



Guilherme Roberto Slongo

**Desenvolvimento de um Sistema Triaxial
Servo-Controlado e Avaliação do Comportamento
Mecânico de um Solo Residual de Biotita Gnaisse.**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Tácio Mauro Pereira de Campos

Rio de Janeiro, Setembro de 2008



Guilherme Roberto Slongo

**Desenvolvimento de um Sistema Triaxial
Servo-Controlado e Avaliação do Comportamento
Mecânico de um Solo Residual de Biotita Gnaisse.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos

Orientador

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof.^a Michéle Dal Toé Casagrande

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof. Sérgio Tibana

Departamento de Engenharia Civil - UENF

Prof. George de Paula Bernardes

Departamento de Engenharia Civil – FEG/UNESP

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 19 de Setembro de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Guilherme Roberto Slongo

Graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná – UFPR em 2005. Principal área de interesse: Mecânica dos Solos Não Saturados.

Ficha Catalográfica

Slongo, Guilherme Roberto

Desenvolvimento de um sistema triaxial servo-controlado e avaliação do comportamento mecânico de um solo residual de Biotita Gnaisse
/ Guilherme Roberto Slongo ; orientador: Tácio Mauro Pereira de Campos. – 2008.

142 f. : il.(color.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Triaxial. 3. Solo residual. 4. Trajetória de tensões. 5. Eletrônível. 6. Solos não saturados. I. Campos, Tácio Mauro Pereira de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

"A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original."
(Albert Einstein)

Agradecimentos

Primeiramente agradeço ao meu orientador Professor Tácio, pelo incentivo constante, pela ajuda, pela confiança e amizade.

Agradeço todos os Professores da PUC-Rio que contribuíram com este trabalho em especial ao Professor Franklin pela dedicação e atenção. Ao Professor Araruna e sua esposa Débora que pela prontidão em ajudar. Ao Professor Luiz Gusmão pelo auxílio imprescindível com a instrumentação.

Agradeço a todos do Laboratório que me auxiliaram em especial ao William por compartilhar de seu conhecimento e por sua amizade.

Ao incentivo financeiro da PUC-Rio, CAPES, FAPERJ e do CNPq. Aos funcionários da PUC-Rio pela prestatividade. À Rita e Fátima pela atenção e ao Marcel por sempre estar disposto a me auxiliar e pela amizade.

Agradeço ao meu pai Edson por me ensinar a admirar a engenharia e por ser o exemplo de pessoa a quem desejo seguir. À minha mãe Rute, pelo amor, apoio e cumplicidade. Aos meus irmãos Daniela e Júnior pela preocupação e pelas palavras de motivação. Amo todos vocês.

À minha namorada Carla por sempre me incentivar e apoiar nesta jornada. Por ser a pessoa maravilhosa que é. Principalmente por seu amor. Te amo.

Aos amigos que descobri no mestrado que tornaram esta caminhada mais fácil. E em especial a estas seis pessoas que admiro Elvídio, Bazan, Roberto, Lorena, Viviam e Jociléia.

Resumo

Slongo, Guilherme Roberto; de Campos, Tácio Mauro Pereira; **Desenvolvimento de um Sistema Triaxial Servo-Controlado e Avaliação do Comportamento Mecânico de um Solo Residual de Biotita Gnaiss**. Rio de Janeiro. 142p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A presente dissertação contemplou o estudo de propriedades mecânicas de um solo Residual Biotita Gnaiss do Alto Leblon (Município do Rio de Janeiro) e o desenvolvimento de um equipamento triaxial para ensaios não saturados. Para o estudo do comportamento mecânico foi desenvolvido um programa experimental que envolveu: (a) ensaios de caracterização física; (b) caracterização mineralógica através da difratometria de Raio-X, microscopia óptica e Microscopia Digital; (c) determinação de propriedades não saturadas através da curva característica determinada utilizando o método do papel filtro, porosimetria de mercúrio e análise digital de imagem; (d) parâmetro de resistência ao cisalhamento através de ensaios triaxiais convencionais e não convencionais com controle de trajetória de tensões na condição saturada; (e) análise dos Módulos Iniciais com a utilização de sensores para a medição de deformação externa e interna (Eletronível tipo *Imperial College*) e os efeitos das trajetórias de tensões sobre os Módulos Iniciais. O equipamento Triaxial desenvolvido para ensaios na condição parcialmente saturada está equipado com um sistema de medição de variação de volume total do corpo de prova o qual está baseado no princípio de vasos comunicantes aliado a uma balança de precisão. Visando eliminar o efeito de dilatação, a câmara triaxial foi desenvolvida utilizando o artifício da câmara dupla. O equipamento encontra-se montado, porém não houve a possibilidade de sua validação devido a atrasos no processo de importação de componentes referentes ao controle, aplicação de pressões e aquisição de dados.

