



Marco Antonio da Silva Ramidan

**ESTUDO DE UM PROCESSO DE
VOÇOROCAMENTO PRÓXIMO A UHE DE
ITUMBIARA – GO**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Engenharia Civil: Geotecnia

Orientadores: Prof °. Tácio Mauro P. Campos
Prof °. Franklin S. Antunes

Rio de Janeiro
Setembro de 2003



Marco Antonio da Silva Ramidan

**Estudo de um processo de voçorocamento
próximo a UHE de Itumbiara – GO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre 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

Presidente/ Orientador
Departamento de Engenharia Civil – PUC - Rio

Prof. Franklin dos Santos Antunes

Co-Orientador
Departamento de Engenharia Civil – PUC - Rio

Prof. Eurípides do A. Vargas Jr.

Departamento de Engenharia Civil – PUC - Rio

Eng. Celso José Pires Filho

FURNAS Centrais Elétricas S.A.

Prof. Nelson Ferreira Fernandes

IG/UFRJ

Prof. Ney Augusto Dumont

Coordenador Setorial
do Centro Técnico Científico – PUC - Rio

Rio de Janeiro, 19 de Setembro de 2003

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

Marco Antonio da S. Ramidan

Engenheiro Civil, pertencente ao quadro de Furnas Centrais Elétricas S. A, SE.T / DEC.T. Ingressou no curso de Mestrado em Engenharia Civil, na área de Geotecnia no ano de 2000, atualmente atuando na área de Geotecnia, na Divisão de Geotecnia e Segurança de Barragem – DGSB.T. Desenvolveu pesquisa sobre o estudo dos processos erosivos em ocorrência na região referente a uma área de empréstimo, situada a jusante da barragem de terra, ombreira direita, da UHE de Itumbiara – GO. Pretende-se, a partir do levantamento de informações Geológico-Geotécnicas; Climáticas; Instrumentação de campo e execução de Ensaios de Laboratório e Campo, definir o mecanismo de erosão atuante e propor alternativas de Solução para o problema.

Ficha Catalográfica

Ramidan, Marco Antonio da Silva

Estudo de um Processo de Voçorocamento próximo a UHE de Itumbiara – GO/ Marco Antonio S. Ramidan; orientadores: Tácio Mauro P. Campos; co-orientador: Franklin S. Antunes – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2003.

v.1, 242 f.:il. ; 29,7 cm

1. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas

1. Hidrelétrica; 2. Erosão; 3. Voçoroca; 4. Geológico-geotécnico; 5. Ensaios. I. Ramidan, M. A. S. (Marco Antonio da Silva Ramidan). II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título

In Memoriam

Aos meus queridos e saudosos pais, Omar e Raymunda, pelo grande exemplo de vida e incentivo ao desenvolvimento intelectual e científico.

Dedico a minha querida esposa Eliane e aos meus filhos Leonardo e Caroline a compreensão pelos momentos em que me fiz ausente para a elaboração desta dissertação e por sempre me apoiarem e incentivarem, em todos esses anos de estudo.

Agradecimentos

Aos meus irmãos, irmãs, sobrinhos e sobrinhas que sempre torceram pelo meu sucesso.

Aos professores Franklin dos Santos Antunes e Tácio Mauro Pereira de Campos, pela orientação, dedicação e companheirismo ao longo do curso.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, em especial aos professores Eurípedes do A. Vargas Jr., Celso Romanel, Alberto Sayão, Sérgio Fontoura, José Araruna e Cláudio Amaral, pelo incentivo, companheirismo e conhecimentos obtidos ao longo do curso de mestrado.

Aos meus amigos e colegas da PUC-Rio dos cursos de mestrado e doutorado, que sempre me ajudaram de certa forma e que me incentivaram durante todos esses anos de estudo e pesquisa. Em especial aos colegas: Rodrigo Spangnolo, Fávio Alchaar, Carlos Caetano, Ewerton Pimentel, Carlos Ataliba, Ciro Portela, Ricardo Cuentas, Javier Perez e Jorge L. Cárdenas.

Aos funcionários do DEC, PUC-Rio, pelo profissionalismo e dedicação, em especial a Ana Roxo por quem tenho um imenso carinho e admiração.

Aos funcionários do Laboratório de Mecânica dos Solos, PUC-Rio, pela ajuda na execução dos ensaios, indispensável ao desenvolvimento deste trabalho, em especial ao Willian e Amauri.

