

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
ENGENHARIA AMBIENTAL

RAUL CASSARO

**CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS E AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS
DE RECUPERAÇÃO NA VOÇOROCA DO CÓRREGO DO CRAVO
(NAZARENO - MG)**

São Carlos, SP
2015

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
ENGENHARIA AMBIENTAL

CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS E AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE
RECUPERAÇÃO NA VOÇOROCA DO CÓRREGO DO CRAVO
(NAZARENO - MG)

Aluno: Raul Cassaro

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues

Monografia apresentada ao curso de
graduação em Engenharia Ambiental
da Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo.

São Carlos, SP

2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Cc Cassaro, Raul
Caracterização dos solos e proposta de recuperação
na Voçoroca do Córrego do Cravo (Nazareno-MG) / Raul
Cassaro; orientador Profa. Dra. Valéria Guimarães
Silvestre Rodrigues. São Carlos, 2015.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2015.

1. Processos erosivos. 2. Degradação ambiental. 3.
Recuperação ambiental. 4. Voçoroca do Córrego do Cravo.
5. Nazareno (MG). 6. Caracterização
geológica-geotécnica. 7. Águas superficiais e
subterrâneas. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Raul Cassaro**

Data da Defesa: 29/10/2015

Comissão Julgadora:

Resultado:

Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues (Orientador(a))


Aprovado

Ligia de Freitas Sampaio

Aprovado

Davi Gasparini Fernandes Cunha

APROVADO


Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

“Cada livro, cada volume que você lê, tem alma. A alma de quem o escreveu, e a alma dos que o leram, que viveram e sonharam com ele. Cada vez que um livro troca de mãos, cada vez que alguém passa os olhos pelas suas páginas, seu espírito cresce e a pessoa se fortalece”.

- Carlos Ruiz Zafón in: A Sombra do Vento

“NÃO ENTRE EM PÂNICO”

- Douglas Adams in: O Guia do Mochileiro das Galáxias

Agradecimentos

Antes de qualquer coisa, agradeço a Deus por sempre estar do meu lado, nos bons e maus momentos, sempre olhando por mim, me guiando e me iluminando.

Agradeço aos meus pais, pelo crédito e confiança depositados em minha capacidade, pelo carinho, amizade e amor mesmo que, hoje em dia, seja à distância na maior parte do tempo. Amo vocês!

À minha maravilhosa orientadora Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues, pela enorme paciência, amizade e orientação (não somente no sentido acadêmico) sem você esse trabalho não seria possível e eu ainda estaria procurando uma área de interesse na Engenharia Ambiental. Obrigado por tudo!

À minha namorada Jacqueline Zanin Lima pelo companheirismo, amor e cumplicidade. À República Duplex: Lupe, Balu e Fejuca. Vocês me mostraram que a vida em coletivo é milhões de vezes mais incrível do que morar sozinho.

À Amb 010 por ser a sala mais incrível que eu já vi, com pessoas icônicas e amigos que levarei pra vida inteira. Sem a ajuda de muitos de vocês, com certeza não estaria me formando. Em especial ao POVO pelos infinitos rolês certos e errados, pelas risadas e pelas polêmicas.

À Turma do Trupica, que faz a volta pra casa valer sempre a pena, porque cada rolê dado com vocês sempre termina em risada e mais histórias pra contar.

À todos que de alguma forma contribuíram para esse trabalho, em especial os técnicos do laboratório da Geotecnia, seu Antônio, Zé e Oscar. À Lígia de Freitas Sampaio, por ter me ajudado no início do meu desbravamento pelo mundo acadêmico e pela ajuda quando já não sabia mais o que fazer da vida profissional.

Aos meus professores da graduação, em especial ao professor Evaldo Gaeta Espíndola, por toda ajuda e orientação que já me deu, seja ela dentro da sala de aula, ou em um churrasco com a galera.

À toda a comissão da SEA, dos que já foram aos que são membros, obrigado por fazer da Semana da Engenharia Ambiental um dos melhores eventos do Brasil!

RESUMO

CASSARO, R. **Caracterização dos solos e avaliação de técnicas de recuperação na voçoroca do Córrego do Cravo (Nazareno-MG)**. São Carlos, 2015. 87p. Monografia de Trabalho de Graduação. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2015.

A bacia do Alto Rio Grande (sul de Minas Gerais) sofreu intensa interferência antrópica, desde atividades de mineração no século XVIII (mineração de ouro), passando pela abertura irregular de estradas rurais nos anos 50, e atualmente pelo desenvolvimento de atividades agropastoris. Tais interferências geraram degradações ambientais em grande parte desta bacia, sendo que o principal problema refere-se às voçorocas. O município de Nazareno (MG), localizado nesta bacia, apresenta inúmeros processos erosivos de grande porte. Neste contexto, estudou-se a voçoroca do Córrego do Cravo, que esta localizada na área urbana de Nazareno. Esta voçoroca foi escolhida, pois no ano de 2008, o CRIDES (Centro Regional Integrado de Desenvolvimento Sustentável) através do Projeto Maria de Barro tentou recuperar a mesma, sendo que em 2012, devido às intensas chuvas, ocorreu o retorno dos processos erosivos bem como o surgimento de escorregamentos. Assim, esse trabalho teve por objetivo a caracterização geológica e geotécnica dos solos, visando determinar os fatores responsáveis pelo retorno dos processos erosivos, bem como propor técnicas de recuperação mais adequadas conforme a caracterização realizada. Para isso foram realizados os seguintes ensaios: granulometria, determinação de LP e LL, mini MCV, CTC e SE, MEV/EDS, DRX, ATD, MO e pH. Os resultados obtidos nestes ensaios indicaram que o Cambissolo de granito-gnaiss é o principal condicionante da erosão no interior da voçoroca, pois seu alto teor de silte (60%) causa encrostamento do solo, concentrando o fluxo da água e impedindo sua infiltração pelo solo. Além disso, o Cambissolo apresenta baixa coesão e baixo teor de matéria orgânica (menores que 30 g/kg). No interior da voçoroca foi observado o afloramento do nível d'água subterrâneo, sendo que essa contribui para a instabilização do Cambissolo, bem como a presença de solapamento do material geológico. Com base nas características anteriormente apresentadas, conclui-se que para a recuperação adequada da área seria necessário o controle do fluxo superficial com algumas obras, como a construção de cordões de nível a montante da voçoroca. Ademais seria adequado desviar o fluxo da água para um local que não cause novas degradações (evitando direcionar o mesmo para áreas com exposição de Cambissolo); para tanto se sugere utilização de vertedouros e dissipadores de energia do tipo bacia de impacto ou de mergulho. Também é importante controlar o fluxo de material dentro da voçoroca com, por exemplo, barreiras que retenham o material que foi transportado.

Palavras-Chave: Processos erosivos, Degradação ambiental, Recuperação de áreas degradadas, Voçoroca do Córrego do Cravo

ABSTRACT

CASSARO, R. **Soil characterization and evaluation of gully recovery techniques on Córrego do Cravo's gully (Nazareno-MG)**. São Carlos, 2015. 87p. Graduate Work Monograph. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2015.

Alto Rio Grande watershed (south of Minas Gerais) was intensely used for mining activities in the eighteenth century (gold mining), and for the opening of rural roads irregularly constructed in the 50s, now its land uses are mainly for agro-pastoral activities. Such interference generated largely environmental degradation of the watershed, principally gullies. The city of Nazareno (MG), located in this watershed has numerous large erosion features. In this context, was studied the Córrego do Cravo's gully, located in Nazareno's urban area. This gully was chosen because in 2008, the CRIDES (Integrated Regional Center for Sustainable Development) by Maria de Barro Project tried to recover the same, and in 2012, due to heavy rains, occurred the return of erosion and the emergence of landslides. Thus, this study aimed to geological and geotechnical characterization of soils, in order to determine the factors responsible for the return of erosion and propose more appropriate recovery techniques as the characterization performed. For this the following tests were performed: grain size, determination of PL and LL, mini MCV, CEC and SS, SEM/EDS, XRD, DTA, OM and pH. The results from these tests indicated that the granite-gneiss Cambisol is the main determinant of erosion inside the gully because its high silt content (60%) because of soil crusting, concentrating the flow of water and prevent their infiltration into the ground . Furthermore, the Cambisol has low cohesion and a low content of organic matter (less than 30 g / kg). Inside the gully was observed the outcrop of underground water, and this contributes to the instability of the Cambisol, as well as the presence of geological material undermining. Based on the characteristics shown above, it follows that for proper recovery of the area would be necessary to control the flow surface with some works, such as building level strands upstream of the gully. Furthermore it would be appropriate to divert the flow of water to a location that does not cause further degradation (avoiding direct it to areas with Cambisol exposure); for that is suggested use of spillways and sinks of energy type impact basin or diving. It is also important to control the flow of material into the gully with, for example, barriers that traps transported material.

Keywords: Erosion processes, Environmental degradation, Recovery of degraded areas, Córrego do Cravo's gully

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa com a localização das voçorocas cadastradas na bacia do Alto Rio Grande. Fonte: IGAM	25
Figura 2: Localização de 25 voçorocas em Nazareno (MG). (FERREIRA, 2005).....	26
Figura 4: Exemplo da irregularidade do relevo da região.....	31
Figura 5: Na porção superficial da encosta está o Latossolo Vermelho (A) e na porção inferior, o Cambissolo (B).....	33
Figura 6: Mapa de localização dos pontos de amostragens (no interior da voçoroca do Córrego do Cravo). Adaptado de Sampaio (2014).	35
Figura 7: A esquerda da figura tem-se amostra indeformada do LAT1. E a direita da figura tem-se uma amostra deformada do CAM1.	36
Figura 8: Amostra CAM2 <i>in situ</i>	36
Figura 9: Material utilizado na preparação da amostra para ensaio granulométrico: peneira 10# e copos para dispersão.	37
Figura 10: Aparelho usado para dispersão do solo.	38
Figura 11: Provetas contendo as amostras e água destilada com um volume total de 1000 cm ³	38
Figura 12: Aparelho de Casagrande sendo utilizado para o ensaio de limite de liquidez.	41
Figura 13: Ensaio de limite de plasticidade em amostra do Latossolo.	41
Figura 14: Extensômetro	43
Figura 15: Meia-Canas	43
Figura 16: Moldes para o ensaio	44
Figura 17: pHmetro Digimed empregado na determinação do pH.	44
Figura 18: Béqueres com as amostras de solo sofrendo oxidação da matéria orgânica através do aquecimento da mistura com peróxido de hidrogênio.	45
Figura 19: Ensaio de determinação de CTC.....	46
Figura 20: Preparação das amostras para o ensaio de DRX.....	48

Figura 21: Vista geral da voçoroca do Córrego do Cravo, em 2008. (Disponível em: < http://www.projetomariadebarro.org.br/?Pagina=apresenta_noticia&Id=163 >, acesso em: 22 de outubro de 2015).....	51
Figura 22: Coveamento e plantação de gramíneas e leguminosas, em 2008. (Disponível em: < http://www.projetomariadebarro.org.br/?Pagina=apresenta_noticia&Id=163 >, acesso em: 22 de outubro de 2015).	52
Figura 23: Talude suavizado, com coveamento e plantação de gramíneas. Essas atividades foram realizadas em 2008. (Disponível em: < http://www.projetomariadebarro.org.br/?Pagina=apresenta_noticia&Id=163 >, acesso em: 22 de outubro de 2015).....	52
Figura 24: Vista de obras de drenagem na voçoroca, em 2009. (Disponível em: < http://www.projetomariadebarro.org.br/?Pagina=apresenta_noticia&Id=163 >, acesso em: 22 de outubro de 2015).....	53
Figura 25: Vista de local sem obra de drenagem no interior da voçoroca, em 2009. (Disponível em: < http://www.projetomariadebarro.org.br/?Pagina=apresenta_noticia&Id=163 >, acesso em: 22 de outubro de 2015).....	54
Figura 26: Distribuição granulométrica para a amostra LAT1	55
Figura 27: Distribuição granulométrica para a amostra CAM 1.....	56
Figura 28: Classificação MCT da amostra LAT1.....	58
Figura 29: Classificação MCT da amostra CAM1.....	59
Figura 30: Difrátograma com os argilominerais encontrado na amostra LAT1.....	62
Figura 31: Difrátograma com os argilominerais encontrado na amostra CAM1.....	63
Figura 32: Imagem da amostra do Latossolo com três pontos de análise pontual (MEV/EDS).....	64
Figura 33: Espectros de EDS dos três pontos obtidos na Imagem da Figura 32.....	65
Figura 34: Imagem da amostra CAM1 com sete pontos de análise pontual (EDS).....	66
Figura 35: Espectro EDS do ponto número 7 da Figura 34.	66
Figura 36: Gráfico obtido no ensaio de ATD para a amostra LAT1.....	67
Figura 37: Gráfico obtido na análises de ATD para a amostra CAM1.....	67

