



## **Estimativa da Umidade Volumétrica Saturada de Solos Brasileiros para Manejo Sustentável de Água na Agricultura**

### **Bruna Correia Teixeira**

Aluna de Mestrado em Engenharia Civil, UPE, Brasil  
bct@poli.br

### **Laís Araújo Moura**

Aluna de Mestrado em Engenharia Civil, UPE, Brasil  
lam2@poli.br

### **Lorena Vila Bela Costa**

Aluna de Mestrado em Engenharia Civil, UPE, Brasil  
lvbc@poli.br

### **Willames de Albuquerque Soares**

Professor Doutor, UPE, Brasil  
was@poli.br

### **Eliana Cristina Barreto Monteiro**

Professora Doutora, UPE, UNICAP, Brasil  
eliana@poli.br

## RESUMO

Funções de Pedotransferência (FPT) são utilizadas para estimar características hidráulicas do solo cuja aferição é laboriosa e implica altos custos, sobretudo em um país de dimensões continentais como o Brasil. Visto que a determinação da umidade volumétrica saturada auxilia no manejo sustentável da água empregada na agricultura, evitando desperdícios, o presente trabalho buscou desenvolver uma nova FPT com o fito de prever essa propriedade para os solos brasileiros, utilizando a base de dados HYBRAS. Foram consideradas 1053 amostras referentes a solos das regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país, cujo banco de dados informa os parâmetros hidráulicos de cada amostra coletada. Empregando-se o método de Regressão Linear Múltipla, a função foi desenvolvida a partir do valor de densidade medido in loco e as frações de areia e argila, tendo sido validada por meio da comparação dos resultados com aqueles obtidos por modelos disponíveis na literatura. Quando comparada com Funções de Pedotransferência existentes, a nova função alcançou comportamento satisfatório, apresentando valores próximos aos ideais para os seguintes parâmetros: Erro Quadrado Médio, Eficiência do Modelo, Coeficiente de Massa Residual e Razão dos Desvios. Deste modo, pode ser aplicada para os diferentes solos existentes no Brasil e presentes no banco de dados utilizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão de recursos hídricos. Função de pedotransferência. HYBRAS.

## 1 INTRODUÇÃO

No setor da agricultura, o conhecimento das propriedades hidrodinâmicas do solo é de extrema importância. Andrade et al. (2020) afirmam que essa é uma área fundamental da Ciência do Solo, já que tem influência sobre a dinâmica da água em todo o processo da produção agrícola. Considerando que esse setor, sustentado pela produção sob irrigação, é o grande consumidor da água no mundo, visto que esse recurso é essencial para o desenvolvimento da agricultura, é mister pensar que administração e controle adequados proporcionarão plantios e colheitas de forma justa e equilibrada (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000).

Neste sentido, o conhecimento sobre a umidade volumétrica saturada tem utilidade para escolha dos cultivos compatíveis com as regiões visadas, sendo parâmetro utilizado na gestão da irrigação, com objetivo de impedir o desperdício de água. Um solo saturado, ou seja, encharcado, não apresenta uma condição favorável para o desenvolvimento de muitas espécies de plantas, já que todos os vazios ficam preenchidos com água, o que limita a oferta essencial de oxigênio para o desenvolvimento das raízes e, com a continuação da irrigação em um terreno nessa condição, toda a água excedente será perdida (LACERDA, 2007; PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000).

Entretanto, segundo Veloso (2021), a determinação de propriedades físicas e hídricas do solo podem exigir ensaios onerosos e trabalhosos, o que impulsiona o desenvolvimento e utilização de Funções de Pedotransferência (FPT). Essas são aplicações matemáticas que estimam propriedades hidrodinâmicas do solo, de difícil obtenção a partir de outros dados mensurados mais facilmente e de maneira mais econômica, como porcentagens de areia, argila e silte. Nas últimas três décadas, as FPT foram mais utilizadas para solos de clima temperado e menos para os de clima tropical. Essa divergência pode ser atribuída à falta de banco de dados em larga escala. No caso do Brasil, deve-se ao fato de ser um país de grande dimensão territorial, com uma extensa variabilidade de tipologias de clima e solo (SOARES; HOLANDA; OLIVEIRA, 2022; COSTA; SOARES, 2019).