Palavras-chave

Triaxial; solo residual; trajetória de tensões; eletronível; solos não saturados.

Abstract

Slongo, Guilherme Roberto; de Campos, Tácio Mauro Pereira;
Development of a Servo-Controlled Triaxial Equipament and Evaluation of Mechanical Behaviour of a Biotite-Gneiss Residual Soil.
Rio de Janeiro. 142p. Msc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This dissertation presents a study of the mechanical properties of biotite gneiss residual soil found at Alto Leblon, Rio de Janeiro, and the development of a triaxial equipment for unsaturated soil testing. An experimental program has been created to study the mechanical behaviour of soil. The methodology proposed by this campaign is: (a) physical characterization tests; (b) mineralogical characterization by X-Ray diffractometry tests, optical microscopy and digital microscopy analysis; (c) study of unsaturated properties based on its moisture retention curve – which has been determined by using the filter paper method, the mercury intrusion porosimetry test and digital image analysis; (d) by obtaining shear strength parameter through conventional and unconventional triaxial tests using stress paths controlled at a saturated condition and; (e) by analyzing the Initial Modules using sensors to measure internal and external axial strain (Imperial College electrolevel) and to study the stress paths effects on Initial Modules. The triaxial equipment used in this research was specially developed for the study of unsaturated soils. It includes a system for measuring the total volume variation of the specimen. This system is based on the principle of communicating vessels and is associated with a precision balance. The triaxial chamber has been developed based upon the dual chamber principle to eliminate dilatation effects. The equipment has been set up, but its validation was not possible due to a delay in the importation process of control, pressure application and data acquisition components.

Keywords

Triaxial; residual soil; stress path; electrolevel; unsaturated soils.

Sumário

| | | |
|----------|---|----|
| 1 | Introdução | 18 |
| 2 | Revisão Bibliográfica | 20 |
| 2.1. | Solo Residual | 20 |
| 2.1.1. | Solo Residual - Cimentação | 22 |
| 2.1.2. | Solo Residual - Plastificação | 25 |
| 2.2. | Teoria do Estado Crítico | 27 |
| 2.3. | Superfície de Roscoe | 31 |
| 2.4. | Superfície de Hvorslev | 32 |
| 2.5. | Equipamentos Triaxiais | 36 |
| 2.6. | Medição de Deformações Locais | 38 |
| 3 | Características da Área de Estudo | 40 |
| 3.1. | Localização | 40 |
| 3.2. | Clima | 41 |
| 3.3. | Geoambiental | 42 |
| 3.4. | Geomorfológico | 43 |
| 3.5. | Vegetação | 45 |
| 3.6. | Geologia | 46 |
| 3.7. | Solos | 48 |
| 4 | Ensaio Realizados e Metodologias Empregadas | 50 |
| 4.1. | Ensaio de Caracterização | 50 |
| 4.1.1. | Caracterização Física | 50 |
| 4.1.2. | Caracterização Mineralógica | 51 |
| 4.1.2.1. | Microscopia Ótica | 51 |
| 4.1.2.2. | Difração de Raio-X | 52 |
| 4.1.3. | Características Não Saturadas | 53 |

