



Lúcio Flávio de Souza Villar

**ESTUDO DO ADENSAMENTO E RESSECAMENTO
DE RESÍDUOS DE MINERAÇÃO
E PROCESSAMENTO DE BAUXITA**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de Concentração: Geotecnia.

Orientador: Tácio M. Pereira de Campos

Rio de Janeiro
Agosto de 2002



Lúcio Flávio de Souza Villar

Estudo do Adensamento e Ressecamento de Resíduos de Mineração e Processamento de Bauxita

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Tácio Mauro P. de Campos

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Roberto F. de Azevedo

UFV

Prof. Jorge G. Zornberg

Colorado University, USA

Prof. Fernando Antônio M. Marinho

EPUSP

Prof. George de P. Bernardes

UNESP-FEG

Prof. José T. Araruna Jr.

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Ney Augusto Dumont

Coordenador Setorial

do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 09 de agosto de 2002

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

Lúcio Flávio de Souza Villar

Graduou-se em Engenharia Civil na FUMEC (Fundação Universidade Mineira de Educação e Cultura). Obteve o título de Mestre em Ciências, área de Geotecnia Ambiental, pela PUC-Rio. É professor em regime de dedicação exclusiva da Escola de Engenharia da UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), no Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia. Principais áreas de interesse e pesquisa: mecânica dos solos teórica e experimental e geotecnia ambiental.

Ficha Catalográfica

Villar, Lúcio Flávio de Souza

Estudo do adensamento e ressecamento de resíduos de mineração e processamento de bauxita / Lúcio Flávio de Souza Villar; orientador: Tácio Mauro Pereira de Campos. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2002.

v., [50], 461 f. : il. ; 30 cm

1. Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Civil – Teses. 2. Adensamento. 3. Ressecamento solar. 4. Resíduos de mineração e processamento de bauxita. 5. Ensaios de laboratório. 6. Ensaios de campo. 7. Solos não saturados. I. de Campos, Tácio M. P. (Tácio Mauro Pereira). II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

Àquele que um dia foi meu pai, e depois se tornou meu melhor amigo, em qualquer lugar deste Universo que esteja ou no que tenha se transformado, envio a minha gratidão.

Ao viver e às mulheres de minha vida, e especialmente à Helen, Valéria, Vânia e Virgínia.

À opção pela Consciência e àquele que me apontou este caminho.

“O estado do que está mais superficial sempre reflete o estado do que está mais profundo”.

Ow.

Agradecimentos

Ao meu Orientador, o Professor Tácio M. Pereira de Campos. Se não fosse sua dedicação, atenção e especialmente sua paciência comigo, tenho certeza que este trabalho não teria sido concluído. Sei que ele muitas vezes acreditou mais em mim que eu mesmo. Ele foi ao longo deste período, e será sempre, uma referência de dedicação e esforço, um verdadeiro Mestre.

Ao CNPq; CAPES; Faperj e Puc-Rio pelo apoio financeiro, sem os quais, este trabalho não teria sido concluído.

A ALCAN Alumínios do Brasil, unidade de Ouro Preto, MG, pelo apoio e fornecimento de material.

Aos Professores E. Vargas, Franklin Antunes, George Bernardes, Roberto Azevedo e Jorge Zornberg pelo incentivo, estímulo e amizade.

Aos amigos Sérgio Tibana, Ana Paula e Ana Cristina. Vocês me deram um grande apoio e poder contar com vocês é muito bom.

A minha “mãe” carioca, Tia Eny, e a Ditão, uma amiga muito especial, pela acolhida que sempre me dão.

Ao Professor Sérgio Maurício Velloso, meu primeiro Mestre, em saudosa memória, por ter me incentivado a seguir o caminho da Geotecnia.

A D. Ziza, pelo carinho que sempre teve comigo, me incentivando nas horas que precisava, e a toda a minha família.

Ao povo da “República”, em especial ao “Seu” Chico, “Dona” Luzmar, “Seu” Rodrigo e “Seu” Patrício.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da Puc-Rio, e em especial, aos amigos do Laboratório de Geotecnia, o “Capitão” William Braga, “Seu” José, Amaury e Celso.

A Rebeca, Carlos, João Luís, Raquel, Patrícia, Sílvia Felipe, Andréia, Claudinha, Afonso, Ricardo, Cristiane, Ivan e a todos aqueles que convivi durante este período na Puc-Rio, e que ajudaram a tornar este lugar especial. Citar todos que foram importantes para mim é impossível.

Aos colegas e funcionários do Departamento de Engenharia de Transportes da UFMG, especialmente aos Professores Baeta, Judy, Heloísa, T. Espósito e Gustavo.

Ao amigo Ítalo e à sua mulher, Sônia, pois sei que se vocês não tivessem feito bem o seu trabalho, seria muito mais difícil para mim.

Aos amigos Átila e Dorotéia, que se tornaram referências de vida e saúde.

A Déia, Cláudia, Gladys, Marcelo, Vânia, João, Viviane, James, Beth, Jura, Zezé, Rosaura; Moses, Wagner. Realmente passamos momentos mágicos juntos.

A Kako e Vânia, Maira, Rômulo, Guilherme e ao Matutu, especialmente pelo Trabalho que vocês representam.

À amiga velha de guerra, Kaveesha. Você realmente é um exemplo das boas surpresas que o Universo pode nos causar quando se está vivo e atento.

À Vanda Willemann, pela amizade e por tudo que me proporcionou durante minha estadia no Rio de Janeiro.

A Danni, pela atenção e carinho tão especial.

A todos que conheci e convivi ao longo deste trabalho, especialmente Cuca, Quibe, Toupeira e Cabeção. Sei que sem qualquer um de vocês, tudo seria diferente.

À turma do *Fonte de Minas*, em especial ao Hélio, Jane, Rose e Aluísio.

Ao casal Zé Gil e Bia, pela amizade e especialmente pelos bons tratos durante este período.

A toda turma de *New Bridge*, especialmente Luiz Henrique, Puxinha, Lucinho Lambari, Ney Galocha, Zé Ruy, Paulinho, Ricardo, Flávio, Ramon. A lembrança do bom tempo que passamos juntos me ajudou durante este trabalho.

A todos os caminhantes que trilharam a estrada antes de mim e àqueles que estão trilhando comigo, pois certamente colaboram para deixá-la mais suave. E a todas as estalagens da beira do caminho, especialmente a uma, onde o estalajadeiro e seu povo me ensinaram a ver o Maravilhoso. Faço votos de que a Janela dos Encantados não feche nunca.

Resumo

Villar, Lúcio Flávio de Souza; de Campos, Tácio Mauro Pereira. **Estudo do Adensamento e Ressecamento de Resíduos de Mineração e Processamento de Bauxita**. Rio de Janeiro, 443 p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho apresenta a metodologia usada no acompanhamento do adensamento e do ressecamento de resíduos de mineração e processamento de bauxita, as “lamas vermelhas”. A proposta foi investigar métodos para obtenção de informações sobre efeitos do ressecamento solar no comportamento da lama, buscando identificar a transição da fase saturada para a não saturada destes materiais. A pretensão foi facilitar a incorporação destes efeitos a métodos de análise do ciclo de vida útil de reservatórios de disposição de rejeitos de mineração e processamento depositados sob forma de lama, e que em geral só consideram os recalques por peso próprio e/ou lançamento de novas camadas. Será possível, então, chegar a uma previsão mais realista de sua capacidade de armazenamento e de suas características finais, dados importantes para executar projetos mais racionais de reabilitação do depósito.

Foram estudados cinco tipos de resíduos diferentes. Um, é constituído pelos rejeitos de lavagem de bauxita de uma mina localizada no estado do Pará, sendo composto somente de grãos sólidos e água. O segundo tipo é o resultado do processamento deste primeiro material, uma lama com fluido altamente básico (pH 14). Os outros dois são rejeitos de processamento de bauxitas de duas regiões diferentes do estado de Minas Gerais: um da região de Poços de Caldas, e o outro, da região de Ouro Preto, ambos com pH em torno de 14. Este último material, da região de Ouro Preto, é que foi utilizado em estudos anteriores da PUC-Rio. O último resíduo analisado é produto de uma neutralização feita

nesta mesma lama de Ouro Preto antes de sua disposição final. Foram com estes dois últimos rejeitos que se realizou a maior quantidade de testes e análises, e eles, então, se constituíram os objetos principais da pesquisa.

Foram executados ensaios de adensamento com deformação controlada, determinação de curvas características de sucção e secagem através de diferentes técnicas (papel filtro, tensiômetros etc); caracterizações especiais e ensaios de ressecamento em caixas de dimensões variadas, procurando simular o efeito da radiação solar nestes rejeitos, e ensaios de campo (medição de poropressões e coleta de amostras). Metodologias de execução e interpretação destes testes para estes materiais não usuais são propostos. O seu comportamento na transição da fase saturada para a não saturada foi acompanhado, tanto com relação à variação de volume quanto de resistência. Modelos empíricos são sugeridos, e podem ser usados para uma primeira previsão dos efeitos da exposição à secagem.

Palavras-chave:

Adensamento; ressecamento, bauxita; sucção; disposição de resíduos; contração; rejeitos de mineração e processamento.

Abstract

Villar, Lúcio Flávio de Souza; de Campos, Tácio Mauro Pereira. **Research on Consolidation and Desiccation of Bauxite Mining and Industrial Processing Wastes**. Rio de Janeiro, 443 p. Doctorial Thesis – Civil Eng. Dept., Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work presents the methodology used to study the consolidation and desiccation of bauxite wastes from mining and industrial processing. The aim is to understand the geotechnical behavior of these wastes launched as slurries in reservoirs and then, let do dry under solar exposure. Five types of residues are here considered. The first is an inert waste resulting from washing of bauxite in mining operations run in the North of Brazil. The other four are wastes resulting from the physico-chemical treatment of the bauxite in alumina production industrial plants. Such treatment follows the worldwide known Bayer process. Three of these four wastes, which are usually named as “red muds”, are disposed with pH around 14. The other one is disposed after neutralization with sulfuric acid, under a pH around 8. Data of solar exposure effects on the muds’ behavior was obtained in order to determine parameters to be incorporated into consolidation models. Therefore, an improvement on predictions of the life cycle of the wastes reservoirs can be achieved. To study the transition between the saturated phase to the unsaturated one and to determine the geotechnical and geomechanics characteristics of the wastes, an extensive laboratory testing program was performed. This included CRD tests, monitored physical model tests and the determination of water retention curves for the wastes from fully wetted to dry conditions. Laboratory results are compared with those of field monitoring programmes and some empirical models are proposed.

