

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

MÔNICA DAMASCENO SANT'ANA  
WALLISON CARDOSO DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE PAINEL PARA SATURAÇÃO DE  
MÚLTIPLOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE  
COMPRESSÃO TRIAXIAL**

OURO BRANCO - MG  
JULHO-2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

MÔNICA DAMASCENO SANT'ANA  
WALLISON CARDOSO DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE PAINEL PARA SATURAÇÃO DE  
MÚLTIPLOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE  
COMPRESSÃO TRIAXIAL**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil

**Orientadora:** Prof. Me. Tales Moreira de Oliveira

OURO BRANCO - MG

JULHO-2018

MÔNICA DAMASCENO SANT'ANA  
WALLISON CARDOSO DOS SANTOS

DESENVOLVIMENTO DE PAINEL PARA SATURAÇÃO  
SIMULTÂNEA DE ATÉ QUATRO CORPOS DE PROVA PARA  
ENSAIO DE COMPRESSÃO TRIAXIAL

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do grau de BACHAREL EM  
ENGENHARIA CIVIL e aprovado em sua forma final pelo orientador e pela  
Coordenadora de TCC do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de  
São João del-Rei.

A Banca Examinadora, composta pelos membros abaixo, aprovou este TCC:

---

Prof. Me. Tales de Oliveira Moreira  
Orientador - UFSJ

---

Prof. Dr. Leandro Neves Duarte  
Avaliador - UFSJ

---

Prof. Me. Paulo Roberto Borges  
Avaliador – UFSJ

Ouro Branco-MG, 10/07/2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos, primeiramente, aos nossos pais Silvana, Olímpio, Wanderley e Fátima que depositaram em nós sua confiança durante toda a nossa graduação e por terem sido nosso porto seguro nos dias mais difíceis.

Ao Professor Tales pelo suporte e atenção durante a realização de todo o trabalho.

Aos Professores que através de seus ensinamentos diários e, principalmente, pelos exemplos se mostraram comprometidos com a formação de bons profissionais e de excelentes cidadãos.

Aos colegas da equipe INFRAGEO e aos técnicos que sempre estiveram presentes e dispostos a ajudar, principalmente Andréia, Robinson e Marcus.

A todos o nosso muito obrigado por cada palavra de carinho, por cada mensagem de preocupação, por terem sido apoio quando precisamos!

Essa conquista é nossa!

## FOLHA DE APROVAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

### *DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO*

**Título:** DESENVOLVIMENTO DE PAINEL PARA SATURAÇÃO SIMULTÂNEA DE ATÉ QUATRO CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE COMPRESSÃO TRIAXIAL.

**Autores:** Mônica Damasceno Sant'Ana e Wallison Cardoso dos Santos

Aprovada como parte das exigências para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia Civil.

---

Prof. Me. Tales de Oliveira Moreira  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Leandro Neves Duarte  
(Avaliador Interno)

---

Prof. Me. Paulo Roberto Borges  
(Avaliador Interno)

Ouro Branco-MG, 10 de Julho de 2018.

## **RESUMO**

Este trabalho tem por finalidade apresentar os princípios da construção de um painel de saturação de corpos de prova para ensaios triaxiais, desenvolvimento de um manual para o mesmo e uma análise dos resultados obtidos com o equipamento desenvolvido pela equipe INFRAGEO no Campus Alto Paraopeba, situado no município de Ouro Branco-MG. O painel visa a saturação simultânea de 4 corpos de prova por meio da saturação por contrapressão. O desenvolvimento de tal equipamento foi motivado pela ineficiência quantitativa (em números de corpos de prova) proporcionada pelo equipamento triaxial estático. Com a construção do painel o objetivo foi alcançado. Para isso, foi feito um estudo dos componentes necessários na sua composição e montado um croqui que reuniu todos eles na provável estrutura de forma ergonômica. O manual do equipamento também foi desenvolvido observando as normas vigentes. Já a análise dos resultados se baseou em uma comparação das eficiências do painel e do equipamento.