Em vista disso, Ottoni et al. (2018) desenvolveram um banco de dados hidrofísicos de solos brasileiros (*Hydrophysical Database for Brazilian Soils - HYBRAS*) destinado ao desenvolvimento de funções de pedotransferência e disponibilizado de forma gratuita. O intuito dos pesquisadores foi fornecer dados para a criação de funções mais adequadas às regiões com condições tropicais, como as encontradas no Brasil.

## 2 OBJETIVOS

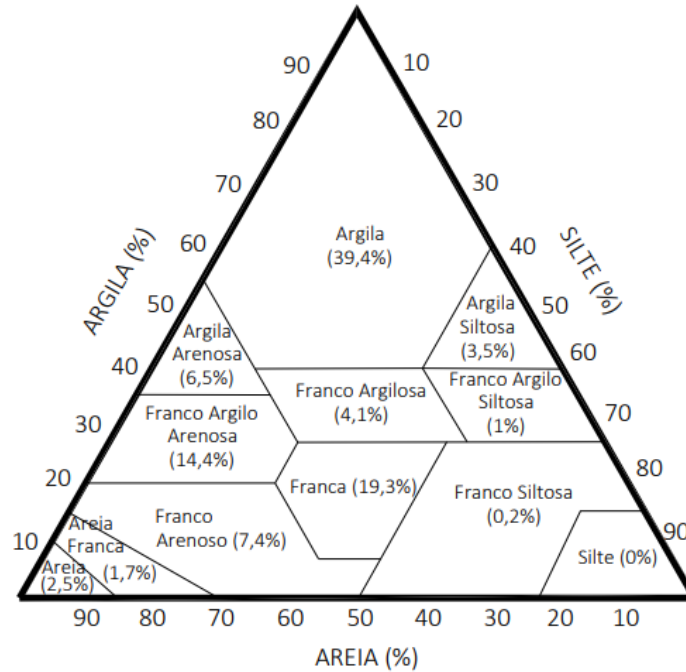
O intuito do presente artigo foi utilizar o banco de dados HYBRAS para o desenvolvimento de uma FPT, na intenção de prever a umidade volumétrica saturada através de regressões lineares múltiplas e comparar a sua performance com outras funções disponíveis na literatura. Com a elaboração dessa nova função, pretende-se fornecer uma ferramenta de auxílio à redução do desperdício de água na agricultura.

## 3 METODOLOGIA

A FPT proposta foi criada com base nos dados das 1075 amostras disponíveis no banco de dados HYBRAS. Esse banco foi elaborado com o objetivo de fornecer informações sobre as características hidráulicas dos solos de 445 locais do país, para modelos de simulação. As tabelas do HYBRAS apresentam informações gerais de cada amostra de solo, como localização e classificação patológica, atributos físicos das amostras, condutividade hidráulica saturada, umidade de saturação, porosidade total, conteúdo volumétrico de água e resultados dos parâmetros da função de Van Genuchten dos solos de 15 estados brasileiros: Rio Grande do Sul (316), São Paulo (183), Rio de Janeiro (115), Goiás (98), Santa Catarina (75), Minas Gerais (61), Amazonas (60), Bahia (56), Pará (55), Maranhão (27), Mato Grosso do Sul (12), Pernambuco (5), Sergipe (5), Ceará (5) e Espírito Santo (2) (OTTONI, 2018).

Destaca-se o grande número de informações disponíveis para as regiões Sul e Sudeste - que totalizam 391 e 363 amostras, respectivamente - quando comparadas com as regiões Nordeste, Centro-Oeste e Norte, que juntas somam 321 amostras. Esse cenário de distribuição ressalta a necessidade de serem realizadas mais pesquisas para a obtenção de dados referentes às três regiões mais próximas da Linha do Equador.

Figura 1 – Triângulo de classificação textural dos dados do HYBRAS



Fonte: Ottoni, 2018

### 3.1 Definição dos Dados

Para determinar o Modelo Proposto (MP) para a umidade volumétrica saturada ( $\theta_s$ ), foram utilizados como base a densidade do solo seco (D) e as frações de argila (Arg), areia (Are) e silte (Sil), de acordo com a covariância e correlação entre eles, expressas nas Tabelas 1 e 2. Desconsiderou-se outros parâmetros disponíveis no HYBRAS, como matéria orgânica, devido à ausência de dados para alguns locais.