Figura 38: Dissipador de energia tipo bacia de impacto (Disponível em: http://lpeng.br.tripod.com/artigos/dissipadores_energia.htm , acesso em: 22 de outubro de 2015).	72
Figura 39: Vertedor de queda (Disponível em: http://www.ebah.com.br/content/ABAAAahUQAD/operacao-eta?part=2 , acesso em 22 de outubro de 2015).	72
Figura 40: Vertedor montado no interior da voçoroca (Rocha, 2007).	73
Figura 41: Barreira de bambu coberta com saco de rafia (Francisco, 2011).	74
Figura 42: Barreira de pneus preenchida com terra (Francisco, 2011).	74
Figura 43: Dreno de fundo, ou enterrado, do tipo cego (DAEE, 1990).	75
Figura 44: Dreno de fundo, ou enterrado, de geotêxtil (DAEE, 1990).	75
Figura 45: Dreno de fundo, ou enterrado, de bambu (DAEE, 1990).	75
Figura 46: Blocos de rocha dispostos na frente de uma saída de tubulação funcionando como um dissipador de energia tipo bacia de impacto (ROTTA, 2012).	76
Figura 47: Muro de contenção posicionado na frente de uma saída de tubulação funcionando como um dissipador de energia tipo bacia de impacto (ROTTA, 2012)...	77
Figura 48: Cordão de nível construído na frente de uma saída de tubulação funcionando como um dissipador de energia tipo bacia de mergulho (ROTTA, 2012).	77

Lista de Tabelas

Tabela 1: Denominação para cada tamanho dos grãos do solo.	39
Tabela 2: Valores obtidos nas curvas granulométricas neste e em outros trabalhos onde foram analisados os mesmos solos.	56
Tabela 3: Valores de LL, LP e IP para cada um dos solos analisados. Comparação dos dados obtidos na presente pesquisa com os dados obtidos por Oliveira (2015).	57
Tabela 4: Valores de pH para as três amostras analisadas.	60
Tabela 5: Quantidade de matéria orgânica (M.O.) presentes nos três solos analisados e comparação com os dados obtidos por Sampaio (2014).	60
Tabela 6: Valores de CTC e SE para as amostras LAT1 e CAM1.	61
Tabela 7: Intervalos de CTC e SE (RESENDE et al., 1997 <i>apud</i> OLIVEIRA, 2015).	61

Lista de Símbolos e Siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al - Alumínio

ATD – Análise Térmica Diferencial

C - Concentração

c' – Argilosidade do Solo

Cl - Cloro

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica

DRX – Difractometria de Raios-X

e' – Grau de Laterização

EDS – Análise de Energia Dispersiva

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

F - Flúor

Fe - Ferro

GPS – Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFSC – Instituto de Física de São Carlos

IP – Índice de Plasticidade

IQSC – Instituto de Química de São Carlos

K - Potássio

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

MCT – Miniatura, Compactada, Tropical

MCV – Moisture, Condition, Value (Umidade, Condição, Valor)

Mg - Magnésio

MG – Minas Gerais

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

MO – Matéria Orgânica

M_s – Massa Seca

M_t – Massa Total

Na - Sódio

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

O - Oxigênio

ONG – Organização Não Governamental

OH - Hidróxido

pH – Potencial Hidrognênico

PVC – Policloreto de Vinila

SE – Superfície Específica

Si - Silício

Sg - Savana Gramíneo-Lenhosa

USP – Universidade de São Paulo

ΔAn - Variação de compactação entre duas determinadas séries de golpes

Sumário

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivos Específicos	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Degradação do Solo e Ambiental	19
3.2 Erosão.....	20
3.2.1 EROSÕES NA BACIA DO ALTO RIO GRANDE.....	23
3.2.2 EROSÕES EM NAZARENO	26
3.3 Recuperação Ambiental.....	27
3.3.1 RECUPERAÇÃO DE VOÇOROCAS	27
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	29
4.1 Localização e Acesso.....	29
4.2 Clima	30
4.3 Relevo	30
4.4 Geologia.....	31
4.5 Pedologia.....	32
4.6 Bioma.....	33
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
5.1 Expedição de Campo.....	34
5.2 Ensaios em Laboratório.....	37
5.2.1 ENSAIO DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	37
5.2.2. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA ...	39
5.2.2.1 LIMITE DE LIQUIDEZ	40
5.2.2.2 LIMITE DE PLASTICIDADE	41
5.2.3 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO MCT – MINIATURA, COMPACTADA, TROPICAL.	42
5.2.4. ENSAIO PARA OBTENÇÃO DE pH	44
5.2.5 ENSAIO DE OXIDAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA	44
5.2.6 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA (CTC) E DA SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (SE).	45
5.2.7 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX).....	47

5.2.8 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ANÁLISE DA ENERGIA DISPERSIVA (EDS)	49
5.2.9 ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL (ATD).....	49
5.3. Avaliação dos Métodos de Recuperação da Voçoroca do Córrego do Cravo...	50
6. Resultados e Discussão.....	51
6.1 Análise da Recuperação Realizada na Voçoroca do Córrego do Cravo.....	51
6.2 Análise dos Resultados Obtidos em Laboratório	55
6.2.1 ENSAIO DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	55
6.2.2 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA....	57
6.2.3 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO MCT – MINIATURA, COMPACTADA, TROPICAL.	58
6.2.4 ENSAIOS PARA OBTENÇÃO DO pH DO SOLO.....	59
6.2.5. ENSAIO DE OXIDAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA	60
6.2.6 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA (CTC) E DA SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (SE).....	61
6.2.7 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX).....	62
6.2.8 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ANÁLISE DA ENERGIA DISPERSIVA (EDS)	63
6.2.9. ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL (ATD).....	67
6.3. Análise do Retorno dos Processos Erosivos. Contexto Pedológico e de Uso e Ocupação.....	68
6.4. Técnicas de Recuperação.....	71
7. CONCLUSÃO.....	78
8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	79

1. INTRODUÇÃO

O conceito de meio ambiente é amplo, existindo inúmeras definições para o mesmo. Segundo a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1989), o Meio Ambiente consiste em: “determinado espaço onde ocorre a interação dos componentes bióticos (fauna e flora), abióticos (água, rocha e ar) e biótico-abiótico (solo)”. Em decorrência da ação humana, insere-se também, nesta definição, o componente cultural.

Já para Sánchez (2008), o ambiente é definido como: “o meio de onde a sociedade extrai os recursos essenciais à sobrevivência e os recursos demandados pelo processo de desenvolvimento sócio-econômico. Esses recursos são geralmente denominados naturais. Por outro lado, o ambiente é também o meio de vida, de cuja integridade depende a manutenção de funções ecológicas essenciais à vida. Desse modo, emergiu o conceito de recurso ambiental, que se refere não somente à capacidade da natureza de fornecer recursos físicos, mas também de prover serviços e desempenhar funções de suporte à vida”. Assim, segundo esse autor, meio ambiente pode ser entendido, tanto como um fornecedor de recursos naturais como meio de vida, existindo um equilíbrio natural entre o meio físico, biótico e antrópico.

As atividades modificadoras (atividades agrícolas ou de mineração, obra civil e outras formas de uso e ocupação do solo) acabam alterando esse equilíbrio natural, gerando na maioria das vezes processos de degradação ambiental. A ocupação, iniciada pelo desmatamento e seguida pelo cultivo da terra, construção de estradas, criação e expansão das vilas e cidades, sobretudo quando efetuada de maneira inadequada, sem levar em consideração as características do meio físico, constitui fator decisivo no desenvolvimento de processos erosivos (erosão acelerada ou antrópica), assoreamento e inundações (BITAR, 1995). Dependendo das características geológicas e geotécnicas do meio, estas alterações podem colocar pessoas e o próprio ambiente em risco. No entanto, se a ocupação respeitar as características geológicas e geotécnicas do meio, os impactos serão menores e os riscos serão minimizados.

Segundo Johnson et al. (1997), a degradação ambiental é geralmente uma alteração percebida das condições naturais ou do estado de um ambiente, tendo o ser

humano como agente causador. Os processos naturais, segundo este mesmo autor, não degradam o ambiente, eles apenas causam alterações, sem que ocorra o rompimento do equilíbrio existente entre os diversos componentes do meio ambiente, tais processos ocorrem em escala de tempo geológico.

Para Zuquette et al. (2013), a degradação ambiental ocorre quando a capacidade de resiliência do meio é ultrapassada. Assim, para estes autores, a degradação ambiental está diretamente ligada à perda do equilíbrio existente entre os processos químicos e/ou físicos e/ou biológicos.

Dependendo da intensidade e do tipo de degradação, é necessário realizar obras de recuperação, para que este equilíbrio retorne. A caracterização geológica e geotécnica da área degradada é fundamental, para o entendimento da degradação, e para a escolha da melhor técnica a ser aplicada visando à recuperação.

Neste contexto, nesta pesquisa foi realizada a caracterização da voçoroca do Córrego do Cravo, localizada no município de Nazareno (MG), visando identificar os fatores responsáveis pelo retorno dos processos erosivos, após tentativa de recuperação. Na região de Nazareno, de acordo com Ferreira (2011), no período de outubro de 2003 a agosto de 2004 foram identificados 96 processos erosivos de grande porte (voçorocas), sendo que segundo este autor, as prováveis origens destas voçorocas estão diretamente ligadas às antigas estradas, atividades de mineração e a própria suscetibilidade do material geológico.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa foi a caracterização geológica e geotécnica dos solos da voçoroca do Córrego do Cravo, localizada em Nazareno (MG), visando determinar os fatores responsáveis pelo retorno dos processos erosivos após a recuperação da área. Também, foi realizada avaliação dos métodos de recuperação empregados nesta voçoroca, visando identificar se tais métodos foram ou não adequados, conforme as características geológicas e geotécnicas da área.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Degradação do Solo e Ambiental

Conforme Lal (1998), a degradação do solo é um conceito abrangente, estando associado ao declínio da qualidade do solo. Tal declínio é resultante da deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas.

A degradação do solo, de acordo com Blaikie; Brookfield (1987) apud Barrow (1991) pode ser definida como a perda de qualidade e/ou o declínio da capacidade produtiva. Segundo Barrow (1991), as principais causas da degradação do solo são: desastres naturais, mudanças populacionais, marginalização, problemas fundiários e má administração, problemas econômicos, sociais, de saúde e agricultura inadequada. Assim, ainda de acordo com Barrow (1991), para estabelecer o significado de degradação do solo, é necessário avaliar a extensão e o grau do dano, e também verificar se o processo é controlável ou reversível.

Blum (1997) define a degradação do solo como a perda ou a redução da energia do solo, ou ainda, a perda ou a redução das funções e usos do solo.

Quanto a degradação ambiental, Johnson et al. (1997), define a mesma como uma redução percebida das condições naturais ou do estado de um ambiente, tendo o ser humano como o agente causador. Eswaran et al. (2001) apud Zuquette et al. (2013) consideram que a degradação ambiental está relacionada com a mudança no comportamento dos componentes ambientais e que a mesma está associada aos usos inadequados, erosões, desertificação, perdas de biodiversidade, desmatamentos, incêndios, destruição de áreas úmidas, poluição do ar, água e solos, variações do clima, elevação do nível dos mares e decaimento da camada de ozônio.

Para Orea (2004), a degradação ambiental se refere a um estado ou a uma situação que pode ser considerada total ou parcialmente indesejável com relação a outra situação considerada satisfatória nos aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Sánchez (2008) define degradação ambiental como qualquer alteração adversa dos processos, funções ou componentes ambientais ou como uma alteração adversa da qualidade ambiental.

