matricial.

3.5 Avaliação de funções de pedotransferências da literatura através de indicadores estatísticos

Na tabela 19 são apresentadas as funções de pedotransferências selecionadas da literatura e utilizadas para estimar a retenção de água no banco de dados com as seis classes de solos da Mesorregião do Agreste do estado da Paraíba.

As primeiras FPT geradas para solos brasileiros propostas por ARRUDA et al. (1987) também foram testadas no banco de dados unificado. Os resultados de ME, RMSE e R^2 constantes na tabela 17, também reportaram a baixa eficiência preditiva das mesmas.

Os modelos propostos por MICHELON (2010), mesmo sendo originados a partir de amostras indeformadas, super ou subestimaram os conteúdos de água retidos em todos os potenciais avaliados, demonstrado através dos valores de ME elevados, variando de 0,191 a 0,575 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, quando ocorreu superestimativa, e de -0,027 a -0,084 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, quando subestimativa. A dispersão em torno da reta 1:1 também foi elevada, demonstrada através dos valores elevados de RMSE, em todos os potenciais matriciais avaliados. Corroborando com esses resultados estão os valores dos coeficientes de determinação muito baixos, denotando a baixa capacidade dos modelos para predição do conteúdo de água retido nos diversos potenciais matriciais.

Os modelos propostos por URACH (2007), formados a partir de banco de dados da literatura, não contemplaram apenas os potenciais -0,3 e -1,0 MPa avaliados pela presente pesquisa. No entanto, nos demais potenciais ocorreu superestimativa dos conteúdos de água retidos, apresentados pelos valores elevados de ME. Uma elevada dispersão entre os dados previstos e observados em torno da reta 1:1 também ocorreu, RMSE elevados, ocasionado coeficientes de determinação muito baixos.

As estimativas dos conteúdos de água nos potenciais -0,033 e -1,5 MPa a partir dos modelos propostos por OLIVEIRA (2002) originários de amostras deformadas, e também para solos de Pernambuco, superestimaram os dados de retenção de água, observados pelos valores de ME nos dois potenciais, os quais foram, respectivamente, 0,06 e 0,026 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. O RSME de 0,07 e 0,034 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ denotam a dispersão ocorrida em torno da reta 1:1, originando R^2

muito baixos, onde as variações nos conteúdos de água retidos nos potenciais, em ordem decrescente, são explicadas apenas em 41 e 49%, respectivamente. Os resultados dos indicadores estatísticos mostraram a baixa capacidade das FPT em prever os conteúdos de água retidos nos dois supracitados potenciais. Em Gleissolos no Rio Grande do Sul, Nebel (2009) avaliou a aplicabilidade e a transferabilidade de oito FPTs pontuais desenvolvidas para estimar o conteúdo volumétrico de água no solo nas tensões de $-0,033\text{MPa}$ e $-1,5\text{MPa}$. Segundo os autores, sete FPT superestimaram os valores de água retidos no potencial $-0,033\text{MPa}$ e apenas uma, URACH (2007), subestimou os valores, porém todas com R^2 muito baixos, denotando a baixa capacidade preditiva.

Tabela 19. Avaliação das funções de pedotransferências apresentadas na literatura baseada nos indicadores estatísticos ME, RSME e R² no banco de dados unificado de solos da Mesorregião do Agreste do estado da Paraíba.