Tabela 1 – Covariância entre as variáveis

	Umidade Sat.	Densidade	Areia	Argila	Silte
<b>Umidade Sat.</b>	0,011				
<b>Densidade</b>	-0,025	0,074			
<b>Areia</b>	-0,015	0,032	0,045		
<b>Argila</b>	0,014	-0,031	-0,033	0,040	
<b>Silte</b>	0,001	-0,001	-0,012	-0,007	0,019

Fonte: autores

Tabela 2 – Correlação entre as variáveis

	Umidade Sat.	Densidade	Areia	Argila	Silte
Umidade Sat.	1				
Densidade	-0,861	1			
Areia	-0,645	0,557	1		
Argila	0,636	-0,572	-0,780	1	
Silte	0,076	-0,033	-0,417	-0,243	1

Fonte: autores

Selecionados esses parâmetros, testes foram executados a partir do estabelecimento de combinações entre cada um, aplicando-se o método da Regressão Linear Múltipla, a fim de definir a FTP mais eficiente.

Para isso, no entanto, das 1075, 10 amostras foram desprezadas por apresentarem valor igual a zero para uma das variáveis estipuladas (observações 259, 262, 263, 265, 316, 315, 325, 331 e 332) e outras 12 foram excluídas por não possuírem dados referentes à densidade (observações 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 317 e 330). Assim, utilizou-se 1053 amostras do conjunto de dados total, das quais 842 (80%), definidas aleatoriamente, foram empregues para a construção do modelo e outras 211 (equivalentes a 20%), para a sua validação.

O modelo mais significativo foi estabelecido, a priori, em virtude do valor-p das variáveis consideradas, do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado) e do erro padrão da regressão. O valor-p precisava estar abaixo do nível de significância  $\alpha = 0,05$ , o  $R^2$  ajustado deveria ser o mais próximo de 1 (ou 100%) e o erro padrão, por sua vez, o mais próximo de 0.

### 3.2 Validação do Modelo

Esta etapa consistiu na comparação entre os valores de umidade saturada obtidos para o Modelo Proposto e para os modelos produzidos por Vereecken et al. (1989), Ghorbani e Homae (2004), Barros et al. (2013), Costa e Soares (2019) e Soares, Holanda e Oliveira (2022), cujas equações fazem uso dos mesmos parâmetros escolhidos para o MP e estão descritas a seguir.

#### 3.2.1 Modelo de Vereecken et al. (VE)

Desenvolvida por Vereecken, Maes, Feyen e Darius, esta FTP foi estipulada para 40 séries de solos belgas, considerando a densidade aparente dos solos ( $g/cm^3$ ) e a porcentagem de argila. (VEREECKEN et al., 1989).

$$\theta_s = 0,81 - 0,283 D + 0,001 \text{ Arg} \quad \text{Eq. 1}$$

### 3.2.2 Modelo Ghorbani e Homae (GH)

A FTP de Ghorbani e Homae considera a porcentagem de areia e a densidade aparente (g.cm-3) e toma como base dados de 34 amostras de solos europeus, definidas aleatoriamente (GHORBANI; HORMAEE, 2004).

$$\theta_s = 0,933 - 0,000707 \text{ Are} - 0,311 D \quad \text{Eq. 2}$$

### 3.2.3 Barros et al. (BR)

A função de pedotransferência definida por Barros et al. (2013) resulta do estudo de 786 amostras de solos da Região Nordeste brasileira, dos quais 85% foram utilizados para estimar a FTP e 15% para sua validação, considerando as porcentagens de areia e argila.

$$\theta_s = 0,5526 - 0,2320 \text{ Are} - 0,1178 \text{ Arg} \quad \text{Eq. 3}$$

### 3.2.4 Costa e Soares (CS)

Costa e Soares (2019) produziram a FTP a seguir para 83 amostras de solos brasileiros, admitindo as porcentagens de argila e areia e o valor de densidade (g/cm3).

$$\theta_s = -0,00115 \text{ Arg} - 0,31209 D^2 + 0,990718 D - 0,00158 \text{ DAre} \quad \text{Eq. 4}$$

### 3.2.5 Soares, Holanda e Oliveira (SHO LI / SHO NL)

O modelo foi elaborado a partir das 1075 amostras do conjunto de dados HYBRAS e os autores desenvolveram uma função linear (Eq. 5) e uma não-linear (Eq. 6), para estimar a umidade saturada de solos brasileiros.