3.2 Erosão

A superfície da Terra, mais precisamente as interfaces entre hidrosfera, atmosfera e litosfera, está sob constante mudança, estando sujeita aos processos de alteração. Estes processos são movidos, principalmente pela água e pela gravidade. De acordo com Embleton; Thorne (1979) “processo” pode ser definido como ações dinâmicas ou eventos que envolvem a aplicação de forças sob certos gradientes, de acordo com a geomorfologia. Esses gradientes são definidos por Mayer (1990) como: taxas (ou velocidades), referindo-se as mudanças de um parâmetro em certo período de tempo; espaço, indicando a variabilidade de transformação de um local para outro; equilíbrio estático, onde cada variável influencia o meio e se uma é alterada, todo o padrão é alterado; e o mais importante é o tempo, que representa a sequencia cumulativa de eventos e sua irreversibilidade.

Os vários processos móveis ou imóveis que modificam as rochas são agrupados genericamente como erosão (sendo que na maioria dos casos, tem-se o intemperismo seguido pela erosão). Salomão; Iwasa (1995) definem erosão como um processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e organismos (plantas e animais). De maneira geral, a erosão é dividida em dois processos principais: erosão natural ou geológica (processo desenvolvido em condições de equilíbrio com o meio) e erosão acelerada ou antrópica (apresenta intensidade maior que a da formação do solo, não permitindo, na maioria das vezes, uma recuperação natural).

A erosão acelerada é uma forma de degradação do solo, onde o equilíbrio entre os componentes foi alterado. Barrow (1991) comenta que a causa das erosões são sempre complexas, podendo ser cultural, institucional, social, econômica e, obviamente, ambiental, mas que tudo depende da complexa interação desses fatores.

Quanto ao agente causador, o tipo mais comum e mais estudado de erosão é a hídrica (principalmente nas regiões tropicais). A erosão hídrica inicia-se com o impacto das gotas de chuva, que provocam a desagregação das partículas, a remoção e transporte

pelo escoamento superficial, e a deposição dos sedimentos produzidos, gerando, muitas vezes, o assoreamento. A erosão hídrica pode ainda ser dividida em duas formas (laminar e linear), dependendo da maneira que ocorre o escoamento superficial (SALOMÃO; IWASA, 1995). Alguns autores contestam essa divisão em duas formas de erosão hídrica, para tais autores, esses dois tipos na verdade representam um único modelo de erosão hídrica.

A erosão laminar, segundo Bitar (1995), é causada pelo escoamento difuso das águas, resultado da remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo. A erosão linear é gerada pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno, em forma de sulcos, que pode evoluir para ravinas e até mesmo voçorocas (nesse caso haverá envolvimento também dos fluxos de água subsuperficiais). A voçoroca corresponde a um estágio mais avançado e complexo de erosão, por isso é muito mais difícil de ser contida. A voçoroca resulta de alterações do equilíbrio morfo-hidro-pedológico, causados por intervenção humana, especialmente através do desmatamento, das atividades agrícolas e urbanas. Pode-se caracterizá-las como feições íngremes compostas por cabeceira e regiões de variadas inclinações, apresentando grandes profundidades e pouco escoamento durante eventos de chuva (MORGAN, 1995).

O impacto das gotas de chuva no solo e o escoamento da água nas enxurradas provocam erosão, principalmente em solos saturados. Quando a precipitação é do tipo torrencial ou pancada intensa, o impacto das gotas no solo é maior e conseqüentemente a aceleração da erosão se torna máxima. Wischmeier; Smith (1978) obtiveram experimentalmente uma equação que calcula a potencialidade erosiva da chuva (erosividade), sendo que essa é proporcional ao produto da energia cinética total das gotas de chuva e sua intensidade máxima em 30 min.

A cobertura vegetal é a defesa natural do terreno contra a erosão. Bertoni; Lombardi Neto (1990) destacam como efeitos: a proteção contra o impacto direto das gotas de chuva; dispersão e quebra da energia das águas de escoamento superficial; aumento da infiltração pela produção de fendas no solo produzidas pelas raízes; aumento da capacidade de retenção de água pela estruturação do solo por efeito da produção e incorporação de matéria orgânica. Greenway (1987) aborda a influência da vegetação sob dois aspectos: hidrológico e mecânico. Hidrologicamente entre os

benefícios da presença da vegetação estão: a folhagem das árvores intercepta as gotas de chuva causando perdas absorptivas e evaporativas que reduzem a disponibilidade de água para absorção do solo; e o esgotamento da umidade do solo pode aumentar o aparecimento de fissuras, resultando numa maior capacidade de infiltração. Já do ponto de vista mecânico: as raízes reforçam o solo, aumentando a resistência a cisalhamentos; as raízes ancoram a árvore de forma estável, gerando suporte para o solo a montante, escorando-o; e as raízes prendem as partículas superficiais de solo, reduzindo sua suscetibilidade à erosão.

A influência da topografia nos processos erosivos se deve principalmente a declividade e ao comprimento de rampa local, que são os principais fatores de definição da velocidade das enxurradas. Bertoni (1949) definiu uma equação para perdas de solo por erosão laminar que utiliza como variáveis, somente o comprimento de rampa e o grau de declividade.

A influência do solo na erosão já é mais complexa, pois existem vários fatores que determinam sua resistência à ação das águas. Bitar (1995) define como principais propriedades físicas do solo: textura, estrutura, permeabilidade e densidade; e as características químicas, biológicas e mineralógicas, as quais conferem maior ou menor resistência à erosão. A textura, ou seja, o tamanho das partículas influi no potencial de infiltração do solo. Em solos mais arenosos a infiltração é rápida devido à presença de poros, porém pela falta de partículas argilosas a remoção é favorecida, o que pode ser verificado mesmo em pequenas enxurradas (BITAR, 1995).

A estrutura, ou o modo como as partículas se arranjam no solo, também influi na infiltração da água no solo, na capacidade de absorção e na capacidade de arraste de partículas. Solos microagregados apresentam alta porosidade e agregação entre partículas, ou seja, esse tipo de solo tem alta capacidade de infiltração e absorção da água e alta resistência ao arraste (BITAR, 1995). Ainda de acordo com esse autor, a permeabilidade determina também a capacidade de infiltração da água no solo, porém esse fator está diretamente relacionado com a porosidade do mesmo.

A densidade do solo é inversamente proporcional à porosidade e permeabilidade. Solos mais compactados têm alta densidade e, conseqüentemente, menor infiltração e maior erodibilidade, conforme Bitar (1995).

As propriedades químicas, biológicas e mineralógicas do solo influem no estado de agregação das partículas, tornando-o mais ou menos suscetível à erosão. A presença de matéria orgânica permite uma melhor coesão entre as partículas do solo, dando mais estabilidade e reduzindo sua capacidade erosiva, e ainda apresenta uma maior retenção de água (BITAR, 1995).

Todas estas características do solo, quando são analisadas conjuntamente, definem sua vulnerabilidade aos processos erosivos, ou seja, sua erodibilidade.

3.2.1 EROSÕES NA BACIA DO ALTO RIO GRANDE

A bacia do Alto Rio Grande está situada em relevos acidentados com a presença da cobertura pedológica sensível aos fenômenos erosivos (voçorocas), sendo indícios de um processo de desertificação originado com a mineração do ouro no século XVIII. Esta região é constituída por uma exploração agropastoril do tipo familiar, não adaptada ao sistema de cultura à base de cobertura vegetal. As perdas de solo variam de 31 a 593 t/ha/ano. A erosão provocada pela água no leito e nas margens de estradas não pavimentadas é um dos principais fatores da degradação dos solos e da água. Os prejuízos sociais e ambientais advindos da erosão na bacia do Alto Rio Grande são bastante elevados, pois refletem os prejuízos e custos de manutenção interferindo nas áreas adjacentes às estradas vicinais provocando a formação de sulcos e voçorocas e, dessa forma, danos às áreas agrícolas e recursos hídricos (FERREIRA, 2005).

Tratam-se de erosões antrópicas (processos naturais que são intensificados pelas atividades humanas) formadas por cortes em estradas, escoamentos pluviais e instabilidades geradas por terracetes, trilhos de gado e valos limítrofes de propriedades (FERREIRA, 2005). Na região dos Campos das Vertentes, os processos de erosões localizadas e de grande porte sobressaem sobre a erosão laminar, uma vez que a cobertura vegetal natural, representada pelos campos naturais, proporciona uma maior estabilidade subsuperficial aos solos, impedindo a ocorrência de erosão laminar. Esta ocorre quando o equilíbrio é rompido por manejo inadequado, o que acarreta o surgimento de pequenos sulcos que evoluem para processo de ravinamento e para as voçorocas (FERREIRA, 2005).

Segundo Ferreira (2005), na região Serrana o processo se inverte, ou seja, já é nítida a presença de erosão laminar de moderada a severa levando inclusive a degradação de pastagens. Nesta região o processo de ravinamento é menos intenso ou até não existente. Em ambos os casos, o fator erosivo é o principal responsável pelo carreamento de milhares de toneladas de solo anualmente para os cursos d'água, provocando o assoreamento dos recursos hídricos. Na Figura 1 é mostrada a bacia do Alto Rio Grande.

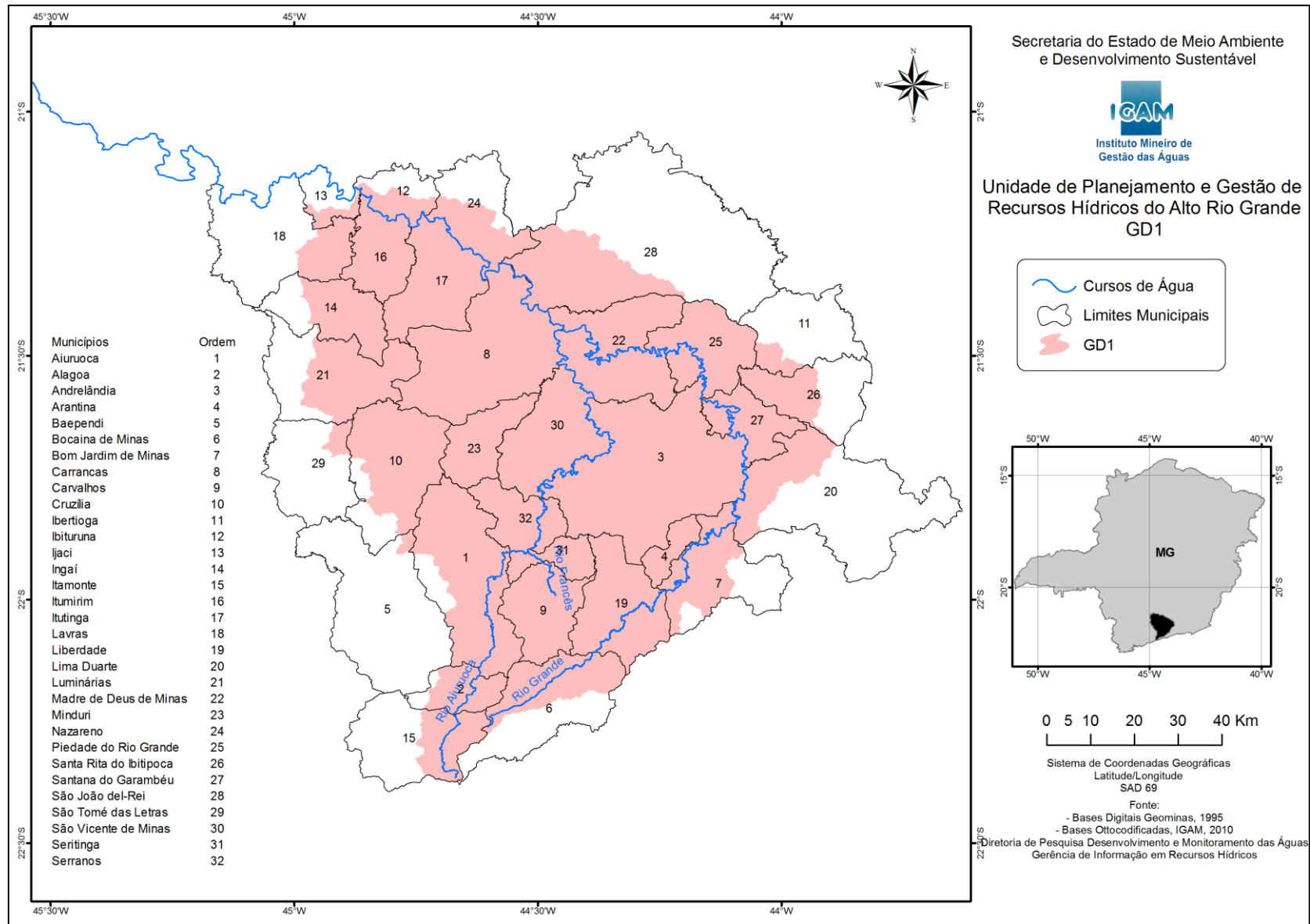


Figura 1: Mapa com a localização das voçorocas cadastradas na bacia do Alto Rio Grande. Fonte: IGAM

3.2.2 EROSÕES EM NAZARENO

Em pesquisa realizada por Ferreira (2005), foram selecionadas 25 voçorocas das mais de 100 cadastradas que ocupam uma área de cerca de 344,6 ha no município de Nazareno (MG). Esse autor selecionou 25 voçorocas para melhor adequação de sua pesquisa. Estas voçorocas ocorrem em Latossolos vermelhos, Latossolos vermelho- amarelos e Cambissolos, sendo que nestes últimos estão as de maior impacto. Em geral estas voçorocas caracterizam-se por apresentarem material advindo de alteração de granito-gnaiss com horizonte C suscetível à erosão hídrica (com predominância de silte e areia fina e agregados menores que 0,5 e 0,25 mm). A Figura 2 apresenta o mapa das 25 voçorocas selecionadas e estudadas pelo autor anteriormente citado.