Ao Laboratório de Difractometria de Raios-X, do DCMM da PUC-Rio, em especial ao Ronaldo pela colaboração neste ensaio.

À empresa Furnas Centrais Elétricas S.A., grande incentivadora e inovadora na área de pesquisa e desenvolvimento Técnico Científico, sem a qual não seria possível o

desenvolvimento deste estudo, em especial à Superintendência de Engenharia (SE. T) e Superintendência de Geração (SG.T), aos Departamentos de Patrimônio Imobiliário (DPI.T), Departamento de Engenharia Civil (DEC.T), Departamento de Construção de Geração Corumbá (DGB.T), Departamento de Produção Goiás (DRG.O) e ao Departamento de Apoio e Controle Técnico (DCT.T).

Aos colegas de Furnas, Eng^o Antônio de Pádua (SG. T); Eng^o Walton Pacelli, Eng^o Cláudia de Castro e Geólogo Pedro de Moura (DCT. T); Eng^o Hélio Goulart, Eng^o Ademar B. Filho, Eng^o Cláudio Motta, Des. Proj. Danilo Reis, Eng^o Étore F. de Faria (DEC. T), Eng^o José Reinaldo, Des. Proj. Maria da Conceição (DPI. T), pelo incentivo e apoio que me deram ao longo do desenvolvimento deste curso.

Aos Eng^{os} José Gilvomar e Manoel Martins, pela solidariedade com o desenvolvimento da causa geotécnica.

Em especial, ao Eng^o Celso Pires (DEC. T) coordenador do convênio entre Furnas e PUC, meu amigo e grande incentivador que sempre se mostrou solícito e atuante, quando solicitado a intervir em prol do bom desempenho desse programa de trabalho e ao Eng^o Wanderson Silvério (DCT. T), pelo apoio na realização dos ensaios no laboratório de solos de Furnas-GO.

Resumo

Ramidan, Marco Antonio da Silva; Campos, Tácio Mauro Pereira; Antunes, Franklin dos Santos. **Estudo de um Processo de Voçorocamento próximo a UHE de Itumbiara – GO**. Rio de Janeiro, 2003, 242p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação, desenvolvida dentro do contexto do projeto PRONEX do Centro Geotécnico de Meio Ambiente da PUC-Rio e através de um convênio com FURNAS - PUC-Rio, apresenta uma contribuição quanto à identificação e compreensão dos mecanismos envolvidos em processos de erosão, considerando seus aspectos geológico-geotécnicos bem como medidas preventivas de reparo no caso da formação de uma voçoroca específica. A evolução do processo erosivo estudado tem suas origens na remoção mecânica de uma camada com cerca de cinco metros de solo argiloso de uma área explorada na época da construção de uma barragem de terra homogênea pertencente ao complexo Hidrelétrico de Itumbiara. Os principais aspectos da área estudada, tais como sua localização, condições climáticas e tipos de solo e vegetação foram considerados no desenvolvimento do trabalho, além de aspectos geológicos regionais e características geológico-geotécnicas da área afetada pelos processos de erosão. Tomando como base o perfil de intemperismo identificado pela inspeção das paredes da formação da voçoroca, bem como amostras de furos de sondagens SPT (ensaio de penetração normal), quatro tipos de camadas de solo foram tomados como representantes das condições do local. Objetivando-se a identificação, classificação e definição do potencial de erosão de tais materiais, espécies de amostras indeformadas de bloco (bem como as amolgadas) foram submetidas a investigações laboratoriais abrangendo: ensaio convencional de caracterização de solo; ensaio de caracterização MCT (mini-MCV); Crumb Test; ensaio de Desagregação; Pinhole Test; e Inderbitzen; ensaios de permeabilidade (também desenvolvidos em campo); análise química da água intersticial; análise mineralógica (difração de raios-X); ensaio de Resistência a Tração (sob condições de saturações

diferentes) e ensaio de papel filtro (para definição das curvas características da umidade). Baseado em testes de laboratório, observações e dados de pesquisas de campo advindos de um monitoramento de poro-pressão (através de piezômetros instalados no local), mecanismos de erosão que possam predominar na área foram definidos como: micro-ravinas, ravinas e voçorocas, dentre outros. Também, ao final do trabalho, são apresentadas sugestões para remediação do local, considerando-se medidas corretivas usadas dentro do contexto da prática geotécnica convencional, e uma metodologia a ser seguida em investigações futuras relacionadas à caracterização do local e desenvolvimento de processos de erosão.