**Palavras Chave: Saturação, Triaxial, contrapressão, Manual, Infrageo.**

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Objetivos Gerais.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>9</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Ensaio de compressão triaxial .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Saturação de Amostras .....</b>	<b>13</b>
3.2.1 Saturação por percolação.....	14
3.2.2 Saturação por contrapressão.....	16
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1 Materiais .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 Metodologia .....</b>	<b>18</b>
4.2.1 Estrutura do Painel de Saturação .....	18
4.2.2 Equipamentos componentes do painel de saturação .....	19
4.2.3 Montagem do Painel de saturação .....	20
4.2.4 Teste do conjunto.....	21
4.2.5 Manual do painel de Saturação .....	21
4.2.6 Análise dos resultados .....	21
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>22</b>
<b>5.1 Painel de Saturação .....</b>	<b>22</b>
<b>5.2 Manual do Painel de Saturação.....</b>	<b>22</b>
<b>5.3 Análise dos Resultados .....</b>	<b>22</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>24</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O ensaio de compressão triaxial é um dos mais confiáveis métodos disponíveis para a determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento. É usado amplamente para ensaios de pesquisa e convencionais (DAS, 2007, p.312). Lins (1980) complementa dizendo que os ensaios triaxiais constituem um valioso elemento na solução de problemas da Mecânica dos Solos, tornando possível simular, em laboratório, variadas condições de drenagem e estados de tensões correspondentes a situações de campo. Esta flexibilidade do ensaio permite a obtenção de parâmetros de resistência e deformabilidade adequados a cada situação em particular.

Os ensaios triaxiais podem ser divididos em três tipos quanto à sua condição de drenagem durante sua realização, são eles: ensaio não drenado, ensaio consolidado não drenado e ensaio consolidado drenado.

Para a realização do ensaio a amostra pode estar em sua umidade natural ou em diferentes graus de saturação. Variando-se apenas o grau de saturação do solo, este irá apresentar seu pior desempenho mecânico com saturação próxima a 100%. Tendo em vista a segurança, é interessante que se tome como base o desempenho mais crítico do solo, portanto é relevante que as amostras sejam levadas à ruptura em elevados graus de saturação.

A saturação das amostras pode ser feita através de dois processos: percolação ou contrapressão, que garante resultados melhores.

No Laboratório de Geotecnia do Campus Alto Paraopeba da Universidade Federal de São João del Rei, assim como em outros laboratórios da região, a prensa de compressão triaxial tem capacidade de ruptura de um único corpo de prova, bem como o equipamento disponível para a saturação das amostras, no entanto o tempo gasto para a realização de cada uma destas etapas não é compatível, uma vez que a saturação de amostras, especialmente, argilosas é um processo bastante demorado.

A saturação dos corpos de prova um a um é um limitante de tempo e implica em oneração dos ensaios de compressão triaxial, se mostrado uma barreira a ser vencida. Tendo em vista este problema a ser contornado, motivou-se o desenvolvimento de um equipamento com capacidade de saturar diversos corpos de prova simultaneamente.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

O presente trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade de aplicação da mesa de saturação para corpos de prova que serão submetidos ao ensaio de compressão triaxial, tal equipamento foi desenvolvido em pela equipe INFRAGEO locada no Campus Alto Paraopeba da UFSJ.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Dentro deste estudo foram analisadas características operacionais do sistema desenvolvido através de parceria com a empresa Geominas, na oportunidade o painel de saturação foi empregado por 6 meses no laboratório de geotecnia da empresa, a fim de se verificar a aceitação do equipamento.

A fim de identificar se houve mudança no comportamento do solo em função do processo de saturação fizeram-se comparações dos resultados de resistência de amostras saturadas pelo procedimento tradicional e de amostras saturadas utilizando-se o equipamento desenvolvido.

Busca-se quebrar barreiras relativas à execução de ensaios de caracterização do solo e é relevante que também seja conhecido o impacto econômico da aplicação de tal equipamento, dessa forma foi realizado um estudo de viabilidade econômica visando aplicar o painel de saturação em comparação com equipamento similar disponível no mercado.

O equipamento desenvolvido tem capacidade de aplicação de pressões de até 5Kgf/cm<sup>2</sup> e conta com manual de instruções para montagem e operação do mesmo.

## **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

Para o desenvolvimento de um trabalho assertivo no que tange a verificação da viabilidade de emprego do equipamento desenvolvido, se faz necessário conhecer as