Main words:

consolidation; desiccation, bauxite; suction; wastes disposition; drying boxes, geotechnical characterization, laboratory and filed tests.

Sumário

1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E DA ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	51
1.1 Importância e Aplicabilidade do Estudo	51
1.2 A Técnica de “Dry – Stacking” ou Empilhamento a Seco	55
1.3 Apresentação do Problema	57
1.4 Linha de Pesquisa da Puc-Rio em Disposição de Resíduos	61
1.5 Objetivos desta Pesquisa	62
1.6 Organização do Trabalho	65
2 DESCRIÇÃO DE ALGUNS ASPECTOS DO PROBLEMA	69
2.1 Introdução	69
2.2 Sedimentação e Adensamento	71
2.2.1 Influência da Sedimentação	74
2.2.2 Adensamento Em Condições Saturadas	76
2.2.3 Ligação entre Sedimentação e Adensamento	79
2.2.4 Variação de Volume na Fase Não Saturada	79
2.3 Ciclo Hidrológico do Reservatório	81
2.3.1 Evaporação	83
2.3.2 Métodos para Estimativa de Evaporação	85
2.3.2.1 Aproximação por Balanço Hídrico	85
2.3.2.2 Aproximação por Balanço Energético:	87

2.3.2.3 Aproximação por Balanço Aerodinâmico:	91
2.3.3 Estimativa de Evaporação por Tanques	92
2.3.4 Evaporação em Solos	94
2.3.5 Transpiração e Evapotranspiração	99
2.3.6 Alguns Modelos para Cálculo de Fluxo Evaporativo	102
2.4 Movimento de Água Pela Zona Não Saturada	104
2.5 Alguns Métodos Para Estimativa da Influência do Ressecamento no Adensamento	108
3 ASPECTOS GERAIS SOBRE AS BAUXITAS E CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE SEUS RESÍDUOS DE MINERAÇÃO E PROCESSAMENTO	113
3.1 Introdução	113
3.2 Informações Gerais Sobre o Alumínio	116
3.2.1 Breve História do Alumínio	117
3.2.2 Propriedades Gerais do Alumínio	118
3.3 Generalidades Sobre A Bauxita e a Formação da Lama de Lavagem	118
3.4 O Processo de Produção de Alumínio: O Sistema Bayer e a Formação das Lamas Vermelhas	125
3.5 Composição Químico-Mineralógica das Bauxitas e de seus Resíduos de Mineração e Processamento	127
3.5.1 Alguns Resultados de Análises por Difração de Raios X.	140
3.6 Resultados de Microscopia Eletrônica por Varredura	151
3.7 Análise da Distribuição Granulométrica	156
3.8 Área Superficial Específica.	198
3.9 Limites de Consistência.	199
3.10 Densidades e Pesos Específicos.	209
3.11 Conclusões	213
4 CURVAS DE SECAGEM E RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DOS RESÍDUOS	217
4.1 Introdução	217
4.2 Generalidades Sobre a Contração de Solos	218

4.3 Metodologia de Execução e Interpretação Ensaio	223
4.4 Curvas de Secagem da Lama Vermelha OP Neutralizada	224
4.5 Curvas de Secagem da Lama Vermelha OP Não Neutralizada	230
4.6 Resistência à Tração dos Resíduos	243
4.6.1 Ensaio realizados	246
4.6.2 Resultados Obtidos	251
4.7 Conclusões	260
5 DETERMINAÇÃO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE SUÇÃO DOS RESÍDUOS	265
5.1 Introdução	265
5.2 Curvas Características de Sucção	266
5.3 Métodos de Obtenção das Curvas Características de Sucção	272
5.3.1 O Método do Papel Filtro	273
5.3.1.1 Metodologia dos Ensaio Realizados com Papel Filtro	279
5.3.1.2 Comentários Sobre os Ensaio Realizados com Papel Filtro	282
5.3.2 Uso do Tensiômetro do Tipo Imperial College	284
5.3.2.1 Metodologia dos Ensaio Realizados com o Tensiômetro do Tipo Imperial College	286
5.3.2.2 Comentários Sobre os Ensaio Realizados com o Tensiômetro	289
5.3.3 Uso de Dessecadores	291
5.3.3.1 Metodologia dos Ensaio Realizados com os Dessecadores	292
5.3.4 Uso de Tensiômetros Durante Ensaio de Ressecamento	293
5.3.4.1 Metodologia dos Ensaio Realizados com os Tensiômetros Durante os Ensaio de Ressecamento	293
5.3.4.2 Comentários Sobre os Ensaio Realizados com os Tensiômetros Durante os Ensaio de Ressecamento	295
5.4 Resultados Obtidos: Curvas Características dos Resíduos	297
5.4.1 Curva Característica da Lama Vermelha OP Neutralizada	298
5.4.2 Curva Característica da Lama Vermelha OP Não Neutralizada	304
5.5 Relação entre a Sucção e o Índice de Vazios	312

5.6 Relação entre a Sucção e a Resistência à Tração dos Resíduos.	317
5.7 Conclusões	322
6 ENSAIOS DE ADENSAMENTO COM DEFORMAÇÃO CONTROLADA: OBTENÇÃO DA COMPRESSIBILIDADE E PERMEABILIDADE DOS RESÍDUOS EM LABORATÓRIO	327
6.1 Introdução	327
6.2 Características de Compressibilidade e Permeabilidade dos Resíduos	329
6.3 Descrição de Alguns dos Ensaios de Adensamento Realizados	346
6.3.1 Análise do Ensaio	347
6.3.2 Metodologia Empregada	351
6.3.3 Resultados de Alguns Ensaios	357
6.4 Conclusões	375
7 ENSAIOS DE CAMPO: DETERMINAÇÃO DA COMPRESSIBILIDADE E PERMEABILIDADE	377
7.1 Introdução	377
7.2 A Sonda Piezométrica e Sua Metodologia de Uso	378
7.3 Técnica de Amostragem	383
7.4 Resultados dos Ensaios	390
7.4.1 Lama de Lavagem de Bauxita	390
7.4.2 Lama Vermelha SL	401
7.4.3 Lama Vermelha PC.	410
7.4.4 Lama Vermelha OP Neutralizada.	410
7.5 Conclusões	415
8 ENSAIOS DE RESSECAMENTO EM LABORATÓRIO E ALGUNS ASPECTOS OBSERVADOS DO FISSURAMENTO DOS RESÍDUOS	417
8.1 Introdução	417
8.2 Metodologia de Execução dos Ensaios	418

8.3 Observações Gerais Sobre o Comportamento da Lama Vermelha OP Não Neutralizada nos Ensaios Maiores	423
8.4 Observações Gerais Sobre o Comportamento da Lama Vermelha OP Neutralizada nos Ensaios Maiores	428
8.5 Resultados dos Ensaios Maiores na Lama Vermelha OP Neutralizada	430
8.6 Resultados dos Ensaios Maiores na Lama Vermelha OP Não Neutralizada	439
8.7 Ensaios em Lisímetros Menores	445
8.7.1 Comentários Gerais Sobre Fissuramento de Solos	445
8.7.2 Comentários Gerais Sobre o Comportamento Observado	456
8.8 Conclusões	461
9 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	463
9.1 Introdução	463
9.2 Caracterização	464
9.3 Curvas de Secagem e Resistência à Tração dos Resíduos.	467
9.4 Curvas Características de Sucção	472
9.5 Ensaios de Adensamento: Compressibilidade dos Resíduos	477
9.6 Ensaios de Campo:	480
9.7 Ensaios de Ressecamento	480
9.8 Comentários Finais	482
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	485

Lista de figuras

FIGURA 1.1: Alturas Medidas e Previstas de Resíduos em Uma Área de Deposição (adaptado de Cargill, 1985)	53
FIGURA 1.2: Disposição a seco: a) sobre resíduo úmido previamente depositado e b) com drenagem na base (adaptado de Elias, 1995)	56
FIGURA 1.3: Seqüência de Formação de Camada de Solo Após Lançamento em Dique ou Reservatório de Contenção (adaptado de Imai, 1981)	57
FIGURA 1.4: Balanço Hídrico de um Elemento de Solo de uma Área de Grande Extensão para Deposição de Resíduos (adaptado de Cargill, 1985).	59
FIGURA 2.1: Ciclo Experimentado por Uma Única Camada de Resíduo Exposta ao Ressecamento Solar.	70
FIGURA 2.2: Ciclo Total Experimentado por Reservatórios de Disposição de Resíduo Expostos ao Ressecamento Solar.	71
FIGURA 2.3: Efeito das Condições de Contorno Impostas Pelas Paredes do Reservatório ao Resíduo.	71
FIGURA 2.4: Eficiência de Evaporação em Solo em Função do Tempo (adaptado de Cargill, 1985)	93
FIGURA 2.5: Eficiência de Evaporação em Solo como Função da Profundidade do NA (Cargill, 1985)	93
FIGURA 3.1: Perfil Típico de Subsolo da Região de Exploração de Bauxita que Originou A Lama de Lavagem Usada Neste Trabalho (após Mello et al., 1991)	120

FIGURA 3.2: Vista de uma Mina de Exploração de Bauxita.	121
FIGURA 3.3: Exemplos de Bauxitas: (a) Concreção; (b) Detalhe dos Oólitos e (c) Bauxita laterítica (www.aluminio.com.ve e www.pdvsa.com).	123
FIGURA 3.4: Vista de um Depósito de Armazenamento de Lamas Vermelhas.	123
FIGURA 3.5: Fluxograma da Fabricação de Alumínio (adaptado de Santos, 1989)	126
FIGURA 3.6: Processo Bayer para Produção de Alumina (adaptado de Santos, 1989).	127
FIGURA 3.7: Difratoograma da Lama Vermelha OP Neutralizada - Material Úmido.	138
FIGURA 3.8: Difratoograma da Lama Vermelha OP Neutralizada - Material Seco.	139
FIGURA 3.9: Difratoograma da Lama Vermelha OP Não Neutralizada - Úmida.	139
FIGURA 3.10: Difratoograma da Lama Vermelha OP Não Neutralizada - Seca.	140
FIGURA 3.11: Difratoograma da Crosta Ressecada da Lama Vermelha OP Neutralizada.	141
FIGURA 3.12: Difratoograma da Crosta Ressecada da Lama Vermelha OP Não Neutralizada.	142
FIGURA 3.13: Difratoograma da Lama Vermelha SL - Material Seco.	142
FIGURA 3.14: Difratoograma da Lama de Lavagem - Material Seco.	143
FIGURA 3.15: Difratoograma da Lama Vermelha PC - Material Seco.	143
FIGURA 3.16: Espectrografia por Raios X (MEV) - Lama Vermelha OP Neutralizada.	147
FIGURA 3.17: Espectrografia por Raios X (MEV) da Lama de Lavagem de Bauxita.	147
FIGURA 3.18: Espectrografia por Raios X (MEV - Lama Verm. OP Não Neutralizada.	147