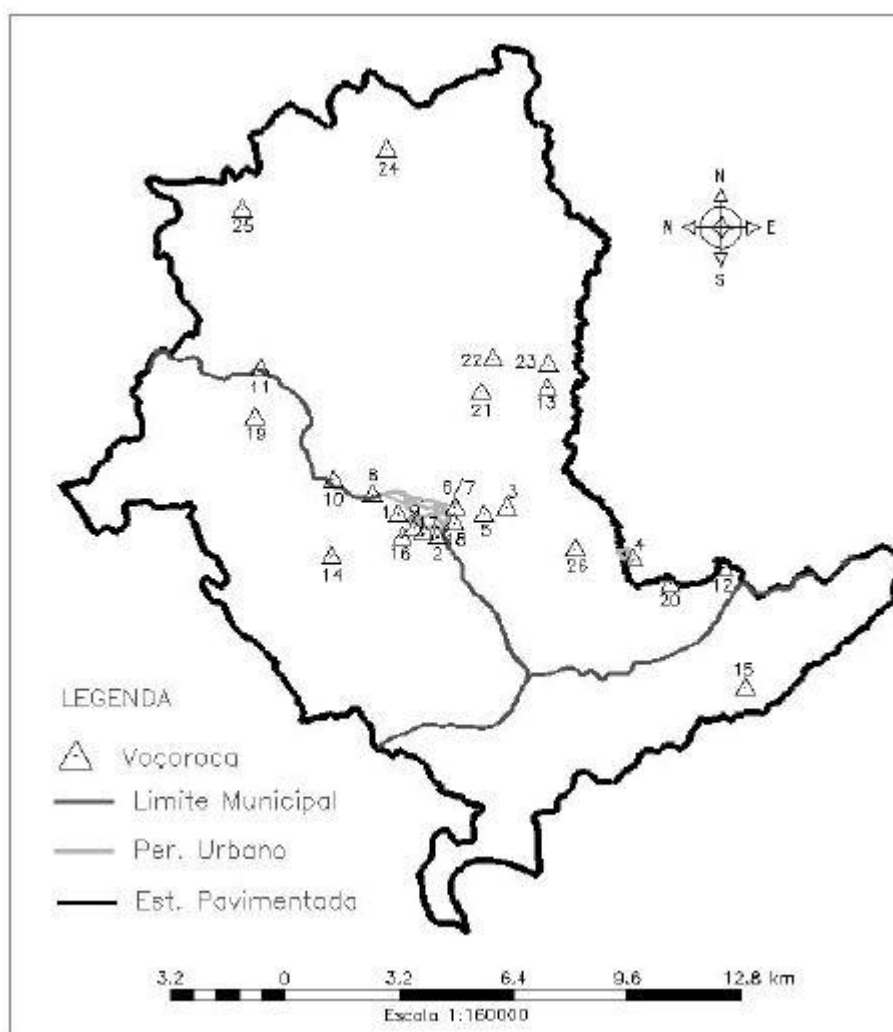


Figura 2: Localização de 25 voçorocas em Nazareno (MG). (FERREIRA, 2005).

Segundo Ferreira (2005), no caso de Nazareno (MG), muitas das voçorocas foram potencializadas pela ação do homem, sendo até considerável a associação de suas origens com este fator. A abertura de estradas rurais antigas sem controle de drenagem e de valos limítrofes de propriedades, a mineração (ouro, caulim, quartzo e manganês) e consequente o crescimento urbano, desmatamento e manejo inadequado do solo estão entre as principais possibilidades de causa destes processos erosivos na região, e seus impactos são o assoreamento de corpos hídricos, redução de áreas agricultáveis, riscos e prejuízos à população que reside próxima a elas.

3.3 Recuperação Ambiental

Para Williams et al. (1990), a recuperação ambiental de uma área significa que o sítio degradado será retomado à uma forma de utilização de acordo com um plano definido para o uso do solo. Isso implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança e indica que o sítio degradado terá condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem. Para Sánchez (2008) a recuperação ambiental é termo geral que designa a aplicação de técnicas de manejo visando tornar um ambiente degradado apto para um novo uso produtivo, desde que sustentável.

O Decreto Federal nº 97.632/1989, define a recuperação ambiental como “*retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente*”. Assim, de maneira geral, a recuperação ambiental está ligada com o retorno do equilíbrio nos processos do meio físico (processos físicos, químicos e biológicos).

3.3.1 RECUPERAÇÃO DE VOÇOROCAS

A voçoroca por ser um estágio muito avançado e complexo de erosão resulta em recuperações que demanda muito tempo e dinheiro. Não se trata somente de um problema geotécnico, muitas vezes, em áreas urbanas, deve-se levar em consideração também todo o entorno e até mesmo a própria educação da população local. Dentre exemplos de falhas na recuperação de voçorocas pode-se citar: usa-la para fins

inapropriados como depósito de lixo ou entulho; ou simplesmente aterrará-la. Nos dois casos chuvas intensas se tornam agente deflagradores ainda mais efetivos, resultando no reinício do processo de recuperação.

A recuperação inicia-se na realização de um levantamento da área, mapeando-a ressaltando alguns fatores como: espécies arbóreas locais e os condicionantes geológicos e geotécnicos das erosões. Deve-se também levar em consideração a drenagem interna e externa da voçoroca objetivando-se o controle das águas pluviais para que não ocorra uma potencialização do processo erosivo. Internamente, contendo e controlando o fluxo da água, externamente, desviar o máximo de fluxos pluviais da direção da voçoroca, realizando obras de captação de água (bacias circulares, por exemplo) no entorno do processo erosivo.

Com as medidas preventivas prontas, se inicia o coveamento e plantio da cobertura vegetal. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990), a cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão através dos seguintes benefícios: a) proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; b) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes de atingir o solo; c) decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração de água; d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água e e) diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície.

Segundo Farias (1992) a importância da revegetação em voçorocas está na captação e transformação de energia, que manterá toda a cadeia trófica, gerando sítios ecológicos associados aos fatores ambientais e melhorando também o seu impacto visual. Objetiva também atrair dispersores como pássaros, insetos e outros animais de pequeno porte que são importantes para promover a autossustentabilidade de ecossistema.

Para o controle do processo erosivo, é importante a presença de espécies vegetais com capacidade de estabelecimento em locais de condições adversas, já que sua existência e vigor dependem da disponibilidade de nutrientes e umidade do solo, fatores que se acham em níveis insuficientes em áreas erodidas (STOCKING e ELWELL, 1982).

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

4.1 Localização e Acesso

A bacia hidrográfica do Alto Rio Grande está situada no sul de Minas Gerais e é composta por 33 municípios abrangendo uma área aproximada de 9.000 km². A área de drenagem é de 240 km de extensão, com uma população de cerca de 365.000 habitantes. A bacia hidrográfica do Alto Rio Grande é composta pelas sub-bacias do Rio Grande, do Rio Aiuruoca, do Rio Turvo Grande e do Rio Ingaí, que nascem na Serra da Mantiqueira, e pela sub-bacia do Rio Capivari (IBGE, 2008).

O município de Nazareno está inserido na bacia do Alto Rio Grande. Este município localiza-se no estado de Minas Gerais a 235 km de Belo Horizonte, 270 km da represa de Furnas e 50 km de São João Del Rei, aproximadamente. Com área de cerca de 329,13 km², o município de Nazareno, pelo Censo de 2010 do IBGE, possui 7954 habitantes. O acesso à cidade de Nazareno é realizado pela rodovia estadual MG-332, saindo de São Paulo em direção a Belo Horizonte e pelas rodovias federais BR-381 (Rodovia Fernão Dias) e BR-265 (Figura 3).

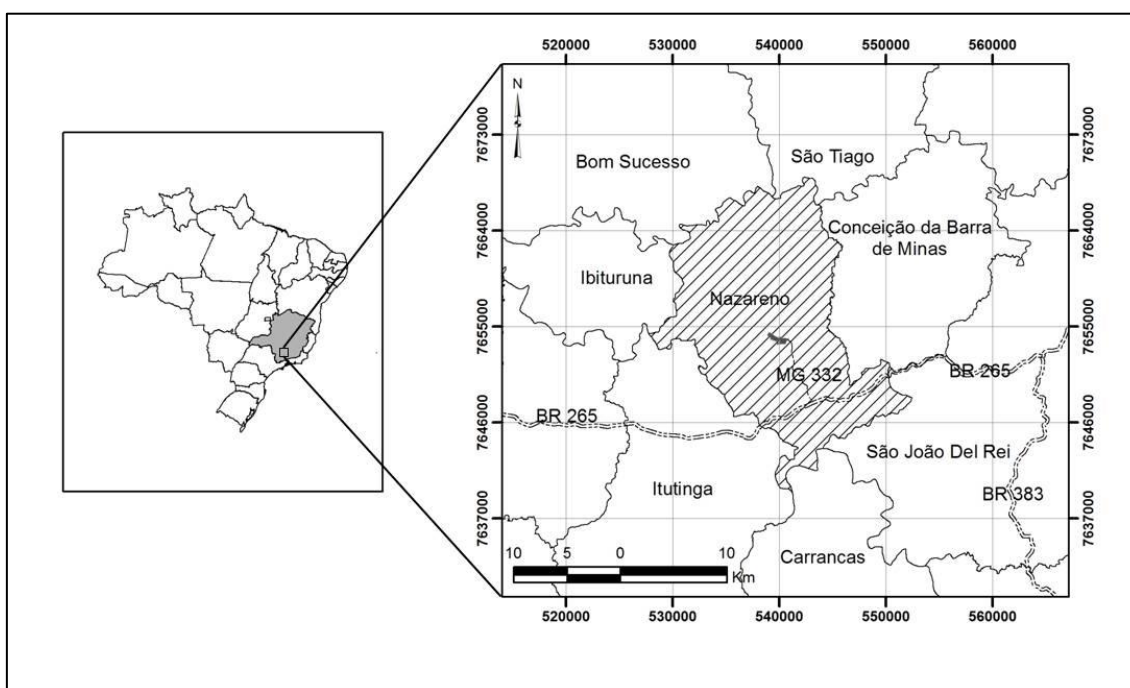


Figura 3: Localização do município de Nazareno (MG)

4.2 Clima

O clima da área de estudo é considerado como tropical de altitude com invernos frios e secos e verões quentes e úmidos, sendo que a temperatura média anual varia entre 18° a 19° C (ANTUNES et al., 1982). A precipitação média anual varia de 1.200 a 1.500 mm por ano (FERREIRA et al., 2007¹ *apud* OLIVEIRA, 2015).

4.3 Relevo

A bacia do Alto Rio Grande apresenta relevo ondulado a fortemente ondulado, sendo que as altitudes variam de 900 e 1.100 m. Além destas feições morfológicas, esta região também apresenta relevos bastante movimentados com a presença de pães de açúcar, cristas e topos aguçados, característicos da formação geológica da Serra da Mantiqueira, com altitudes variando entre 1.200 e 2.000 m (TOLEDO, 2002). Através da Figura 4 é possível uma visualização do relevo local.