Autor	Equação	ME	RMSE	R ²
Michelson (2010)	$\hat{Y}_{-0,01} = 0,1398 - 0,0409Ds + 0,2069*Macro + 0,8809*Micro$	0,191	0,186	0,55
	$\hat{Y}_{-0,033} = -0,0789 + 0,0362*Ds + 1,0011*Micro - 0,0004*AF$	-0,027	0,062	0,49
	$\hat{Y}_{-0,1} = -0,1014 + 0,0430*Ds + 0,9891*Micro - 0,0006*AF$	-0,084	0,103	0,42
	$\hat{Y}_{-0,5} = -0,4888 + 0,2307*Ds + 0,2807*Macro + 0,6468*Micro + 0,0010*Si + 0,0022*Arg$	0,565	0,578	0,44
	$\hat{Y}_{-1,5} = -0,1974 + 0,1093*Dp - 0,3050*Macro + 0,0011*Si + 0,0024*Arg$	0,575	0,593	0,48
Arruda et al. (1987)	$\hat{Y}_{-0,033} = (9,93029 + 0,289568*(Silte + Argila))/100$	1,00	1,01	0,25
	$\hat{Y}_{-1,5} = (1,07387 + 0,271212*(Silte + Argila))/100$	0,887	0,890	0,37
Nascimento et al. (2010)	$\hat{Y}_{-0,033} = 0,0409 + 0,000377*Argila + 0,000108*Silte$	0,07	0,07	0,49
	$\hat{Y}_{-1,5} = 0,0812 + 0,000279*Argila + 0,0000713*Silte - 0,0457*Ds$	0,037	0,041	0,53
Oliveira et al. (2002)	$\hat{Y}_{-0,033} = 0,000333*Silte + 0,000387*Argila$	0,06	0,07	0,41
	$\hat{Y}_{-1,5} = 0,000038*Areia + 0,000153*Silte + 0,000341*Argila - 0,030861*Ds$	0,026	0,034	0,49
Urach (2007)	$\hat{Y}_{-0,006} = 0,45862 - 0,00167*Areia + 0,00062*Argila - 0,03332*Ds$	0,207	0,204	0,32
	$\hat{Y}_{-0,01} = 0,40971 - 0,00268*Areia - 0,00123*Silte + 0,00084*Ds$	0,129	0,128	0,29
	$\hat{Y}_{-0,033} = 0,34086 - 0,00225*Areia + 0,00055*Argila + 0,03737*Ds$	0,200	0,200	0,38
	$\hat{Y}_{-0,1} = 0,37320 - 0,00285*Areia + 0,03340*Ds$	0,18	0,182	0,31
	$\hat{Y}_{-0,5} = 0,12366 + 0,00090*Argila + 0,10908*Ds$	0,267	0,261	0,11
	$\hat{Y}_{-1,5} = 0,11238 + 0,00087*Argila + 0,08496*Ds$	0,223	0,218	0,11
Masutti (1997)	$\hat{Y}_{-0,033} = (-1,5691 + 0,4289(Argila + Silte)/10)/100$	0,07	0,08	0,23
	$\hat{Y}_{-1,5} = (-0,530482 + 0,301235*Silte/10 + 0,092822*Argila/10)/100$	0,014	0,028	0,06

Onde: ME – erro médio; RMSE – raiz quadrada do erro médio quadrado; R² - coeficiente de determinação; Ds – densidade do solo; Macro – macroporosidade; Micro – microporosidade; AF – areia fina; Si – silte; Arg – argila; Dp – densidade de partícula.

No potencial -1,5MPa ocorreu o inverso, sete FPT subestimaram, enquanto que o modelo proposto por ARRUDA et al. (1987) superestimou os valores. Como no potencial anterior, os coeficientes de determinação foram todos baixos e denotaram a baixa capacidade preditiva das FPT, segundo o autor.

Os modelos propostos por MASUTTI (1997) para solos da Zona da Mata pernambucana e testados para predição do conteúdo de água retido no banco unificado de solos representativos do estado da Paraíba, superestimaram os dados nos potenciais -0,033 MPa ($ME = 0,07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e -1,5 MPa ($ME = 0,014 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Os valores de RMSE também mostraram uma elevada dispersão em torno da reta 1:1, originando R^2 muitos baixos.

A baixa eficiência das FPT propostas por NASCIMENTO et al. (2010) na predição do conteúdo de água retido nos potenciais -0,033 e -1,5 MPa, também foi verificada para o banco de dados unificado. Os valores positivos de ME indicaram superestimativa dos dados e os valores de RMSE mostraram uma dispersão entre os dados preditos e observados em torno da reta 1:1, onde os coeficientes de determinação foram baixos, indicando uma baixa explicação das variações ocorridas nos conteúdos de água retidos pelos modelos.

Constatou-se então, que todos os modelos propostos pela literatura superestimaram ou subestimaram os valores do conteúdo de água retido. OLIVEIRA et al. (2002) também testaram os modelos de ARRUDA et al. (1987), MASUTTI (1997), MENG et al. (1987) e BELL & VAN KEULEN (1995) e concluíram que todas foram de baixa capacidade preditiva quando aplicadas a solos do estado de Pernambuco.

TOMASELLA et al. (1998) infere que a estrutura do solo é determinante para a retenção de água em potenciais matriciais próximos à saturação. As PTF baseadas em parâmetros relacionados apenas nos teores granulométricos não reproduzem bem as formas da curva sob tensões pequenas.

NEBEL (2009) testou a aplicabilidade e o desempenho de sete FPTs pontuais desenvolvidas em distintas regiões (EUA, Nigéria e Brasil), para estimar o conteúdo volumétrico de água no solo nas tensões de -0,01, -0,033 e -1,5MPa em solos do Rio Grande do Sul, sendo duas delas a de TOMASELLA et al. (2000) e URACH (2007) e relatou que ambos superestimaram os valores

de retenção de água, tendo o primeiro modelo superestimado os valores em 3,4 vezes.