Palavras-Chave

Complexo Hidrelétrico de Itumbiara; Erosão; Voçoroca; Geológico-Geotécnico; Ensaio Geotécnicos.

Abstract

Ramidan, Marco Antonio da Silva; Campos, Tácio Mauro Pereira (Advisor); Antunes, Franklin dos Santos (Advisor). **The Gully Process Study next to the Itumbiara Hydroelectric Complex – GO**. Rio de Janeiro, 2003, 242p. M.Sc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This dissertation, developed within the context of the PRONEX Project of the Environmental Geotechnical Center of PUC-Rio and through a FURNAS-PUC-Rio Convenium, presents a contribution towards the identification and comprehension of mechanisms involved in erosion processes, considering its geological and geotechnical aspects as well as preventive repairing measures in the case of a specific gully formation. The evolution of the studied erosive process has its origin in the mechanical removal of some five meters of a clayey soil layer from a borrow area exploited at the time of the construction of an homogeneous embankment dam belonging to the Itumbiara Hydroelectric Complex. The main aspects of the studied area, such as its location, climatic conditions and soil and vegetation types were considered in the development of the work, besides regional geological aspects and geological-geotechnical features of the area affected by the erosion processes. Taking as a basis the unsaturated weathering profile identified by inspection of the walls of the gully formation, as well as of samples from SPT (standard penetration test) boreholes, four types of soil ‘layers’ were taken as representative of site conditions. Aiming the identification, classification and definition of the erodibility potential of such materials, specimens from undisturbed block samples (as well as remolded ones) were submitted to laboratory investigations comprising: conventional soil characterization tests; MCT characterization test (mini-MCV); crumb test; desegregation test; pinhole test; Inderbitzen test, permeability tests (also performed in the field); chemical analysis (both soil and voids -water); mineralogical analysis (X-rays diffraction); tensile strength test (under different saturation conditions) and filter paper test (for definition of soil-moisture characteristic curves). Based on the results

of the laboratory tests, field observations and data from pore-pressure monitoring (through piezometers installed in the site), erosion mechanisms that may prevail in the area were defined as micro-rills, rill, gully and others. Also, at the end of the work, are presented suggestions for remediation of the site, considering corrective measures used within the context of conventional geotechnical practice, and a methodology to be followed in further investigations related to the characterization of the site and development of erosion processes.

Keywords

Itumbiara Hydroelectric Complex; Erosion; Gully; Geological-Geotechnical; Geotechnical Tests.

Sumário

1	Introdução	26
1.1	Objetivo	27
1.1.1	Geral	27
1.1.2	Específico	27
1.2	Escopo do Trabalho	28
2	Revisão Bibliográfica	29
2.1	Considerações Iniciais	29
2.2	Formações Superficiais e Desencadeamento dos Processos Erosivos	29
2.3	Processos Determinantes na Erosão dos Solos	34
2.3.1	Processos Relacionados às Formas de Erosão Hídrica	36
2.3.2	Processos Relacionados a Precipitações Pluviométricas	38
2.3.3	Processos Relacionados à Erosão Eólica	42
2.3.4	Processos Erosivos Devido à Geometria de Encostas	43
2.3.5	Processos Erosivos por Formação de Ravinas e Voçorocas	44
2.3.6	Aspectos Geológico-Geotécnicos dos Solos	47
2.3.7	Quantificação de Perda de Solo por Erosão Laminar	54
3	Aspectos Gerais da Área Estudada	58
3.1	Localização	58
3.2	Condições Climáticas	61
3.3	Tipo de Solo	63
3.4	Tipo de Vegetação	63
3.5	Aspecto Geológico – Geotécnicos da Região	64
4	Metodologia adotada na Avaliação da Erodibilidade	69
4.1	Trabalhos Desenvolvidos no Campo	69