¹ FERREIRA, R. R. M. et al. Atributos físicos de Cambissolo sob diferentes manejo de pastagens em sistema extensivo: influência da dinâmica das águas pluviais. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31, 2007, Gramado. Anais...Gramado. 2007.



Figura 4: Exemplo da irregularidade do relevo da região.

4.4 Geologia

Segundo Toledo (2002), a região de estudo é formada predominantemente por rochas cristalinas metamórficas, ocorrendo intrusões de rochas ígneas (graníticas). A evolução geológica da região é apresentada abaixo:

- 1) Deposição da sucessão vulcano-sedimentar em ambiente de *plateau* oceânico (Corpos Rio Grande e Rio dos Peixes);
- 2) Colagem deste *plateau* em uma margem continental, representada pelas rochas metamórficas (gnaisses e migmatitos) arqueanas do Complexo Campo Belo;
- 3) Intrusão de corpos máficos/ultramáficos diferenciados (Manuel Inácio e Forro) na pilha vulcano-sedimentar;
- 4) Colisão de dois blocos continentais (durante Evento Transamazônico), sendo o primeiro representado pelo Complexo Mantiqueira – sul e sudeste – e o outro, representado pelos acrescionados já citados acima, ocorrendo

deformação e metamorfismo em anfibolitos, nas rochas de sucessão vulcano-sedimentar e nos corpos máficos-ultramáficos;

- 5) Magmatismo fissural com colocação de diques de diabásio associados ao final do Evento Transamazônico (PINESE, 1997² apud TOLEDO, 2002) e nucleação da Bacia São João Del Rey (RIBEIRO et al., 1998³ apud TOLEDO, 2002);
- 6) Deposição dos sedimentos da Serra de Ouro Grosso, podendo ser correlacionados aos sedimentos da Bacia São João Del Rey (RIBEIRO et al., 1995⁴ e PACIULLO et al., 2000⁵ apud TOLEDO, 2002);
- 7) Reativação de estruturas pretéritas e formação de novas estruturas típicas de níveis da crosta menor, em condições de xisto verde, durante o Evento Brasileiro.

4.5 Pedologia

Os solos encontrados na área de estudo variam entre Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Cambissolo (saprolito derivado da alteração do granito gnaisse), sendo essa sequência observada de acordo com a profundidade da voçoroca (Figura 5). Na cabeceira (cota de 980 m), nota-se a presença dos três solos acima mencionados, já nas cotas mais baixas, a partir de 940 m, ocorre predomínio do Cambissolo. Nos taludes ao longo das encostas observa-se uma espessura do *sólum* variando de cerca de 2,0 a 0,7 m de profundidade, diminuindo na parte inferior da encosta. Nesses taludes observam-se locais de coloração rósea variando do claro ao

² PINESE, J. P. P.; Geoquímica, geologia isotópica e aspectos patológicos dos diques máficos Pré-Cambrianos da região de Lavras (MG), porção sul do Craton do São Francisco. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado. 178p. 1997.

³ RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P.; VALENÇA, J. G.; ÁVILA, C.; ANDREIS, R. R.; TROUW, R. A. J. Domínios do embasamento na região de São João Del Rei, borda sul do craton São Francisco, Sul de Minas Gerais. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Belo Horizonte, Anais, 1:21. 1998.

⁴ RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P.; VALENÇA, J. G.; ANDREIS, R. R.; TROUW, R. A. J. Evolução das bacias Proterozóicas e o termo-tectonismo brasileiro na margem sul do Craton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências 25:p. 234-248. 1995.

⁵ PACIULLO, F. V. P.; RIBEIRO, A.; ANDREIS, R. R.; TROUW, R. A. J. The Andrelândia Basin, a neoproterozoic intraplate continental margin, Southern Brasília Belt, Brazil. Revista Brasileira de Geociências 30: p. 200-202. 2000.

escuro passando em alguns locais por amarelo com pontuações brancas e na baixada apresentando em certos locais deposições do topo avermelhado com variações de rosa, cores acinzentadas escuras e claras (TOLEDO, 2002).

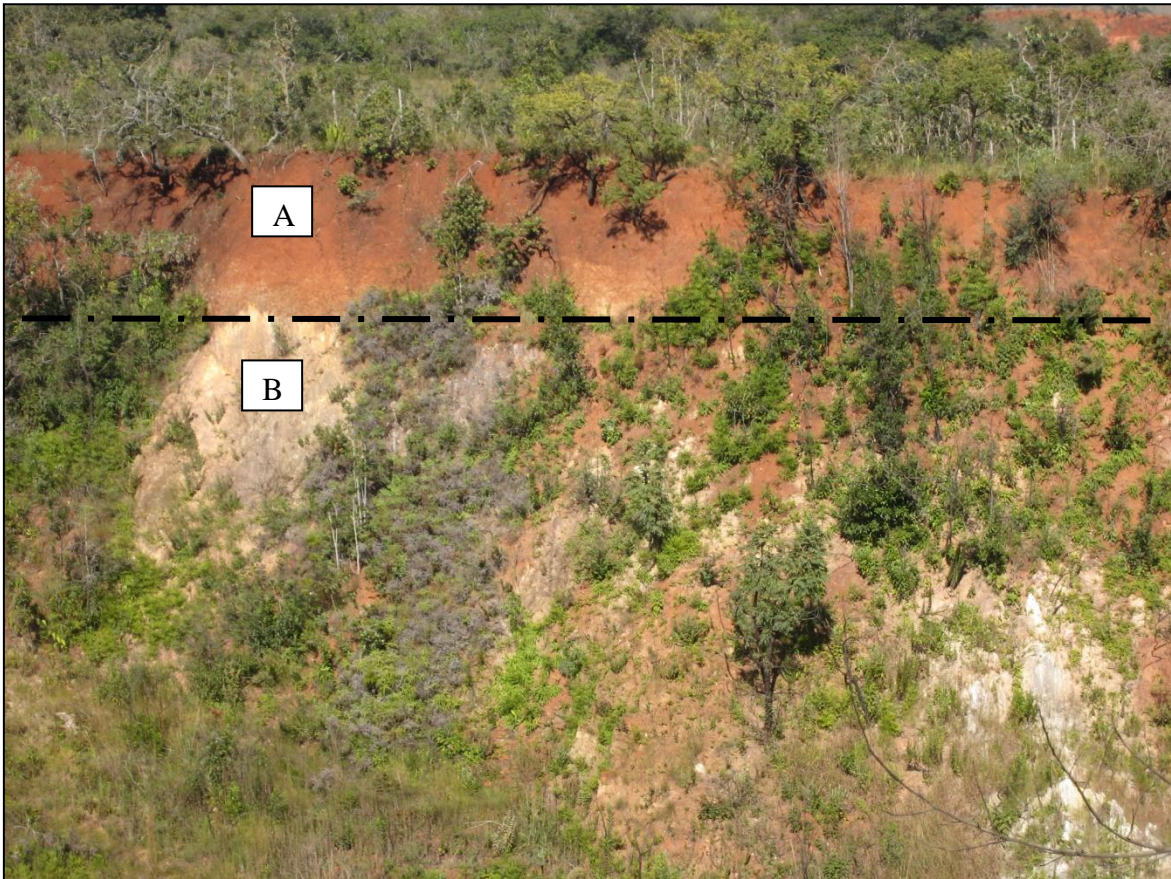


Figura 5: Na porção superficial da encosta está o Latossolo Vermelho (A) e na porção inferior, o Cambissolo (B).

4.6 Bioma

Segundo o Mapa dos Biomas Continentais do Brasil, o bioma predominante na região de Nazareno é a Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg). Conhecida também como Cerrado, a Savana brasileira caracteriza-se por ocorrer em variados climas, com período seco entre três a sete meses ao ano, sendo que sua distribuição no país está interligada com os diferentes tipos de solos (em sua maioria, profundos, álicos e distróficos, arenosos lixiviados e até mesmo litólicos) (IBGE, 2004). A vegetação, em geral, é dividida em dois estratos: um formado por árvores de pequeno porte, troncos e galhos

tortuosos e raízes profundas; o segundo, predominantemente por plantas gramíneas lenhosas.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 *Expedição de Campo*

Segundo Sampaio (2014), para o reconhecimento da área e definição quanto à voçoroca a ser analisada, foi realizada expedição de campo em setembro de 2012, na região de Nazareno (MG). Nesta campanha foi definida a área de estudo, sendo esta a Voçoroca do Córrego do Cravo, que foi recuperada em 2008, o CRIDES (Centro Regional Integrado de Desenvolvimento Sustentável) através do Projeto Maria de Barro.

Assim, ainda segundo a autora anteriormente citada, primeiramente foram realizadas verificações dentro da voçoroca para a avaliação da estabilidade da mesma, após o processo de recuperação.

No final do ano de 2011 ocorreram eventos chuvosos de elevada intensidade nesta região, que contribuíram para o surgimento de escorregamentos em alguns pontos da voçoroca, bem como os processos erosivos (SAMPAIO, 2014; OLIVEIRA, 2015). Desta forma em 2013 foi realizada nova expedição, visando à coleta de amostras representativas para serem empregadas nos ensaios de caracterização geológico-geotécnica.

A Figura 6 exibe os três pontos de amostragem selecionadas para a caracterização geológico-geotécnica apresentada neste trabalho. A primeira trata-se de um latossolo de coloração vermelha escura com presença de raízes (**LAT1**); a segunda, um cambissolo (proveniente da alteração do granito-gnaiss) de coloração predominantemente rosa (**CAM1**); e o terceiro, um cambissolo de baixa coesão de coloração rosa amarelada (**CAM2**). A Figura 7 representa uma amostra indeformada do LAT1 e uma deformada do CAM1, e a Figura 8 representa a amostra CAM2 ainda no campo.

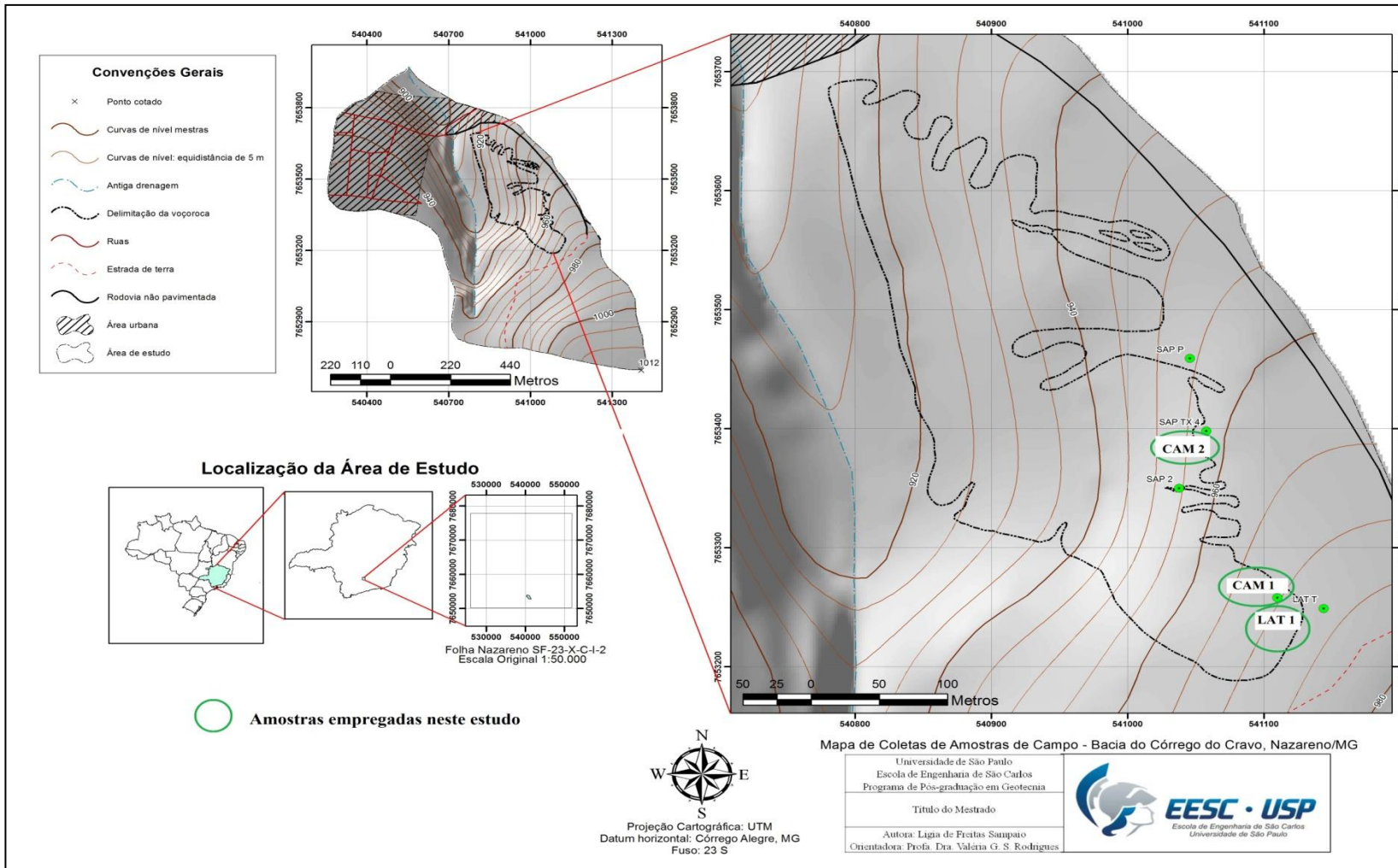


Figura 6: Mapa de localização dos pontos de amostragens (no interior da voçoroca do Córrego do Cravo). Adaptado de Sampaio (2014).



