

## CONSIDERAÇÃO DAS SUCCÕES MATRICIAL E TOTAL NA DEFINIÇÃO DAS CURVAS CARACTERÍSTICA DE UM PERFIL DE SOLO TROPICAL INTEMPERIZADO

**Fernando Carolino da Silva**

Engenheiro Civil

fernandocarolinodasilva@hotmail.com

**Renato Marques Cabral**

Engenheiro Civil de Furnas Centrais Elétricas S.A., Professor da Universidade Estadual de Goiás

renatocg@furnas.com.br

**José Camapum de Carvalho**

Professor/Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília

camapumdecarvalho@gmail.com

**Manoel Porfirio Cordão Neto**

Professor/Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília

porfirio@unb.br

**Sabrina Marques Cabral**

Acadêmica do Programa do GECON, Universidade Federal de Goiás

sabrinamarques02@hotmail.com

**Resumo.** *A curva característica tem sido utilizada como elemento-chave na análise do comportamento hidromecânico dos solos não saturados. Desde que definida adequadamente, a curva característica pode ser uma ferramenta muito útil nas análises de questões práticas de engenharia tais como estabilidades de taludes, desempenho de estruturas de pavimento e capacidade de carga de fundações interagindo com solos não saturados. Este artigo discute a forma de se integrar os dados obtidos para as succões total e mátrica na construção das curvas características. As amostras de solos utilizadas foram coletadas no Campo Experimental do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília – PPGG/UnB.*

**Palavras-chave:** *Investigação Geotécnica, Perfil de Intemperismo Tropical, Estrutura.*

### 1. INTRODUÇÃO

Os conceitos da Mecânica dos Solos Não Saturados vêm desempenhando um importante papel na compreensão do comportamento hidráulico e mecânico de solos cujas características não se enquadram nas condições impostas pela Mecânica dos Solos Clássica com abordagem voltada apenas para os solos saturados.

Obras geotécnicas como estruturas de pavimentos, aterros, barragens de terra e estruturas de contenção são constantemente projetadas utilizando os conceitos e parâmetros definidos para os solos saturados, o que frequentemente conduz a custos mais elevados de execução e possibilidade de problemas posteriores.

Por este motivo, diversas pesquisas estão sendo realizadas para que os parâmetros geotécnicos e geoambientais necessários para

projetos de engenharia possam ser determinados considerando-se as teorias aplicadas aos solos não saturados (QUEIROZ, 2015).

Uma das características mais importantes dos solos tropicais é a influência do intemperismo que reflete diretamente no comportamento hidromecânico do solo e intervém modificando as feições herdadas da rocha de origem. As propriedades e comportamentos desses solos são influenciados pelas propriedades químicas e mineralógicas associadas à estrutura desenvolvida no processo de intemperização.

Os solos profundamente intemperizados, solos lateríticos, são constituídos predominantemente por agregados contendo microporos em seus interiores e proporcionando a presença de macroporos entre eles. Ao se reduzir a intemperização com o aumento da profundidade se fazem presentes as camadas de transição constituídas por porções profundamente intemperizadas e porções pouco intemperizadas o que lhes confere características de significativa heterogeneidade de propriedades e comportamento. Ao se atingir o manto pouco intemperizado a estrutura agregada dá lugar pacotes de argila, minerais primários e feição estrutural que guarda relação com a rocha de origem (GUIMARÃES et al. 2017).

A forma como o solo administra a presença de água em seu interior pode ser representada pela curva característica. As características de retenção de água no solo podem ser descritas através da relação entre a sucção e a quantidade de água armazenada no solo, seja representada pelas umidades gravimétrica ou volumétrica ou pelo grau de saturação. Esta relação é conhecida como Curva de Retenção de Água ou Curva Característica (GITIRANA JUNIOR et al., 2015).

A medição de propriedades de solos não saturados exige o emprego de técnicas para

medição e controle da sucção, sempre com objetivo de determinar parâmetros para análise e/ou previsão do comportamento do material. Segundo Marinho et al. (2015) é importante compreender a diferença entre processos de medição e imposição de sucção, tipo de sucção medida e tempo de resposta de cada técnica ou sensor utilizado. Além disso, o mesmo autor cita que a natureza do mecanismo de interação entre o sensor empregado e a água do solo possui grande influência na forma de interpretação dos resultados obtidos.

Duas maneiras são utilizadas quando se deseja medir a sucção no solo (CAMAPUM DE CARVALHO E MURRIETA, 1995):

- Direta: quando se mede diretamente a sucção no solo. Instrumentos de medição direta medem a quantidade de energia da água nos poros;
- Indireta: quando se chega a valores de sucção utilizando algum parâmetro ou propriedade do solo. Na medição indireta, parâmetro como umidade relativa, resistividade e condutividade são medidos e estes são relacionados com a sucção atuante através de uma calibração.

A metodologia do papel filtro baseia-se no princípio de absorção e equilíbrio existente quando um solo é colocado em contato com um material poroso que possua capacidade de absorver água, a mesma irá passar do solo para o material poroso (papel filtro) até que o equilíbrio seja alcançado (MARINHO et al., 2015).