FIGURA 3.19: Espectrografia por Raios X Feita no MEV da Lama Vermelha PC.	148
FIGURA 3.20: Espectrografia por Raios X Feita no MEV da Lama Vermelha SL.	148
FIGURA 3.21: Foto por Microscopia Eletrônica da Lama Vermelha OP Neutralizada. Ampliação 500 vezes.	149
FIGURA 3.22: Foto Microscopia Eletrônica Da Lama Vermelha OP Neutralizada - Ampliação 5000 vezes.	149
FIGURA 3.23: Foto por Microscopia Eletrônica da Lama Vermelha OP Não Neutralizada. Ampliação 500 vezes.	150
FIGURA 3.24: Foto Microscopia Eletrônica Da Lama Vermelha OP Não Neutralizada - Ampliação 5000 vezes.	150
FIGURA 3.25: Foto por Microscopia Eletrônica da Lama Vermelha PC. Ampliação 500 vezes.	150
FIGURA 3.26: Foto Microscopia Eletrônica Da Lama Vermelha PC. Ampliação 5000 vezes.	150
FIGURA 3.27: Foto por Microscopia Eletrônica da Lama Vermelha SL. Ampliação 1000 vezes.	151
FIGURA 3.28: Foto Microscopia Eletrônica Da Lama Vermelha SL. Ampliação 5000 vezes.	151
FIGURA 3.29: Foto por Microscopia Eletrônica da Lama Vermelha SL. Ampliação 500 vezes.	152
FIGURA 3.30: Foto por Microscopia Eletrônica da Lama De Lavagem De Bauxita. Ampliação 500 vezes.	152
FIGURA 3.31: Foto Microscopia Eletrônica Da Lama De Lavagem De Bauxita. Ampliação 5000 vezes.	152
FIGURA 3.32: Curvas Granulométricas de Diferentes Resíduos (apud Abrão, 1987)	158
FIGURA 3.33: Curvas Granulométricas de Diferentes Resíduos (adaptado de De Campos, 1986).	159
FIGURA 3.34: Distribuição Granulométrica de Diferentes Lamas Vermelhas (adaptado de Vick, 1983)	159
FIGURA 3.35: Diferenças Granulométricas Nas Frações Que Compõe Uma Lama Vermelha (adaptado de Cooling, 1989)	160

FIGURA 3.36: Detalhe de disposição de lama de lavagem de bauxita. Notar a concentração de grãos mais grossos na parte superior.	161
FIGURA 3.37: Lançamento de lama de lavagem de bauxita em dique de contenção. Notar concentração de material mais grosso na lateral.	161
FIGURA 3.38: Torre de lançamento da lama vermelha SL. Notar a formação de praia ao seu redor.	161
FIGURA 3.39: Lançamento da lama vermelha SL em pontos laterais do reservatório, com formação de praia.	161
FIGURA 3.40: Ponto de lançamento da lama vermelha OP não neutralizada, com formação de praia.	162
FIGURA 3.41: Outra vista do ponto de lançamento da lama vermelha OP não neutralizada. Notar as diferenças de concentrações de sólidos no reservatório.	162
FIGURA 3.42: Influência do Tipo de Fluido em Ensaio de Granulometria (adaptado de Ignatius & Pinto, 1991)	163
FIGURA 3.43: Análise Granulométrica Da Lama Vermelha OP Neutralizada (adaptado de Alves, 1992 e Santos, 2000).	166
FIGURA 3.44: Comparação Curvas Granulométricas das Lama de Lavagem de Bauxita e Lama Vermelha SL.	167
FIGURA 3.45: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Neutralizada - em Água, Com e Sem Uso Defloculante, Para Amostras Integrais.	168
FIGURA 3.46: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Neutralizada - em Água, Com e Sem Uso Defloculante, Fração < #200 e > #200.	169
FIGURA 3.47: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Neutralizada - em Soro, Com e Sem Uso Defloculante, Para Amostras Integrais.	170
FIGURA 3.48: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Neutralizada - Ensaio em Água e Soro, Com e Sem Uso Defloculante, Para Amostras Integrais.	171
FIGURA 3.49: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Neutralizada - em Soro - Para Fração < #200.	173

FIGURA 3.50: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Neutralizada - em Soro - Para Fração > #200.	173
FIGURA 3.51: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Neutralizada - Ensaio em Soro e Água - Para Fração > #200.	175
FIGURA 3.52: Variação com o Tempo da Densidade dos Soros Utilizados nos Ensaios de Sedimentação.	178
FIGURA 3.53: Faixa de Variação das Curvas Granulométricas Obtidas para a Lama Vermelha OP Neutralizada.	179
FIGURA 3.54: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Não Neutralizada - Ensaios em Água - Amostras Integrais.	180
FIGURA 3.55: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Não Neutralizada - Ensaios em Água - Fração < #200 e > #200.	181
FIGURA 3.56: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Não Neutralizada - Ensaios em Soro Cáustico - Amostra Integral.	183
FIGURA 3.57: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Não Neutralizada - Ensaios em Água - Fração < #200 e > #200.	184
FIGURA 3.58: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Não Neutralizada -Soro Cáustico e Água Sem Defloculante - Amostra Integral.	185
FIGURA 3.59: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Não Neutralizada -Soro Cáustico e Água Com Defloculante - Amostra Integral.	186
FIGURA 3.60: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Não Neutralizada -Soro Cáustico e Água Sem Defloculante - Fração <#200.	188
FIGURA 3.61: Comparação Entre Curvas Granulométricas da Lama Vermelha OP Não Neutralizada -Soro Cáustico e Água Com Defloculante - Fração < #200.	188
FIGURA 3.62: Faixa de Variação das Curvas Granulométricas Obtidas para a Lama Vermelha OP Não Neutralizada.	190

FIGURA 3.63: Comparação entre Curvas Granulométricas das Lamas Vermelhas OP Neutralizada e Não Obtidas em Água - Amostras Integrais.	191
FIGURA 3.64: Comparação entre Curvas Granulométricas das Lamas Vermelhas OP Neutralizada e Não, obtidas em Água - Fração < #200.	192
FIGURA 3.65: Comparação entre Curvas Granulométricas das Lamas Vermelhas OP Neutralizada e Não Obtidas em Soro - Amostras Integrais.	194
FIGURA 3.66: Comparação entre Curvas Granulométricas das Lamas Vermelhas OP Neutralizada e Não em Soro - Fração < #200	195
FIGURA 3.67: Faixa de Variação Encontrada Para as Curvas Granulométricas das Lamas Vermelhas OP Neutralizada e Não.	197
FIGURA 3.68: Comparação entre as Curvas Granulométricas da Lama Vermelha SL em Soro e a Lama de Lavagem de Bauxita em Água - Fração < #200	198
FIGURA 3.69: Alguns dos Ensaios de Sedimentação Feitos nos Resíduos De Mineração e Processamento de Bauxita.	198
FIGURA 3.70: Gráfico de Plasticidade de Casagrande: Comparação Entre Diferentes Rejeitos e Argilas Remoldadas (adaptado de Mello, 1985)	201
FIGURA 3.71: Definição do Limite de Contração à Partir de Curvas de Secagem (adaptado de Fredlund et al., 2002)	206
FIGURA 3.72: Curvas de Secagem para a Lama Vermelha OP Não Neutralizada: (a) Lama Neutralizada e (b) Lama Não Neutralizada.	208
FIGURA 3.73: Variação do Limite de Contração para a Lama Vermelha OP Não Neutralizada em Função da Tensão de Pré - Adensamento.	208
FIGURA 4.1: Forma Geral da Curva de Contração e suas Distintas Fases (adaptado de Oliveira Filho, 1998)	221
FIGURA 4.2: Fenômeno de Secagem: (a) Linhas Teóricas para Grau de Saturação Constante e (b) Tipos de Curvas de Contração (adaptado de Marinho, 1994)	221

FIGURA 4.3: Relações Físicas na Curva de Secagem (a) Amostra Saturada e (b) Amostra Não Saturada (adaptado de Marinho, 1994)	222
FIGURA 4.4: Exemplo de Interpretação Feito nas Curvas de Secagem: (a) Gráfico com todos os pontos medidos e (b) Relação final após cruzamento de todas as relações entre os índices físicos.	224
FIGURA 4.5: Exemplo de Interpretação Feito nas Curvas de Secagem: (a) Gráfico com todos os pontos medidos e (b) Relação final após cruzamento de todas as relações entre os índices físicos.	224
FIGURA 4.6: Curva Característica de Contração da Lama Vermelha OP Neutralizada.	225
FIGURA 4.7: Curva de Secagem da lama vermelha OP neutralizada: índice de vazios contra teor de umidade volumétrico.	225
FIGURA 4.8: Curva de Secagem da lama vermelha OP neutralizada: teor de umidade volumétrico contra o gravimétrico.	225
FIGURA 4.9: Curvas de secagem da lama vermelha OP neutralizada em relação ao grau de saturação e: (a) o teor de umidade gravimétrico; (b) o teor de umidade volumétrico; (c) o índice de vazios e (d) a porosidade.	226
FIGURA 4.10: Curva de Secagem da Lama Vermelha OP Neutralizada: relação entre o teor de umidade volumétrico e a porosidade.	227
FIGURA 4.11: Curvas de secagem da lama vermelha OP neutralizada em relação à densidade total e: (a) teor de umidade gravimétrico e (b) índice de vazios.	228
FIGURA 4.12: Curvas de secagem da lama vermelha OP neutralizada em relação à densidade seca e: (a) teor de umidade gravimétrico e (b) índice de vazios.	228
FIGURA 4.13: Curva Característica de Contração da L. Vermelha OP Não Neutralizada.	229
FIGURA 4.14: Curva de secagem da lama vermelha OP não neutralizada: índice de vazios contra teor de umidade volumétrico.	230