4.2 Aspecto Geológico – Geotécnicos Local	75
4.3 Hidrologia Local	79
5 Descrição dos Ensaios e Apresentação dos Resultados	86
5.1 Ensaios de Campo	87
5.1.1 Ensaio Penetrométrico (SPT)	87
5.1.2 Ensaio com o Permeâmetro de Guelph	87
5.2 Ensaios de Laboratórios	90
5.3. Ensaios Convencionais de Caracterização	92
5.3.1. Metodologia Adotada	92
5.3.2. Apresentação e Análise dos Resultados	94
5.3.2.1. Análise Granulométrica	95
5.3.2.2. Limite de Atterberg	99
5.3.2.3. Umidade Natural e Umidade Higroscópica	101
5.3.2.4. Peso Específico	103
5.3.2.5. Índice de Vazios, Porosidade e Grau de Saturação	104
5.3.2.6. Índice de Atividade	106
5.3.3. Correlação entre as propriedades físicas	107
5.4. Ensaios de Erodibilidade	111
5.4.1 <i>Crumb Test</i>	111
5.4.2. Desagregação	117
5.4.3. Ensaio <i>Pinhole Test</i> (Furo de Agulha)	127
5.4.4 <i>Inderbitzen</i>	145
5.5 Ensaios Especiais	155
5.5.1 Análise Química do Solo e da Água Intersticial	155
5.5.2 Caracterização Mineralógica (Difração de Raios-X)	158
5.5.3 Ensaio de Caracterização MCT (mini-MCV)	167
5.5.4 Ensaio de Sucção (Curva Característica)	181
5.5.5 Ensaio de Resistência a Tração – Método Brasileiro	198
6 Discussão dos Resultados	203

7 Conclusões e Sugestões	209
Referências Bibliográficas	218
Anexo	230

Lista de tabelas

Tabela 5.1 - Resumo das Principais propriedades Físicas do Solo	94
Tabela 5.2 – Critério de classificação direta dos solos estudados quanto ao grau de erodibilidade, proposto por Santos e Castro (1967)	95
Tabela 5.3 – Limites de Atterberg para argilominerais (modificado por Mitchell, 1993)	100
Tabela 5.4 – Massa Específica dos Minerais Identificados (modificado – Deer et al, 1981)	104
Tabela 5.5 – Guia de interpretação proposta por Sherard et al (1976)	112
Tabela 5.6 - Resultado do ensaio Crumb Test	114
Tabela 5.7 – Resumo dos resultados do ensaio sedimentométrico comparativo (0,002 – 0,05mm)	116
Tabela 5.8 – Resumo dos critérios interpretativos do Ensaio Pinhole Test (Furo de Agulha) ASTM· D 4647-(93) adaptado a NBR 14114-98 sob forma de texto	130
Tabela 5.9 – Condições de moldagem do Corpo de Prova para o ensaio (SC)	131
Tabela 5.10 – Condições de moldagem do Corpo de Prova para o ensaio (SRM)	134
Tabela 5.11 – Condições de moldagem do Corpo de Prova para o ensaio (SRJ-A)	137
Tabela 5.12 – Condições de moldagem do Corpo de Prova para o ensaio (SRJ-B)	139
Tabela 5.13 – Quadro resumo da quantidade de perda do Solo Coluvionar (SC)	150
Tabela 5.14 – Caracterização Química do Solo	156
Tabela 5.15 – Análise Química da Água	156
Tabela 5.16 – Análise Mineralógica pela difração de Raios-X	160
Tabela 5.17 – Quadro característico de solos dos grupos MCT, quanto à erodibilidade hídrica e propriedades de interesse à sua previsão (condições típicas do Estado de São Paulo) – modificado por Nogami e Villibor, 1995	173
Tabela 5.18 – Valores para classificação mini-MCV do Solo Coluvionar	174
Tabela 5.19 – Valores para classificação mini-MCV do Solo Maduro	176

Tabela 5.20 – Valores para classificação mini-MCV do Solo Residual Jovem A	178
Tabela 5.21 – Valores para classificação mini-MCV do Solo Residual Jovem B	179
Tabela 5.22 - Célula de placa cerâmica e suprimento de gás utilizado no ensaio	191
Tabela 5.23 – Valores obtidos pelo método do Papel Filtro	192
Tabela 5.24 – Valores obtidos pelo método da Panela de Richards	192
Tabela 5.25 – Amostra de solo na umidade natural	201
Tabela 5.26 – Amostra de solo seca ao ar	201
Tabela 9.1 – Quadro resumo da quantidade de perda de solo laterítico (SL)	239
Tabela 9.2 – Quadro resumo da quantidade de perda de solo (SRJB)	240
Tabela 9.3 – Quadro resumo da quantidade de perda de solo (SRJA)	241
Tabela 9.4 – Quadro resumo de perda de solo (SRM)	242