O WP4C Dewpoint Potenciameter é um equipamento utilizado para medir o potencial de água (sucção) de forma rápida e precisa.

A técnica do papel filtro permite a determinação da sucção matricial e sucção total (sucção matricial mais a sucção osmótica). Já a técnica do WP4C realiza a determinação apenas da sucção total.

O objetivo deste artigo é analisar de modo integrado os resultados de sucção matricial e

total obtidos pela técnica do papel filtro e a sucção total obtida por meio do WP4C para solos apresentando diferentes níveis de intemperização. Serão analisados resultados obtidos a dois níveis de intemperização em um perfil de solo tropical: solo profundamente intemperizado (4 m e 8 m) e solo saprolítico (12 m). Cabe salientar que a profundidade de 8 m no perfil de solo estudado é limítrofe com a zona de transição.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Características do Solo

O local onde foram coletadas as amostras para os ensaios desta pesquisa é o Campo Experimental do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília, que se situa no Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte – Brasília – DF.

A Figura 1 apresenta o perfil geotécnico representativo desse local, com os valores de resistência à penetração (SPT).

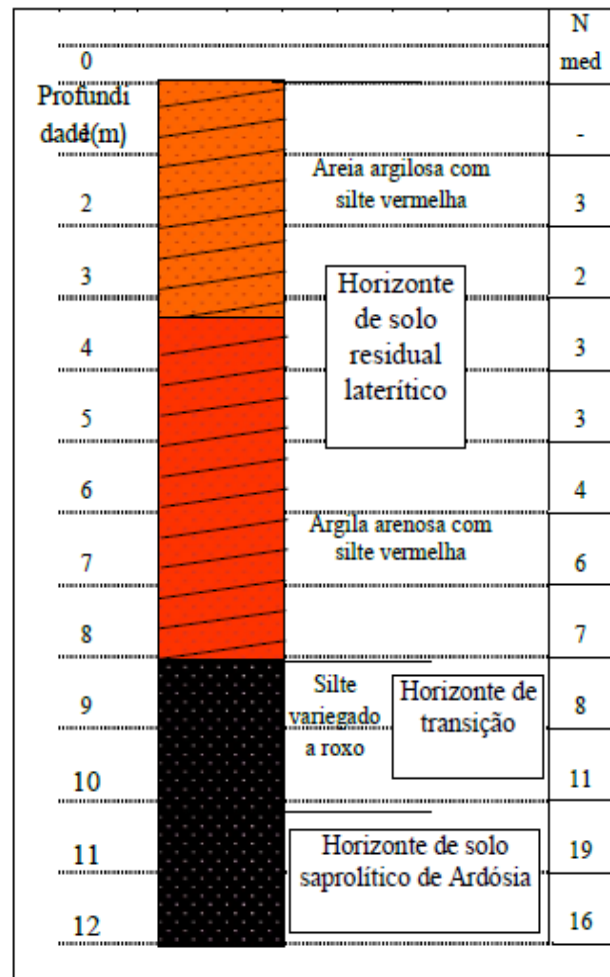


Figura 1. Perfil de Solo do Campo Experimental da UnB (modificado - GUIMARÃES e CAMAPUM DE CARVALHO, 2003).

Os ensaios foram realizados com o solo residual coletado no Campo Experimental do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília (UnB). Foram coletadas amostras indeformadas para se evitar variações das características estruturais do solo procedentes da manipulação e amostras deformadas que foram utilizadas nos ensaios de caracterização física.

Para a coleta das amostras realizou-se um poço com 12 m de profundidade e 1,2 m de diâmetro, escavado de acordo com a norma ABNT NBR 9604 (2016). Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas nas profundidades descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Relação das Amostras Utilizadas (SILVA, 2017).

Tipo	Profundidade (m)	Classificação Tátil Visual
Deformada e	(1,7 a 2,0)	Areia argilosa vermelha
	(3,7 a 4,0)	Areia argilosa vermelha
	(5,7 a 6,0)	Argila arenosa vermelha
Indeformada	(7,7 a 8,0)	Argila arenosa vermelha
	(9,7 a 10,0)	Silte variegado
	(11,7 a 12,0)	Silte variegado

Lopera (2016) ao retirar amostras do Campo Experimental da UnB relata que ao longo do poço de amostragem escavado observou-se um solo tropical, solo laterítico, com nível de intemperismo variando de alto até médio até a profundidade de 8 metros. Em seguida tem-se o horizonte de transição, e posteriormente o solo saprolítico, pouco intemperizado, que se inicia aproximadamente a 10 m de profundidade. Afirma ainda, que a aparência do solo encontrado corresponde a de um solo tropical, com cor vermelha e alta porosidade até a profundidade de 8 m. Entre 8 m e 10 m de profundidade o solo passa a apresentar uma cor variegada e a partir de 10 m de profundidade o solo apresenta uma cor roxa passando à condição de solo saprolítico fino.

## 2.2 Papel Filtro

A técnica consiste na utilização de papel filtro do tipo quantitativo como instrumento de medida para a quantificação indireta da sucção matricial e total atuante no solo.

