

6.4 Condutividade Hidráulica Saturada com Temperatura Controlada

Para o equipamento de temperatura controlada foi feita uma adaptação no permeâmetro de parede flexível e de carga constante, que foi descrito no item 6.1. Nessa adaptação o que mais se visava era que o sistema de aplicação e controle de temperatura fosse eficaz e preciso.

Para a busca de confiabilidade no equipamento questionou-se quais materiais poderiam ser mantidos no permeâmetro e quais não agüentariam a aplicação de calor. Buscou-se também que a temperatura fosse mantida constante ao longo do ensaio e que não fosse dissipada para a atmosfera.

Quanto aos materiais do permeâmetro, verificou-se que o material da câmara (acrílico – Perspex) não iria resistir a acréscimos de temperatura. Foi projetada então uma câmara com aço 1020, na qual foi colocado um indicador de nível d'água para que se pudesse controlar o nível da água dentro da câmara. No primeiro ensaio realizado com aquecimento houve um processo acentuadíssimo de corrosão do material, evidenciando-se a necessidade de um tratamento superficial no aço. Dentre os processos disponíveis no mercado para evitar o ataque de temperatura ao aço o que melhor se adaptou foi o de zincagem. Um detalhe da câmara é mostrado na Figura 27.



Figura 27 – Detalhe da câmara de aço

Como não se era desejada uma dissipação da temperatura aplicada, buscou-se colocar todo o sistema num mesmo equilíbrio de temperatura. Para isso, o permeâmetro foi instalado dentro de uma estufa. A estufa usada para esta aplicação foi uma estufa de secagem de solos, sendo para este fim realizada uma modificação em seu controle de temperatura.

O sistema de controle da temperatura da estufa passou a ser feito por um controlador e indicador de temperatura microprocessado modelo HW 1430 - Coel. O termopar de controle está instalado na parte central superior da estufa e conectado a este controlador, possibilitando a aplicação de temperaturas de até 100°C. O termopar utilizado é do tipo K. Este tipo de termopar foi escolhido pois se adapta bem para outras variações de temperaturas mais altas, caso se queria utilizá-las, uma vez que este controlador pode atingir temperaturas até 1000°C. A precisão de controle da temperatura é de $\pm 5^\circ\text{C}$. Uma foto geral mostrando o detalhe do termopar e de controlador está apresentada na Figura 28(a). A variação de 8 graus entre as temperaturas indicadas na Figura 28(a) se deve ao fato da porta da estufa estar aberta para a atmosfera no momento da foto.

A saída de controle, tipo *on-off*, mantém o processo na temperatura desejada. Os visores, com 4 dígitos cada, permitem visualizar simultaneamente a temperatura no interior da estufa (visor superior - vermelho) e a temperatura pré-selecionada (visor inferior - verde), conforme ilustra a Figura 28(b).