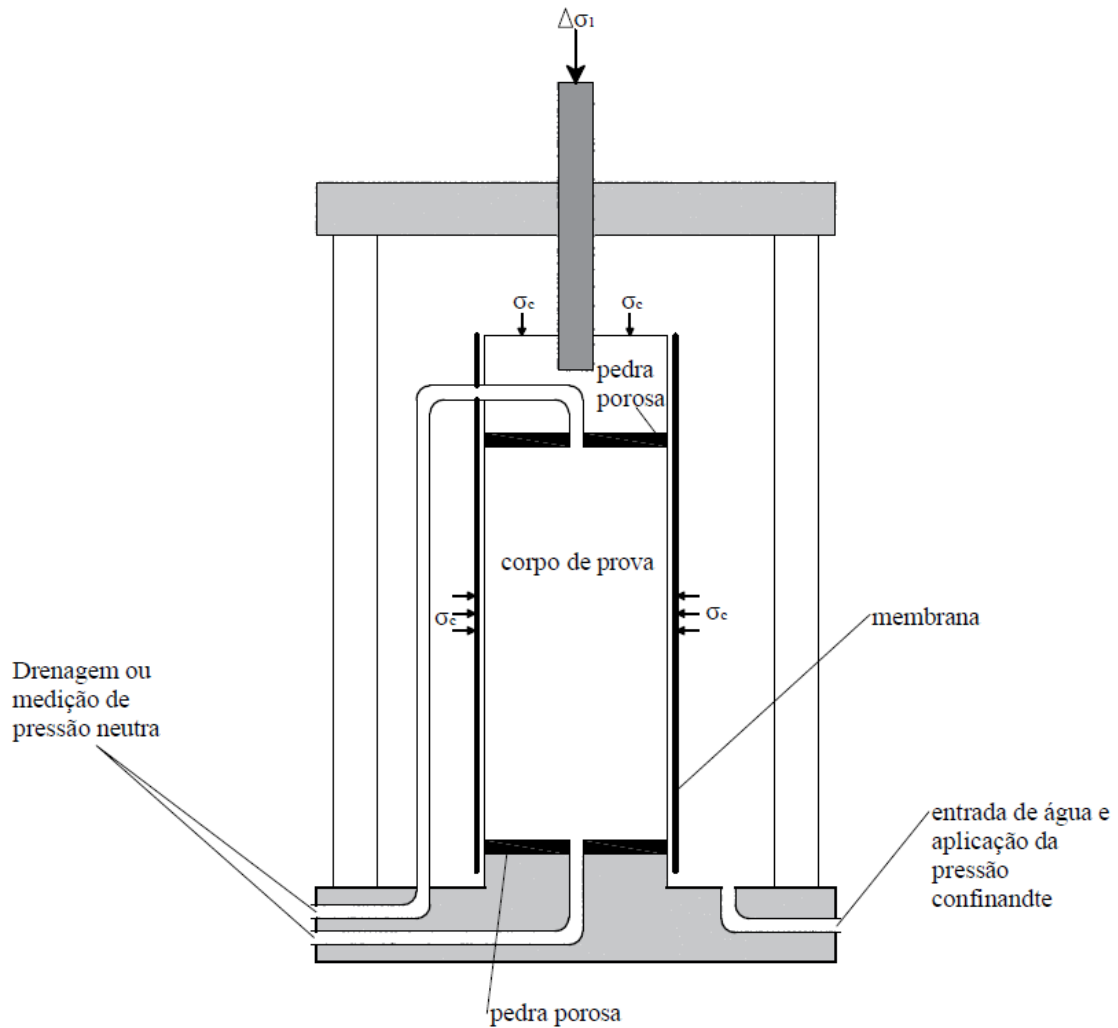
características do equipamento, possíveis impactos da sua utilização e, principalmente, os ensaios geotécnicos que poderão ser impactados pelo seu emprego.

Fez-se necessário conhecer as características do ensaio de compressão triaxial, bem como os processos tradicionais de saturação existentes.

### **3.1 Ensaio de compressão triaxial**

O ensaio de compressão triaxial é um dos mais confiáveis ensaios de resistência ao cisalhamento quando se busca obter os parâmetros de resistência do solo e, atualmente, o mais usado. (BRAJA, 2007).

Os ensaios triaxiais são realizados sobre corpos de prova moldados de amostras indeformadas, em geral, de formato cilíndrico com 36 mm de diâmetro e altura de 76 mm, este corpo de prova é envolvido em uma fina membrana impermeável e colocado dentro da câmara de compressão da célula de ensaio. Tal câmara tem formato cilíndrico e é preenchida com material fluido, podendo ser água, glicerina ou até mesmo ar. O fluido na câmara tem a função de distribuir uniformemente sobre o corpo de prova a tensão confinante aplicada. Durante a realização do ensaio é aplicada também uma tensão axial na face superior por meio de uma haste vertical para provocar a ruptura por cisalhamento do corpo de prova. A base do corpo de prova é apoiada em um material poroso. Na figura 1 a seguir é apresentado um esquema simplificado da estrutura do ensaio.