Fredlund e Rahardjo (1993) descrevem que o teor de umidade do papel filtro corresponde a um valor de sucção. Em princípio, o teor de umidade do papel filtro ao entrar em equilíbrio com a umidade do solo corresponde à sucção matricial do solo quando o papel é colocado em contato com a água presente no solo. Nesse caso, o fluxo capilar ocorre do solo diretamente para o papel filtro sem que a água perca continuidade, havendo

uma interação entre o papel filtro e a água dos poros do solo.

Já o teor de água do papel filtro em equilíbrio com a umidade do solo por meio da atmosfera, ou seja, sem que haja um contato direto entre o solo e o papel filtro, corresponde à sucção total do solo, isto é, incorpora as forças osmóticas e capilares que retêm as moléculas de água no solo.

Como as sucções determinadas indiretamente para o solo se dão a partir das sucções atuantes no papel filtro, faz-se necessário conhecer a sua calibração e como a umidade do papel filtro se relaciona com a sucção nele atuante, a mesma curva de calibração é usada tanto para as determinações da sucção matricial quanto da sucção total (FREDLUND E RAHARDJO, 1993). A Figura 2 ilustra os tipos de fluxo do solo para o papel filtro sendo estes em contato e sem contato com solo para medição da sucção matricial e total, respectivamente.

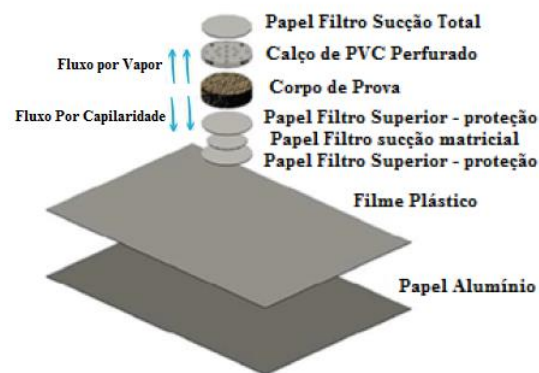


Figura 2. Tipos de Fluxo do Solo para o Papel Filtro (modificado de ROCHA, 2013).

Dentre as vantagens apresentadas por essa técnica, Marinho e Pereira (1998) destacam a possibilidade de medição de sucção dos solos até cerca de 30000 kPa. Esta técnica oferece versatilidade, economia e precisão similar ou superior a outros métodos convencionais além da simplicidade de execução, além da possibilidade de se obter a sucção osmótica pela diferença entre a sucção total e matricial.

Entre as desvantagens apresentadas por essa técnica tem-se a necessidade de um manuseio delicado do papel e uma precisão na pesagem em balanças de alta precisão. Outra desvantagem está relacionada com o tempo de resposta do papel filtro que pode atingir 30 dias, a depender do solo e da sucção nele atuante.

A determinação da curva característica pelo método do papel filtro foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Marinho (1995).

Para a determinação da curva característica pela técnica do papel filtro, utilizou-se o método da trajetória mista. Tal método consiste na adição de água aos corpos de prova previstos para apresentarem maior umidade que a do solo em seu estado natural e secagem dos corpos de prova previstos para apresentarem umidades inferiores à do solo natural.

Utilizando a técnica do papel filtro é possível realizar tanto a medição da sucção matricial como da sucção total na mesma amostra de solo, e com isso determinar por diferença, também a sucção osmótica.

Para a medição de sucção matricial foram colocados três papéis filtro sobrepostos em contato com a superfície da amostra. O papel filtro de contato é desprezado devido a possibilidade de sua contaminação, o papel filtro do meio com diâmetro um pouco inferior ao de contato é pesado e usado na determinação da sucção e o papel filtro externo é usado para assegurar o equilíbrio, podendo ser igualmente pesado.

Para medição da sucção total, é colocado um espaçador de PVC que garanta a troca de umidade entre o solo e o papel filtro apenas pelo fluxo de vapor, sem permitir o contato da água entre ambos. O espaçador deve ser um material não absorvente, que deixe passar livremente o vapor e não sofra oxidação (MARINHO et al., 2015). O espaçador que foi utilizado foi confeccionado com PVC e

mantem uma distância de cerca de 8 mm entre a amostra e o papel filtro.

Envolveu-se as amostras com duas camadas do filme plástico e depois mais duas camadas de papel alumínio. Posteriormente as amostras foram identificadas e colocadas em uma caixa de isopor, que permaneceu lacrada por 15 dias (tempo adotado como de equilíbrio).

Após esse tempo, determinou-se as umidades dos papéis filtro (wp) e obteve-se as sucções matricial e total de cada corpo de prova, utilizando as Equações 1 (umidade do papel filtro maior que 47%) e 2 (umidade do papel filtro menor ou igual que 47%), propostas por Chandler et al. (1992):

$$\text{Sucção (kPa)} = 10^{(6,05-2,48*\log wp)} \quad (1)$$

$$\text{Sucção (kPa)} = 10^{(4,84-0,0622*\log wp)} \quad (2)$$

### 2.3 WP4C (*Dewpoint Potenciameter*)

O WP4C é considerado um tipo de psicrômetro, dispositivo capaz de medir sucção atuante no solo utilizando dados de umidade relativa.