Nesse sentido, pode-se constatar também que, além da importância da preservação da estrutura do solo através da utilização de amostras indeformadas, evidenciada pelas correlações encontradas e predominância da microporosidade na maioria dos potenciais matriciais, a abrangência geográfica, principalmente em função das condições edafoclimáticas e características específicas *in situ*, são fundamentais, conforme constatou-se com a utilização dos modelos de MICHELON (2010), OLIVEIRA et al. (2002) e MASUTTI (1997).

COELHO et al. (1998) estimando limites de disponibilidade de água em função da textura e densidade do solo, afirmam que a utilização de amostras deformadas afeta o limite superior de retenção de água, ou seja, os potenciais mais elevados, que são dependentes da estrutura do solo. Segundo os autores, devido a diversidade dos resultados encontrados aliados aos existentes na literatura, tipos de modelos e variáveis independentes envolvidas, os modelos a serem utilizados devem ser baseados em calibrações locais.

Estudando o funcionamento hídrico do solo da região sudeste do estado do Pará através de FPT, MEDEIROS(2012) utilizou nove modelos para solos de clima tropical, dentre eles os de ARRUDA et al. (1987) e OLIVEIRA et al. (2002), e um de clima temperado (VEREECKEN et al. (1989), e concluíram que todos os modelos demonstraram limitada capacidade de aplicação aos solos daquela região.

COSTA (2012) testando e validando funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em solos do estado de Santa Catarina verificou que as FPTs propostas por ARRUDA et al. (1987), MASUTTI (1997), OLIVEIRA et al. (2002) e o modelo simples de REICHERT et al. (2009) tiveram baixos coeficientes de determinação e índices de concordância, um índice de eficiência negativo, um desempenho péssimo e subestimaram as umidades medidas nos potenciais -0,033 e -1,5MPa.

4. CONCLUSÕES

Houve influência positiva dos parâmetros estruturais na acurácia das FPT desenvolvidas para todas as classes de solos estudadas do estado da Paraíba, principalmente nos potenciais matriciais mais elevados (-0,006 e -0,01 MPa).

Apenas no Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ) e nos potenciais matriciais -1,0 e -1,5 MPa as correlações entre teores de MO e a retenção e água foram significativas o suficiente para sua inclusão nas FPT, e nestes a redução em 0,001 unidades dos teores de MO entre as FPT influenciou na acurácia e capacidade preditiva das da PFT_(-1,5 MPa) em relação a FPT_(-1,0 MPa).

A heterogeneidade provocada pela união dos bancos de dados individuais gerados na composição das FPT proporcionou reflexo positivo na melhoria da acurácia e da capacidade preditiva de todas as FPT em todos os potenciais matriciais.

As funções de pedotransferência obtidas da literatura apresentaram baixa capacidade preditiva para as condições edafoclimáticas da Mesorregião do Agreste da Paraíba.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo referente à geração e aplicação de funções de pedotransferência envolve toda complexidade das correlações dos atributos do solo com a retenção de água. Nesse sentido, a qualidade do banco de dados é de fundamental importância para que os erros das estimativas sejam os menores possíveis, refletindo positivamente na capacidade preditiva dessas pedofunções, sendo dependente da finalidade pela qual o banco de dados fora criado, bem como, ao tipo de amostra de solo utilizada e a metodologia empregada na determinação dos atributos componentes do mesmo.

Dessa forma, a formação de um banco de dados heterogêneo, porém uniforme em metodologias e regionalizado, permitiu o desenvolvimento de FPT com boa capacidade preditiva para os solos da Mesorregião do Agreste Paraibano. O aumento do quantitativo de variáveis correlacionadas com a retenção de água (estruturais e texturais) permitiu um melhor ajuste entre os dados observados e preditos, além de melhorias na precisão das estimativas, reforçando a necessidade de quebra de paradigmas para não utilização apenas de parâmetros texturais nas FPT.

Observou-se também que, mesmo sob condições padrões de amostragem de solo e procedimentos metodológicos de determinação dos atributos, as FPT desenvolvidas para condições edafoclimáticas diferentes aos da Mesorregião do Agreste Paraibano não apresentaram capacidade preditiva para retenção de água nos seis solos estudados, reforçando a necessidade do desenvolvimento e validação de novos modelos específicos para cada condição edafoclimática.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARO FILHO, J. **Determinação da condutividade capilar mediante o método do perfil instantâneo**. 1982. 90p. (Dissertação de Mestrado). Areia: UFPB/CCA, 1982.