FIGURA 4.15: Curva de secagem da lama vermelha OP não neutralizada: teor de umidade volumétrico contra o teor de umidade gravimétrico.	230
FIGURA 4.16: Curvas de secagem da lama vermelha OP não neutralizada em relação ao grau de saturação e: (a) o teor de umidade gravimétrico; (b) o teor de umidade volumétrico; (c) o índice de vazios e (d) a porosidade.	231
FIGURA 4.17: Curva de Secagem da Lama Vermelha OP Não Neutralizada: relação entre o teor de umidade volumétrico e a porosidade.	232
FIGURA 4.18: Curvas de secagem da lama vermelha OP não neutralizada em relação à densidade total e: (a) teor de umidade gravimétrico e (b) índice de vazios.	233
FIGURA 4.18: Curvas de secagem da lama vermelha OP não neutralizada em relação à densidade seca e: (a) teor de umidade gravimétrico e (b) índice de vazios.	234
FIGURA 4.20: Curvas características de secagem da lama vermelha OP não neutralizada: material sem e com pré-adensamento.	235
FIGURA 4.21: Curva de secagem da lama vermelha OP não neutralizada: material sem e com pré-adensamento.	235
FIGURA 4.22: Curva de secagem da lama vermelha OP não neutralizada: material sem e com pré-adensamento.	235
FIGURA 4.23: Curva de secagem da lama vermelha OP não neutralizada: material sem e com pré-adensamento.	235
FIGURA 4.24: Curva de secagem da lama vermelha OP não neutralizada: material sem e com pré-adensamento.	236
FIGURA 4.25: Curva de secagem da lama vermelha OP não neutralizada: material sem e com pré-adensamento.	236
FIGURA 4.26: Curva de secagem da lama vermelha OP não neutralizada: material sem e com pré-adensamento.	236
FIGURA 4.27: Curva de secagem da lama vermelha OP não neutralizada: material sem e com pré-adensamento.	237
FIGURA 4.28: Curva de secagem da lama vermelha OP não neutralizada: material sem e com pré-adensamento.	237

FIGURA 4.29: Curva de secagem da lama vermelha OP não neutralizada: material sem e com pré-adensamento.	237
FIGURA 4.30: Curva de secagem da lama vermelha OP não neutralizada: material sem e com pré-adensamento.	237
FIGURA 4.31: Faixa De Variação Do Teor De Umidade Gravimétrico Lama Vermelha OP Não Neutralizada Com A Tensão De Pré-Adensamento: Condição Não Saturada.	239
FIGURA 4.32: Faixa De Variação Do Índice de Vazios Da Lama Vermelha OP Não Neutralizada Com Tensão De Pré-Adensamento Para A Condição Não Saturada.	240
FIGURA 4.33: Faixa de Variação das Densidades Totais Não Saturadas da Lama Vermelha OP Não Neutralizada	240
FIGURA 4.34: Faixa de Variação das Densidades Secas Não Saturadas da Lama Vermelha OP Não Neutralizada	240
FIGURA 4.35: Comparação entre amostras "normais" e "transversais" da lama vermelha OP não neutralizada: curva característica de contração.	241
FIGURA 4.36: Comparação entre curvas de secagem de amostras "normais" e "transversais" da lama vermelha OP não neutralizada: densidade total.	241
FIGURA 4.37: Faixa de Variação das Densidades Totais Não Saturadas da Lama Vermelha OP Não Neutralizada	241
FIGURA 4.38: Faixa de Variação das Densidades Secas Não Saturadas da Lama Vermelha OP Não Neutralizada	241
FIGURA 4.39: Soluções Teóricas Para Tensões ao Longo do Diâmetro Vertical de uma Amostra No Ensaio de Compressão Diametral (apud de Krishnayya & Eisenstein, 1974)	244
FIGURA 4.40: Registro do Ensaio de Compressão Diametral - Início.	246
FIGURA 4.41: Ensaio de Compressão Diametral - Início da Formação da Trinca.	246
FIGURA 4.42: Registro do Ensaio de Compressão Diametral - Trinca Abrindo com o Avanço das Deformações.	246
FIGURA 4.43: Registro do Ensaio de Compressão Diametral - Ruptura Total da Amostra ao Longo do Diâmetro.	246

FIGURA 4.44: Ensaio de Compressão Diametral - Resultado Típico.	247
FIGURA 4.45: Ensaio de Compressão Diametral - Resultado Típico de Solos Mais Moles.	247
FIGURA 4.46: Ensaio de Compressão Diametral - Formação de Trinca Inclinada em Solos mais Moles.	247
FIGURA 4.47: Ensaio de Compressão Diametral - Trinca Inclinada em Solos mais Moles e Deformação Acentuada.	247
FIGURA 4.48: Ensaio de Compressão Diametral - Formação de Novas Trincas Verticais a Maiores Deformações	248
FIGURA 4.49: Ensaio de Compressão Diametral - Formação de Novas Trincas Horizontais a Maiores Deformações.	248
FIGURA 4.50: Ensaio de Compressão Diametral - Resultado Mostrando Novos Picos Devido Abertura de Novas Trincas.	248
FIGURA 4.51: Registro do Ensaio de Compressão Diametral - Formação de Trincas Fora do Centro da Amostra Devido a Fissuras Pré Existentes	249
FIGURA 4.52: Registro do Ensaio de Compressão Diametral - Formação de Novas Trincas Devido a Fissuras Pré Existentes.	249
FIGURA 4.53: Relação Resistência à Tração com o Teor de Umidade Gravimétrico da LAMA VERMELHA OP NEUTRALIZADA.	251
FIGURA 4.54: Relação Resistência à Tração com o Teor de Umidade Gravimétrico de Solos Residuais (adaptado de Queiroz, 1991).	252
FIGURA 4.55: Resistência à Tração da Lama Vermelha OP Neutralizada em relação a: (a) peso específico total; (b) peso específico seco; (c) o índice de vazios e (d) o grau de saturação.	254
FIGURA 4.56: Relação Resistência à Tração com o Teor de Umidade Gravimétrico da LAMA VERMELHA OP NÃO NEUTRALIZADA.	256
FIGURA 4.57: Resistência à Tração da Lama Vermelha OP Não Neutralizada e: pesos específicos (a) total e (b) seco; (c) índice de vazios e (d) grau de saturação.	258
FIGURA 4.57: Relação Resistência à Tração com o Teor de Umidade Gravimétrico das Lama Vermelha SL e Lama de Lavagem de Bauxita.	259

FIGURA 5.1: Comparação Entre Várias Técnicas de Medição de Sucção	267
(adaptado de Lee & Wray, 1995)	267
FIGURA 5.2: Influência Relativa de Parcelas de Sucção em uma Curva Característica (McQueen e Miller, 1974 - em de Campos e outros, 1992)	269
FIGURA 5.3: Curva Característica Típica de um Solo Siltoso	270
(adaptado de Fredlund e Xing, 1994)	270
FIGURA 5.4: Curva Característica Típica de Diferentes Tipos de Solo	271
(adaptado de Fredlund e Xing, 1994)	271
FIGURA 5.5: Curva Característica Típicas de diferentes Tipos de Solo	271
(adaptado de De Campos e outros, 1992)	271
FIGURA 5.6: Curvas de Calibração de Papel Filtro Whatman's 42 (adaptado de Chandler & Gutierrez, 1986)	274
FIGURA 5.7: Comparação Entre Curvas Calibração de Papel Filtro Whatman's 42 (adaptado de Chandler & Gutierrez, 1986)	274
FIGURA 5.8: Curva de Calibração Adotada (papel Whatman's 42) (apud Marinho, 1994).	275
FIGURA 5.9: Esquema de Montagem de Ensaio de Papel Filtro (apud McQueen e Miller, 1968)	275
FIGURA 5.10: Esquemas de Montagem de Ensaio de Papel Filtro (adaptado de Houston et al., 1994)	275
FIGURA 5.11: Esquema de Montagem de Ensaio de Papel Filtro (Ridley, 1995)	276
FIGURA 5.12: Detalhe da Câmara de Equalização Utilizada nos Ensaio de Papel Filtro Desmontada.	278
FIGURA 5.13: Detalhe da Câmara de Equalização Utilizada nos Ensaio de Papel Filtro Semi - Montada.	278
FIGURA 5.14: Câmara de Equalização Utilizada no Ensaio de Papel Filtro Montada	279
FIGURA 5.15: Curvas de Acompanhamento da Variação do Peso do Papel Filtro: (a) Após Retirar da Câmara de Equalização	

(Perda de Umidade) e (b) Após Retirar da Estufa (Ganho de Umidade).	281
FIGURA 5.16: Tensiômetro de Ridley & Burland (1993).	283
FIGURA 5.17: Curva de Resposta Típica do Tensiômetro Ridley & Burland (1993).	283
FIGURA 5.18: Tensiômetro do Tipo Ridley e Burland (1993) Utilizado. Vista da Câmara de Saturação.	285
FIGURA 5.19: Detalhe da Preparação para Uso do Tensiômetro	286
FIGURA 5.20: Ensaio Com o Tensiômetro Pronto Para Ser Iniciado.	286
FIGURA 5.21: Resposta Típica Obtida com o Uso do Tensiômetro	287
FIGURA 5.22: Resposta Típica Obtida Devido a Dessaturação do Tensiômetro	287
FIGURA 5.23: Oscilação de Leitura do Tensiômetro a Baixos Níveis de Sucção.	288
FIGURA 5.24: Leitura do Tensiômetro a Baixos Níveis de Sucção: Oscilação.	288
FIGURA 5.25: Leitura Sem Estabilização Influência Da Pasta de Contato.	288
FIGURA 5.26: Dupla Equalização da Leitura do Tensiômetro.	288
FIGURA 5.27: Exemplo de Tendência de Leitura do Tensiômetro a se Elevar Após Aparente Estabilização.	289
FIGURA 5.28: Vista dos Dessecadores Usados para Medição de Sucção Total.	292
FIGURA 5.29: Vista do Esquema Montado para os Ensaios de Ressecamento: Detalhe dos Tensiômetros.	294
FIGURA 5.30: Exemplo de Leitura do Mini - Tensiômetro: Oscilação Causada Devido Efeito de Temperatura.	296
FIGURA 5.31: Exemplo de Leitura do Mini - Tensiômetro: Resultado Típico, Mostrando a Dessaturação ao Final.	296
FIGURA 5.32: Exemplo de Leitura do Mini - Tensiômetro: Oscilação Devido Efeito de Temperatura.	297
FIGURA 5.33: Exemplo de Leitura do Mini - Tensiômetro: Resultado Típico, Com Dessaturação ao Final.	297