**Figura 1** – Esquema representativo do aparelho de compressão triaxial (Souza Pinto, 2000)

Segundo **DAS, 2007**, a tensão axial pode ser aplicada de duas formas:

- Aplicação de pesos ou pressão hidráulica em incrementos iguais até que o corpo de prova rompa. (A deformação axial do corpo de prova resultante da carga aplicada por meio da haste é medida por meio de um extensômetro.)
- Aplicação da deformação axial a uma taxa constante por meio de uma prensa de carregamento mecânica ou hidráulica. Esse é um ensaio de deformação controlada.

O processo de ruptura dos corpos de prova pode ser realizado sob diferentes condições de drenagem na etapa de carregamento e em cada caso o solo irá apresentar um comportamento característico.

As condições de aplicação das tensões durante o processo de ruptura permitem classificar os ensaios triaxiais em:

- Ensaio de compressão
  - Carregamento: a ruptura é obtida através do acréscimo da tensão vertical,  $\Delta\delta_v$ , maior que o acréscimo da tensão horizontal,  $\Delta\delta_H$  ( $\Delta\delta_v > \Delta\delta_H$ ).
  - Descarregamento: Neste caso, atinge-se a ruptura reduzindo-se as tensões horizontais.
  
- Ensaio de Extensão
  - Carregamento: atinge-se a ruptura através de acréscimos na tensão horizontal maiores do que os acréscimos da tensão vertical ( $\Delta\delta_H > \Delta\delta_v$ ).
  - Descarregamento: atinge-se a ruptura através da redução da tensão vertical.

Os ensaios triaxiais podem ser realizados em solos naturais ou saturados, quando feito em solos naturais não há a etapa de saturação do corpos de prova.

Quanto às condições de drenagem o ensaio podemos classificá-los em:

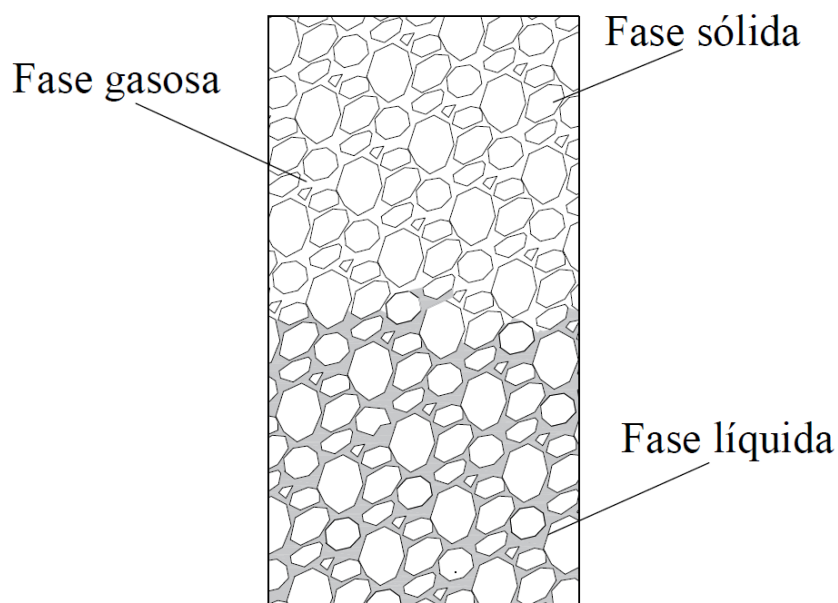
- Ensaio não drenado (UU ou Q): neste ensaio não se permite a drenagem do corpo de prova durante a aplicação da pressão da câmara  $\sigma_3$ . O corpo de prova é cisalhado até a ruptura pela aplicação da tensão desviadora  $\Delta\sigma_d$  e a drenagem é impedida. Como existe esse impedimento durante todo os estágios, esse ensaio pode ser realizado rapidamente. Há um aumento da poropressão durante todo o ensaio, inicialmente se dá pelo acréscimo da pressão de confinamento,  $\sigma_3$ , e posteriormente pela aplicação da tensão desviadora,  $\Delta u_d$ . (BRAJA, 2007).
  