ANDERSON, J. L.; BOUMA, J. Relationships between saturated hydraulic conductivity and morphometric data of an argillic horizon. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v. 37, n. 3, p. 408-413, 1973.

ARRUDA, F. B.; ZULLO JUNIOR, 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.

ASSAD, M. L. L.; SANS, L. M. A.; ASSAD E. D.; ZULLO JUNIOR, J. Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros. **Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.588-596, 2001.

BARROS, A. H. C.; JONG van LIER, Q. Pedotransfer for Brazilian soils. IN: TEIXEIRA, W. G. et al. Application of soil physics in environmental Analysis: measuring, modelling and data integration. **Progress in soil science**. Switzerland: Springer International Publishing. DOI 10.1007/978-3-319-06013-2_6.p. 131-162, 2014.

BARROS, A. H. C. Desenvolvimento de funções de pedotransferência e sua utilização em modelo agro-hidrológico. 2010. 151p. (Tese de Doutorado).Piracicaba: USP/ESALQ, 2010.

BELL, M.A. & van KEULEN, H. Soil pedotransfer functionsfor four mexican soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 59, p. 865-871, 1995.

BERNARDES, R. S. **Funções de pedotransferência e qualidade física de três solos do norte fluminense para a cultura do coqueiro anão**. 2010. 140p. (Tese de Doutorado).Rio de Janeiro: UENF, 2010.

BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 9, p. 177-213, 1989.

BOUMA, J.; LANEN, H. A. J. **Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities**. In: Beek, K., P. A. Barrough and D. D McCormack (Editors). Proc. WORKSHOP BY ISSS/SSSA ON QUANTIFIED LAND EVALUATION PROCEDURES, ITC publication.6., Enschede. Proceedings... Netherlands, 1987. p.106-111.

BRAGA, F. V. A.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; NUNES, M. S.; PEREIRA, T. S.; ROSSO, R. B. Estimativa do ângulo de atrito interno do solo por meio de regressão linear múltipla. João Pessoa: **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.8, n.4, p.41-45, out. 2014.

BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H.L. The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. Washington DC. United States: Department of Agriculture, Bureau of Plant Industries, 1912. 83p. (**Bulletin n.30**).

BRIGGS, L. J.; McLANE, J. W. **The moisture equivalents of soil**. USDA: Bureau of soils bulletin, 45, Washington DC, 23 p., 1907.

BROOKS, R. H.; COREY, A. Hydraulic properties of porous media. **Hidrology**. Pap. 3. Fort Collins: Colorado State University, 1964. 180p.

COELHO, E.F.; CONCEIÇÃO, 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.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p.99-105, 1990.

COSTA, A. **Retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina: Avaliação e geração de funções de pedotransferência**. 2012. 424p. (Tese de Doutorado). Santa Catarina: UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de Métodos de análise de solos**. 2 Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011, 230 p.

FIDALSKI, J. & TORMENA, C.A. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração em sistemas de manejo com plantas de cobertura permanente em citros. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1316-1322, 2007.

FORSYTHE, W. M. **Física de suelos: manual de laboratorio**. San José: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 212 p., 1975.

HILLEL, D. **Soil and water: Physical principles and processes**. New York: Academic Press, 1972. 288 p.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. Massachusetts: Academic, 1998. 771p.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press. 1980. 413p.

KAISER, D.R. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Centro de Ciências Rurais. **Fundamentos da ciência do solo**. Aulas práticas. Santa Maria, 2010. 112 p.

KLEIN, V. A. **Física do Solo** – Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.

KLEIN, V. A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 1998. 150p. (Tese de Doutorado)Piracicaba: ESALQ,1998.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. A faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo de um perfil de um Latossolo roxo. **Ciência Rural**, v.30, p.959-964, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0103-84782000000600006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt> .Acesso em: 23 jan. 2015.

MAJOU, H. AL. et al. Prediction of soil water retention properties after stratification by combining texture, bulk density and the type of horizon. **Soil Use and Managemen**, v.24, p. 383-391, 2008.

MASSUTI, M. M. **Caracterização da água disponível a partir de parâmetros físico-hídricos em solos da zona da mata do estado de Pernambuco**. 1997. 69f. (Dissertação de Mestrado). Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1997.