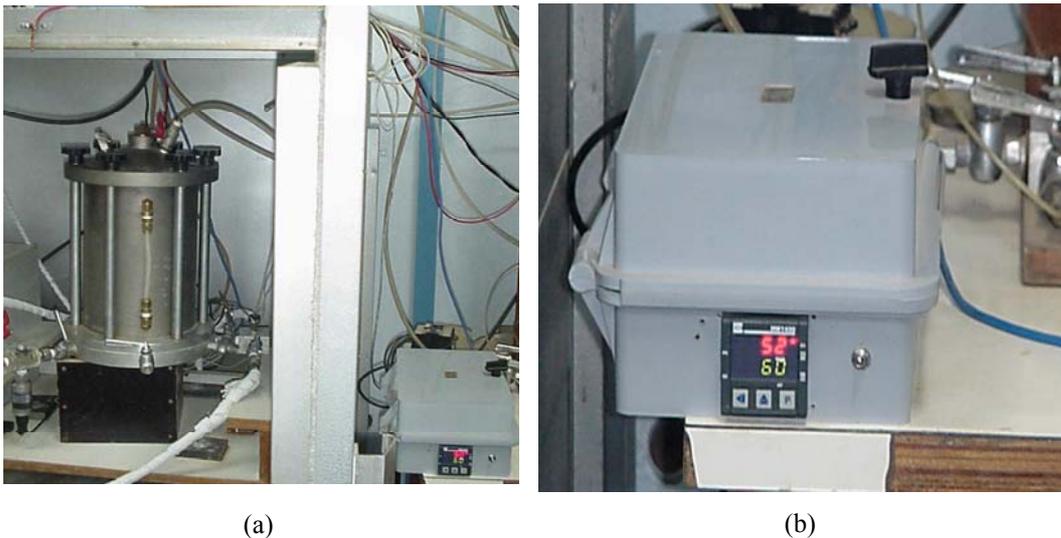


Figura 28 – Unidade de controle de temperatura

Para a realização dos ensaios com temperatura controlada projetou-se um sistema de aplicação de calor que foi acoplado à base da câmara. Este sistema permite a elevação da temperatura das amostras até o valor estabelecido para cada ensaio. Foram projetadas duas resistências, associadas em série, que permitem aquecer o volume de água que se faz necessário para submergir a amostra e o cabeçote. Além desta resistência, um termopar tipo Pt100 foi acoplado a base da câmara para permitir um controle da temperatura. Utilizou-se um termopar tipo Pt100, pois este é mais estável para baixas temperaturas, apresentando uma relação bastante linear. Um detalhe da base é apresentado na Figura 29(a). Tanto os termopares quanto a resistência foram ligados a um controlador universal CNT110 – Incon. Este controlador está apresentado na Figura 29(b). O controlador é do tipo DPID de 220 Volts a 30 Ampères. A principal característica deste controlador é que pode-se programar um sistema de rampa e patamares com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$. O sistema de rampa e patamares faz com que depois que a temperatura desejada seja atingida, esta independentemente do tempo irá se manter constante. Todo o sistema de resistência só pode ser acionado quando estiver submerso. Da mesma maneira que, para o controlador da estufa, a saída para controle, tipo *on-off*, mantém o processo na temperatura desejada. Os *displays* com 4 dígitos cada, permitem visualizar simultaneamente a temperatura no interior da câmara (visor superior - vermelho) e a temperatura pré-selecionada (visor inferior - verde), como ilustra a Figura 29(b).



Figura 29 – Detalhes do sistema de aquecimento

A tensão confinante é aplicada com ar comprimido através de uma interface ar-água e medida através de um transdutor elétrico de pressão, do tipo Gefran com

capacidade de 1000kPa. Este transdutor de pressão foi utilizado, uma vez que o fabricante garantiu sua faixa de trabalho até 150°C. Como este era mantido dentro da estufa, a qual iria sofrer aquecimento, o transdutor foi calibrado para diferentes temperaturas. Estas calibrações se encontram no Apêndice A. A poropressão no topo é medida através do mesmo transdutor que mede a tensão confinante.

O transdutor elétrico de poropressão da base, do tipo Gefran com capacidade de 1000kPa, também seria submetido ao aumento de temperatura, sendo então feita a calibração para diferentes temperaturas. Essas calibrações se encontram no Apêndice A.

O medidor de variação de volume foi mantido dentro da estufa, para que a água que percolasse a amostra também estivesse no mesmo nível de temperatura do interior da câmara. Sendo a faixa de trabalho do LSC-HS n° 3483-50 não resistente à temperatura, foi projetado um sistema com haste e rolamento perfeito que permitiu que este ficasse do lado externo da estufa, conforme mostra a(Figura 30. A calibração do LSC-HS se encontra no Apêndice A.



Figura 30 – Detalhe do medidor de variação de volume e do LSCDT

Como última adaptação ao equipamento foram instalados termopares tipo J para que fossem medidas as temperaturas de entrada e de saída da água percolada. Foi utilizado termopares do tipo J, uma vez que estes são mais precisos para

baixas temperaturas, que o caso das temperaturas aqui ensaiadas. Detalhes dos termopares estão apresentados na Figura 31, termopar da base, 31(a), termopar do topo, 31(b). Para esses termopares foram adquiridos amplificadores que permitiram que seus sinais fossem lidos no sistema de aquisição de dados do laboratório. A calibração destes termopares foi feita com o auxílio de banho-maria e de um termômetro digital portátil, MINIPA MN-511, Figura 25. A calibração destes termopares também se encontra no Apêndice A.