Figura 7: A esquerda da figura tem-se amostra indeformada do LAT1. E a direita da figura tem-se uma amostra deformada do CAM1.



Figura 8: Amostra CAM2 *in situ*.

5.2 Ensaio em Laboratório

5.2.1 ENSAIO DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Este ensaio foi realizado segundo as normas NBR 6508 e NBR 7181 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em conjunto com Ligia de Freitas Sampaio, Sampaio (2014). As amostras LAT1 e CAM1 foram passadas na peneira 10# (2 mm), sendo que o material retido foi armazenado em outro local para uso posterior. No solo passado pela peneira (aproximadamente 80g) foram adicionados 125 mL de defloculante, hexametáfosfato de sódio, para que na etapa de sedimentação as partículas finas não se agreguem. Essa mistura após 24 h em repouso foi transferida para um copo dispersor onde foi adicionada água destilada, sendo que essa mistura foi dispersa por 10 min e em seguida transferida para proveta. As misturas transferidas para as provetas foram completadas com água destilada até atingir 1000 cm³.



Figura 9: Material utilizado na preparação da amostra para ensaio granulométrico: peneira 10# e copos para dispersão.



Figura 10: Aparelho usado para dispersão do solo.



Figura 11: Provetas contendo as amostras e água destilada com um volume total de 1000 cm³.

Na etapa de sedimentação foi utilizado um densímetro tipo 151H – ASTM, e em tempos pré-estabelecidos foram feitas leituras de densidade e da temperatura.

Na segunda parte do ensaio onde ocorre o peneiramento, várias peneiras foram dispostas conforme a abertura da malha e são colocadas em um agitador de peneiras. Este procedimento é realizado para que ocorra a separação das partículas. Para o Cambissolo foram utilizadas as peneiras: 30#, 50#, 70#, 80#, 100 #, 140# e 200#. Já para o Latossolo foram utilizadas as peneiras: 10#, 16#, 30#, 50#, 70#, 80# e 100#. Essa diferença em relação ao conjunto de peneiras ocorre devido ao tipo de solo analisado.

Com o ensaio realizado as porcentagens de partículas do solo foram calculadas para cada intervalo de diâmetro dos grãos, como observado na Tabela 1.

Tabela 1: Denominação para cada tamanho dos grãos do solo.

Fração	Tamanho das Partículas (mm)
Argila	<0,002
Silte	Entre 0,002 e 0,06
Areia Fina	Entre 0,06 e 0,2
Areia Média	Entre 0,2 e 0,6
Areia Grossa	Entre 0,6 e 2,0
Pedregulho	>2,0

Fonte: ABNT (1995)

A análise granulométrica da amostra CAM2 foi realizada por Oliveira (2015) e também obedeceu as normas 6508 e 7181 da ABNT.

5.2.2. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Os limites de consistência, ou limites de Atterberg definem as fronteiras entre os diferentes estados de solos finos. Os diferentes estados das argilas são: líquido, plástico, semissólido e sólido. Estes limites talvez sejam os mais antigos e mais aceitos de todas as análises de solos finos e são usados para uma variedade de propósitos, incluindo classificação de solos, especificações para terraplanagem e auxiliares para estimativas de propriedades do solo para engenharia. Eles ainda dão uma indicação qualitativa da interação entre a água e as partículas do solo (FRATTA, AGUETTANT e ROUSSEL-SMITH, 2007). Após a aferição dos limites ainda é possível calcular o Índice de Plasticidade (IP) dado pela equação 1.

$$IP = LL - LP \quad (\text{Equação 1})$$

Onde LL é o limite de liquidez e LP o limite de plasticidade.

Os ensaios de limites de consistência foram realizados seguindo o normalizado pela ABNT através dos métodos de ensaio MB-30, MB-31.

5.2.2.1 LIMITE DE LIQUIDEZ

Segundo Villalaz (1990) o limite líquido é definido como a umidade necessária, expressado em porcentagem com base no peso da amostra seca, para que o solo passe do estado plástico para o estado líquido. As amostras de solo foram passadas na peneira 40# (0,42 mm) e parte da amostra foi umedecida e homogeneizada para que atingisse a consistência necessária para o primeiro passo do método de Casagrande (número de golpes da ordem de 35) (NOGUEIRA, 2005). A mistura homogeneizada foi colocada na concha do aparelho de Casagrande (Figura 12), após este procedimento foi utilizado um cinzel para abrir uma ranhura no material que estava no interior da concha. Com o aparelho fixado, a manivela foi girada numa velocidade média de dois golpes por segundo até que houve o fechamento da ranhura, sempre com a contagem de golpes necessários para o fechamento. A partir disso foi adicionado solo a mistura gradativamente (a fim de se diminuir a umidade da amostra) para, novamente, o solo ser colocado no aparelho de Casagrande e realizar o mesmo procedimento de contagem de golpes. Uma amostra de solo foi retirada da concha após o número de golpes determinados na norma empregada neste ensaio (40, 32, 25, 18 e 10 golpes, aproximadamente). Essas capsulas foram pesadas, secas em estufa e novamente pesadas para se conseguir o valor da umidade no solo para aquela quantidade de golpes. Com esses dados pode-se gerar um gráfico, onde no ponto de 25 golpes indica exatamente qual o limite de liquidez da amostra, ou seja, sua umidade.

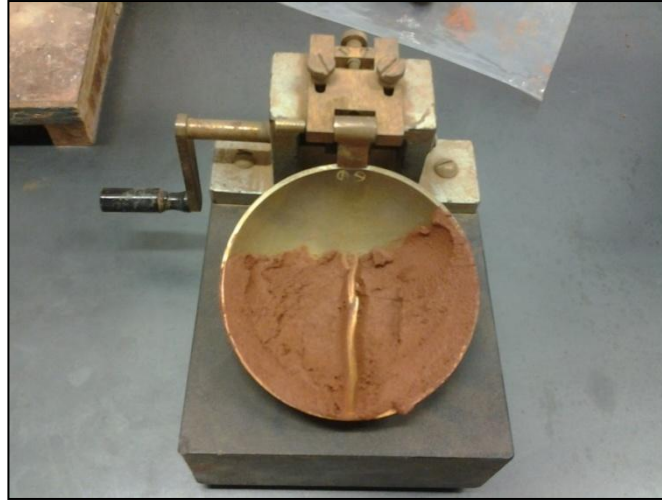


Figura 12: Aparelho de Casagrande sendo utilizado para o ensaio de limite de liquidez.

5.2.2.2 LIMITE DE PLASTICIDADE

Segundo Villalaz (1990) o limite plástico é definido como a umidade necessária, expressado em porcentagem com base no peso da amostra seca, para que o solo passe do estado semissólido para o plástico. Durante o ensaio de limite de liquidez, quando a amostra atingiu uma umidade adequada para 25 golpes, foi separada uma quantidade reduzida da mesma para o ensaio do limite de plasticidade. Dessa amostra reduzida foram separados cerca de 10 g e com a palma da mão, e sobre uma placa de vidro, fez-se rolinhos com cerca de 3 mm de diâmetro (comparados a um gabarito), e apresentando algumas pequenas fissuras (Figura 13).



Figura 13: Ensaio de limite de plasticidade em amostra do Latossolo.

Quando as os rolinhos atingiram o tamanho ideal (tamanho do gabarito), eles foram colocados em cápsulas, pesados e levados à estufa. Após secagem realizou-se nova pesagem para calcular a umidade de cada amostra.

5.2.3 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO MCT – MINIATURA, COMPACTADA, TROPICAL.

Nos dois solos o ensaio foi realizado em conjunto com Ligia de Freitas Sampaio, Sampaio (2014), e foi dado o mesmo procedimento, o descrito por Nogami e Villibor (1995). Foram separados 1.500 g dos dois solos, sendo esses passados na peneira 10# (2mm) e secos em estufa (a 50°C) por 24 h. As amostras secas foram destorroadas, passadas na peneira 10#, e separadas em cinco porções de 300 g cada uma. Nessas cinco porções foi adicionada água de forma que se obtivessem intervalos diferentes de umidade para cada amostra. Esse material ficou em repouso em potes de plástico tampados por mais 24 h.

O ensaio MCT consiste em: com um soquete cilíndrico de aço, dar impactos na amostra de solo dentro dos moldes e após cada sequência de impactos, anotar a variação de compactação através de um extensômetro (Figura 14). No primeiro golpe, colocaram-se duas meia-canais (Figura 15) embaixo do molde, para garantir a fixação inicial no primeiro golpe. Em cima das meia-canais foi colocado o molde (Figura 16), previamente lubrificado com vaselina, e dentro dele um disco de polietileno com pequenos cortes, para examinar a exsudação nos pontos mais úmidos. Em seguida pesaram-se 200 g de cada amostra e inseriu-se no molde e então cobriu-se o solo com outro disco de polietileno com pequenos furos e foi dado o primeiro impacto com o aparelho. Após o primeiro impacto retiraram-se as meia canais e continuou-se as séries de golpes: 2, 3, 4, 6, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 até 256 golpes, interrompendo o processo nos casos de:

- Intensa exsudação de água, no topo e na base do corpo de prova;
- Diferença entre duas leituras consecutivas. Para leituras menor ou igual a 0,10 mm;
- Quando o número de golpes atingiu 256;

- Perda excessiva de material pelas laterais do cilindro;
- Ou quando o resultado da Equação 2 foi menor ou igual a 2 mm;

$$\Delta An = n - 4n \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo n o número de golpes. E ΔAn a variação de compactação entre duas determinadas séries de golpes.



Figura 14: Extensômetro



Figura 15: Meia-Canas



Figura 16: Moldes para o ensaio

5.2.4. ENSAIO PARA OBTENÇÃO DE pH

Para determinação de pH foi realizado pelo método descrito no manual da EMBRAPA (1997). No ensaio utilizaram-se cerca de 20 g de cada amostra de solo e adicionado 50 mL de água destilada. Em seguida as amostras foram tampadas e colocadas em mesa agitadora por 30 min, e após esse período permaneceram uma hora em descanso, somente então foram feitas as leituras em um pHmetro *Digimed DM 21* (Figura 17).



Figura 17: pHmetro Digimed empregado na determinação do pH.

5.2.5 ENSAIO DE OXIDAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

Este ensaio foi feito de acordo com a metodologia utilizada por Eusterhues, Rumpel e Kögel-Knabner (2005). O ensaio consiste em adicionar, gradativamente e sob aquecimento, peróxido de hidrogênio na amostra de solo. O peróxido irá oxidar a

matéria orgânica e pela diferença de peso antes e depois do ensaio é possível determinar o percentual de matéria orgânica da amostra.