Sua técnica baseia-se no ponto de orvalho (i.e., temperatura à qual o vapor de água presente no ar passa ao estado líquido na forma de pequenas gotas via condensação), medindo a sucção total das amostras (i.e., sucção osmótica mais a sucção matricial) e pode ser calculada a partir da pressão de vapor de ar em equilíbrio com a amostra em uma câmara selada de medição.

O ensaio permite a obtenção dos valores de sucção total. O procedimento baseia-se na moldagem de amostras com auxílio de um anel e após ser extraída é colocada em uma cápsula de aço inoxidável. As amostras devem possuir metade da altura da cápsula, pois quando muito cheias poderiam contaminar os sensores na câmara do WP4C. Coloca-se as amostras no equipamento e realiza-se as

leituras de sucção total atuante no solo, indicadas em seu painel. Após a primeira leitura de sucção realizada pelo equipamento, deixa-se a amostra secando ao ar e repete-se todo o procedimento descrito. As leituras feitas com WP4C foram no modo preciso.

A imagem do equipamento está representada na Fig. 3.



Figura 3. WP4C (Dewpoint Potentiometer).

## 2.4 Curva Característica

A capacidade de reter água de um material não é função somente das características do próprio material, ela depende também de fatores climáticos e das características ambientais.

Ao se relacionar graficamente o teor de umidade gravimétrico ( $w$ ) ou volumétrico ( $\theta$ ), ou o grau de saturação ( $S_r$ ) com a sucção, obtém-se a curva característica de um solo.

Portanto, as diversas formas de representar uma curva característica são resultado de diferentes maneiras de apresentar a quantidade de água armazenada no solo e de representar a sucção.

O tipo de sucção determinada também resulta em curvas características diferentes.

Gitirana Junior et al. (2015) discute a forma de se empregar dados obtidos com as metodologias citadas. Em princípio, dados de sucção matricial são os de maior interesse, de forma que os dados de papel filtro sem contato

(sucção total) assumem geralmente um papel secundário embora possa ser relevante em análises de comportamento onde a sucção osmótica assume papel relevante como é o caso dos aterros sanitários.

Segundo os autores, a composição de uma curva híbrida, que combina dados de sucção matricial e sucção total, é conveniente, pois os dados de sucção matricial que mais interessam na análise de problemas de engenharia são geralmente os correspondentes a baixas sucções. Ao mesmo tempo, as elevadas sucções encontradas para baixas umidades são necessárias, por exemplo, em análises envolvendo evaporação, situação na qual a sucção total é a variável que governa o processo, passando a depender então de técnicas que permitam determiná-las com é o caso da técnica do WP4C. Além desses aspectos, é importante ressaltar que algumas técnicas de medição, como a do papel filtro e do WP4C fornecem uma transição da sucção matricial para total quase contínua. A Figura 4 apresenta resultados obtidos para um solo de Goiânia – GO confirmando, segundo os autores, esse entendimento (GITIRANA JUNIOR et al., 2015).

Nesse contexto, o intuito deste artigo é analisar como se dá essa transição entre a sucção mátrica e a total para valores mais elevados de sucção para um perfil de solo tropical de Brasília com camadas submetidas a diferentes níveis de intemperização.

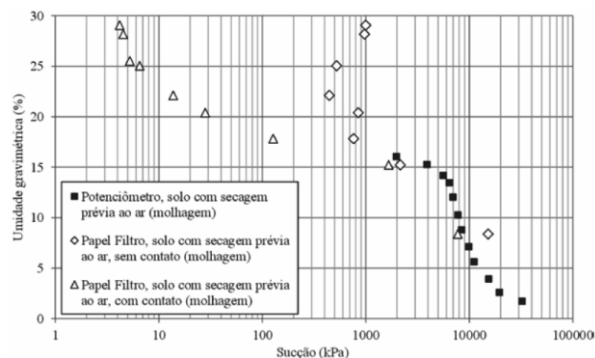


Figura 4. Papel do tipo de sucção na representação da curva de retenção (GITIRANA JUNIOR et al., 2015).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Caracterização do Solo

A caracterização geotécnica foi realizada de acordo com os procedimentos das normas da ABNT.

A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização geotécnica obtidos para as amostras coletadas nas profundidades de 4 m, 8 m e 12 m. Nesta Tabela  $\gamma_o$  é o peso específico do solo em estado natural,  $\gamma_s$  peso específico dos sólidos,  $w_o$  umidade natural e  $e_o$  o índice de vazios do solo em estado natural.

Tabela 2. Características Geotécnicas dos solos analisados.

Profundidade (m)	$\gamma_o$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	$w_o$ (%)	$e_o$
4	15,12	27,10	24,2	1,227
8	15,79	27,07	19,3	1,045
12	16,58	27,78	15,4	0,933

#### 3.2 Curvas Características dos Solos

As Figuras 5, 6 e 7 apresentam respectivamente os resultados obtidos para as profundidades de 4 m, 8 m e 12 m mostrando a transição da sucção matricial para a total (SILVA, 2017). Utilizou-se a técnica do papel filtro na determinação da sucção matricial e a técnica do papel filtro e a do WP4C para determinação da sucção total. Nestas Figuras os gráficos foram divididos em duas zonas, a zona I correspondente à faixa de valores de sucção com maior diferença gráfica entre as sucções matricial e total e a zona II com pequena diferença gráfica entre essas duas sucções fazendo com que a sucção total transmita a ideia de continuidade da porção gráfica correspondente à sucção matricial. Cabe destacar que não se incluíram na zona I sucções medidas pelo WP4C, pois nessa zona

as determinações geralmente perdem em precisão.