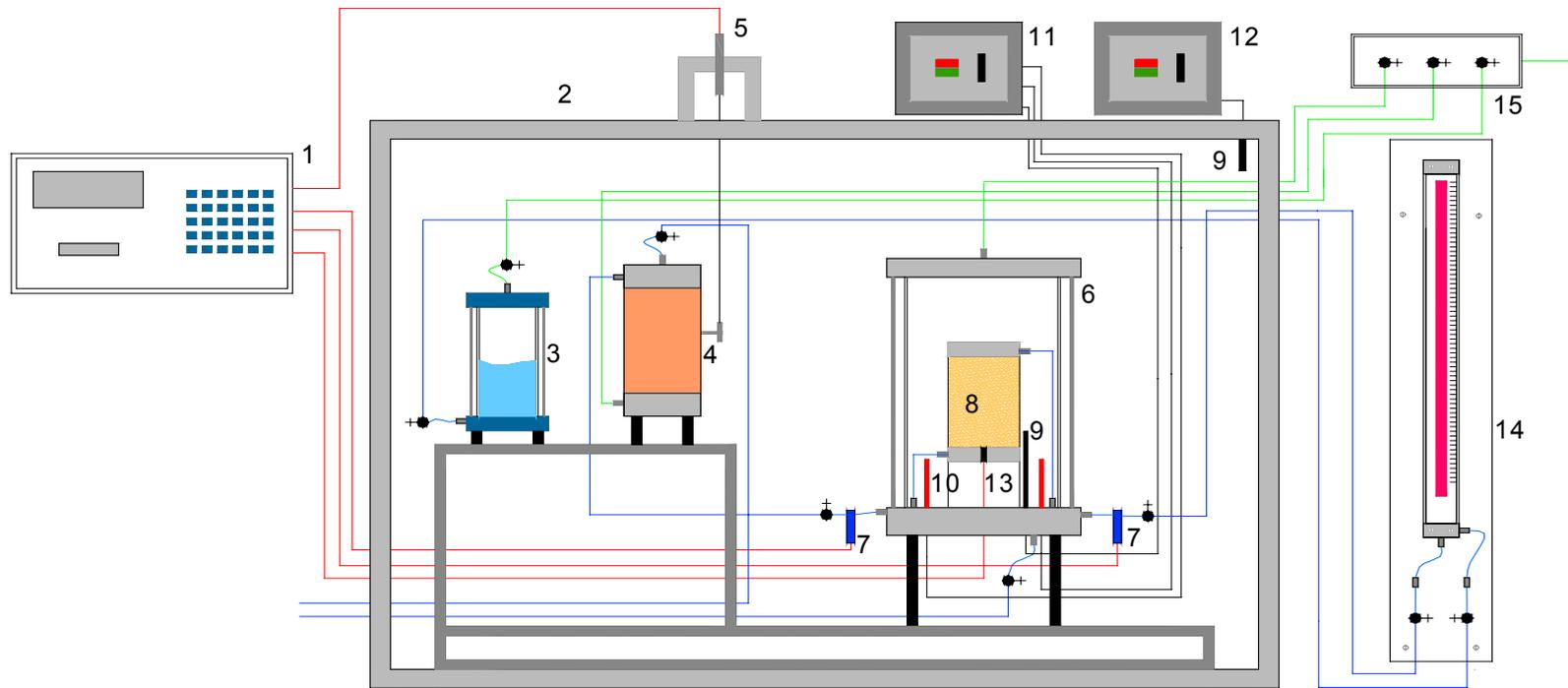


Figura 31 – Detalhe dos termopares instalados na base e no topo da amostra

Na Figura 32 é apresentada uma visão geral de como ficou o permeâmetro de temperatura controlada, enquanto que a Figura 33 apresenta um diagrama esquemático do mesmo.



Figura 32 – Permeâmetro de temperatura controlada



1- Aquisitor de Dados - Orion	6- Câmara de Aço	11- Controlador da Câmara
2- Estufa – Temperatura Controlada	7- Transdutores de Pressão	12- Controlador da Estufa
3-Interface Ar-Água	8- Corpos de Prova	13- Termopares na entrada e na saída do CP
4- Medidor de Variação de Volume	9- Termopares Controladores da Câmara e da Estufa	14- Bureta graduada
5- LSVDT – medidor de deslocamento	10- Resistências do Controlador da Câmara	15- Válvulas de aplicação de ar comprimido

Figura 33 – Diagrama esquemático do permeâmetro de temperatura controlada.

O fluxo neste equipamento é vertical ascendente, com medidas do volume de entrada e de saída de fluido das amostras. O pedestal da base e o cabeçote superior têm 10,16cm de diâmetro.

Neste equipamento é utilizado um sistema de aplicação de pressão a ar comprimido. O painel de aplicação de pressão é composto por três válvulas, sendo na primeira linha de válvulas, a da esquerda, utilizada para a aplicar pressão na base e a da direita para aplicar pressão no topo. A válvula inferior é usada para aplicação da tensão confinante.

A tensão confinante é aplicada com ar comprimido através de uma interface ar-água e medida através de um transdutor elétrico de pressão. O gradiente hidráulico é estabelecido para amostra por meio de aplicação de pressões diferentes no topo e na base. Estas pressões também são medidas com transdutores elétricos de pressões devidamente calibrados. A pressão no topo é medida no mesmo transdutor que mede a tensão confinante.