$$\text{SHO LI: } \theta_s = 0,6857 \text{ Arg} + 0,2561 \text{ Are} + 0,0987 D \quad \text{Eq. 5}$$

$$\text{SHO NL: } \theta_s = 0,8544 \text{ Arg} - 0,6613 \text{ Arg}^2 + 0,0034 \text{ Arg}^{-1} - 0,3815 \text{ ArgAre} + 0,2533 D - 0,0790 D^2 + 0,1669 D^{-1} - 0,3245 \text{ DAre} \quad \text{Eq. 6}$$

Efetuada o cálculo da umidade saturada a partir do Modelo Proposto e dos modelos utilizados para comparativo, alguns parâmetros estatísticos foram calculados visando atestar a capacidade de predição do MP em relação aos demais, sendo eles: erro absoluto, Erro Quadrado Médio (EQM), Eficiência do Modelo (EM), Coeficiente de Massa Residual (CMR) e Razão dos Desvios (RD) (Eq. 7 a 11). Os cinco últimos têm como valores de referência, respectivamente: 0, 0, 1, 0 e 1.

Onde: "Ti" são os valores calculados, "Mi" os valores medidos, "M" a média dos valores medidos e "N" o total de observações.

$$|\text{erro}| = \sqrt{(M_i - T_i)^2} \quad \text{Eq. 7}$$

$$\text{EQM} = \frac{100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_i - M_i)^2}{N}}}{\bar{M}} \quad \text{Eq. 8}$$

$$\text{EM} = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2 - \sum_{i=1}^N (T_i - \bar{M})^2}{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2} \quad \text{Eq. 9}$$

$$\text{CMR} = \frac{\sum_{i=1}^N M_i - \sum_{i=1}^N T_i}{\sum_{i=1}^N M_i} \quad \text{Eq. 10}$$

$$\text{RD} = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}{\sum_{i=1}^N (T_i - \bar{M})^2} \quad \text{Eq. 11}$$

De posse dos resultados, cada modelo foi classificado do 1º ao 7º lugar, de acordo com a maior ou menor proximidade dos valores obtidos em relação aos de referência. A pontuação final corresponde à soma das posições conquistadas para cada parâmetro.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Modelo Proposto

Os testes executados para a escolha da função mais adequada para a predição da umidade saturada, e para os quais as etapas de validação foram feitas, estão resumidos na Tabela 3, a seguir. Nela, constam o R<sup>2</sup> ajustado e o erro padrão de cada regressão, bem como a função resultante e a numeração do teste de acordo com a ordem em que foi efetuado.

Tabela 3 – Resumo dos resultados encontrados para os testes mais significativos para o Modelo Proposto

TESTE	R <sup>2</sup> ajustado	Erro padrão	Função
1	0,7840	0,0497	$\theta_s = 0,8914 - 0,2783D - 0,0894 \text{ Are} + 0,0480 \text{ Arg}$
2	0,7920	0,0488	$\theta_s = 0,8049 - 0,2113D + 0,1703 \text{ Are} + 0,0486 \text{ Arg} - 0,1883 \text{ DAre}$
3	0,8010	0,0476	$\theta_s = 1,0427 - 0,3807D - 0,0993 \text{ Are} - 0,3504 \text{ Arg} + 0,2952 \text{ DArg}$
4	0,7850	0,0495	$\theta_s = 1,0142 - 0,2407D - 0,2681 \text{ Are} - 0,1231 \text{ Arg} - 0,1264 \text{ DSil}$
5	0,8020	0,0475	$\theta_s = 1,1031 - 0,4888D - 0,0963 \text{ Are} - 0,3641 \text{ Arg} + 0,3156 \text{ DArg} + 0,0419 D^2$
10	0,7810	0,0499	$\theta_s = 0,9357 - 0,4176D + 0,1029 \text{ DArg} + 0,0402 D^2$
12	0,7890	0,0491	$\theta_s = 0,8970 - 0,2938D - 0,0737 \text{ Are} + 0,0564 \text{ DArg}$
14	0,7940	0,0485	$\theta_s = 1,0027 + 0,2171 \text{ Are} + 0,0655 \text{ Arg} - 0,2196 \text{ DAre} - 0,4248 \sqrt{D}$
15	0,9459	0,1144	$\theta_s = 0,0737 D + 0,2612 \text{ Are} + 0,7220 \text{ Arg}$
16	0,9722	0,0811	$\theta_s = 0,2641 D + 1,5686 \text{ Are} + 0,3471 \text{ Arg} - 1,0906 \text{ DAre}$
17	0,9662	0,0898	$\theta_s = 0,2080 D + 0,1050 \text{ Are} + 1,6156 \text{ Arg} - 0,9291 \text{ DArg}$
18	0,7916	0,0488	$\theta_s = -1,4247 - 4,2018D - 0,3963 \text{ Arg} + 0,3883 \text{ DArg} + 0,1457D - 1 + 5,5641 \sqrt{D} + 0,5363 D^2$
19	0,8043	0,0473	$\theta_s = 0,4256 - 2,0107D - 0,0946 \text{ Are} - 0,4628 \text{ Arg} + 0,3867 \text{ DArg} + 1,9872 \sqrt{D} + 0,2735 D^2$
20	0,9897	0,0473	$\theta_s = -2,93771 D - 0,09301 \text{ Are} - 0,42419 \text{ Arg} + 42419 \text{ DArg} + 3,21081 \sqrt{D} + 0,41320 D^2$