- Ensaio consolidado não drenado (CU, Qc ou R): Esse é o tipo mais empregado dos ensaios triaxiais. O corpo de prova saturado é adensado por uma pressão de fluido na câmara,  $\sigma_3$ , o que resulta em drenagem. Após a poropressão gerada pela aplicação da pressão de confinamento ser dissipada,

a tensão desviadora  $\Delta\sigma_d$  no corpo de prova é aumentada para causar ruptura de cisalhamento. Durante essa fase do ensaio, a linha de drenagem é fechada. Como a drenagem não é permitida, a poropressão  $\Delta u_d$  aumenta. (BRAJA, 2007)

- Ensaio consolidado drenado (CD ou S): O corpo de prova saturado é submetido a uma pressão de confinamento em toda a sua volta  $\sigma_3$  pela compressão do fluido no interior da câmara. A medida que a pressão de confinamento é aplicada, a poropressão do corpo de prova aumenta para  $u_c$  (se a drenagem for impedida). Porém como o ensaio é drenado, há dissipação da poropressão durante todo o ensaio e conseqüentemente, adensamento. Com o passar do tempo  $u_c$  se torna igual a 0. (BRAJA, 2007)

### 3.2 Saturação de Amostras

DAS, 2007, define os solos como sendo sistemas trifásicos que consistem em sólidos, água e ar. A figura 02 a seguir esquematiza a distribuição natural destes elementos em uma porção de solo não deformado.



**Figura 2** – Esquema representativo da distribuição das fases do solo

As porções líquida e sólida não se encontram completamente distintas como na imagem, mas serve para ilustrar de forma simples a composição de uma amostra de

solo. Os processos de saturação têm como objetivo preencher por água os espaços entre as partículas sólidas que antes eram preenchidos por ar.

A água ocupa a maior parte dos vazios do solo e quando é submetida a diferenças de potenciais, ela se desloca no seu interior, a seguir serão destacadas as maneiras como este fluido preenche todos os vazios da massa de solo em função da maneira que o potencial hidráulico é alterado. Em resumo, o grau de saturação de um corpo de prova é a medida, em porcentagem, do preenchimento do volume de vazios por volume de água. (PINTO, 2000)

Informações referentes a efeitos de processos de saturação no comportamento tensão-deformação-resistência de solos com baixos graus de saturação inicial são escassos ou inexistentes. Uma possível explicação para tal está no fato de que a maioria dos estudos é baseada no comportamento de solos sedimentares que apresentam um grau de saturação inicial elevado (Lowe e Johnson, 1960; Brand, 1975; Brandon et al, 1990). Em contrapartida, no seu estudo sobre a influência da velocidade de inundação sobre a resistência ao cisalhamento direto, PITANGA, H. N, 2002, conclui que para fins práticos, o tempo de inundação das amostras de solo não influencia significativamente a resistência ao cisalhamento dos solos, mas ainda levanta a necessidade de estudos mais aprofundados sobre tal comportamento do solo.

### **3.2.1 Saturação por percolação**

Um dos primeiros métodos utilizados para saturar corpos de prova foi através da percolação de água com ou sem pressão confinante aplicada. Métodos de saturação foram descritos entre 1947 e 1960 e como detalhe pode-se dizer que tudo consiste na aplicação de uma pressão na câmara e uma pressão menor era imposta em uma das linhas de contrapressão enquanto outra permanecia aberta para a atmosfera para a saída de ar e água. Diferenças consideráveis de pressão resultam em uma saturação prematura do corpo de prova e, conseqüente variação do volume. Na metodologia de Rutledge (1960), de acordo com a magnitude da tensão confinante se observa a perda das características e estrutura do solo, pois com isso se atinge gradientes hidráulicos elevados.

Alguns problemas referentes à percolação de água através da amostra foram relacionados por Baldi *et al.* (1988). Esses problemas são:

- Redução da tensão efetiva inicial com conseqüente expansão das amostras se o fluxo for gerado a baixas tensões efetivas. Esse fato é comprovado em solos que são ricos em minerais secundários expansivos, não há evidencia que isso ocorra em solos residuais ou saprolíticos;
- Adensamento ou expansão de parte do corpo de prova em relação ao restante causando uma distribuição não uniforme dos vazios;
- Lixiviação de sais solúveis da amostra;
- Transporte de finos com possível entupimento de pedras porosas e linhas de drenagem, em particular se os gradientes envolvidos no processo forem altos o suficiente para provocar um processo de erosão interna no material ou se a mineralogia da fração fina do solo compreender componentes que dispersem em presença de água;
- Reações químicas indesejáveis ocorrendo entre o fluído e o solo.

Muitos procedimentos de saturação foram investigados, porém, todos os resultados obtidos em amostras de solos coesivos, que compoariam o núcleo de barragens, não foram satisfatórios segundo Lowe e Jonhson (1960). A mesma dificuldade foi encontrada quando Lambe (1954) estudou solos finos compactados aplicando este método.