MEDEIROS, J. C. **Funções de pedotransferência em estudos do funcionamento hídrico do solo da região sudeste do estado do Pará**. 2012. 121p. (Tese de Doutorado).Piracicaba: USP – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2012.

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

MICHELON, C. J.; CARLESSO, R.; OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E.; PETRY, M. T. MARTINS, J. C. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. Santa Maria: **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 848-853, 2010.

MONTEIRO, A. L. **Caracterização mineralógica de solos representativos do estado da Paraíba**. 139 p. 2010 (Dissertação de Mestrado). Areia: Universidade Federal da Paraíba, 2010.

NASCIMENTO, G.B. **Atributos diferenciais de Latossolos e Argissolos Amarelos: uma contribuição para o SiBCS**. 2005. 143p. (Tese de Doutorado). Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

NASCIMENTO, G. B.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A.; SANTOS, H. G. Funções de pedotransferência do conteúdo de água em Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos. **Ciências Agrárias**, v.5, n.4, p.560-569, out.-dez., 2010.

NEBEL, A. L. C. **Funções de pedotransferência e estrutura de variabilidade espacial da retenção de água em solos de várzea do Rio Grande do Sul**. 2009. 143p. (Tese de Doutorado). Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2009.

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, n.2, p.315-323, 2002.

OLIVEIRA, F.H.T.; LEAL, J.V.; SANTOS, D.J.; FARIAS, D. R.; ARRUDA, J.A. **Banco de solos representativos do Estado da Paraíba**. In: XVI RBMCSA, 2006. Anais. Aracaju, SBCS/UFSE.

OLIVEIRA JUNIOR, J. A. S.; SOUZA, E. S.; CORREA, M. M.; LIMA, J. R. S.; SOUZA, R. M. S.; SILVA FILHO, L. A. Variabilidade espacial de propriedades hidrodinâmicas de um Neossolo Regolítico sob pastagem e caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.6, p.631–639, 2014.

PAIXÃO, F. J. R.; ANDRADE, A. R. S.; AZEVEDO, C. A. V.; LIMA, V. L. A.; DANTAS NETO, J. Uso da aproximação fractal no ajuste da curva de retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.282-288, 2009.

PACHEPSKY, Y.A.; RAWLS, W.J.; TIMLIN, D.J. The status of pedotransferfunctions: their accuracy, reliability, and utility in field—and regional-scale modeling. **American Geophysical Union**. Washington, p. 223-234, 1999.

RAWLS, W.J. et al. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, v.116, n. 1, p. 61-76, 2003.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. Santa Maria: **Tópicos Ciência do Solo**, n.5, p.49-134, 2007.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; URACH, F. L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1547-1560, 2009.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188p.

SALES, E. G. **Impacto das culturas da cana de açúcar e do abacaxi nas propriedades hidrodinâmicas do solo da Bacia do Rio Gramame-PB**. 111p. 2013. (Dissertação de Mestrado). João Pessoa: UFPB/PPGEUA, 2013.

SANTOS, J. C. B.; SOUZA JUNIOR, V. S.; CORRÊA, M. M.; RIBEIRO, M. R.; ALMEIDA, M. C.; BORGES, L. E. P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.36, p.683-695, 2012.

SAXTON, K.E.; RAWLS, W.R. Soil water characteristic estimates by texture and organic Matter for hydrologic solutions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.70, p. 1569-1578, 2006.

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho Amarelo sob chuva simulada. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.5, p.669-678, 2002.

SILVA, A. S.; BRITO, L. T. L.; OLIVEIRA, C. A. V.; MOITA, A. W. Parâmetros de solo em função da umidade na capacidade de campo em áreas irrigáveis do trópico semi-árido brasileiro. Brasília: **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n.1, p. 103-116, 1990.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n.2, p. 313-319, 1997.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p.1-10, 2008.

SILVA, A. S.; SILVA, I. F.; BANDEIRA, L. B.; DIAS, B. O.; SILVA NETO, L. F. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 10, 2014.

SOARES, F. C. **Uso de diferentes metodologias na geração de funções de pedotransferência para a retenção de água em solos do Rio Grande do Sul**. 2013. 200p. (Tese de Doutorado).Santa Maria: UFSM, 2013.

SOLANO PERAZA, J.E.S. **Retenção de água e pedofunções para solos do Rio Grande do Sul**. 2003.118 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; JARAMILLO, R. A.; MACIEL NETTO, A. Caracterização hidrodinâmica de solos: Aplicação do método Beerkan. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.128-135, 2008.