Lista de figuras

Figura 3.1 – Mapa de Localização da UHE de Itumbiara – GO / Geomapas Produções Cartográficas Ltda (1994) – Escala 1:400. 000	59
Figura 3.2 – Planta Geral com Representação da Hidrogeologia Local	60
Figura 3.3 – Precipitações pluviométricas anuais (Jan/1980-Jun/2003)	62
Figura 3.4 – Precipitações pluviométricas mensais (Jan/80 – Jun/03)	62
Figura 3.5 – Precipitações pluviométricas mensais (Jan2003-Jun/2003)	62
Figura 3.6 – Mapa Geológico Regional – Fonte: AGIM (Agência Goiana de Desenvolvimento Industrial e Mineral). Mapa Geológico e de Recursos Minerais.	65
Figura 3.7 - Mapa Geológico Local	66
Figura 3.9 – Seção Longitudinal no eixo da barragem – Fonte: Relatórios de Furnas Centrais Elétricas S.A. Simpósio sobre a Geotecnia da Bacia do Alto Paraná (setembro de 1983) – modificado pelo autor, 2003.	68
Figura 4.1 – Coleta de Água	70
Figura 4.2 – Vista aérea com destaque para Erosão 1	71
Figura 4.3 - Planta da Erosão 1	72
Figura 4.4 - Perfil Representativo dos Taludes	73
Figura 4.5 – Local de retirada de blocos (SC – Solo Coluvionar ; SRM – Solo Residual Maduro ; SRJ-A – Solo Residual Jovem A ; SRJ-B – Solo Residual Jovem B)	74
Figura 4.6 – Tipos de Solos	74
Figura 4.7 – Perfil Geológico-Geotécnico (Seção Longitudinal AB – Figura 3.2)	75
Figura 4.8 - Alcovas de regressão e queda de bloco	76
Figura 4.9 – Trinca superficial (vista lateral e superior)	76
Figura 4.10 – Fraturas de alívio sub-horizontais / verticais a sub-verticais (Parede esquerda da Erosão I)	77
Figura 4.11 – Leituras Piezômetros e medidores de níveis d’água recentemente instalados	80
Figura 4.12 – Leituras dos Piezômetros e medidores de níveis d’água existentes ao longo da ombreira direita da barragem	81
Figura 4.13 – Leituras da precipitação pluviométrica versus elevação do reservatório	82

Figura 4.14 – Modelo dinâmico da evolução das voçorocas	83
Figura 4.15 – Modelo representativo do comportamento de fluxo no processo erosivo do solo estudado (estágio I)	84
Figura 4.16 – Modelo representativo do comportamento de fluxo no processo erosivo do solo estudado (estágio II)	84
Figura 4.17 – Modelo representativo dos processos erosivos resultantes da incidência de fluxo sobre o solo estudado (estágio I)	85
Figura 4.18 – Modelo representativo dos processos erosivos resultantes da incidência de fluxo sobre o solo estudado (estágio II)	85
Figura 5.1 – Ensaio com Permeâmetro de Guelph	88
Figura 5.2 – Valores de K (cm/s), K_{fs} (cm/s) e F_m (cm/s)	89
Figura 5.3 – Curva Granulométrica por peneiramento e sedimentação	96
Figura 5.4 – Variação das Frações Silte e Argila por sedimentação	98
Figura 5.5 – Variação das Frações Pedregulho + Areia	98
Figura 5.6 - Variação dos Limites de Atterberg	100
Figura 5.7 – Variação dos teores de Umidade Natural (W_{nat}) e Umidade Higroscópica (W_h)	102
Figura 5.8 – Variação do Peso específico aparente seco (γ_d) com o peso específico natural (γ_{nat}) e o Peso específico dos sólidos (γ_s)	103
Figura 5.9 - Variação do Índice de Vazios (e), Porosidade (n) e do Grau de Saturação (S)	105
Figura 5.10 – Variação do Índice de Atividade	106
Figura 5.11 – Análise da unidade higroscópica (W_h) em função do Índice de Plasticidade (I_p)	108
Figura 5.12 – Índice de Plasticidade, Umidade higroscópica versus o percentual de argila.	108
Figura 5.13 – limite de Atterberg e Umidade higroscópica versus Porcentual de argila e silte	109
Figura 5.14 - Curvas representativos do Ensaio Sedimentométrico Comparativo	116
Figura 5.15 – Amostras colocadas sobre Pedra Porosa, Ensaio de Imersão Progressiva (até a base – 30 min)	119
Figura 5.16 – Amostras colocadas sobre Pedra Porosa, Ensaio de Imersão Progressiva (até a 1/3 H – 45 min)	120
Figura 5.17 – Amostras colocadas sobre Pedra Porosa, Ensaio de Imersão Progressiva (até a 2/3 H – 60 min)	121