Ao se comparar o método da percolação com a saturação por contrapressão Lowe e Jonhson (1960) obtiveram resultados muito semelhantes para solos arenosos. Por outro lado, a percolação não permite obter um grau de saturação satisfatório em solos finos. As forças geradas durante o processo podem provocar o adensamento ou colapso da estrutura, o que resulta em erros consideráveis nos ensaios com baixa tensão efetiva.

### **3.2.2 Saturação por contrapressão**

O processo de saturação com o uso de contrapressão é o mais utilizado. Este método se baseia no incremento da contrapressão a um nível de pressão alta o suficiente para que a água dissolva o ar que se encontra nos vazios. Ao mesmo tempo, a pressão confinante é elevada com o objetivo de se gerar pequenas variações de tensão efetiva na amostra.

Os fatores que regem esse método são o tempo requerido e a pressão necessária, eles tem que ser levados em consideração quando se opta por aplicá-lo.

A saturação de corpos de prova por contrapressão tem sua base teórica comprovada pela Lei de Boyle e a Lei de Henry de solubilidade. No processo de saturação o aumento da contrapressão em um solo não saturado afeta o volume de ar nos poros de duas maneiras: pela compressão direta, onde o volume de ar é reduzido de acordo com a Lei de Boyle, e, em virtude do acréscimo de pressão, a quantidade de ar dissolvido na água dos poros aumenta de acordo com a Lei de Henry de solubilidade (Lowe e Jonhson, 1960).

Além da pressão mínima necessária para saturar um corpo de prova, outro fator é o intervalo de tempo que esta pressão deve ser mantida. Assim que se aplica contrapressão, o grau de saturação de um corpo de prova tende a aumentar devido à compressão do ar de acordo com a lei de Boyle citada acima. Se esta pressão é mantida, o grau de saturação continua a aumentar, da mesma forma que a quantidade de ar dissolvido na água. No entanto, este processo demanda tempo por causa da baixa taxa de difusão de pequenas bolhas de ar em espaços confinados. Neste caso, o elemento tempo é governado pelo processo de difusão, não pela permeabilidade do solo.

Uma das maneiras mais utilizadas para identificar se um solo está saturado em ensaios triaxiais é por meio do coeficiente de poropressão  $B$  de Skempton. O parâmetro  $B$  é definido como a razão entre a variação de poropressão em um corpo de prova na condição não drenada pela variação da tensão total imposta. Uma introdução simples e direta deste parâmetro foi feita por Skempton (1954), sendo uma



abordagem mais clara realizada por Bishop (1966) *apud* Black and lee (1973), Bishop (1973) e Bishop e Hight (1977).

Diversas técnicas de saturação são indicadas nas bibliografias que embasam os estudos atuais. A maioria fala do processo de saturação por contrapressão, diferenciando apenas a amplitude dos intervalos de acréscimo desta tensão. Entre essas técnicas podemos citar a saturação em apenas 1 estágio, o uso da “tensão efetiva inicial”, A saturação a um teor de umidade constante, a saturação por percolação com aplicação de vácuo e a saturação por incremento de contrapressão.

A saturação por incremento da contrapressão consiste em aplicar os acréscimos de pressão confinante e contrapressão simultaneamente, de forma que haja uma diferença de 10 kpa entre elas. Os dois primeiros incrementos são de 50 kpa e os subsequentes de 100 kpa. A diferença de pressão pode ser maior ou menor, variando de acordo com o tipo de solo. (Head, 1986, Baldi *et al*, 1988).

Solos residuais devem ser tratados como argilas pré-adensadas. Visto isso sugere-se que a diferença entre a tensão confinante e a contrapressão seja maior que a diferença utilizada comumente utilizada com o objetivo de manter uma tensão efetiva elevada o bastante para prevenir a expansão do corpo de prova, o que poderia resultar na perturbação da estrutura segundo Head (1986).

Por fim, a saturação por contrapressão não apenas dissolve e comprime o ar da amostra, ele também elimina quaisquer bolhas das linhas de drenagem e conexões. O tempo necessário para dissolução dessas bolhas varia de acordo com o seu comprimento e o diâmetro dos tubos. Quanto menor o diâmetro do tubo, maior o tempo de dissolução e quanto menor a bolha, menor o tempo de dissolução. (Lee e Black, 1972).

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Materiais**

Os componentes utilizados para a construção do painel de saturação foram adquiridos com recursos próprios do professor orientador. Dentre os materiais empregados

temos: manômetros de leitura, conjunto de torneiras (prisma de distribuição), células de interface ar-água, válvulas reguladoras de pressão, filtro regulador de ar, barrilete de abastecimento e estrutura em Aço-Carbono.