SOUZA, J. M.; BONOMO, R.; PIRES, F. R.; BONOMO, D. Z. Funções de pedotransferência para retenção de água e condutividade hidráulica em solo submetido a subsolagem. Pernambuco: **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.4, p.606-613, 2014.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, n.33, 141-162 p., 1982.

TOMASELLA, J.; HOODNETT, M.G..Estimating unsaturated hydraulic conductivity of Brazilian soils using soil water retention data. **Soil Science**, Baltimore, v. 162, p. 703-712, 1997.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G. & ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in brasilian soils. **Soil Science Society American Journal**, v.64, p.327-338, 2000.

URACH, F. L. **Estimativa de retenção de água em solos para fins de irrigação**. 2007. 81 p. (Dissertação de Mestrado).Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**.n.44, p892-898, 1980.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soil. **Soil Science Society American Journal**, v.32, p.181-193, 1931.

VEREECKEN, H., FEYEN, J.; MAES, J. Estimating the soil moisture retention characteristics from texture, bulk density and carbon content. Baltimore: **Soil Science Society American Journal**. v.148, p.389-403, 1989.

WILLIAMS, J.; PREBBLE, R. E.; WILLIAMS, W. T.M.; HIGGNET, C. T. The influence of texture, structure and and clay mineralogy on the soil moisture characteristics. Aust. **Journal of Soil Research**. n. 21, p. 15-32, 1983.

7. APÊNDICES

Apêndice 1A.Valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferências para o Argissolo Vermelho Distrófico abrupto (PVd).

Variáveis	Banco utilizado para gerar as FPTs			Banco utilizado para validas as FPTs		
	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média
AMG	112	12	67	116	43	81
AG	282	157	205	374	191	243
AME	307	163	220	226	188	210
AF	225	149	188	186	119	163
AMF	60	34	49	50	29	41
AREIA T	800	582	728	853	655	738
SILTE	144	76	101	109	59	81
ARGILA	274	114	171	274	88	181
MO	37,57	26,88	32,74	34,01	31,10	32,37
DS	1,55	1,16	1,44	1,52	1,25	1,39
MICP	0,27	0,16	0,21	0,28	0,18	0,22
MACP	0,28	0,19	0,22	0,26	0,20	0,24
IEA	0,68	0,20	0,42	0,79	0,45	0,60
GFLOC	100	78	89	100	72	88
ADA	52	0	18	37	0	19
DP	2,60	2,51	2,56	2,59	2,54	2,57
$\Theta_{-0,006}$	0,204	0,107	0,146	0,205	0,125	0,156
$\Theta_{-0,01}$	0,182	0,105	0,133	0,185	0,118	0,145
$\Theta_{-0,033}$	0,100	0,056	0,068	0,087	0,054	0,071
$\Theta_{-0,1}$	0,093	0,050	0,062	0,082	0,049	0,066
$\Theta_{-0,3}$	0,090	0,046	0,059	0,082	0,048	0,064
$\Theta_{-0,5}$	0,083	0,039	0,054	0,074	0,041	0,058
$\Theta_{-1,0}$	0,079	0,037	0,051	0,074	0,041	0,056
$\Theta_{-1,5}$	0,075	0,036	0,048	0,072	0,040	0,053

Onde: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AME: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; AREIA T: areia total; MO; matéria orgânica; DS: densidade do solo; MICP: microporosidade; MACP: macroporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados em água; GFLOC: grau de floculação; ADA: argila dispersa em água; DP: densidade de partículas.

Apêndice 2A. Valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferências para o Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto (PVe).

Variáveis	Banco utilizado para gerar as FPTs			Banco utilizado para validar as FPTs		
	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média
AMG	20	13	17	24	15	19
AG	61	44	54	72	43	53
AME	164	110	130	168	92	124
AF	315	233	264	330	198	252
AMF	101	80	88	97	68	81
AREIA T	653	495	552	691	420	528
SILTE	205	97	141	121	88	102
ARGILA	388	222	307	459	221	370
MO	34	25	29	31	27	29
DS	1,57	1,30	1,47	1,49	1,38	1,44
MICP	0,23	0,15	0,18	0,23	0,17	0,20
MACP	0,28	0,22	0,25	0,27	0,21	0,24
IEA	0,98	0,28	0,67	0,98	0,63	0,81
GFLOC	92	70	81	94	80	90
ADA	77	26	54	76	26	36
DP	2,63	2,53	2,59	2,66	2,39	2,58
$\Theta_{-0,006}$	0,153	0,106	0,125	0,154	0,116	0,133
$\Theta_{-0,01}$	0,145	0,106	0,122	0,146	0,112	0,128
$\Theta_{-0,033}$	0,090	0,069	0,077	0,098	0,073	0,083
$\Theta_{-0,1}$	0,082	0,062	0,070	0,082	0,063	0,074
$\Theta_{-0,3}$	0,080	0,059	0,068	0,079	0,062	0,072
$\Theta_{-0,5}$	0,075	0,055	0,064	0,076	0,054	0,066
$\Theta_{-1,0}$	0,073	0,053	0,061	0,074	0,049	0,063
$\Theta_{-1,5}$	0,070	0,048	0,056	0,066	0,044	0,055