Figura 5.18 – Amostras colocadas sobre Pedra Porosa, Ensaio de Imersão Total (período de 24 horas)	122
Figura 5.19 – Amostras colocadas sobre Pedra Porosa, Ensaio de Imersão Total (logo após a inundação)	123
Figura 5.20 – Amostras colocadas sobre Pedra Porosa, Ensaio de Imersão Total (após 15 min)	124
Figura 5.21 – Amostras colocadas sobre Pedra Porosa, Ensaio de Imersão Total (após 24 h)	125
Figura 5.22 – Modelo Esquemático do Ensaio de <i>Pinhole Test</i>	129
Figura 5.23 – Resultados do Ensaio, tempo e carga hidráulica em função da vazão. (Solo Coluvionar)	131
Figura 5.24 – Fotos Representativas da amostra de Solo Coluvionar após o ensaio	133
Figura 5.25 – Resultados do Ensaio, tempo e carga hidráulica em função da vazão (SRM)	134
Figura 5.26 – Fotos Representativas da amostra de Solo Residual Maduro após o ensaio	136
Figura 5.27 – Resultados do Ensaio, tempo e carga hidráulica em função da vazão (SRJ-A)	136
Figura 5.28 – Fotos Representativas da amostra de Solo Residual Jovem A após o ensaio	138
Figura 5.29 – Resultados do Ensaio, tempo e carga hidráulica em função da vazão (SRJ-B)	139
Figura 5.30 – Fotos Representativas da amostra de Solo Residual Jovem B após o ensaio	140
Figura 5.31 – Resultados do Ensaio, tempo e carga hidráulica em função da vazão (SC)	141
Figura 5.32 – Resultados do Ensaio, tempo e carga hidráulica em função da vazão (SRM)	142
Figura 5.33 – Resultados do Ensaio, tempo e carga hidráulica em função da vazão (SRJ-A)	143
Figura 5.34 – Resultados do Ensaio, tempo e carga hidráulica em função da vazão (SRJ-B)	144
Figura 5.35 – Ensaio de Inderbitzen em andamento	146
Figura 5.36 – Resultado da perda de solo total das amostras	149
Figura 5.37 – Resultado da perda de Solo Coluvionar	151
Figura 5.38 – Resultado da perda de Solo Laterítico	152

Figura 5.39 – Resultado de perda de solo (SRJ-B)	153
Figura 5.40 – Resultado da perda de solo (SRJ-A)	154
Figura 5.41 – Resultado da perda de solo (SRM)	155
Figura 5.42 – Difractogramas de Raios-X (SNE e SC)	162
Figura 5.43 – Difractogramas de Raios-X (SE e SRM)	164
Figura 5.44 – Difractogramas de Raios-X (SRJ-A e SRJ-B)	166
Figura 5.45 – Aparelho com Ensaio de Classificação MCT em andamento e esquema representativo	168
Figura 5.46 – Exemplo de curvas de deformabilidade - MCV	169
Figura 5.47 – Exemplo de Curva para determinação de c'	170
Figura 5.48 – Exemplo de Curva de Compactação para determinação de d'	171
Figura 5.49 – Representação Esquemática do Ensaio de Perda de solo por Imersão	171
Figura 5.50 – Ábaco classificatório dos solos pela metodologia MCT	173
Figura 5.51 – Gráficos e representação esquemática do ensaio mini-MCV (SC)	175
Figura 5.52 – Gráficos e representação esquemática do ensaio mini-MCV (SRM)	177
Figura 5.53 – Gráficos e representação esquemática do ensaio mini-MCV (SRJ-A)	178
Figura 5.54 – Gráficos e representação esquemática do ensaio mini-MCV (SRJ-B)	180
Figura 5.55 – Extração da amostra de solo com anel de metal	183
Figura 5.56 – Amostras de solos envolvidos com filmes plásticos	185
Figura 5.57 – Balança para pesagem de papel filtro	186
Figura 5.58 – Curvas Características pelo método do Papel Filtro	186
Figura 5.59 – Câmara de Pressão de Richards	187
Figura 5.60 – Saturação de amostras de solos por capilaridade sobre placa cerâmica	188
Figura 5.61 – Expansão da amostra de Solo Residual Maduro (SRM)	189
Figura 5.62 – Saturação de amostras de solo por capilaridade	189
Figura 5.63 – Curva de sucção pelo método de Panela de Richards	190
Figura 5.64 – Curvas características de sucção versus umidade, obtidas segundo os métodos de Papel Filtro e da Panela de Richards	193