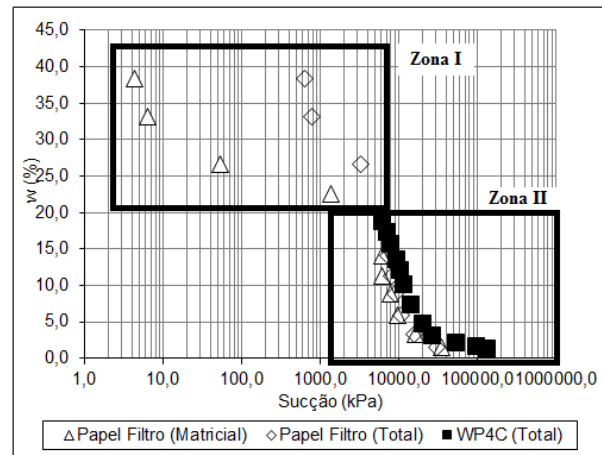


Figura 5. Profundidade 4 m (SILVA, 2017).

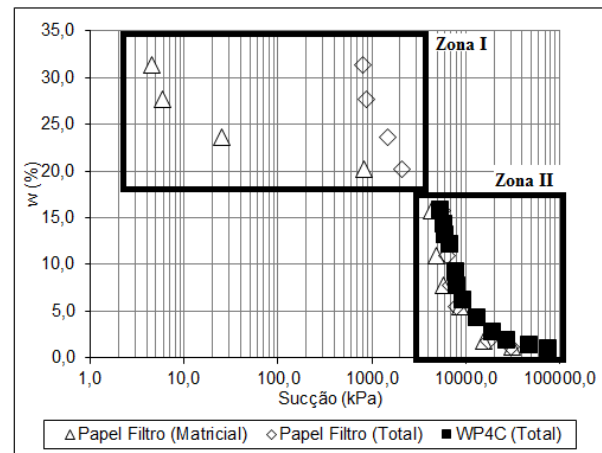


Figura 6. Profundidade 8 m. (SILVA, 2017)

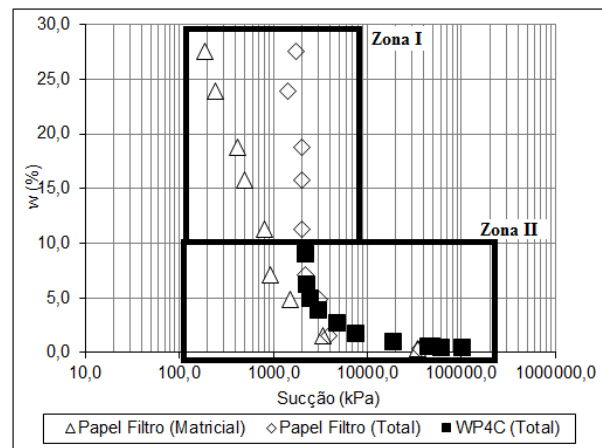


Figura 7. Profundidade 12 m. (SILVA, 2017)

Verifica-se na Fig. 5, 6 e 7 uma suave transição da sucção matricial para a sucção total conforme indicado pelos autores Gitirana Junior *et al.* (2015). Em todas as curvas entre 15% e 20% de teor de umidade do solo os valores de sucção total tendem a se confundirem os da sucção matricial. Pretende-se, no entanto, mostrar que tal aproximação é fruto de dois fatores essenciais: a escala logarítmica usada para representar a sucção; a sucção osmótica varia em menor escala que a sucção mátrica quando o solo passa a apresentar valores de umidade mais atrelados à microporosidade.

Ao se correlacionar os dados entre a sucção total oriundos da técnica do papel filtro e do WP4C obtidos na Zona II, para as profundidades de 4 m, 8 m e 12 m obteve-se respectivamente os resultados apresentados nas Fig. 8, 9 e 10. Os dados correlacionados foram obtidos usando-se os valores de sucção obtidos pela técnica do papel filtro e com as umidades dos corpos de prova que definiram estas sucções determinou-se a partir das equações oriundas das curvas sucção x umidade do WP4C a sucções atuantes no solo segundo esta técnica.

Observa-se nessas Fig. que o WP4C fornece valores de sucção total superiores aos obtidos pela técnica do papel filtro o que pode estar associado a um ou mais dos três fatores a seguir: um dos métodos não avalia com precisão as sucções atuantes no solo; na técnica do papel filtro o elemento separador usado apresenta certa condutividade hidráulica; na técnica do papel filtro a umidade higroscópica do elemento separador atua como elemento condutor de umidade para o papel filtro fazendo com que as sucções total e mátrica se aproximem. Em princípio estas duas últimas causas são as mais prováveis e merecem ser verificadas em estudos futuros.