Onde: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AME: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; AREIA T: areia total; MO: matéria orgânica; DS: densidade do solo; MICP: microporosidade; MACP: macroporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados em água; GFLOC: grau de floculação; ADA: argila dispersa em água; DP: densidade de partículas.

Apêndice 3A. Valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferências para o Latossolo Amarelo Distrófico argissólico (LA).

Variáveis	Banco utilizado para gerar as FPTs			Banco utilizado para validar as PTs		
	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média
AMG	31	22	25	29	23	25
AG	120	89	105	139	107	119
AME	242	191	219	264	204	229
AF	250	193	222	228	196	211
AMF	58	35	49	64	39	50
AREIA T	666	560	620	667	605	634
SILTE	247	102	185	264	113	194
ARGILA	307	90	194	263	99	172
MO	25,1	18,1	23,1	27,1	22,1	24,2
DS	1,53	1,37	1,44	1,47	1,31	1,39
MICP	0,19	0,14	0,16	0,21	0,16	0,18
MACP	0,35	0,22	0,28	0,34	0,25	0,28
IEA	0,99	0,44	0,66	0,95	0,64	0,83
GFLOC	946	66	595	808	74	500
ADA	51	13	30	51	25	42
DP	2,56	2,46	2,53	2,56	2,52	2,54
$\Theta_{-0,006}$	0,125	0,096	0,110	0,144	0,112	0,126
$\Theta_{-0,01}$	0,073	0,056	0,066	0,089	0,069	0,077
$\Theta_{-0,033}$	0,070	0,056	0,064	0,085	0,068	0,075
$\Theta_{-0,1}$	0,068	0,054	0,061	0,084	0,063	0,070
$\Theta_{-0,3}$	0,066	0,053	0,059	0,081	0,062	0,068
$\Theta_{-0,5}$	0,059	0,045	0,052	0,074	0,054	0,061
$\Theta_{-1,0}$	0,056	0,041	0,048	0,067	0,048	0,054
$\Theta_{-1,5}$	0,053	0,038	0,046	0,063	0,045	0,051

Onde: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AME: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; AREIA T: areia total; MO: matéria orgânica; DS: densidade do solo; MICP: microporosidade; MACP: macroporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados em água; GFLOC: grau de floculação; ADA: argila dispersa em água; DP: densidade de partículas.

Apêndice 4A. Valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferências para o Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ).

Variáveis	Banco utilizado para gerar as FPTs			Banco utilizado para validar as FPTs		
	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média
AMG	14	7	10	18	7	12
AG	118	78	98	130	85	106
AME	269	207	232	257	222	236
AF	306	267	294	303	276	283
AMF	118	88	104	105	82	94
AREIA T	787	692	739	788	693	731
SILTE	165	93	127	197	106	152
ARGILA	190	66	135	161	88	117
MO	35,5	24,7	28,6	30,9	24,7	27,4
DS	1,68	1,52	1,58	1,69	1,51	1,59
MICP	0,10	0,07	0,08	0,10	0,07	0,08
MACP	0,45	0,33	0,37	0,41	0,31	0,36
IEA	0,71	0,15	0,44	0,58	0,19	0,37
GFLOC	85	23	71	77	57	66
ADA	50	23	35	51	23	40
DP	2,64	2,54	2,60	2,63	2,57	2,59
$\theta_{-0,006}$	0,091	0,063	0,076	0,099	0,061	0,076
$\theta_{-0,01}$	0,072	0,046	0,058	0,079	0,044	0,058
$\theta_{-0,033}$	0,037	0,027	0,033	0,049	0,024	0,035
$\theta_{-0,1}$	0,032	0,018	0,025	0,043	0,020	0,029
$\theta_{-0,3}$	0,027	0,015	0,021	0,041	0,016	0,026
$\theta_{-0,5}$	0,025	0,014	0,020	0,037	0,016	0,024
$\theta_{-1,0}$	0,023	0,013	0,018	0,034	0,013	0,022
$\theta_{-1,5}$	0,022	0,012	0,017	0,032	0,013	0,020

Onde: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AME: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; AREIA T: areia total; MO: matéria orgânica; DS: densidade do solo; MICP: microporosidade; MACP: macroporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados em água; GFLOC: grau de floculação; ADA: argila dispersa em água; DP: densidade de partículas.