| | |
|--|----|
| 4.1.3.1. Curva de Retenção de Umidade | 53 |
| 4.1.3.2. Porosimetria de Mercúrio | 54 |
| 4.1.3.3. Microscopia Digital de Varredura (MDV) | 57 |
| 4.2. Ensaio Triaxiais | 58 |
| 4.2.1. Prensa Triaxial com Deformação Controlada | 58 |
| 4.2.1.1. Interface Ar/Água | 60 |
| 4.2.1.2. Medidor de Variação de Volume | 61 |
| 4.2.1.3. Câmara Triaxial | 61 |
| 4.2.1.4. Transdutor de Poro-Pressão e Tensão Confinante | 63 |
| 4.2.1.5. Controlador de Pressão | 63 |
| 4.2.1.6. Prensa Triaxial Eletromecânica | 63 |
| 4.2.2. Prensa Triaxial Tipo Bishop-Wesley com Tensão Controlada ou Deformação Controlada | 64 |
| 4.2.2.1. Interface Ar/Água | 65 |
| 4.2.2.2. Medidor de Variação de Volume | 65 |
| 4.2.2.3. Câmara triaxial | 65 |
| 4.2.2.4. Transdutor de Poro-Pressão e Tensão Confinante | 66 |
| 4.2.2.5. Controlador de Pressão | 66 |
| 4.2.2.6. Célula Triaxial Tipo Bishop-Wesley | 67 |
| 4.2.3. Eletrônicos Tipo Imperial College | 68 |
| 4.2.4. Procedimentos Iniciais e Materiais Utilizados | 69 |
| 4.2.4.1. Confecção dos Corpos de Prova | 70 |
| 4.2.4.1.1. Corpos de Prova Não Amolgados | 71 |
| 4.2.4.1.2. Corpos de Prova Amolgados | 72 |
| 4.2.4.2. Membranas Papel Filtro e Pedras Porosas | 72 |
| 4.2.4.3. Saturação das Linhas do Equipamento Triaxial | 73 |
| 4.2.5. Metodologia de Cálculo dos Ensaio | 73 |
| 4.2.5.1. Ensaio Triaxial com Deformação Controlada. | 73 |
| 4.2.5.2. Ensaio Triaxial com Tensão Controlada | 74 |
| | |
| 5 Caracterização do Solo | 75 |
| 5.1. Caracterização Geotécnica | 75 |
| 5.1.1. Índices Físicos | 75 |
| 5.1.2. Análise Granulométrica | 75 |

| | |
|--|-----|
| 5.1.3. Limites de Atterberg | 76 |
| 5.2. Característica Mineralógica | 77 |
| 5.2.1. Microscopia Ótica | 77 |
| 5.2.2. Difração de Raio-X | 79 |
| 5.3. Propriedades Não-Saturadas | 81 |
| 5.3.1. Curva de retenção de umidade | 81 |
| 5.3.2. Porosimetria de Mercúrio | 84 |
| 5.3.3. Microscopia Digital de Varredura, | 86 |
| | |
| 6 Apresentação e Análise dos Resultados | 89 |
| 6.1. Ensaio Triaxiais | 89 |
| 6.2. Ensaio Triaxiais com Deformação Controlada | 93 |
| 6.2.1. Ensaio Consolidados Drenados | 93 |
| 6.2.1.1. Amostras Não Amolgadas | 93 |
| 6.2.1.2. Amostras Remoldadas | 95 |
| 6.2.2. Ensaio Consolidados Não Drenados (CIU) | 97 |
| 6.3. Ensaio Triaxiais Realizados com Controle de Tensões | 99 |
| 6.3.1. Ensaio Trajetória de Tensão – Aumento de Poro-pressão | 100 |
| 6.3.2. Ensaio Trajetória de Tensão – s' Constante | 102 |
| 6.4. Determinação do Módulo Inicial | 104 |
| 6.4.1. Módulo Inicial para os Ensaio Consolidados Drenados | 105 |
| 6.4.2. Módulo Inicial para os Ensaio Consolidados Não Drenados | 107 |
| 6.4.3. Módulo Inicial para os Ensaio com Controle de Trajetória de Tensões | 107 |
| 6.5. Análise Conjunta dos Resultados | 109 |
| 6.5.1. Resistência | 109 |
| 6.5.1.1. Ensaio Drenados e Não Drenados | 109 |
| 6.5.1.2. Ensaio Drenados com Amostras Não Amolgadas e Remoldadas | 110 |
| 6.5.1.3. Ensaio com s' Constante e Aumento | |