FIGURA 5.34: Resultados Obtidos das Diferentes Técnicas de Medição de Sucção para a Lama Vermelha OP Neutralizada.	299
FIGURA 5.35: Comparação entre as Leituras Realizadas Pelo Papel Filtro Sem Contato, o Dessecador e o Tensiômetro.	300
FIGURA 5.36: Comparação entre as Leituras Realizadas pelo Papel Filtro em Contato e o Tensiômetro do Tipo Imperial College.	300
FIGURA 5.37: Curva Característica da Lama Vermelha OP Neutralizada Antes da Interpretação.	301
FIGURA 5.38: Curva Característica da Lama Vermelha OP Neutralizada Depois de Feita a Interpretação.	301
FIGURA 5.39: Curva Característica da Lama Vermelha OP Neutralizada em Relação ao Grau de Saturação Após a Interpretação.	302
FIGURA 5.40: Formação de Cristais durante Ressecamento da Lama Vermelha OP Neutralizada .	302
FIGURA 5.41: Estimativa Precária do Nível de Sucção Osmótica na Lama Vermelha OP Neutralizada .	303
FIGURA 5.42: Resultados Obtidos das Diferentes Técnicas de Medição de Sucção para a Lama Vermelha OP Não Neutralizada.	305
FIGURA 5.43: Curva Característica da Lama Vermelha OP Não Neutralizada em Relação ao Teor de Umidade Volumétrico Após a Interpretação.	306
FIGURA 5.44: Curva Característica da Lama Vermelha OP Neutralizada em Relação ao Grau de Saturação Após a Interpretação.	306
FIGURA 5.45: Estimativa Precária do Nível de Sucção Osmótica em Relação ao Teor de Umidade Volumétrico na Lama Vermelha OP Neutralizada.	307
FIGURA 5.46: Estimativa Precária do Nível de Sucção Osmótica em Relação ao Grau de Saturação na Lama Vermelha OP Neutralizada.	307
FIGURA 5.47: Comparação entre as Curvas Características de Sucção Total e Mátrica das Lamas Neutralizada e Não em Relação ao Teor de Umidade Volumétrico.	309

FIGURA 5.48: Comparação entre as Curvas Características de Sucção Total e Mátrica das Lamas Neutralizada e Não em Relação ao Grau de Saturação.	309
FIGURA 5.49: Comparação Entre As Curvas Características de Sucção Mátrica em Relação ao Teor de Umidade Volumétrico das Lamas Neutralizada e Não Neutralizada.	309
FIGURA 5.50: Comparação Entre As Curvas Características de Sucção Mátrica das Lamas Neutralizada e Não em Relação Grau de Saturação.	309
FIGURA 5.51: Comparação das Estimativas do Nível de Sucção Osmótica das Lamas Neutralizada e Não em Relação ao Teor de Umidade Volumétrico.	310
FIGURA 5.52: Comparação das Estimativas do Nível de Sucção Osmótica das Lamas Neutralizada e Não em Relação ao Grau de Saturação.	310
FIGURA 5.53: Curva Característica da Lama Vermelha OP Não Neutralizada em Relação ao Teor de Umidade Volumétrico Após a Interpretação: Comparação entre Diferentes Tensões de Pré-Adensamento.	311
FIGURA 5.54: Curva Característica da Lama Vermelha OP Neutralizada em Relação ao Grau de Saturação Após a Interpretação: Comparação entre Tensões de Pré-Adensamento Diferentes.	311
FIGURA 5.55: Variação da Sucção Matricial de Entrada de Ar com a Tensão de Pré-Adensamento da Lama Vermelha OP Não Neutralizada.	311
FIGURA 5.56: Relação entre o Índice de Vazios e a Sucção da Lama Vermelha OP Neutralizada.	313
FIGURA 5.57: Relação entre o Índice de Vazios e a Sucção Mátrica da Lama Vermelha OP Neutralizada.	313
FIGURA 5.58: Interpretação da Relação Índice de Vazios contra a Sucção da Lama Vermelha OP Neutralizada.	313
FIGURA 5.59: Relação entre o Índice de Vazios e a Sucção da Lama Vermelha OP Não Neutralizada.	315
FIGURA 5.60: Relação entre o Índice de Vazios e a Sucção Mátrica da Lama Vermelha OP Não Neutralizada.	315

FIGURA 5.61: Comparação entre a Relação do Índice de Vazios com a Sucção da Lama Vermelha Neutralizada E Não.	315
FIGURA 5.62: Comparação Entre a Relação do Índice de Vazios com a Sucção Mátrica da Lama Vermelha Neutralizada e Não.	315
FIGURA 5.63: Comparação da Relação Índice de Vazios contra a Sucção da Lama Vermelha OP Neutralizada Com e Sem Pré-Adensamento.	316
FIGURA 5.64: Relação entre a Resistência à Tração e a Sucção Total Medida em Algumas Amostras da Lama Vermelha OP Neutralizada Pelo Tensiômetro IC.	317
FIGURA 5.65: Relação entre a Resistência à Tração e a Sucção da Lama Vermelha OP Neutralizada.	318
FIGURA 5.66: Relação da Resistência à Tração com a Sucção da Lama Vermelha OP Não Neutralizada Com e Sem Pré-Adensamento.	320
FIGURA 6.1: Comparação Entre Coeficientes de Compressibilidade Volumétrica de Lamas Vermelhas (adaptado de Stinson, 1981)	330
FIGURA 6.2: Comparação Entre a Compressibilidade de Lamas Vermelhas (adaptado de Stinson, 1981)	330
FIGURA 6.3: Compressibilidade de Resíduos Industriais, de Mineração e Argilas Remoldadas (adaptado de Mello, 1995).	331
FIGURA 6.4: Compressibilidade de Resíduos Industriais, de Mineração e Argilas Remoldadas (adaptado de Mello, 1995).	331
FIGURA 6.5: Comparação entre a Compressibilidade de Diferentes Resíduos Industriais e de Mineração de Mineração (adaptado de Mello e Silveira, 1991).	332
FIGURA 6.6: Compressibilidade de Lamas Vermelhas Australianas (adaptado de Elias, 1995).	333
FIGURA 6.7: Compressibilidade da Lama Vermelha OP Neutralizada.	334
(adaptado de Alves, 1992).	334
FIGURA 6.8: Resultados de Ensaio do Tipo CRD na Lama Vermelha OP Neutralizada. (adaptado de Santos, 2000).	335

FIGURA 6.9: Comparação Entre Resultados de Ensaios do Tipo CRD e HCT na Lama Vermelha OP Neutralizada (adaptado de Santos, 2000).	335
FIGURA 6.10: Resultados de Ensaios do Tipo HCT na Lama Vermelha OP Neutralizada (adaptado de Botelho, 2001).	337
FIGURA 6.11: Coef. de Adensamento de Lamas Vermelhas Obtidos de Ensaios Convencionais (apud de Stinson, 1981).	338
FIGURA 6.12: Permeabilidade de Lamas Vermelhas Obtidas de Ensaios Com Tensão Controlada (adaptado de Stinson, 1981).	338
FIGURA 6.13: Comparação Entre Permeabilidades de Rejeitos e Argilas Remoldadas (adaptado de Mello, 1985).	338
FIGURA 6.14: Permeabilidade de Rejeitos de Lavagem de Bauxita (adaptado de Lapa & Cardoso, 1988).	339
FIGURA 6.15: Comparação entre a Permeabilidade de Diferentes Resíduos Industriais e De Mineração (adaptado de Mello & Silveira, 1991).	339
FIGURA 6.16: Permeabilidade de Lamas Vermelhas Australianas (apud de Elias, 1995)	340
FIGURA 6.17: Permeabilidade da Lama Vermelha OP Neutralizada obtida Por Ensaios de Coluna E Deformação Controlada (adaptado de Alves, 1992).	341
FIGURA 6.18: Permeabilidade da Lama Vermelha OP Neutralizada obtida por Ensaios do Tipo HCT e CRD Análise Rigorosa (adaptado de Santos, 2000).	341
FIGURA 6.19: Permeabilidade da Lama Vermelha OP Neutralizada obtida por Ensaios do Tipo HCT e CRD - Análise Simplificada e Rigorosa (Santos, 2000).	342
FIGURA 6.20: Permeabilidade da Lama Vermelha OP Neutralizada obtida por Ensaios do Tipo HCT (adaptado de Botelho, 2001).	343
FIGURA 6.21: Curvas de Compressibilidade da Lama Vermelha OP Neutralizada: Comparação Entre Resultados de Diferentes Ensaios.	343
FIGURA 6.22: Permeabilidade da Lama Vermelha OP Neutralizada: Comparação Entre Resultados de Diferentes Ensaios.	344

FIGURA 6.23: Corte Transversal do Edômetro Tipo CRD (apud Guimarães, 1990)	352
FIGURA 6.24: Edômetro Tipo CRD Sendo Preparado Para Ensaio	353
FIGURA 6.25: Edômetro Tipo CRD pronto Para Início de Ensaio.	354
FIGURA 6.26: Corte Transversal do Edômetro Tipo CRS (Ribeiro, 1992)	355
FIGURA 6.27: Edômetro Tipo CRS Desmontado.	355
FIGURA 6.28: Edômetro Tipo CRS Sendo Preparado Para Início de Ensaio.	355
FIGURA 6.29: Ensaio em Andamento no Edômetro Tipo CRS	356
FIGURA 6.30: Resultado Típico de Ensaio CRD	357
FIGURA 6.31: Resultados de Ensaio CRS na Lama De Lavagem De Bauxita: Relação Índice de Vazios contra Tensão Efetiva	358
FIGURA 6.32: Resultados de Ensaio CRS na Lama De Lavagem De Bauxita: Relação Índice de vazios Normalizado Contra Tensão Efetiva.	359
FIGURA 6.33: Resultados de Ensaio CRS na Lama De Lavagem De Bauxita: Relação entre Índice de Vazios e Permeabilidade	360
FIGURA 6.34: Ensaio CRS na Lama De Lavagem De Bauxita: Índice de Vazios Normalizado Contra a Permeabilidade.	361
FIGURA 6.35: Resultados de Ensaio CRD na Lama De Lavagem De Bauxita: Compressibilidade.	362
FIGURA 6.36: Resultados de Ensaio CRD na Lama De Lavagem De Bauxita: Compressibilidade - Curvas Normalizadas	363
FIGURA 6.37: Resultados de Ensaio CRD na Lama De Lavagem De Bauxita - Permeabilidade.	364
FIGURA 6.38: Comparação Entre Diferentes Ensaio na Determinação da Compressibilidade da Lama De Lavagem De Bauxita.	365
FIGURA 6.39: Resultados de Ensaio CRD em Diferentes Resíduos de Lavagem de Bauxita: Curvas de Compressibilidade	366
FIGURA 6.40: Resultados de Ensaio CRD em Diferentes Resíduos de Lavagem de Bauxita: Curvas de Permeabilidade.	366