Apêndice 5A. Valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferências para o Neossolo Litólico Eutrófico típico (RL).

Variáveis	Banco utilizado para gerar as FPTs			Banco utilizado para validar as FPTs		
	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média
AMG	24	13	18	20	13	17
AG	200	92	140	135	103	118
AME	328	213	264	256	223	236
AF	317	254	287	296	268	284
AMF	135	71	100	126	99	111
AREIA T	870	747	809	791	739	766
SILTE	164	67	105	169	98	141
ARGILA	112	40	86	112	80	93
MO	27,5	22,0	24,2	29,0	21,7	24,8
DS	1,70	1,51	1,62	1,68	1,43	1,61
MICP	0,11	0,08	0,09	0,10	0,09	0,10
MACP	0,44	0,32	0,37	0,36	0,30	0,32
IEA	0,70	0,20	0,34	0,62	0,18	0,36
GFLOC	100	43	77	100	68	77
ADA	51	0	22	26	0	21
DP	2,63	2,23	2,45	2,82	2,48	2,62
$\theta_{-0,006}$	0,090	0,070	0,084	0,098	0,081	0,087
$\theta_{-0,01}$	0,080	0,034	0,058	0,077	0,044	0,054
$\theta_{-0,033}$	0,055	0,025	0,041	0,045	0,032	0,038
$\theta_{-0,1}$	0,052	0,022	0,039	0,041	0,027	0,033
$\theta_{-0,3}$	0,050	0,020	0,037	0,039	0,025	0,031
$\theta_{-0,5}$	0,045	0,015	0,031	0,034	0,019	0,025
$\theta_{-1,0}$	0,042	0,013	0,028	0,030	0,017	0,022
$\theta_{-1,5}$	0,040	0,011	0,026	0,028	0,016	0,020

Onde: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AME: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; AREIA T: areia total; MO: matéria orgânica; DS: densidade do solo; MICP: microporosidade; MACP: macroporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados em água; GFLOC: grau de floculação; ADA: argila dispersa em água; DP: densidade de partículas.

Apêndice 6A. Valores máximos, mínimos e médios das variáveis utilizadas para gerar e validar as funções de pedotransferências para o Planosso Háplico Eutrófico vertissólico (SX).

Variáveis	Banco utilizado para gerar as FPTs			Banco utilizado para validar as FPTs		
	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média
AMG	94	48	59	76	40	52
AG	140	87	103	124	88	106
AME	207	126	158	201	134	163
AF	312	170	241	302	193	245
AMF	117	75	95	108	62	90
AREIA T	800	552	656	786	563	656
SILTE	263	93	171	291	86	180
ARGILA	327	79	173	245	76	163
MO	35,5	20,9	27,3	32,7	18,8	26,6
DS	1,77	1,53	1,62	1,69	1,48	1,60
MICP	0,18	0,11	0,13	0,15	0,11	0,13
MACP	0,36	0,23	0,30	0,40	0,26	0,34
IEA	0,89	0,46	0,66	0,99	0,51	0,79
GFLOC	939	68	561	803	71	510
ADA	51	13	30	51	25	42
DP	2,68	2,03	2,48	2,69	2,02	2,45
$\Theta_{-0,006}$	0,113	0,060	0,082	0,103	0,065	0,084
$\Theta_{-0,01}$	0,110	0,059	0,080	0,100	0,063	0,082
$\Theta_{-0,033}$	0,082	0,033	0,058	0,082	0,042	0,063
$\Theta_{-0,1}$	0,066	0,020	0,043	0,068	0,027	0,049
$\Theta_{-0,3}$	0,064	0,018	0,042	0,066	0,025	0,047
$\Theta_{-0,5}$	0,062	0,017	0,040	0,064	0,023	0,045
$\Theta_{-1,0}$	0,060	0,015	0,038	0,062	0,021	0,043
$\Theta_{-1,5}$	0,057	0,012	0,035	0,059	0,018	0,040

Onde: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AME: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; AREIA T: areia total; MO: matéria orgânica; DS: densidade do solo; MICP: microporosidade; MACP: macroporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados em água; GFLOC: grau de floculação; ADA: argila dispersa em água; DP: densidade de partículas.