| | |
|---|-----|
| de Poro-Pressão (APP) | 111 |
| 6.5.1.4. Comparação com Solo Estruturado | 112 |
| 6.5.2. Módulo Inicial | 114 |
| 6.5.2.1. Efeito do Índice de Vazios | 114 |
| 6.5.2.2. Ensaios Drenados com Amostra Indeformada e Remoldada | 115 |
| 6.5.3. Ensaios com s' Constante e Aplicação de Poro-Pressão (APP) | 116 |
| | |
| 7 Desenvolvimento de Equipamento Triaxial Não Saturado | 118 |
| 7.1. Descrição do Equipamento | 121 |
| 7.1.1. Câmara Triaxial | 122 |
| 7.1.2. Sistema de Medição de Variação de Volume Total | 126 |
| 7.1.3. Sistema de Aquisição de Dados e Controle | 131 |
| 7.1.4. Sistema de Aplicação de Pressões | 132 |
| 7.1.5. Instrumentação | 133 |
| | |
| 8 Conclusões e Sugestões para Futuros Trabalhos | 135 |
| 8.1. Conclusões | 135 |
| 8.2. Sugestões para Futuros Trabalhos | 137 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 – Comportamento de solo com Cimentação (Vaughan et al, 1988). | 24 |
| Figura 2.2 – Ensaio Triaxial em Rocha Calcária (Lagioia & Nova, 1995). | 26 |
| Figura 2.3 – Superfície de Plastificação para Solos (a) Sedimentares (b) Residuais (Leroueil & Vaughan, 1990). | 26 |
| Figura 2.4 – Pontos de Plastificação de Areia Carbonática Cimentada Artificialmente (Coop & Atkinson, 1993). | 27 |
| Figura 2.5 – Representação Estado Crítico (Atkinson & Bransby, 1978). | 28 |
| Figura 2.6 – Comportamento do Material ao Cisalhamento (Atkinson & Bransby, 1978). | 29 |
| Figura 2.8 – Linha de estado crítico (Atkinson & Bransby, 1978). | 31 |
| Figura 2.9 – Superfície de Roscoe (Atkinson & Bransby, 1978). | 32 |
| Figura 2.10 – Resultados típicos de ensaios triaxiais convencionais drenados em amostras pré-adensadas (Wood, 1991). | 33 |
| Figura 2.11 – Resultados em termos de trajetórias de tensões de um ensaio triaxial convencional drenado (Wood, 1991). | 34 |
| Figura 2.12 – Ensaio Triaxiais em argilas pré-adensadas (Parry, 1960). | 35 |
| Figura 2.13 – Superfície de Hvorslev (reta AB) e de Roscoe (linha BC) em conjunto com as linhas de estado críticos (ponto B) e alinha de compressão isotrópica (ponto C) (Parry, 1960). | 35 |
| Figura 2.14 – Superfície de Roscoe e Hvorslev (Wood, 1991). | 36 |
| Figura 2.15 – Esquema do equipamento de ensaios triaxiais para solos não saturados (Wheeler & Sivakumar, 1992). | 38 |
| Figura 2.16 – Eletrônível tipo <i>Imperial College</i> desenvolvido na PUC-Rio. | 39 |
| Figura 3.1 – Imagem de Satélite (Fonte Google Earth). | 40 |
| Figura 3.2 – Área de Estudo (Georreferenciamento). | 41 |
| Figura 3.3 – Mapa Geoambiental. | 43 |
| Figura 3.4 – Mapa Geomorfológico. | 45 |
| Figura 3.5 – Vegetação Parque Nacional Dois Irmãos. | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.7 – Mapa de Solos. | 49 |
| Figura 4.1 – Difrátômetro Siemens D 5000 e Interface do Software TOPAS da Bruker AXS. | 53 |
| Figura 4.2 – Microscópio Óptico Zeiss AxioPlan 2IE. | 58 |
| Figura 4.3 – Prensa Triaxial de Deformação Controlada - Wykeham Farrance WF100072. | 59 |
| Figura 4.4 – Sistema de Aquisição de Dados Orion. | 60 |
| Figura 4.5 – Câmara Triaxial. | 62 |
| Figura 4.6 – Equipamento Triaxial com Tensão Controlada (<i>Imperial College</i>). | 64 |
| Figura 4.7 – Prensa Pneumática (<i>Imperial College</i>). | 68 |
| Figura 4.8 – Eletrônicos (<i>Imperial College</i>). | 69 |
| Figura 4.9 – Abertura de Bloco para Moldagem. | 71 |
| Figura 4.10 – Preparação de Corpo de Prova. | 71 |
| Figura 5.1 – Distribuição Granulométrica. | 76 |
| Figura 5.3 – Lâmina Petrográfica. | 78 |
| Figura 5.4 – Lamina Petrográfica – Ampliação do Detalhe na Fig. 5.3. | 78 |
| Figura 5.5 – Difrátograma Material Retido na peneira 40. | 80 |
| Figura 5.6 – Difrátograma Material Retido na peneira 200. | 80 |
| Figura 5.7 – Difrátograma Material Retido na peneira 400. | 81 |
| Figura 5.8 – Curva de retenção de umidade. | 82 |
| Figura 5.9 – Curva Característica com ajustes. | 84 |
| Figura 5.10 – Curva de Distribuição de Poros. | 84 |
| Figura 5.11 – Curva de Distribuição de Poros | 85 |
| Figura 5.12 – Curva característica – Porosimetria de Mercúrio. | 86 |
| Figura 5.13 – Lâmina Petrográfica Completa. | 87 |
| Figura 6.1 – Comparação entre as curvas $\sigma_d : \epsilon_{axial}$ com evolométrica $\sigma_d : \epsilon_{axial}$ (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados em amostras Não amolgadas). | 94 |
| Figura 6.2 – Trajetória de Tensão (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados em amostras Não amolgadas). | 95 |
| Figura 6.3 – Comparação entre as curvas $\sigma_d : \epsilon_{axial}$ com evolométrica $\sigma_d : \epsilon_{axial}$ (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados | |

| | |
|---|-----|
| em amostras Remoldadas). | 96 |
| Figura 6.4 – Trajetória de Tensão (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados em amostras Remoldadas). | 97 |
| Figura 6.5 – Comparação entre as curvas $\sigma_d : \epsilon_{axial}$ com $\Delta u : \epsilon_{axial}$ (Ensaio Triaxiais Consolidados Não Drenados). | 98 |
| Figura 6.6 – Trajetória de Tensão (Ensaio Triaxiais Consolidados Não Drenados). | 99 |
| Figura 6.7 – Comparação entre as curvas $\sigma_d : \epsilon_{axial}$ com $\epsilon_{volumétrica} : \epsilon_{axial}$ (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados com Controle da Trajetória de Tensões). | 101 |
| Figura 6.8 – Trajetória de Tensão (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados com Controle da Trajetória de Tensões). | 102 |
| Figura 6.9 – Comparação entre as curvas $\sigma_d : \epsilon_{axial}$ com $\epsilon_{volumétrica} : \epsilon_{axial}$ (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados com Controle da Trajetória de Tensões – s' cte.). | 103 |
| Figura 6.10 – Trajetória de Tensão (Ensaio Triaxiais Consolidados Drenados com Controle da Trajetória de Tensões – s' cte.). | 104 |
| Figura 6.11 – Comparação entre Módulos Iniciais para ensaios CD. | 106 |
| Figura 6.12 – Comparação entre Módulos Iniciais para ensaios CDR. | 106 |
| Figura 6.13 – Comparação entre Módulos Iniciais para ensaios CIU. | 107 |
| Figura 6.14 – Comparação entre Módulos Iniciais para ensaios de descarregamento lateral. | 108 |
| Figura 6.15 - Comparação entre Módulos Iniciais para ensaios com s' constante. | 108 |
| Figura 6.16 – Envoltória Única de Resistência. | 109 |
| Figura 6.17 – Trajetória de Tensões dos Ensaio Drenados. | 110 |
| Figura 6.18 – Trajetória de Tensões dos Ensaio s' constante e APP. | 112 |
| Figura 6.19 – Trajetória de Tensões Comparada com Estudos Anteriores. | 113 |
| Figura 6.20 – Efeito do Índice de Vazios nos Módulos Iniciais. | 115 |
| Figura 6.21 – Módulos Iniciais dos Ensaio Drenados Remoldado e Indeformado. | 116 |
| Figura 6.22 – Módulos Iniciais dos Ensaio Drenados sob trajetória de tens. | 117 |
| Figura 7.1 – Ciclo de Controle. | 118 |
| Figura 7.2 – Equipamento Triaxial Não Saturado. | 119 |