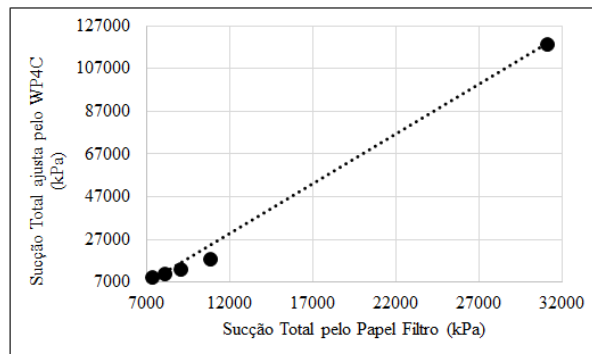


Figura 8. Comparação Gráfica da Sucção Total entre Papel Filtro e WP4C (4 m de profundidade).

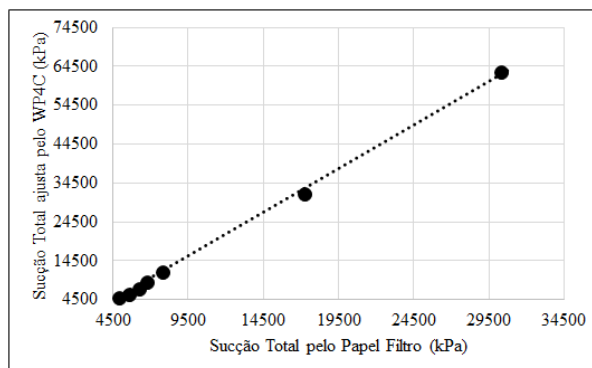


Figura 9. Comparação Gráfica da Sucção Total entre Papel Filtro e WP4C (8 m de profundidade).

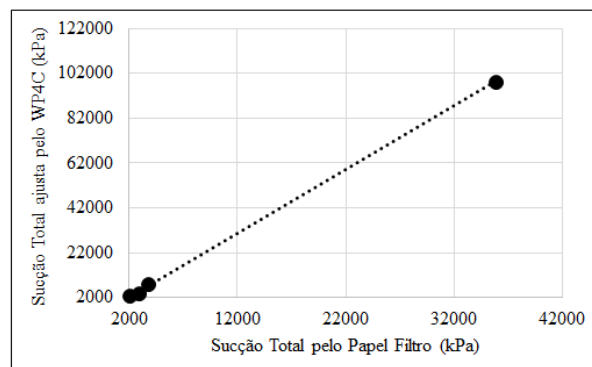


Figura 10. Comparação Gráfica da Sucção Total entre Papel Filtro e WP4C (12 m de profundidade).

Quando analisados os resultados de sucção total comparativamente aos de sucção matricial as Fig. 11, 12 e 13 mostram que para o papel filtro os resultados são próximos enquanto para o WP4C eles se distanciam de modo significativo, cabendo destacar que os valores de WP4C foram obtidos usando-se os valores de umidade do papel filtro e a equação



da curva de sucção x umidade obtida para esta técnica.

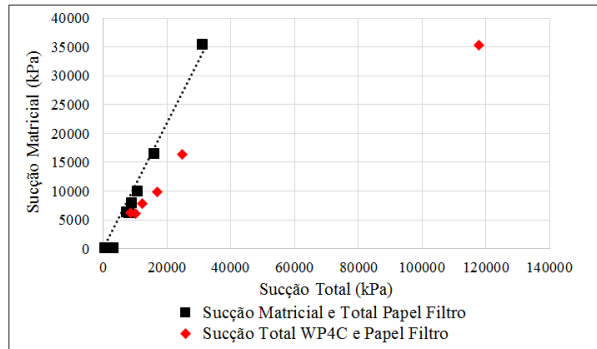


Figura 11. Comparação Gráfica da Sucção Matricial e Total do Papel Filtro (4 m de profundidade).

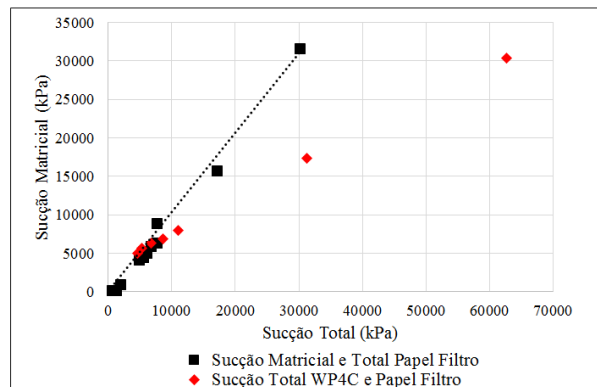


Figura 12. Comparação Gráfica da Sucção Matricial e Total do Papel Filtro (8 m de profundidade).

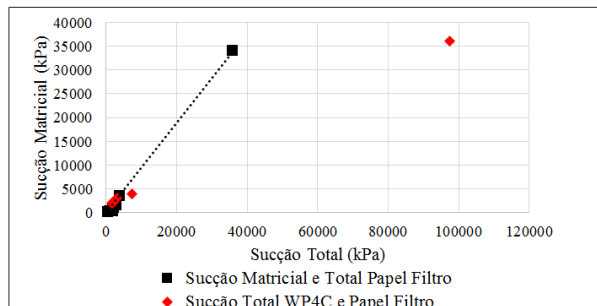


Figura 13. Comparação Gráfica da Sucção Matricial e Total do Papel Filtro (12 m de profundidade).

