

## **8**

### **Conclusões e Sugestões**

#### **8.1.**

##### **Conclusões**

###### **8.1.1.**

###### **Equipamento CDSC**

O equipamento de cisalhamento direto com sucção controlada, utilizado neste trabalho, apresentou resultados confiáveis devido a uma boa repetibilidade dos mesmos. Isso foi verificado quando optou-se pela realização da serie IV de ensaios.

O sistema de medição de volume de água mostrou-se eficiente, uma vez que os valores das umidades finais obtidos a partir de secagem em estufa ficaram muito próximos a aqueles calculados através desse sistema.

###### **8.1.2.**

###### **Compressibilidade**

Nos ensaios com sucção controlada, foi verificado que a sucção mátrica aplicada teve pouca influência na compressibilidade do solo. Este fato foi comprovado através da pequena diminuição do índice de vazios com o aumento da sucção.

### 8.1.3.

#### Curva Característica

A curva característica de sucção do solo apresenta dois pontos de inflexão, caracterizando uma distribuição bimodal dos poros. Tal fato pode ser observado através das análises de microscopia eletrônica de varredura, na qual foi verificada a existência de micro-agregados de caulinita que caracterizam os macroporos pelos vazios formados entre esses micro-agregados e os microporos pelos vazios formados no interior das agregações. Com isso, foi possível identificar o valor de entrada de ar dos macroporos, de aproximadamente 3kPa, e o valor de entrada de ar dos microporos, de aproximadamente 5000kPa.

### 8.1.4.

#### Resistência ao cisalhamento

Em todos os ensaios realizados, o material apresentou enrijecimento com o aumento do deslocamento horizontal. Com relação à variação de volume da amostra, durante a fase de cisalhamento, foi verificado que um aumento no valor de sucção mátrica aplicada, provoca uma menor contração do solo, sendo que em todos os ensaios houve compressão do material.

O solo estudado apresentou uma não linearidade das envoltórias de resistência em relação à sucção. Assim, foi analisada a variação do parâmetro  $\phi^b$  em função da sucção mátrica. O elevado valor de  $\phi^b$  encontrado a baixas sucção, possivelmente está associado ao aspecto da curva característica onde que a partir do valor de entrada de ar dos macroporos (3 kPa), até o valor de sucção correspondente a umidade residual dos mesmos ( $\cong 10$  kPa), ocorre uma elevada dessaturação no material referente à saída de água dos macroporos. Outro fator que pode contribuir para tal, é a presença de uma fraca cimentação no material fazendo com que as componentes das forças resistentes a esforços cisalhantes aumentam durante o processo de secagem.

As envoltórias de resistência, obtida para cada valor de sucção ensaiado, mostraram-se lineares para os níveis de tensão normal líquida aplicada. Esses resultados também mostraram que o ângulo de atrito praticamente não variou com a sucção.

Foi discutido o comportamento da coesão aparente e mostrou-se que esta aumenta com a sucção com tendência a estabilizar-se a partir de uma dada sucção. Por esse motivo foi feito um ajuste dos dados experimentais a uma função hiperbólica que representa bem este comportamento. Com isso foi possível a determinação da envoltória de resistência tridimensional e da equação 25 que descreve a variação da resistência ao cisalhamento do solo considerando a variação da tensão normal líquida e da sucção mátrica.

$$\tau = 10,25 + (\sigma - u_a).tg 24,9^\circ + \frac{(u_a - u_w)}{[(0,1104 + 0,0040.(u_a - u_w)]} \quad (25)$$

Constatou-se, para o nível de variação estudado, que a velocidade de cisalhamento pouco influenciou na resistência do solo não saturado. Isso demonstra que a metodologia apresentada por Ho (1981), fornece uma estimativa adequada da velocidade de cisalhamento para a realização de ensaios não saturados em condições drenadas. Entretanto, este assunto requer maiores investigações.

Verificou-se que as formulações simplificadas, baseadas no uso dos parâmetros do solo saturado e da curva característica, utilizadas na estimativa da resistência ao cisalhamento do solo não saturado, não forneceram resultados satisfatórios.

#### 8.1.5.

#### **Resistência à tração**

Os resultados dos ensaios de compressão diametral, realizados na determinação da resistência a tração, sugerem a existência de uma resistência à

tração do solo saturado, da ordem de 1kPa. Esta é propiciada, possivelmente, pela cimentação encontrada no material.

Foi observado que à medida que o teor de umidade diminui, a resistência à tração aumenta, até um determinado ponto, a partir do qual o material começa a apresentar uma tendência de diminuição ou estabilização dessa resistência. Através da correlação da resistência a tração e a sucção mátrica, verificou-se que o referido ponto possivelmente estaria relacionado ao valor de entrada de ar dos microporos. Entretanto, a comprovação de tal afirmação requer uma maior quantidade de ensaios.

Através do bom ajuste linear dos dados experimentais, foi possível determinar a seguinte equação empírica que correlaciona a resistência à tração e a coesão aparente do solo para a faixa de sucção ensaiada:

$$c_{aparente} = 11,855 \cdot \sigma_t \quad (26)$$

## 8.2.

### Sugestões

#### 8.2.1.

##### Equipamento CDSC

Sugere-se a substituição da união tipo universal, responsável pelo contato da célula de carga vertical com o top-cap, por outra tipo rótula que permite um livre movimento em todas as direções. Isso minimizaria a variação da força vertical lida pela célula de carga durante o ensaio.

Outra modificação sugerida é a substituição do disco cerâmico de alto valor de entrada de ar por outro de maior valor de pressão de borbulhamento. Isso possibilitaria a aplicação de sucções maiores nos ensaios.

### **8.2.2.**

#### **Resistência ao cisalhamento**

Dar continuidade ao estudo do material, executando ensaios a sucções baixas, a fim de uma melhor compreensão do comportamento de resistência do material na transição do solo saturado para a condição não saturada, e ensaios a baixos níveis de tensão normal líquida, com o intuito de avaliar a linearidade das envoltórias de resistência.

Sugere-se ainda a execução de ensaios de compressão simples na tentativa de uma melhor compreensão do comportamento mecânico do material.

### **8.2.3.**

#### **Resistência à tração**

Sugere-se a realização de um estudo mais detalhado na avaliação da resistência à tração, destinado diretamente a solos.

Recomenda-se a realização de uma campanha extensiva de ensaios destinados a diferentes tipos de solos na avaliação da relação empírica, obtida neste trabalho entre a resistência à tração e a coesão aparente.