| | |
|--|-----|
| Figura 7.3 – Visão Geral do Equipamento Triaxial para Ensaios Não Saturados. | 121 |
| Figura 7.4 – Detalhe Câmara Dupla. | 122 |
| Figura 7.5 – Acesso de tubulações a Câmara Triaxial. | 124 |
| Figura 7.6 – Top cap e pedestal. | 125 |
| Figura 7.7 – Conjunto Top Cap e Pedestal. | 126 |
| Figura 7.8 – Sistema de Variação de Volume. | 129 |
| Figura 7.9 – Reservatório em PVC. | 129 |
| Figura 7.10 – Calibração do Sistema de Medição de Variação de Volume Total. | 131 |
| Figura 7.11 – Calibração do Sistema de Medição de Variação de Volume. | 131 |
| Figura 7.12 – Box (Controlador de Pressão). | 132 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 2.1 - Características físicas típicas de solos residuais brasileiros (Sandroni, 1981). | 22 |
| Tabela 2.2 – Revisão dos Equipamentos Triaxiais Desenvolvidos. | 37 |
| Tabela 5.1 – Índices Físicos. | 75 |
| Tabela 5.2 – Distribuição Granulométrica. | 75 |
| Tabela 5.4 – Limites de Atterberg. | 76 |
| Tabela 5.5 – Resultados da observação com a lupa binocular. | 79 |
| Tabela 5.6 – Equação de Calibração do Papel Filtro. | 82 |
| Tabela 5.7 – Equações de Ajuste para a Curva Característica. | 83 |
| Tabela 5.8 – Valores dos Parâmetros de Ajuste (Curva Característica). | 83 |
| Tabela 5.9 – Classificação IUPAC (Diâmetro de Poros). | 85 |
| Tabela 5.10 – Relação das Porosidades Através da Técnica de Microscopia Digital de Varredura. | 87 |
| Tabela 5.11 – Porosidades Através das diferentes. | 88 |
| Tabela 6.1 – Representação das nomenclaturas utilizadas | 91 |
| Tabela 6.2 – Resumo das Propriedades dos Corpos de Prova. | 92 |
| Tabela 6.3 – Relação de ensaios instrumentados com Eletrônível. | 104 |
| Tabela 6.4 – Valores dos Parâmetros de Resistência. | 110 |
| Tabela 6.5 – Valores dos Parâmetros de Resistência APP. | 112 |
| Tabela 7.1 – Relação de Acessos Câmara Triaxial. | 123 |
| Tabela 7.2 – Relação de Materiais Utilizados para Calibração Prévia do MVVT. | 130 |

Lista de Quadros

| | |
|--|-----|
| Quadro 6.1 – Organograma dos ensaios triaxiais realizados. | 90 |
| Quadro 7.1 – Convenção das Linhas. | 120 |