FIGURA 6.41: Comparação Entre Resultados de Ensaio CRS e CRD em Resíduos de Lavagem de Bauxita: Curvas de Compressibilidade.	367
FIGURA 6.42: Comparação Entre Resultados de Ensaio CRS e CRD em Resíduos de Lavagem de Bauxita: Curva de Compressibilidade Final.	367
FIGURA 6.43: Resultados de Ensaio CRS e CRD em Resíduos de Lavagem de Bauxita: Curva de Permeabilidade.	368
FIGURA 6.44: Resultados de Ensaio CRS e CRD em Resíduos de Lavagem de Bauxita: Curva de Permeabilidade Final.	369
FIGURA 6.45: Resultados de Ensaio CRD na LAMA VERMELHA SL: Curvas de Compressibilidade.	370
FIGURA 6.46: Resultados de Ensaio CRD na LAMA VERMELHA SL: Curvas de Permeabilidade	370
FIGURA 6.47: Resultados de Ensaio CRD na LAMA VERMELHA SL: Curvas de Compressibilidade Normalizadas	371
FIGURA 6.48: Resultados de Ensaio CRD na LAMA VERMELHA PC: Curvas de Compressibilidade.	371
FIGURA 6.49: Resultados de Ensaio CRD na LAMA VERMELHA PC: Curvas de Permeabilidade.	372
FIGURA 6.50: Resultados de Ensaio CRD na LAMA VERMELHA PC: Curva de Compressibilidade Normalizada	372
FIGURA 6.51: Comparação Entre Resultados de Ensaio CRD em Lamas de Processamento de Bauxita: Curva de Compressibilidade.	373
FIGURA 6.52: Resultados de Ensaio CRD Para Resíduos de Mineração e Processamento de Bauxita: Curva de Compressibilidade.	374
FIGURA 6.53: Resultados de Ensaio CRD Para Resíduos de Mineração e Processamento de Bauxita: Curvas de Permeabilidade.	374
FIGURA 7.1: Esquema da Sonda Piezométrica (Villar, 1990)	378
FIGURA 7.2: Registro Típico da Sonda Piezométrica	380
FIGURA 7.3: Estimativa de Poropressões Máximas e de Estabilização dos Resultados da Sonda Piezométrica	381

FIGURA 7.4: Curvas Teóricas de Dissipação de Poropressão da Sonda Piezométrica (Baligh & Levadoux, 1986)	381
FIGURA 7.5: Curvas Típicas de Dissipação de Poropressão Obtidas com o Uso da Sonda Piezométrica	382
FIGURA 7.6: Leituras da Sonda Piezométrica - Influência de Movimento da Balsa	383
FIGURA 7.7: Amostradores de Lama: Parte (a): Lama de Baixa Densidade e Parte (b): Lama de Alta Densidade	383
FIGURA 7.8: Balsa Usada em Reservatórios Navegáveis e Resíduo Pouco Espessado.	385
FIGURA 7.9: Balsa Usada em Reservatórios Navegáveis e Resíduos Espessados	385
FIGURA 7.10: Forma de Acesso às Estações de Trabalho	386
FIGURA 7.11: Estação de Trabalho em Região do Reservatório Pouco Navegável	386
FIGURA 7.12: Estação de Trabalho em Região do Reservatório Não Navegável	386
FIGURA 7.13: Estação de Trabalho em Região Seca do Reservatório	387
FIGURA 7.14: Seqüência de Montagem Da Ponta Cônica da Sonda Piezométrica	387
FIGURA 7.15: Seqüência de Montagem Da Ponta Cônica da Sonda Piezométrica	387
FIGURA 7.16: Descida da Sonda em Resíduos Muito Moles	388
FIGURA 7.17: Sonda Em Operação: Esperando Equalização das Leituras	388
FIGURA 7.18: Amostradores Especiais de Lama	388
FIGURA 7.19: Uso do Amostrador Para Lamas de Baixa Densidade	389
FIGURA 9.20: Uso do Amostrador Para Lamas de Alta Densidade	389
FIGURA 7.21: Perfil Típico de Poropressões Medido na LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA.	390
FIGURA 7.22: Perfil de Tensões Totais e Efetivas Medido na LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA: Lago TP01	393

FIGURA 7.23: Perfil de Tensões Totais e Efetivas Medido na LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA: Lago SP2-3	394
FIGURA 7.24: Peso Específico Total com a Profundidade da LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA: Lago SP2-3.	394
FIGURA 7.25: Peso Específico Total com a Profundidade da LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA: Lago TP01	395
FIGURA 7.26: Índice de Vazios com a Profundidade da LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA.	395
FIGURA 7.27: Teor de Sólidos com a Profundidade da LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA.	397
FIGURA 7.28: Curvas de Dissipação de Poropressões de Uma Estação da LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA.	397
FIGURA 7.29: Coeficiente de Adensamento com a Profundidade da LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA: Lago SP2-3	398
FIGURA 7.30: Coeficiente de Adensamento com a Profundidade da LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA: Lago TP01	398
FIGURA 7.31: Resultados de Batimetria na LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA: Lago TP01 - Variação do Topo da Camada de Lama No Reservatório.	399
FIGURA 7.32: Estimativa da Curva Final de Compressibilidade de Campo - LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA.	399
FIGURA 7.33: Comparação entre Curvas de Compressibilidade de Campo Obtidas por Diferentes Equipes na LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA.	400
FIGURA 7.34(a): Curva de Compressibilidade de Campo Comparada com Ensaios de Laboratório CRD/CRS da LAMA DE LAVAGEM DE BAUXITA.	400
FIGURA 7.34(b): Curva de Compressibilidade Permeabilidade de Campo Comparada com Ensaios de Laboratório CRD da Lama de Lavagem de Bauxita (Villar et al., 1998).	401
FIGURA 7.35: Perfil de Sondagem em Lago Desativado e Ressecado da LAMA VERMELHA SL.	403
FIGURA 7.36 (a): Perfil de Densidade dos Grãos do Lago Ressecado da Lama Vermelha SL.	403

FIGURA 7.36 (b): Perfil Médio de Índice de Vazios e Densidades do Lago Ressecado da Lama Vermelha SL.	404
FIGURA 7.37: (a) Densidade dos Grãos e (b) Coeficiente de Adensamento Horizontal Interpretado da Sonda Piezométrica - Lago Ressecado da Lama Vermelha SL.	404
FIGURA 7.38: Comparação Entre Resultados de Ensaios de Campo e Laboratório em Amostras do Lago Ressecado da LAMA VERMELHA SL: Curva de Compressibilidade. (Villar et al., 1998)	405
FIGURA 7.39: Comparação Entre Resultados de Ensaios de Campo e Laboratório em Amostras do Lago Ressecado da LAMA VERMELHA SL: Curva de Permeabilidade (Villar et al., 1998)	406
FIGURA 7.40: Índices Físicos Medidos em Reservatórios Ativos da Lama Vermelha SL. (Villar et al., 1998)	407
FIGURA 7.41: Perfil de Poro-Pressões Medidas em Reservatório da Lama Vermelha SL Antes e Após Abertura de Drenagem de Fundo. (Villar et al., 1998)	407
FIGURA 7.42: Comparação de Medições de Campo e Ensaios de Laboratório em Rejeitos de Processamento de Bauxita (LAMA VERMELHA SL) (Villar et al., 1998)	408
FIGURA 7.43: Medições de Campo em um Reservatório Ativo da Lama Vermelha SL.	409
FIGURA 7.44: Compressibilidade de Campo de Reservatório Ativo da Lama Vermelha SL.	409
FIGURA 7.45: Comparação de Medições de Campo em Rejeitos de Lavagem e Processamento de Bauxita (Lama De Lavagem De Bauxita E Lama Vermelha SL)	410
FIGURA 7.46: Medições de Campo em Rejeitos de Processamento de Bauxita (LAMA VERMELHA PC)	411
FIGURA 7.47: Comparação de Medições de Campo em Rejeitos de Processamento de Bauxita (LAMA VERMELHA SL e LAMA VERMELHA PC)	411
FIGURA 7.48: Medições de Campo em Rejeitos de Processamento de Bauxita (LAMA VERMELHA OP NEUTRALIZADA) - (Villar, 1990).	412

FIGURA 7.49: Comparação entre Curvas de Compressibilidade Obtida de Medições em Campo na LAMA VERMELHA OP NEUTRALIZADA por Santos, (2000) e Villar (1990).	412
FIGURA 7.50: Valores de Permeabilidade de Medições em Campo na LAMA VERMELHA OP NEUTRALIZADA (Santos, 2000).	413
FIGURA 7.51: Comparação entre Medições em Campo e Ensaio de Laboratório na LAMA VERMELHA OP NEUTRALIZADA - Curva de Compressibilidade.	413
FIGURA 7.52: Comparação entre Medições em Campo e Ensaio de Laboratório na LAMA VERMELHA OP NEUTRALIZADA - Curva de Permeabilidade.	414
FIGURA 7.53: Relação Índice de Vazios Contra a Tensão Efetiva de Campo Para Resíduos de Mineração e Processamento de Bauxita	415
FIGURA 8.1: Vista dos Lisímetros Montados Para Secagem Controlada de Lama	420
FIGURA 8.2: Lisímetros Com Lama Para Ensaio de Secagem Controlada.	420
FIGURA 8.3: Termopares e Sistema de Leitura Usados no Ensaio de Secagem.	421
FIGURA 8.4(a): Lisímetros Instrumentados e Prontos Para Início de Ensaio.	421
FIGURA 8.4(b): Lisímetros Instrumentados e Prontos Para Início de Ensaio: Detalhe dos Tensiômetros e Termopares.	421
FIGURA 8.5: Amostradores e Tensiômetros Usados nos Ensaio de Secagem.	422
FIGURA 8.6: Sistema Apoio Para Auxílio na Amostragem	422
FIGURA 8.7: Amostra Sendo Extraída	422
FIGURA 8.8: Ensaio de Secagem na Lama Vermelha OP Não Neutralizada (Caixa 02).	424
FIGURA 8.9: Estágios de Ressecamento da Lama vermelha OP Não Neutralizada (Caixa 01).	425
FIGURA 8.10: Detalhe da Fissura Passando Pela Instrumentação	425