Fonte: autores

Verificadas todas as equações descritas acima e considerando aquela com maior R<sup>2</sup> ajustado e menor erro e valor-p inferior a 0,05 para todas as variáveis, adotou-se como Modelo Proposto a função resultante do teste número 20, como mostra a Eq. 12.

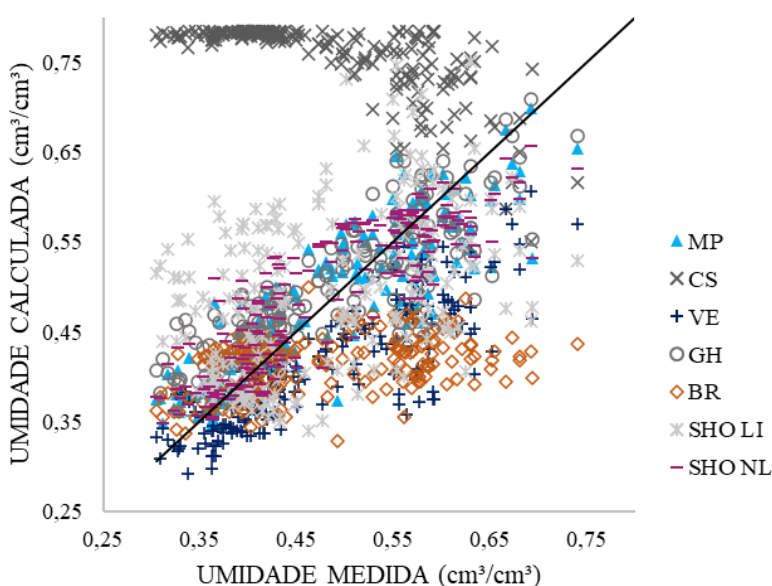
$$\theta_s = -2,93771 D - 0,09301 \text{ Are} - 0,51488 \text{ Arg} + 0,42419 \text{ DArg} + 3,21081 D + 0,41320 D^2 \quad \text{Eq. 12}$$

O gráfico Umidade Volumétrica Medida x Umidade Volumétrica Calculada (Figura 2) demonstra que os resultados obtidos pelo Modelo Proposto, representado pelo triângulo azul,



e pelo Modelo SHO NL, representado pelo traço de cor magenta, estão mais próximos à linha de tendência, o que indica uma melhor acurácia na determinação da umidade volumétrica saturada a partir dos dados fornecidos, utilizando-se as equações propostas pelos dois modelos. No que diz respeito à função linear de Soares, Holanda e Oliveira (2022), nota-se maior dispersão dos dados quando comparada a MP, VE, GH, BR e SHO NL. Já o comportamento mais discrepante é atribuído ao Modelo CS, cujos resultados permaneceram muito distantes da linha de tendência em comparação aos resultados dos outros seis modelos estudados.

Figura 2 – Umidade Volumétrica Medida x Umidade Volumétrica Calculada pelas FTPs



Fonte: autores

Comparando os erros absolutos para cada modelo – e considerando o intervalo de erro variando entre 0,01 e 0,5 – a Tabela 4, disposta a seguir, mostra a porcentagem de erros inferiores aos especificados, para cada função utilizada.