Para se determinar as especificações do manual foi necessário observar a NR 12, que trata da segurança no trabalho em máquinas e equipamentos.

Por fim, para se realizar o estudo dos resultados dos ensaios não foi nenhum material específico.

## **4.2 Metodologia**

### **4.2.1 Estrutura do Painel de Saturação**

O painel é a estrutura que dá suporte a todos os equipamentos que auxiliam efetivamente na saturação e no monitoramento dos corpos de prova. De acordo com isso ele deve ser projetado objetivando a melhor funcionalidade na hora da operação. Os principais aspectos levados em consideração foram: a geometria e o material que o qual o painel seria composto.

#### *4.2.1.1 Definição da geometria do painel*

Para definição da geometria do painel de saturação levou-se em consideração a melhor ergonomia do aparelho e a conexão do mesmo com a mesa do ensaio triaxial. De acordo com isso definiu-se que a geometria retangular seria a mais viável, pois possibilita também o ajuste da altura de acordo com a preferência do operador. Por fim, definiu-se que o painel teria 1,15 m de largura e 1,30 m de altura.

#### *4.2.1.2 Definição do material componente*

Definida a geometria do painel de saturação começou-se a busca por materiais que proporcionassem o melhor custo-benefício. Visto isso optou-se pela utilização de aço carbono na estrutura do painel. Além de uma boa relação custo benefício esse material traz a vantagem do peso reduzido se comparado aos demais.

## **4.2.2 Equipamentos componentes do painel de saturação**

Definida a estrutura do painel, passou-se para etapa de estudo dos equipamentos que iriam compor essa estrutura.

### *4.2.2.1 Manômetros de leitura*

Optou-se pela utilização dos manômetros digitais, pois eles possibilitam a leitura das pressões nas quais o ensaio está sendo realizado de forma mais rápida e eficiente. Eles mensuram a pressão confinante, a contrapressão e a poropressão. O procedimento de calibração dos manômetros foi feito de acordo com a NBR ISO/IEC 17025 e seguiu-se o procedimento especificado pela SQ-MA-002 Ver.10-2 Ed. Já a incerteza foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

### *4.2.2.2 Células de interface (ar-água)*

As células são as partes que garantem o interfaceamento ar/água, elas foram construídas em aço carbono e tubo de acrílico sem emenda costura. Cada célula possui em seu interior uma bexiga de borracha vulcanizada, que é inflada pelo compressor e transmite a pressão para a água evitando o contato do ar com a água.

### *4.2.2.3 Válvulas reguladoras de pressão*

As válvulas reguladoras de pressão permitem o ajuste da pressão na qual o ensaio será realizado. Preferiu-se utilizar uma manopla circular em vista da facilidade desse ajuste. O acréscimo ou redução da pressão é feito rotacionando a manopla das válvulas. Para que se chegue na pressão desejada deve-se acompanhar a mudança na leitura dos manômetros.

### *4.2.2.4 Conjunto de torneiras (Prisma de distribuição)*

Os conjuntos de torneiras é a parte da mesa de saturação que faz a ligação direta com o conjunto que será saturado. Temos as torneiras que são responsáveis pela pressão confinante e as que são responsáveis pela contrapressão. Decidiu-se pela utilização desse prisma com o objetivo de concentrar as torneiras responsáveis por cada uma das pressões.

#### *4.2.2.5 Barrilete de abastecimento*

O barrilete de abastecimento é a parte do sistema que fornece água desaerada para as células. A água é o meio pelo qual a pressão será controlada.

Optou-se por um barrilete com a capacidade de 10 l, a fim de que o abastecimento das células seja garantido. Cada célula possui cerca de 2,9 l.

#### *4.2.2.6 Filtro regulador de ar*

O filtro regulador de ar regula a entrada de ar no sistema e é fundamental, pois ele garante a pureza do mesmo.

### **4.2.3 Montagem do Painel de saturação**

Na etapa de montagem do painel de saturação foram fixados todos os componentes com a aperto necessário para de que eles não afrouxassem e comprometessem o funcionamento de toda estrutura.

A ordem de fixação foi:

1. Filtro regulador de Ar;
2. Conjunto de Torneiras (Prisma de distribuição);
3. Manômetros de Leitura;
4. Válvulas Reguladoras de Pressão;
5. Barrilete de Abastecimento.

Após essa etapa foi feita a ligação do painel com as células de interface através das mangueiras de abastecimento. Com isso concluiu-se a montagem do painel de saturação.