FIGURA 8.11: Detalhe dos Cristais Formados na Crosta Ressecada - Ampliado 4 vezes.	426
FIGURA 8.12: Detalhe dos Cristais Formados na Crosta Ressecada - Ampliado 40 vezes.	426
FIGURA 8.13: Cristais Formados na Crosta Ressecada de um Depósito Abandonado.	426
FIGURA 8.14: Poeira Provocada Pêlos Cristais Formados na Crosta Ressecada de Um Reservatório Abandonado.	426
FIGURA 8.15: Ensaio de Secagem na Lama Vermelha OP Neutralizada.	428
FIGURA 8.16: Temperatura da Camada Superficial da Lama Vermelha OP Neutralizada Durante Ensaio de Ressecamento.	429
FIGURA 8.17: Temperatura a 10cm de Profundidade da Lama Vermelha OP Neutralizada Durante Ensaio de Ressecamento.	429
FIGURA 8.18: Temperatura da Camada à 15 cm de Profundidade da Lama Vermelha OP Neutralizada Durante Ensaio de Ressecamento.	430
FIGURA 8.19: Temperatura a 20 cm de Profundidade da Lama Vermelha OP Neutralizada Durante Ensaio de Ressecamento.	430
FIGURA 8.20: Comparação Entre As Temperaturas da Camada Superficial e a 20 cm de Profundidade da Lama Vermelha OP Neutralizada Durante Ensaio de Ressecamento.	431
FIGURA 8.21: Comparação Entre Temperaturas Medidas A 5,0cm Dentro Da Lama Neutralizada Durante Ensaio De Ressecamento E Temperatura Medida Na Sala	431
FIGURA 8.22: Comparação Entre Temperaturas A 20,0cm Dentro Da Lama OP Neutralizada E Temperatura Na Sala Durante Ensaio De Ressecamento.	431
FIGURA 8.23: Variação do Teor de Umidade Relativa do Ar da Sala de Ensaio de Ressecamento: Influência das Lâmpadas na Temperatura do Ambiente.	431
FIGURA 8.24: Evaporação Acumulada Medida no Ensaio com a Lama Vermelha OP Neutralizada.	432
FIGURA 8.25: Evaporação Acumulada contra o Tempo de Lama de Lavagem de Bauxita (adaptado de Swarbrick e Fell, 1992)	432

FIGURA 8.26: Variação Diária do Peso das Caixas de Secagem.	433
FIGURA 8.27: Evaporação Acumulada Normalizada contra Tempo Normalizado da Lama Vermelha OP Neutralizada.	433
FIGURA 8.28: Variação do Topo da Camada da Lama Vermelha OP Neutralizada.	434
FIGURA 8.29: Variação do Teor de Umidade Gravimétrico da Lama Vermelha OP Neutralizada	434
FIGURA 8.30: Variação do Índice de Vazios do Topo da Camada da Lama Vermelha OP Neutralizada.	434
FIGURA 8.31: Variação do Índice de Vazios da Camada da Lama Vermelha OP Neutralizada.	434
FIGURA 8.32: Variação da Massa Específica Total da Lama Vermelha OP Neutralizada.	435
FIGURA 8.33: Comparação Entre Resultados de Modelo Numérico e Medidas de Variação do Teor de Umidade Gravimétrico da Lama Vermelha OP Neutralizada.	435
FIGURA 8.34: Variação do Grau de Saturação da Camada de Lama Vermelha OP Neutralizada Ao Longo dos Ensaios de Ressecamento.	436
FIGURA 8.35: Variação da Sucção da Lama Vermelha OP Neutralizada Ao Longo dos Ensaios de Ressecamento.	436
FIGURA 8.36: Variação da Sucção da Camada de Lama Vermelha OP Neutralizada Ao Longo dos Ensaios de Ressecamento.	436
FIGURA 8.37: Variação da Temperatura da Camada de Lama Vermelha OP Não Neutralizada Ao Longo dos Ensaios de Ressecamento: (a) 05cm de Profundidade e (b) 20cm de Profundidade.	438
FIGURA 8.38: Evaporação Acumulada Medida Durante Ensaio com a Lama Vermelha OP Não Neutralizada.	438
FIGURA 8.39: Perda de Água Diária Registrada ao Longo do Ensaio da Lama Vermelha OP Não Neutralizada.	438
FIGURA 8.40: Variação do Topo da Camada de Lama Vermelha OP Não Neutralizada. Medida Durante Ensaio	440

FIGURA 8.41: Variação do Teor de Umidade Gravimétrico do Topo da Lama Vermelha OP Não Neutralizada.	440
FIGURA 8.42: Variação do Teor de Umidade Gravimétrico da Camada de Lama Vermelha OP Não Neutralizada Durante Ensaio de Ressecamento.	440
FIGURA 8.43: Teor de Sólidos Inicial e Após Três Meses de Ressecamento da Lama Vermelha OP Não Neutralizada.	441
FIGURA 8.44: Teor de Sólidos Inicial e Após Três Meses de Ressecamento da Lama Vermelha OP Neutralizada.	441
FIGURA 8.45: Comparação da Variação do Teor de Sólidos com o Tempo das Lamas Vermelhas OP Neutralizada e Cáustica.	442
FIGURA 8.46: Padrões de Trincamento Observados em Resposta à Várias Condições de Fluido dos Poros (Fang, 1986).	444
FIGURA 8.47: Comparação entre Paredes de Fissuras de uma Barra de Alumínio Rompida por Fadiga (Broek, 1986) e As da Lama Vermelha (ampliadas 40 vezes).	450
FIGURA 8.48: Comparação entre Padrões de Trincamento em Função da Espessura da Amostra: (a) espessura de 6,8mm e (b) espessura de 14,7mm. (Corte e Higashi, 1964)	451
FIGURA 8.49: Padrão Típico de Fissuras por Ressecamento em Solos (adaptado de Blight, 1997)	451
FIGURA 8.50: Seqüência de Secagem da Lama Vermelha OP Neutralizada em Lisímetros Menores.	453
FIGURA 8.51: Seqüência de Secagem da Lama Vermelha OP Não Neutralizada em Lisímetros Menores.	454
FIGURA 8.52: Seqüência de Secagem Nos Resíduos em Lisímetros Menores.	455
FIGURA 8.53: Trinca Com Maior Abertura na Base - Contração Lateral Diferenciada.	456
FIGURA 8.54: Trinca Formada Horizontalmente na LV04.	456
FIGURA 8.55: Superfície Seca de Amostra Cilíndrica Ampliada 40 Vezes	457
FIGURA 8.56: Superfície de Um Lago Desativado Exposto a Ressecamento	457

Lista de tabelas

TABELA 2.1 - Valores Do Coeficiente De Reflexão De Superfície (R) Obtidos De Medições Com Solarímetro (Rodda E Outros, 1976)	39
TABELA 3.1: Propriedades Gerais Do Alumínio (www.clemente.com.br)	60
TABELA 3.2: Características Gerais Das Bauxitas E Seus Componentes (www.aluminio.com.ve; www.bauxita.pdvsa.com; www.worldaluminium.com)	64
TABELA 3.3: Constituição Química Básica Das Bauxitas (adaptado da ed. Urmo, 1967)	71
TABELA 3.4: Análise Química De Algumas Bauxitas De Diferentes Países (adaptado da ed. Urmo, 1967)	72
TABELA 3.5: Análise Química De Algumas Bauxitas Brasileiras (apud Santos, 1989)	72
Tabela 3.6: Componentes Químico-Mineralógicos Mais Comuns Nas Lamas Vermelhas (Bulkai,1983)	74
TABELA 3.7: Composição Mineralógica De Bauxitas E Lamas Vermelhas Brasileiras Por Meio De Difração De Raios X. (adaptado de Li & Rutherford, 1996).	74
TABELA 3.8: Mineralogia De Bauxitas E Lamas Vermelhas Brasileiras - Florescência De Raios X - Fração <#100. (adaptado de Li & Rutherford, 1996).	75
TABELA 3.9: Análise Químico-Mineralógica Da Lama Vermelha Op Neutralizada (adaptado de Alves, 1992 e Santos, 2000)	76

TABELA 3.10: Análise Espectrográfica De Emissões Ópticas De Lamas Vermelhas % Em Peso Seco (adaptado de Sigmond, 1952)	76
TABELA 3.11: Análise Químico - Mineralógica De Resíduos De Mineração E Processamento De Bauxita Usados Neste Trabalho	77
TABELA 3.12: Composição Químico-Mineralógica Média Da Lama Vermelha SL (adaptado de Rodrigues & Moura, 1992)	78
TABELA 3.13: Resultados Da Difração Por Raios X Da Lama Vermelha Op Neutralizada - Material Úmido.	79
TABELA 3.14: Resultados Da Difração Por Raios X Da Lama Vermelha Op Neutralizada - Material Seco.	80
TABELA 3.15: Resultados De Difração Por Raios X Na Lama Vermelha Op Não Neutralizada - Material Úmido.	81
TABELA 3.16: Resultados De Difração Por Raios X Na Lama Vermelha Op Não Neutralizada - Material Seco.	81
TABELA 3.17: Resultados De Difração Por Raios X Na Crosta Da Lama Vermelha OP Neutralizada.	82
TABELA 3.18: Resultados De Difração Por Raios X Da Crosta Ressecada Da Lama Vermelha OP Não Neutralizada.	82
TABELA 3.19: Resultados De Difração Por Raios X Na Lama Vermelha SL - Material Seco.	83
TABELA 3.20: Resultados De Difração Por Raios X Na Lama De Lavagem - Material Seco.	84
TABELA 3.21: Resultados De Difração Por Raios X Na Lama Vermelha PC - Material Seco.	84
TABELA 3.22: Análise Granulométrica Da Lama Vermelha OP neutralizada (adaptado de Alves, 1992, De Campos et Al., 1994 e Santos, 2000).	100
TABELA 3.23: Faixa Granulométrica Encontrada Em Todos Os Ensaio Realizados Em Água Na Lama Vermelha OP Neutralizada.	104
TABELA 3.24: Comparação Das Faixas Granulométricas Da Lama Vermelha OP Neutralizada - Amostras Integrais - Ensaio Em Água E Soro Neutralizado.	106
TABELA 3.25: Faixa Granulométrica Encontrada Para A Lama Vermelha OP Neutralizada - Ensaio Realizados Em Soro.	108