Determinando-se agora as sucções osmóticas como resultantes da sucção total menos a sucção matricial verifica-se nas Fig. 13, 14 e 15 que elas aumentam com a sucção total e as diferenças gráficas de maior amplitude que aparecem nos trechos de menores sucção nas curvas características

(Fig. 4,5 e 6) se devem a valores menos relevantes da sucção mátrica nas zonas de meso e macroporosidade. Estes resultados mostram que a proximidade existente entre as curvas de sucção mátrica e total se devem sobretudo ao fator escala, pois enquanto a sucção mátrica na zona de microporosidade apresenta aumento de modo significativo a sucção osmótica aumenta proporcionalmente pouco sendo sua influência no gráfico quase que imperceptível.

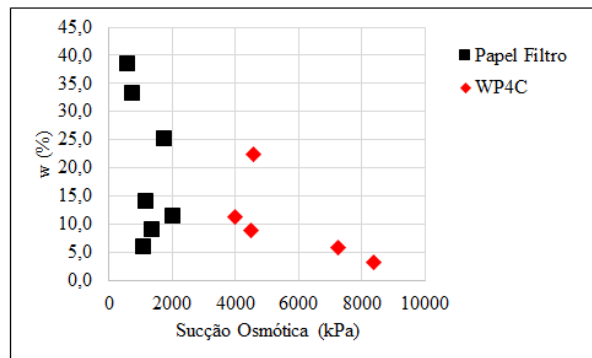


Figura 12. Influência da Sucção Osmótica (4m).

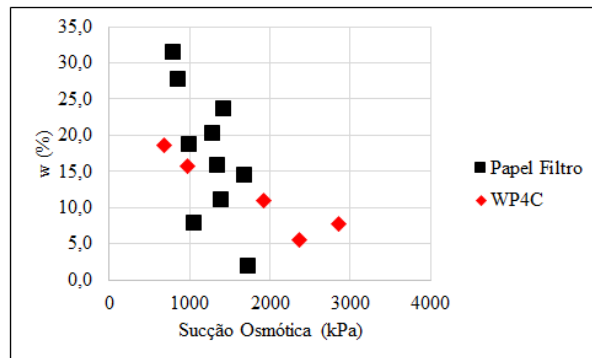


Figura 13. Influência da Sucção Osmótica (8m).

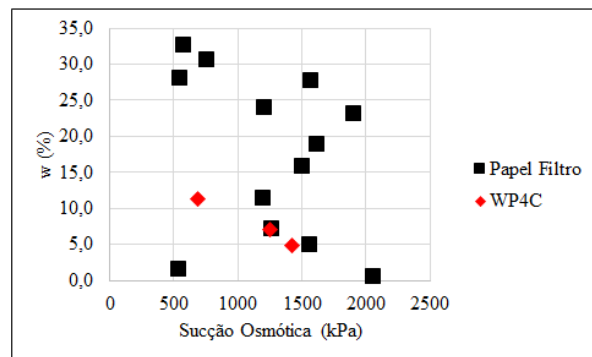


Figura 14. Influência da Sucção Osmótica (12m).

Considerando o exposto observa-se a importância de se entender os processos envolvendo a sucção atuante no solo e se atentar para o efeito escala na análise dos resultados.

As análises apresentadas tem sua importância ampliada pelo fato de que para construção da curva característica completa de um solo, geralmente necessita-se mais de uma técnica para representar toda estrutura do solo fazendo-se necessário o entendimento de como e mesmo se é possível utilizar os dados encontrados por cada metodologia na construção da curva característica.

Ao retratarmos em nível da estrutura do solo (macro e microporos, mais correlacionado com os microporos), ou seja, a sucção total se aproxima da matriz, podendo-se incluir resultados do WP4C nas análises dos resultados em termos de sucção matriz.

Então a partir de curvas características completas, podemos considerar o perfil de intemperismo em qualquer obra geotécnica.

Esse aspecto é bastante retratado aos solos do Distrito Federal, que possui a presença de um material poroso (latossolo), quando se aumenta a umidade gera um risco de colapso do solo. E em outros casos no mesmo perfil de solo ao se realizar um corte rodoviário, que se atingiu o solo pouco intemperizado, tem a possibilidade de expansão e degradação do material com o tempo pelo próprio alívio de tensões.

Então deve considerar o perfil de intemperismo, avaliando o grau de atuação da sucção, desde solo muito intemperizado até o pouco intemperizado, sendo que tal consideração impacta nas soluções de projeto e execução da obra.

A sucção também influencia nos mecanismos de expansão e contração do solo. Quando aumentamos a umidade diminuímos a sucção, e com isso diminui a tensão de contato entre as partículas o que permite a expansão

do solo, e quando tratamos de rodovias o movimento de expansão em cortes rodoviários que atinge o solo saprolítico leva anos para se concluir, ou seja, podemos avaliar a expansão do solo através de como se dá a variação da sucção ao longo do tempo em um perfil analisado. Já a contração se dá por uma perda de água, ou seja, redução na umidade, onde também se vê a atuação da sucção.