A base de cada amostra é ligada a um medidor de variação de volume que funciona também como interface. Uma pressão de ar comprimido é aplicada no reservatório inferior e transmitida através de um êmbolo ao fluido de percolação, que está contido no reservatório superior. O fluido sai gradualmente do reservatório, sendo injetado na base da amostra. Existe um medidor de variação volumétrica do tipo diafragma – LSC-HS, acoplado ao êmbolo do medidor de variação de volume, localizado na parte externa da estufa.

O topo é ligado a uma bureta com capacidade de 5cm³, com resolução de 0,1cm³, onde é medido o volume de fluido que sai da amostra.

Os sinais elétricos advindos dos transdutores são captados pelo sistema de aquisição de dados – ORION, onde são convertidos para unidades de engenharia através das curvas de calibração, que estão apresentadas no Apêndice A e armazenados em um disquete.

6.4.1 Metodologia de Ensaio

Compactou-se os corpos de prova conforme descrito no item 5.2.1, com altura de 6cm e diâmetro de 10,14cm, que foram colocados dentro da câmara, com papel-filtro e pedra porosa separando as suas extremidades da base e do topo e

envolvida por uma membrana de látex, presa com dois anéis de vedação à base e ao cabeçote.

Preencheu-se a câmara com uma quantidade de água que ultrapassasse o cabeçote. Inicializando-se o sistema de aquecimento. O aquecimento ocorria desde a fase de saturação.

Foram executados ensaios de permeabilidade em amostras submetidas a diferentes temperaturas – temperatura ambiente (22°C), 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C e 80°C, para o solo do Campo Experimental, e, para o solo da Cidade dos Meninos.

Com a água colocada na câmara aplicava-se a tensão confinante por meio da interface ar-água. Regulava-se então as pressões que serão aplicadas na base e no topo da amostra, deixando-se percolar água pela amostra. Quando atingia-se o regime de fluxo permanente, evidenciado pela igualdade das vazões de entrada e de saída, admitia-se a saturação da amostra, calculando-se assim a condutividade hidráulica do solo. Este procedimento é repetido para os corpos de prova submetidos a diferentes temperaturas.

Durante todos os ensaios foram controlados além das pressões no topo e na base, a variação de volume, a temperatura da câmara e a temperatura de entrada e saída de água na amostra.

6.5 Célula de Compressão Isotrópica com Temperatura Controlada

Adaptou-se o permeâmetro com temperatura controlada, apresentado no item 6.4, para que este se comporta-se como uma célula de compressão isotrópica, sendo possível a realização de ensaios de dissipação com medição da variação de volume.

A pressão do topo e da base deveriam ser mantidas iguais, então retirou-se a interface e o topo e a base ficaram ligadas ao medidor de variação de volume. Os transdutores elétricos de pressão utilizados são os mesmos, assim como toda a configuração e disposição do controle de temperatura já apresentada anteriormente. A Figura 34 mostra uma foto da nova configuração.



Figura 34 – Medidor de variação volumétrica com temperatura controlada.

6.5.1 Metodologia de Ensaio

Compactou-se os corpos de prova conforme descrito no item 5.2.1, com altura de 6 cm e diâmetro de 10,14 cm, que foram colocados dentro da câmara, com papel-filtro e pedra porosa separando as suas extremidades da base e do topo e envolvida por uma membrana de látex, presa com dois anéis de vedação à base e ao cabeçote.

Preencheu-se a câmara com uma quantidade de água que ultrapassasse o cabeçote. O sistema de aquecimento era então inicializado. Saturava-se o corpo de prova e iniciava-se o ensaio.

Com a água colocada na câmara aplicava-se a tensão confinante por meio da interface ar-água. Regulava-se então a pressão que seria aplicada no medidor de variação de volume para ser transmitida a base e ao topo da amostra.

Após a saturação a temperatura no interior da câmara era elevada para 30°C, com as drenagens do topo e da base devidamente fechadas. Esperava-se até a estabilização das poropressões e abria-se a drenagem deixando que o água entrasse ou saísse do corpo de prova. Quando esta estabilizava, fechava-se novamente as drenagens e um novo incremento de temperatura era aplicado, e após a sua estabilização as drenagens eram abertas para que a água dos poros

pudesse ser liberada. Este procedimento foi repetido com incremento de temperatura de 10°C, ou seja para as temperaturas 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C e 80°C, para o solo do Campo Experimental, e, para o solo da Cidade dos Meninos.

Durante todos os ensaios foram controlados além das pressões do topo/base, a variação de volume, a temperatura da câmara e a temperatura de entrada e saída de água na amostra.