TABELA 3.26: Comparação Das Faixas Granulométricas Da Lama Vermelha OP Neutralizada - Amostras < #200 E > #200 - Ensaio Em Água E Soro Neutralizado.	110
TABELA 3.27: Faixa Granulométrica Encontrada Nos Ensaio Realizados Na Lama Vermelha OP Neutralizada.	179
TABELA 3.28: Faixa Granulométrica Encontrada Para A Lama Vermelha OP Não Neutralizada - Ensaio Realizados Em Água.	182
TABELA 3.29: Faixa Granulométrica Encontrada Para A Lama Vermelha OP Não Neutralizada - Ensaio Em Soro Cáustico.	184
TABELA 3.30: Comparação Das Faixas Granulométricas Da Lama Vermelha OP Não Neutralizada - Amostras Integrais - Ensaio Em Água E Soro Cáustico.	186
TABELA 3.31: Comparação Das Faixas Granulométricas Da Lama Vermelha OP Não Neutralizada - Fração > #200 - Ensaio Em Água E Soro Cáustico.	188
TABELA 3.32: Faixa Granulométrica Encontrada Nos Ensaio Realizados Na Lama Vermelha OP Não Neutralizada.	190
TABELA 3.33: Faixa Granulométrica Encontrada Para A Lama Vermelha OP Neutralizada E Cáustica - Ensaio Em Água.	193
TABELA 3.34: Faixa Granulométrica Encontrada Para A Lama Vermelha OP Neutralizada E Cáustica - Ensaio Em Soro Neutralizado E Cáustico.	195
TABELA 3.35: Área Superficial Específica De Diferentes Lamas De Lavagem E Vermelhas (adaptado de Zambo, 1977)	199
TABELA 3.36: Área Superficial Específica De Diferentes Bauxitas Brasileiras E Suas Lamas Vermelhas (adaptado de Li & Rutherford, 1996)	199
TABELA 3.37: Valores Médios De Limites De Consistência De Algumas Lamas Vermelhas (adaptado de Lotze, 1982, Somogyi & Gray, 1977)	201
TABELA 3.38: Valores Médios De Limites De Atterberg Para Alguns Resíduos De Bauxita Pesquisados (Adaptado De Mello, 1985, Alves, 1992, Rodrigues & Moura, 1992, De Campos et al., 1994 e Santos, 2000).	202
TABELA 3.39: Limites De Consistência Dos Resíduos De Mineração E Processamento De Bauxita Analisados.	203

TABELA 3.40: Valores Médios De Densidades Dos Grãos Dos Resíduos De Mineração E Processamento De Bauxita Analisados.	209
TABELA 3.41: Densidade Dos Grãos Dos Resíduos De Mineração E Processamento De Bauxita Analisados.	210
TABELA 3.42: Valores Adotados Dos Limites De Consistência.	213
TABELA 3.43: Resumo Das Principais Características De Algumas Lamas Vermelhas (Adaptado De Stinson, 1981)	213
TABELA 6.1: Algumas Funções Ajustadas À Comportamento De Compressibilidade E Permeabilidade De Solos Muito Moles	311
TABELA 6.2: Características Dos Resíduos Comparados Na Figura 6.5.	314
TABELA 6.2: Características Dos Ensaios Crs Realizados Na Lama De Lavagem De Bauxita Comparados Nas Figuras 6.31 A 6.34.	339
TABELA 7.1: Índices Físicos Obtidos Por Ensaios De Campo Para A Lama De Lavagem De Bauxita: LAGO TP01.	365
TABELA 7.2: Índices Físicos Obtidos Por Ensaios De Campo Para Lama De Lavagem De Bauxita: LAGO SP2-3	366
TABELA 7.3: Coeficientes De Adensamento Interpretados Da Sonda Piezométrica Para A Lama De Lavagem De Bauxita: LAGO TP01	366
TABELA 7.4: Coeficientes De Adensamento Interpretados Da Sonda Piezométrica Para A Lama De Lavagem De Bauxita: Lago Sp2-3	367

Lista de símbolos

a = coordenada Lagrangeana inicial.

A = inverso da umidade relativa na superfície do solo.

B = inverso da umidade relativa do ar;

C = calor conduzido para dentro ou fora da superfície (calor de contato);

c = concentração volumétrica das partículas e é igual a $(1 - n)$;

c_B = constante psicrométrica na equação de Bowen

C_D = eficiência de drenagem.

C_E = eficiência de evaporação;

c_{esp} = calor específico do ar;

CS = água fornecida da camada inferior adensando;

c_V = coeficiente de adensamento vertical;

$C_V \rho_S$ = calor específico volumétrico (J/m^3);

D = diâmetro da esfera, cuja massa é equivalente à da partícula em queda.

D = quantidade de drenagem.

d_i = duração de raios intensos de sol (horas);

E = evaporação em cm;

e = índice de vazios;

E_a = evaporação dada pela aproximação aerodinâmica;

e_{dl} = índ. de vazios de limite de ressecamento;

E_p = evaporação de tanque de classe A.

e_p = potencial de evaporação (mm/dia);

e_{sI} = índice de vazios de limite de saturação;

E_T = evaporação real de solo;

g = aceleração da gravidade (m/seg^2)

G_s = densidade dos grãos;

H = balanço energético;

H_s = altura de sólidos sedimentados no início da evaporação de estágio 1;

H_v = calor latente de vaporização;

h_w = carga hidráulica total (m)

h_{wt} = profundidade do NA;

$h_z(t)$ = altura total de sólidos no tempo t , contido à partir de um nível de referência z .

I = infiltração superficial; quantidade de irrigação;

i_{pT} = inclinação da curva pressão de vapor de saturação contra a temperatura, na temperatura média do ar;

K = energia usada para aquecer o ar (calor de contato);

k = permeabilidade;

k_z = coeficiente de permeabilidade reduzida

L_v = calor latente de vaporização da água (J/kg).

m = fração do céu coberto por nuvens.

N = duração máxima possível de raios de sol (horas);

n = porosidade;

O = vazamentos ou escoamentos superficiais

P = precipitação;

p = pressão atmosférica;

PS = saturação percentual da crosta seca que inclui fissuras.

p_v = pressão parcial de vapor de água (kPa);

p_{sv} = pressão de vapor de saturação da água do solo na temperatura T ;

p_{va} = pressão de vapor do ar;

q = peso total por unidade de área do material acima do NA,

Q = radiação total, líquida;

Q_e = energia usada para a evaporação;

Q_h = transferência de calor por contato para a atmosfera;

Q_N = radiação efetiva

Q_θ = aumento de energia armazenada na massa de água;

Q_v = energia advectada na massa de água

r = coeficiente de reflexão da superfície;

R_a = radiação solar total;

r_a = resistência aerodinâmica da área estudada.

R_B = radiação de ondas longas emanadas da superfície;

R_C = radiação de onda curta chegando à superfície;

r_s = resistência superficial da área estudada;

S = grau de saturação

T = temperatura absoluta ($^{\circ}K$).

t = tempo;

T_a = temperatura do ar;

T_m = temperatura diária máxima ($^{\circ}F$);

T_s = temperatura do solo superficial ($^{\circ}C$);

u = excesso de poro pressão;

v = veloc. do vento, medida em uma altura pré-fixada, velocidade aparente de fluxo;

v = velocidade de deposição;

v_0 = velocidade de "Stokes";

v_s = velocidade da parte sólida.

V_s = volume de sólidos;

v_w = velocidade de fluxo do fluído;

w = teor de umidade em peso;

x = coordenada vertical.

z = coordenada reduzida;

z_{dl} = ordenada de interseção entre e e a curva de distribuição final de índice de vazios.

z_{sl} = ordenada de interseção entre e_{sl} e a curva de distribuição final de índice de vazios.

z_{wt} = Coordenada do NA;

α = constante psicrométrica;

ρ_{dmax} = densidade seca máxima;

λE = fluxo de calor latente de uma superfície não saturada;

γ_s = massa específica das partículas sólidas;

ρ_w = densidade da água;

Δ = inclinação da curva pressão de vapor de saturação contra temperatura

δ = massa específica da esfera;

δ_d'' = recalque devido ao 2^o estágio de secagem;

δ_d' = recalque devido ao 1^o estágio de secagem;

γ_w = massa específica da água;

η = viscosidade do fluido ;

λ = condutividade térmica do solo como uma função do teor de umidade (W/m°C)

ρ_s = densidade das partículas sólidas.

ρ_w = densidade da água (kg/m³);

ξ = coordenada Lagrangeana atualizada no tempo;

σ, σ_t = tensão total;

σ' = tensão efetiva

Ψ = sucção de todo o solo (m);

Ouçã a canção da vida. A vida é uma melodia; a existência é musical(...). A existência é harmonia; não é anarquia (..). E a vida pulsa – desde o ínfimo átomo à mais elevada estrela. Os comprimentos de ondas diferem, as pulsações são de frequências diferentes, mas o todo pulsa numa profunda unidade, numa harmonia (...). A existência inteira é uma música. (...) Ouça a canção da vida. Mas você não pode ouvi-la a menos que já tenha ouvido dentro de seu próprio coração. (...) A experiência básica precisa ser interior. Somente então a exterior pode ser vivenciada. Tudo o que você conhece no mundo exterior é apenas um reflexo ou uma projeção. (...)O mundo pode estar morto se você estiver morto interiormente; o mundo pode estar vivo, abundantemente vivo, se você estiver vivo interiormente. Depende de você. Você é o mundo. Apenas você existe, nada mais. Tudo o mais é um espelho.