Figura 5.65 – Ensaio de tração (equipamento e ensaio em andamento)	198
Figura 5.66 - Soluções teóricas das tensões ao longo do diâmetro vertical de uma amostra de solo submetida a compressão diametral	199
Figura 5.67 – Representação gráfica das amostras natural e seca ao ar	202

Lista de abreviaturas e símbolos

S: somatório

°: graus

#: peneira

%: porcentagem

A: Índice que representa a parte de solo por unidade de área

a: fator de redução

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AGIM: Agência Goiana de Desenvolvimento Industrial e Mineral

Al: alumínio

Al³⁺: cátion de alumínio

C: argilas

C: Índice relativo ao fator referente ao uso e manejo do solo

Ca: cálcio

cm: centímetro

cm²: centímetro quadrado

cm³: centímetro cúbico

cm³/s: centímetro cúbico por segundo

CNPS: Centro Nacional de Pesquisa de Solos

Cu: coeficiente de não uniformidade dos solos

D: diâmetro

DAEE: Departamento de Águas e Energia Elétrica

DATUM-SAD-69: Spath American DATUM-69

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisas Agrárias

E: Energia cinética total para um dado evento chuvoso

EPG: ensaio com permeâmetro de Guelph

e : índice de vazios

e₀ : índice de vazios inicial

Fe: ferro

G: cascalho

g: grama

GO: Goiás

GPS: Global Positioning System ou NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite with time and ranging)

h: hora

h_{OT} : umidade ótica

Hc: Teor de umidade de compactação

H₂O: água

I: Equivale a precipitação pluviométrica máxima durante 30 minutos

Ia: Índice de atividade das argilas

K: potássio

K: Índice relativo a erodibilidade do solo

K: permeabilidade

K_{fs} : condutividade hidráulica saturada de campo

K_m : permeabilidade média

L: Índice relativo ao comprimento da encosta

Li: lítio

LA': Solo laterítico arenoso

LG': Solo laterítico argiloso

M: siltes

m: metro

Marégrafo: Referencial altimétrico, coincidente com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar

MCT: Miniatura Compactada Tropical

Mini-MCV: Moisture Condition Value

Md: Massa seca da parte desprendida

Ms: Massa seca em estufa

Mu: Massa úmida do corpo de prova

min: minuto

ml: mililitro

MG: Minas Gerais

Mg: magnésio

m/s: metro por segundo

mm: milímetro

mm/h: milímetro por hora

n: Porosidade

Na: sódio

NaOH : hidróxido de sódio

O: solos orgânicos

P: Índice relativo a prática conservacionista adotada

Pd: Grau de dispersão

PG: permeâmetro de Guelph

Pi: Perda de solo por imersão

pH: potencial de hidrogenização

PZ: piezômetro

R: Índice relativo a erodibilidade da chuva e da enxurrada

S: areias

S: Grau da saturação

S: Índice relativo a declividade da encosta

SC: Solo coluvionar

SCS: Ensaio Sedimentométrico comparativo

SE: Solo Erodido

Seg: segundo

SNE: Solo Não Erodido

SRJ-A: Solo Residual Jovem A

SRJ-B: Solo Residual Jovem B

SRM: Solo Residual Maduro

SPT: *Standard Penetration Test* (Sondagem a percussão)

UHE: Usina Hidrelétrica

USLE: *Universal Soil Loss Equation* (Equação Universal de Perdas de Solos)

UTM: Universal Transverso de Mercator

w : umidade do solo

WEPP: *Water Erosion Predict Project* – Projeto de Previsão de Erosão
Hídrica

W_L : Limite de liquidez

w_{nat} : Umidade natural do solo

w_p : Índice de plasticidade

w_h : Umidade Higroscópica

γ_s : Peso específico real dos grãos

γ_{nat} : Peso específico natural

γ_d : Peso específico seco

μ_m : micron (= 0,001 milímetro)

F_m : potencial de fluxo mátrico