#### **4.2.4 Teste do conjunto**

Para que fosse assegurado o funcionamento do painel de saturação foi realizado um teste com todo o conjunto e com o auxílio de uma célula triaxial. Ligou-se a célula no sistema do painel e efetuou-se a saturação de um corpo de prova.

#### **4.2.5 Manual do painel de Saturação**

Com o objetivo de que o painel de saturação pudesse ser utilizado de forma plena e proporcionasse a segurança dos usuários foi elaborado um manual de instalação e uso do equipamento de acordo com as especificações da NR-12, em especial aos itens 12.127 e 12.128 que determina especificamente o conteúdo dos manuais de uma forma geral.

O item 12.127 especifica que os manuais devem ser escritos em língua portuguesa, com caracteres que visem a melhor legibilidade e conte com ilustrações explicativas. O manual também deve ser claro, não possuir ambiguidades e ser de fácil compreensão. Além também de contar com sinais ou avisos referentes à segurança realçados. Por fim, o item 12.127 determina que o manual deve permanecer disponível a todos os usuários no local de trabalho e uso do equipamento.

Já o item 12.128 determina que nos manuais devem constar todas as informações do fabricante como: razão social, CNPJ e endereço. Deve conter também toda a descrição do equipamento com informações acerca número de série, ano de fabricação, do tipo, modelo e capacidade. Além de que é preciso detalhar a definição de utilização prevista, riscos que podem resultar de utilizações diferentes das previstas para o equipamento, procedimentos de segurança, periodicidade das manutenções e informações sobre todas as fases da utilização.

#### **4.2.6 Análise dos resultados**

A metodologia adotada para análise dos resultados foi bem objetiva, de forma que foi saturada uma bateria de 4 corpos de prova e observado se houve algum tipo de avaria

do sistema na hora da saturação deles, a velocidade da saturação e o tempo total gasto utilizando o painel de saturação. Após essa observação foi feita uma comparação em relação ao tempo necessário para que o Equipamento Triaxial Estático Tipo Ar Comprimido Servo Controlado saturasse o mesmo número de corpos de prova.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Painel de Saturação**

Foi obtido sucesso na montagem do painel de saturação, o mesmo apresentou desempenho satisfatório quanto a estanqueidade de todas as junções e todos os seus componentes mantiveram suas características e puderam contribuir de forma satisfatória para que o conjunto cumprisse seu papel.

### **5.2 Manual do Painel de Saturação**

O manual feito para o painel de saturação se encontra no anexo A e possui todas as informações básicas que o caracterizam como o manual de um equipamento profissional. Todas as especificações da NR 12 foram atendidas.

### **5.3 Análise dos Resultados**

O painel de saturação cumpriu com o objetivo inicialmente proposto, que era o de acelerar o processo de saturação de corpos de prova para o ensaio triaxial. Foi observado uma eficiência 4 vezes maior em relação ao Equipamento Triaxial Estático, no tempo em que o equipamento triaxial satura 1 corpo de prova, o painel de saturação satura 4 corpos de prova. Segundo avaliação do operador, o equipamento proporcionou produtividade a baixo custo. Desde a sua instalação não foram observadas dificuldades, pois ele possuía manual e adesivos identificadores de cada um dos componentes.

## **6. CONCLUSÃO**

O painel de saturação atende as demandas exigidas para saturação dos corpos de prova para ensaios triaxiais e proporciona uma maior agilidade, pois o número de corpos de prova saturados é superior ao do Equipamento Triaxial Estático. O manual descreve toda a instalação do painel de forma clara e objetiva para que não haja dupla interpretação.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASTM Standard D4767. (2011). **Standard test method for consolidated undrained triaxial compression test for soils.** West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM. Standard D2850. (2011). **Standard test method for unconsolidated undrained triaxial compression test for soils.** West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM. Standard D7181. (2011). **Standard test method for consolidated drained triaxial compression test for soils.** West Conshohocken, PA: ASTM International.

DAS, Braja M., **Fundamentos de engenharia geotécnica.** Tradução All Task. 6° Ed. Editora Thomson Learning, 2007. 562 p.

LINS, A. H. P. ; LACERDA, W. A. . **Ensaio Triaxiais de Compressão e Extensão na Argila Cinza de Botafogo** - RJ. Solos e Rochas , Rio de Janeiro, v. 3, n.2, p. 03-29, 1980.

MTB. **Norma Regulamentadora 12: SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS.** 2018. 115 p.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** 2° ed São Paulo: Oficina de textos, 2002. 353 p.

PITANGA, H. N. **Influência da velocidade de ensaio e do tempo de inundação na resistência ao cisalhamento dos solos,** 2002.