O colapso do solo também pode ser outro problema avaliado com a sucção. O colapso pode ocorrer pelo aumento da umidade. Nos solos há a existência dos macroporos e o colapso é a “destruição” desses macroporos com a entrada de algum fluido, ou seja, o fluido atuante no solo, altera a energia atuante entre ele e o sólido, levando ao colapso.

Um último aspecto a considerar é que o papel da sucção osmótica no comportamento mecânico é pequeno. Ela é determinada a partir da sucção total e dos valores de sucção matricial. Frequentemente, é considerada quando envolve problemas de contaminação de solos ou que envolvam variações significativas de teor de umidade por evaporação de água, pode-se ter a variação então da sucção osmótica. Sob esse argumento, a sucção osmótica é tratada como de pequena relevância em problemas práticos.

#### 4. CONCLUSÕES

A sucção engloba fenômenos físicos de capilaridade e outros fenômenos de natureza eletroquímica, devido às forças de adsorção do mineral, que dependem da mineralogia do solo e química do fluido.

Com base nas análises dos dados de sucção obtidos pelas metodologias em estudos, verifica-se que a curva característica é uma propriedade fundamental para se compreender alguns parâmetros dos solos não saturados e então poder aplicar tais parâmetros nas investigações geotécnicas de maneira mais correta.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Deus, a Furnas Centrais Elétricas S.A, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e a Universidade de Brasília - UnB. Este trabalho apresenta parte do estudo desenvolvido no Programa de P&D da ANEEL – projeto intitulado Metodologias e infraestrutura tecnológica para ampliação da confiabilidade e otimização de empreendimentos de energia – código ANEEL 0394-1504/2015.

### **5. REFERÊNCIAS**

- ABNT NBR 9604. (2016). Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. ABNT, Rio Janeiro, RJ: 9p.
- Burgos, P.C.; Conciani, W. Índices físicos, textura, consistência e classificação de solos. In: Camapum de Carvalho, J.; Gitirana Junior, G.F.N.; Machado, S.L.; Mascarenha, M.M.A.; Filho, F.C.S. (Orgs.). **Solos não saturados no contexto geotécnico**. 2015. Cap. 8.
- Camapum de Carvalho, J.; Murrieta, P.S.N. Método para medir sucção em solos não saturados. **Encontro de Solos Não Saturados**, Rio Grande do Sul, 1995.
- Chandler, R. J., Crilley, M. S. & Montgomery-Smith, G. A low-cost method of assessing clay desiccation for lowrise buildings. **Proc. Instn. Civ. Engrs Civ. Engng.** 92, May, 1992, 82-89.
- Gitirana Junior, G.F.N.; Marinho, F.A.M.; Soto, M.A.A. A curva de retenção de água de materiais porosos. In: Camapum de Carvalho, J.; Gitirana Junior, G.F.N.; Machado, S.L.; Mascarenha, M.M.A.; Filho, F.C.S. (Orgs.). **Solos não saturados no contexto geotécnico**. 2015. Cap. 9.
- Fredlund, D.G. and Rahardjo, H. **Soil mechanics for unsaturated soils**. John-Wiley and Sons, New York, 1993, 486p.
- Guimarães, R.C.; Camapum de Carvalho, J. Influência da microestrutura nas propriedades mineralógicas e físicas de um perfil de solo do Distrito Federal. **I Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro-Oeste**, Brasília-DF, Volume Único, 2003, p. 155-164.
- Guimarães, R.C.; Silva, H.H.A.B.; Oliveira, R.B.; Gonzáles, Y.V.; Farias, W.M.; Camapum de Carvalho, J. A Micromorfologia no Contexto das Erosões de Borda de Reservatórios. In: Sales, M.M.; Camapum de Carvalho, J.; Mascarenha, M.M.A.; Luz, M.P.; Souza, N.M.; Angelim, R.R. (Orgs.). **Erosão em Borda de Reservatório**. 2017. Cap. 10.
- Lopera, J.F.B. **Influência da microestrutura no comportamento mecânico dos solos tropicais naturais e compactados**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-272A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF,

183p, 2016.

Manual Decagon Device 2010 (Wp4c).

Marinho, F e Pereira, J.H.F. Apostila do Curso de Mecânica dos Solos Não Saturados. **XI COBRAMSEG – Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Geotecnia**, Brasília, DF, 1998.

Marinho, F.A.M; Soto, M.A.A.; Gitirana Junior, G.F.N. Instrumentação de laboratório e campo e a medição da curva de retenção. In: Camapum de Carvalho, J.; Gitirana Junior, G.F.N.; Machado, S.L.; Mascarenha, M.M.A.; Filho, F.C.S. (Orgs.). **Solos não saturados no contexto geotécnico**. 2015. Cap. 10.

Queiroz, A.C.G. **Estudo do comportamento microestrutural de solos tropicais compactados**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 127p, 2015.

Rocha, M.F. **Influência do perfil de sucção em obras de contenção em solos não saturados**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, GO, 2013, 278p.

Silva, F. C. **Curva Característica de um Perfil de Solo Tropical**. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, 113p. 2017.