Para o ensaio foram pesados aproximadamente 2 g de cada amostra de solo e durante o ensaio foi utilizado cerca de 40 mL de peróxido de hidrogênio para cada amostra. Enquanto ocorria o ensaio foram feitas homogeneizações periódicas da solução para que houvesse oxidação completa da matéria orgânica, oxidação essa que era indicada pelo borbulhamento da solução (Figura 18). Quando houve o cessar ou grande redução desse borbulhamento, encerrou-se o ensaio e levou-se os béqueres à estufa a 50°C, para secagem. Com a diferença do peso das amostras antes do ensaio e após a secagem foi possível calcular a massa de matéria orgânica através da fórmula:

$$M.O. = (M_s/M_t)/M_t \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo: M.O. quantidade de matéria orgânica da amostra dada em g/kg; M_s a massa após secagem em estufa; e M_t a massa total pesada inicialmente antes do ensaio.



Figura 18: Béqueres com as amostras de solo sofrendo oxidação da matéria orgânica através do aquecimento da mistura com peróxido de hidrogênio.

5.2.6 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA (CTC) E DA SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (SE).

O método utilizado é o do papel filtro seguindo o descrito por Pejon (1992). Foram separados de 1,5 a 3 g de solo de cada amostra e adicionados 10 mL de água destilada. Com a mistura preparada, utilizou-se um agitador magnético para que a solução ficasse em constante homogeneização. Com a ajuda de uma bureta graduada

preenchida com azul de metileno, à uma concentração de 1,5 g/L, foi sendo adicionado 0,5 mL de azul de metileno na mistura (Figura 19). Após cada adição, com a ajuda de uma haste de vidro foi extraída uma gota da mistura e colocado em um papel filtro para análise. No papel filtro se ocorrer somente uma mancha escura, o teste é considerado negativo e então se adiciona mais 0,5 mL de azul de metileno e novamente retirasse uma gota. O ensaio se encerra quando o teste resulta em positivo, ou seja, ao retirar a gota, existe uma auréola azul clara em torno do ponto escuro. Então para confirmar a positividade do teste, aguardaram-se mais 3 min, sem o adição de azul de metileno, e realizou-se outra retirada, e novamente foi constatada a auréola azul clara, encerrando o ensaio.



Figura 19: Ensaio de determinação de CTC

A capacidade de troca de cátions foi calculada através da fórmula especificada em Chen et al (1974)⁶ *apud* Pejon (1992):

⁶ CHEN, T.J.; SANTOS, P.S.; FERREIRA, H.C.; CALIL, S.F., ZANDONADI, A.R., CAMPOS, L.V.
Determinação da capacidade de troca de cátions e da área específica de algumas argilas e caulins

$$CTC = (V \times C \times 100) / M \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo CTC a capacidade de troca de cátions (cmol_c/100g), V o volume da solução de azul de metileno gasta (mL), C a concentração da solução de azul de metileno (normalidade) e M a massa do solo seco (g).

Já a superfície específica foi calculada pela fórmula descrita em Pejon (1992) que é dada por:

$$SE = 3.67 \times (V/M) \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo SE a superfície específica (m²/g), V o volume da solução de azul de metileno gasto (mL) e M a massa do solo seco (g).

5.2.7 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)

A identificação de argilominerais em amostras puras é relativamente simples, porem quando há uma mistura, ou seja, sempre que se trata de análise de solos, existe uma dificuldade, quer pela interferência dos diversos métodos de identificação, quer pelo fato de determinado argilomineral não ser detectável, abaixo de determinado teor na amostra, teor esse que varia com o argilomineral e com o método utilizado. Dentre os métodos possíveis para identificar argilominerais em misturas estão: análise química, determinação da capacidade da troca de cátions, a análise térmica diferencial, a microscopia eletrônica, a difração de raios X, entre outros (SANTOS, 1975).

Na difratometria de raios X os argilominerais são identificados a partir do valor medido para a distancia interplanar basal do argilomineral, separando em suspensão aquosa como “a fração argila”, e orientado por secagens desta em uma lamina de vidro. O uso da difração de raios X combinado com as propriedades específicas de expansão da distancia interplanar basal pela adição de substancias orgânicas, como etilenoglicol, e de transformações térmicas de cada argilomineral, permite uma diferenciação satisfatória dentro dos grupos de mesma distância interplanar basal ou dentro do mesmo

cerâmicos brasileiro pelo azul de metileno e sua correlação com algumas propriedades tecnológicas. Cerâmica, 79, julho a setembro, pp. 305-326. 1974.

grupo (SANTOS, 1975). A difratometria de raios X contribui para a caracterização de minerais mais do que qualquer outro tipo de análise (WHITTIG e ALLARDICE, 1986).

Para o ensaio de difratometria foi separado cerca de 0,6 g de cada uma das amostras e homogeneizadas em agitador mecânico durante 10 min junto com 100 mL de hexametáfosfato de sódio (defloculante para evitar que as partículas menores floculem) à 45,7 g/L e 500 mL de água destilada. Foram separados seis potes plásticos onde, dentro deles, foram colocados pequenos anéis de PVC e sobre os anéis pequenas placas de vidro com ranhuras em uma das faces. Sobre esse sistema foi despejado em volumes aproximadamente iguais o conteúdo da mistura das amostras, tendo sido utilizado três potes para cada amostra. A Figura 20 representa todo o sistema.



Figura 20: Preparação das amostras para o ensaio de DRX

A solução ficou em decantação por 24 h e então com ajuda de uma bomba de sucção foi retirada toda a água de dentro dos potes. Para secagem da água sobre as lamina, esperou-se mais 72 h. As ranhuras na lamina de vidro fazem com que aumente a aderência do solo na lamina, e assim, com elas secas, passou-se pra etapa seguinte de preparação. Aos três pares (uma lamina do latossolo e uma lamina do cambissolo) foram dados tratamentos diferentes: um par ficou como estava, sendo considerada a amostra normal; a segunda ficou 24 h em mufla a 550 °C; e a terceira foi posta 24 h em um dessecador com etilenoglicol. Os três pares foram enviados ao Instituto de Física de São Carlos (IFSC) da USP onde foram analisadas em Difrátômetro de Raios X Rigaku

Ultima IV (radiação de cobre), sendo que o ângulo de difração 2θ variou de 3 a 100° em intervalos de $0,02^\circ$. Os dados obtidos nos ensaios foram tratados no software Origin 6.0.

5.2.8 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ANÁLISE DA ENERGIA DISPERSIVA (EDS)

Outro importante método de identificação mineralógica é a microscopia eletrônica, onde com a utilização de um microscópio eletrônico se consegue ver (até 200 mil vezes mais que a visão humana) exatamente os argilominerais presentes no solo (SANTOS, 1989).

O ensaio foi executado conforme metodologia descrita por Guimarães (2007). Para a realização da microscopia eletrônica de varredura, as amostras de solos foram colocadas em “stubs” e foram recobertas com carbono em uma metalizador Coating System BAL-TEC MED 020 (BAL-TEC Liechtenstein).

A análise de Energia Dispersiva (EDS) foi realizada em um equipamento EDX LINK ANALYTICAL, (Isis System Series 200), com detector de SiLi Pentafet, janela ultrafina ATW II (Atmosphere Thin Window), de resolução de 133 eV à 5,9 keV, acoplado a um Microscópio Eletrônico ZEISS LEO 440 (Cambridge, England) com detector OXFORD (model 7060). Utilizou-se padrão de Co para calibração, feixe de elétrons de 20 kV e distância focal de 25 mm. A análise foi realizada na Central de Análises Químicas Instrumentais do Instituto de Química de São Carlos (IQSC) da USP.

5.2.9 ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL (ATD)

As análises térmicas são um grupo de ensaios que determinam alguns parâmetros físicos como energia, peso e dimensão, assim como a função dinâmica da temperatura. O parâmetro medido varia com a temperatura. Muitas das reações importantes no solo ocorrem somente em altas temperaturas como, por exemplo, a perda da estrutura cristalina do OH, água e CO_3^{-2} as CO_2 (TAN, HAJEK e BARSHAD, 1986).

Para a análise foi utilizado o Sistemas de Análise Térmica – Modelo RB-3000-20 da BP Engenharia.

A análise térmica diferencial (ATD) determina a mudança de energia entre a amostra e o material usado como referencial enquanto os dois são aquecidos a uma taxa controlada (TAN, HAJEK e BARSHAD, 1986). No aparelho existe um pequeno cilindro com três entradas, onde em duas delas foram colocados o solo amostrado e no terceiro, o material usado como referencial que nesse caso foi alumina calcinada. Em cada entrada do cilindro existe um termopar, que comumente é feito de platina, cromo ou alumínio (TAN, HAJEK e BARSHAD, 1986), responsável por produzir uma variação constante e uniforme da temperatura (GRIM, 1953). Esse pequeno cilindro foi envolto pelo forno do aparelho e a amostra foi aquecida até 1000 °C enquanto um computador fazia a comparação dos dados e gerava o gráfico. No gráfico é mostrada a variação da temperatura do solo em comparação ao do material inerte. Se ocorre um pico de temperatura maior que o do inerte é porque houve uma desidratação de um mineral na amostra, e então aparecerá um pico endotérmico (para baixo) ou exotérmico (para cima) dependendo do tipo de reação. Após a identificação de um mineral a amostra deverá voltar à temperatura do material inerte (GRIM, 1953). A partir dos gráficos gerados analisou-se os picos de endotérmicos onde, a partir de curvas padrão de minerais, que funcionam como impressões digitais dos minerais, foi possível estabelecer uma relação, podendo assim identificar os minerais presentes na amostra (TAN, HAJEK e BARSHAD, 1986).

5.3. Avaliação dos Métodos de Recuperação da Voçoroca do Córrego do Cravo

O estudo da recuperação realizada na voçoroca do Córrego do Cravo, em Nazareno (MG), foi realizado a partir de:

- Levantamentos bibliográficos sobre as temáticas envolvidas e sobre a região.
- Levantamento das técnicas de recuperação aplicadas: análise da compatibilidade destas com os dados obtidos anteriormente e com a caracterização do meio físico.

6. Resultados e Discussão

6.1 Análise da Recuperação Realizada na Voçoroca do Córrego do Cravo

Segundo informações obtidas na página do Projeto Maria de Barro (http://www.projetomariadebarro.org.br/?Pagina=apresenta_noticia&Id=163), acesso em: 22 de outubro de 2015), a voçoroca do Córrego do Cravo foi recuperada no ano de 2008. Foram realizadas manualmente a suavização do talude, o coveamento e a plantação de gramíneas e leguminosas, para a estabilização de tais taludes. Estas atividades e sua evolução podem ser observadas nas Figuras 21, 22 e 23.



Figura 21: Vista geral da voçoroca do Córrego do Cravo, em 2008. (Disponível em: http://www.projetomariadebarro.org.br/?Pagina=apresenta_noticia&Id=163), acesso em: 22 de outubro de 2015).



Figura 22: Coveamento e plantação de gramíneas e leguminosas, em 2008. (Disponível em: <http://www.projetomariadebarro.org.br/?Pagina=apresenta_noticia&Id=163>, acesso em: 22 de outubro de 2015).



Figura 23: Talude suavizado, com coveamento e plantação de gramíneas. Essas atividades foram realizadas em 2008. (Disponível em: <http://www.projetomariadebarro.org.br/?Pagina=apresenta_noticia&Id=163>, acesso em: 22 de outubro de 2015).

A suavização do talude que foi realizada de forma manual, por não ter levado em consideração os aspectos geológicos-geotécnicos (principalmente o melhor ângulo para

ser utilizado no retaludamento), pode atuar no retorno dos processos erosivos e de escorregamento nessa voçoroca.

Também foram realizadas obras para a drenagem da água superficial, tanto na parte externa quanto interna da voçoroca, sendo que tais canalizações estão ligadas à condução de água para as barragens (Figuras 24). Na expedição de campo realizada em 2013, em alguns pontos da voçoroca, essa obra de drenagem não foi localizada (Figura 25). De modo geral, não foram verificadas obras de drenagem da água subsuperficial.



Figura 24: Vista de obras de drenagem na voçoroca, em 2009. (Disponível em: <http://www.projetomariadebarro.org.br/?Pagina=apresenta_noticia&Id=163>, acesso em: 22 de outubro de 2015).



Figura 25: Vista da obra de drenagem remanescente a montante da voçoroca.