Tabela 4 – Porcentagem de erros absolutos inferiores ao intervalo estabelecido

Erro (e)	MP	VE	GH	BR	CS	SHO LI	SHO NL
$e \leq 0,5$	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
$e \leq 0,3$	100,00%	100,00%	100,00%	98,58%	47,87%	99,05%	100,00%
$e \leq 0,2$	100,00%	96,21%	100,00%	91,47%	29,38%	93,84%	100,00%
$e \leq 0,1$	95,73%	74,41%	92,89%	63,03%	7,11%	63,03%	94,79%
$e \leq 0,05$	72,51%	45,50%	63,51%	41,71%	2,84%	38,39%	65,40%
$e \leq 0,01$	21,80%	6,16%	9,48%	12,32%	0,47%	7,11%	19,91%

Fonte: autores

Analisando a Tabela 4, é possível perceber que tanto a função obtida para o Modelo Proposto quanto aos modelos de GH e SHO NL tiveram 100% dos erros inferiores a 0,2. Entretanto, para os demais valores, o MP mostrou desempenho melhor que os outros, tendo como maior erro igual a  $0,1615 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ .

Para o modelo proposto, nas 46 observações cujos erros foram menores que 0,01, houve predominância de planossolos francos. 107 observações tiveram erros entre 0,01 e 0,05, das quais 29 delas correspondem a latossolos de textura argilosa, argilo-arenosa e franco-argilo arenosa, 22 a planossolos de texturas de frações equivalentes e 21 a argissolos de textura argilosa. Das 49 amostras com erros entre 0,05 e 0,1, 29 são constituídas por latossolos de textura argilosa, argilo-arenosa e franco-argilo arenosa. Entre as 9 observações cujos erros foram maiores que 0,1, houve predominância de latossolos de textura argilosa. A concentração dos menores erros estava no estado do Rio Grande do Sul, enquanto que os maiores erros pertenciam a amostras do estado de São Paulo.

Os resultados para os parâmetros EQM, EM, CMR e RD estão discriminados na Tabela 5. Em dois dos quatro, EQM e CMR, o Modelo Proposto possui respostas mais próximas às referências, novamente, seguido pelo SHO NL.

Tabela 5 – Valores obtidos de EQM, EM, CMR e RD para as funções analisadas

	MP	VE	GH	BR	CS	SHOLI	SHO NL
<b>EQM</b>	1,95	1,97	1,95	1,98	2,02	1,98	1,95
<b>EM</b>	0,97	0,96	0,97	0,98	0,68	0,97	0,97
<b>CMR</b>	0,00	0,14	-0,03	0,14	-0,56	-0,03	-0,02
<b>RD</b>	31,65	25,06	39,56	-0,03	3,16	29,72	34,43

Fonte: autores

A análise da eficiência do modelo é finalizada com a montagem do ranking, tendo em conta os resultados da Tabela 5. A partir da análise da Tabela 6, a seguir, é possível verificar que a Função de Pedotransferência desenvolvida neste trabalho obteve menos pontos, o que significa que atingiu colocação melhor na maioria dos parâmetros e, portanto, é capaz de estimar com segurança a umidade saturada para os solos brasileiros.

Tabela 6 – Classificação dos modelos em função de EQM, EM, CMR e RD

	MP	VE	GH	BR	CS	SHOLI	SHONL
<b>EQM</b>	1º =	4º	1º =	5º =	7º	5º =	1º =
<b>EM</b>	3º =	2º	3º =	7º	1º	3º =	3º =
<b>CMR</b>	1º	5º =	3º =	5º =	7º	3º =	2º
<b>RD</b>	5º	3º	7º	1º	2º	4º	6º
<b>Soma</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>12</b>
<b>Resultado</b>	<b>1º</b>	<b>3º</b>	<b>3º</b>	<b>6º</b>	<b>5º</b>	<b>4º</b>	<b>2º</b>

O sinal (=) foi utilizado para indicar equações que apresentaram pontuações iguais para os parâmetros calculados.  
Fonte: autores

## 5 CONCLUSÃO

As Funções de Pedotransferências visam estimar propriedades hidráulicas dos solos que costumam ser de difícil medição ou que demandam grandes investimentos financeiros para serem coletadas. Em um país como o Brasil, de grande extensão territorial, o desenvolvimento de novas funções para obtenção de informações sobre essas características, se torna imprescindível para que seja possível uma redução de custo e de tempo no levantamento desses dados. Além disso, quando empregada para determinar a umidade volumétrica saturada dos solos utilizados no plantio, essas funções auxiliam em uma melhor gestão dos recursos hídricos dispensados para essa prática, uma vez que o conhecimento sobre esse parâmetro hidráulico permite, por exemplo, escolher de maneira assertiva a melhor espécie a ser plantada. Evitando o desperdício de água e a inutilização do solo para a lavoura, o desenvolvimento de uma FTP eficiente promove, também, uma agricultura sustentável.

A partir de três características do solo (densidade do solo e frações de areia e argila) obtidas por meio do banco de dados do HYBRAS, foi possível desenvolver uma função que, quando comparada a seis equações existentes na literatura, apresentou um desempenho superior, tendo o valor de 0,162 como o maior erro entre o valor simulado e o valor medido. Dessa maneira, a função de pedotransferência proposta se mostra eficaz para estimar o valor da umidade saturada a partir dos componentes do solo.

## 6 AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Brasil - Funding Code 001.

## 7 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. H. N. et al. Atributos físico-hídricos do solo via funções de pedotransferência em solos dos tabuleiros costeiros de Pernambuco. **Irriga**, v. 25, n. 1, p. 69-86, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n1p69-86>> Acesso em: 18 mai. 2022.
- BARROS, A. H. C.; LIER Q. J. V.; MAIA, A. H. N.; SCARPARE, F. V. Pedotransfer functions to estimate water retention parameters of soils in northeastern. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p.379-391, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000200009>> Acesso em: 26 mai. 2022.
- COSTA, L. V. B.; SOARES, W. A. Desenvolvimento de uma Função Hidropedológica para umidade volumétrica saturada de solos brasileiros. 2019. **Holos Environment**. v.19, n. 2, p. 191-204. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14295/holos.v19i2.12304>> Acesso em: 26 mai. 2022.
- GHORBANI, S.; D.; HOMAEI, M. Using geometric mean particle diameter to derive point and continuous pedotransfer functions. In: Nicole Whrle and Maik Scheurer (eds.), 2004, Freiburg. **Anais [...]**. Freiburg: EuroSoil, 2004. p. 1-10.
- LACERDA, C. F. **Relações solo-água-plantas em ambientes naturais e agrícolas do nordeste brasileiro**. Recife: Universidade Rural de Pernambuco, 2007. 78p.
- OTTONI, M. V.; OTTONI FILHO, T. B.; SCHAAP, M. G.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C.; ROTUNNO FILHO, O. C. Hydrophysical database for Brazilian soils (HYBRAS) and pedotransfer functions for water retention. **Vadose Zone Journal**, v. 17, p. 2-17, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.2136/vzj2017.05.0095>> Acesso em: 23 mai. 2022.
- OTTONI, M. V. **HYBRAS hydrophysical database for Brazilian soils: banco de dados hidrofísicos em solos no Brasil para o desenvolvimento de funções de pedotransferências de propriedades hidráulicas: versão 1.0: relatório**. 2018. Marta Vasconcelos Ottoni (org.). Rio de Janeiro: CPRM, 2018, 27 p. Disponível em: <[https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/19021/4/manual\\_do\\_hybras.pdf](https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/19021/4/manual_do_hybras.pdf)> Acesso em: 23 mai. 2022.
- PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.465-473, 2000.
- SOARES, W. A.; HOLANDA, M. A. C. R. de; OLIVEIRA, D. B. C. de. Development of pedotransfer functions for Brazilian Soils. **Conjecturas**, v. 22, n. 1, p. 1474-1488, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.53660/CONJ-590-301>> Acesso em: 01 jun. 2022.
- VELOSO, Mariana Faria. **Desenvolvimento de funções de pedotransferência para estimativa de propriedades físico-hídricas do solo do bioma cerrado**. Viçosa - MG, 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 2021.
- VERECKEN, H.; FEYEN, J.; MAES, J.; DARIUS, P. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density, and carbon content. **Soil Science**, v. 148, n. 6, p. 389-403, 1989. Disponível em: <<https://doi.org/10.1097/00010694-198912000-00001>> Acesso em: 25 mai. 2022.