Na expedição de campo realizada em 2013 foi possível verificar que o principal fator para o retorno dos processos erosivos e dos escorregamentos na voçoroca do Córrego do Cravo foi a drenagem (superficial e subsuperficial). A presença das estradas irregulares no entorno causam concentração do fluxo superficial da água e instabilizam o solo, além das recorrentes queimadas que acontecem no local.

Quanto à água subsuperficial, não foi realizada nenhuma obra de drenagem. Na campanha de campo realizada em 2013. Para evitar o retorno dos processos deveriam ter sido realizadas obras com drenos internos, aqui cabe lembrar que o objetivo da recuperação realizada pelo Projeto era a estabilização da voçoroca e a minimização do impacto visual, a partir da revegetação da área.

6.2 Análise dos Resultados Obtidos em Laboratório

6.2.1 ENSAIO DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A partir das análises granulométricas realizadas nas três amostras coletadas na voçoroca do Córrego do Cravo em 2013, foi possível verificar que as amostras CAM1 e CAM2 (a curva granulométrica da CAM2 foi obtida em Oliveira, 2015) são mais silto-arenosas que a amostra LAT1 (argilo-siltoso), as curvas granulométricas das amostras LAT1 e CAM1 estão representadas nas Figuras 26 e 27, e na Tabela 2 esta a comparação dos resultados obtidos nesse trabalho com os de Oliveira (2015) para as três amostras estudadas.

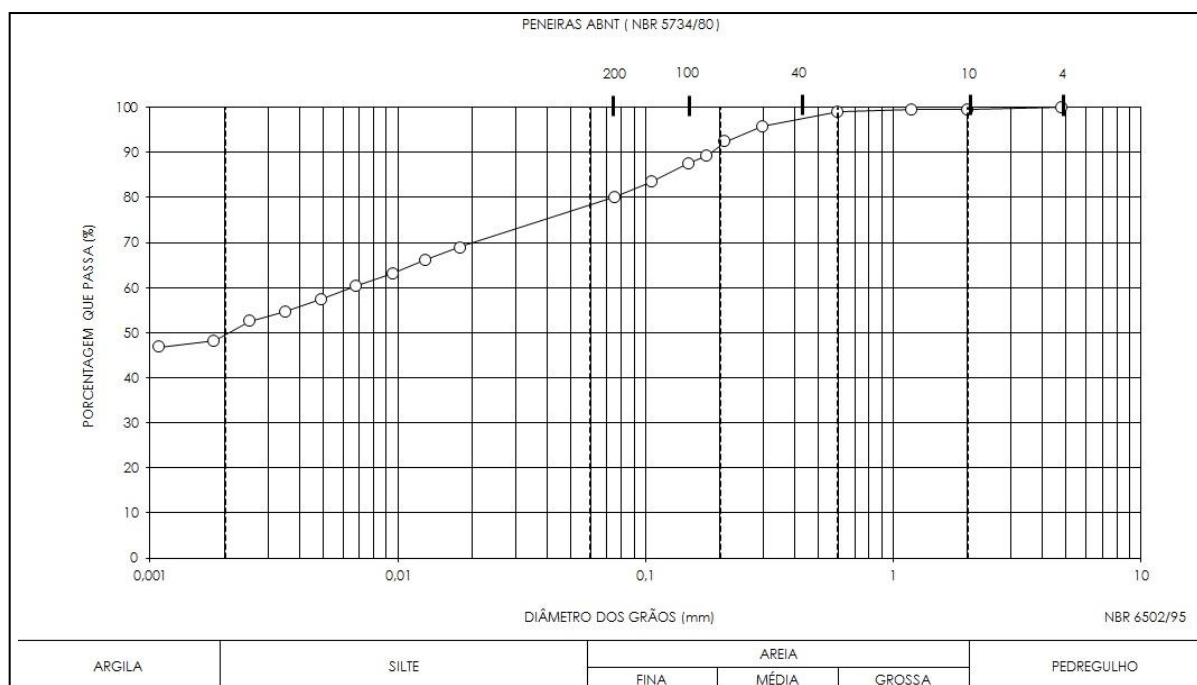


Figura 26: Distribuição granulométrica para a amostra LAT1

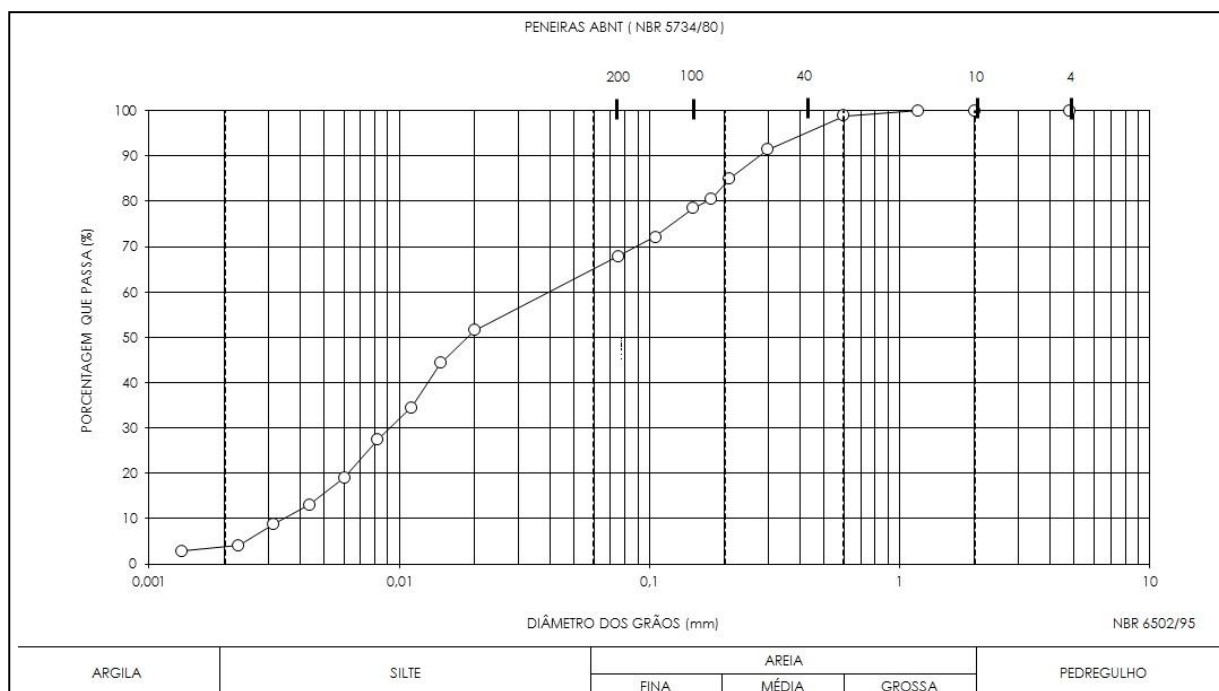


Figura 27: Distribuição granulométrica para a amostra CAM 1.

Tabela 2: Valores obtidos nas curvas granulométricas neste e em outros trabalhos onde foram analisados os mesmos solos.

Amostra	Autor	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa
LAT1	Cassaro (2015) e Sampaio (2014)	50%	28%	14%	7%	1%
	Oliveira (2015)	58% (média)	21% (média)	12% (média)	6% (média)	2% (média)
CAM1	Cassaro (2015) e Sampaio (2014)	4%	61%	19%	15%	1%
	Oliveira (2015)	5%	60%	19%	13%	3%
CAM2	Oliveira (2015)	4%	78%	15%	3%	0%

De maneira geral, observa-se que houve congruência dos dados obtidos neste trabalho com os obtidos em Oliveira (2015) (Tabela 2).

O Latossolo é mais argiloso (fração argila de 50%, segundo o presente trabalho) que os Cambissolos (fração argila de aproximadamente 5%, conforme dados obtidos por Oliveira, 2015) (Tabela 2).

6.2.2 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA

No presente trabalho o alto teor de silte dos Cambissolos e a diminuta quantidade de amostras impossibilitou a realização do ensaio para obtenção do limite de plasticidade, porém Oliveira (2015) conseguiu realizar os ensaios, sendo que os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores de LL, LP e IP para cada um dos solos analisados. Comparação dos dados obtidos na presente pesquisa com os dados obtidos por Oliveira (2015).

Amostra	Autor	LL	LP	IP
LAT1	Cassaro (2015)	49%	30%	19%
	Oliveira (2015)	46%	36%	10%
CAM1	Cassaro (2015)	49%	N.D.	N.D.
	Oliveira (2015)	52%	30%	22%
CAM2	Cassaro (2015)	52%	N.D.	N.D.
	Oliveira (2015)	38%	23%	15%

N.D. = Não Determinado

Os resultados indicam que os três solos estudados não apresentam um índice de plasticidade alto, ou seja, eles se deformam em baixos teores de umidade, o que os torna mais instáveis. Quando um dos limites não pode ser determinado, o solo é classificado como não plástico, ou seja, ele é extremamente instável desde baixos valores de umidade, no caso tal classificação pode ser dada aos Cambissolos. Vale aqui ressaltar

que os Cambissolos ocupam as porções inferiores do perfil de solo no interior da voçoroca, fazendo com que ele instabilize o Latossolo acima dele, aumentando assim, as proporções da erosão.

6.2.3 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO MCT – MINIATURA, COMPACTADA, TROPICAL.

Após realização desse ensaio foi possível obter os coeficientes e' (grau de laterização) e c' (argilosidade do solo), sendo assim nas Figuras 28 e 29 temos, respectivamente, a classificação MCT das amostras LAT1 e CAM1.

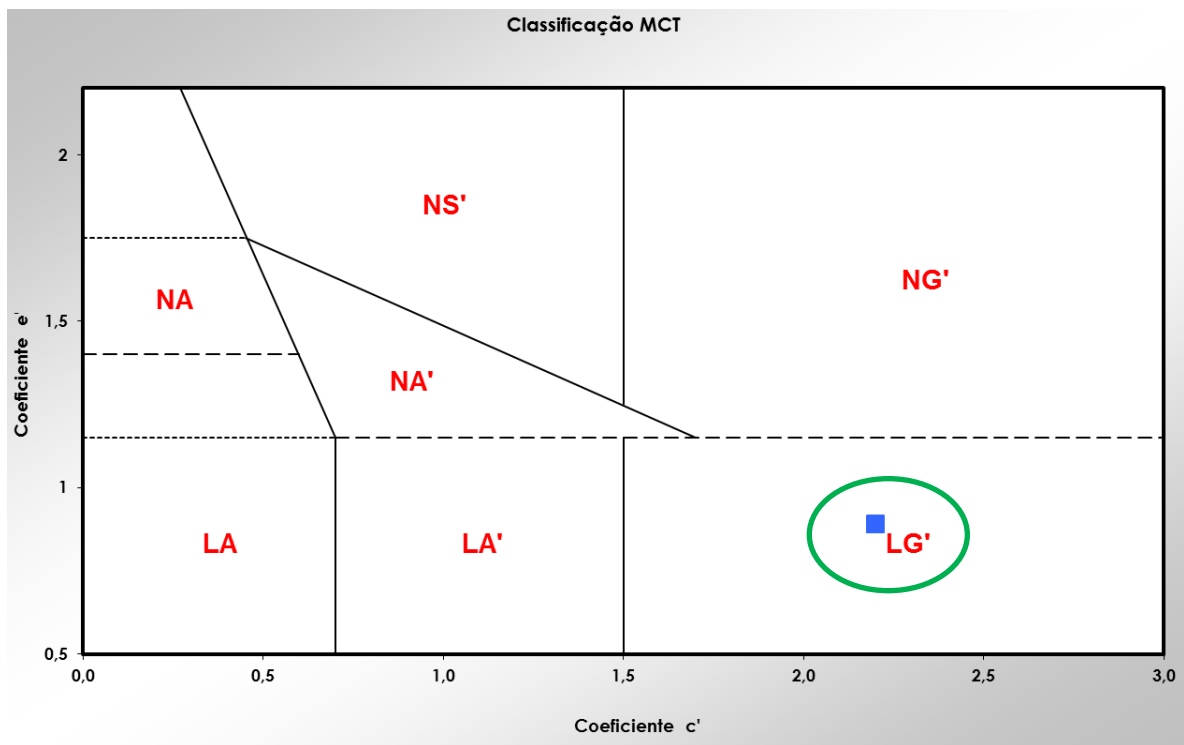


Figura 28: Classificação MCT da amostra LAT1.

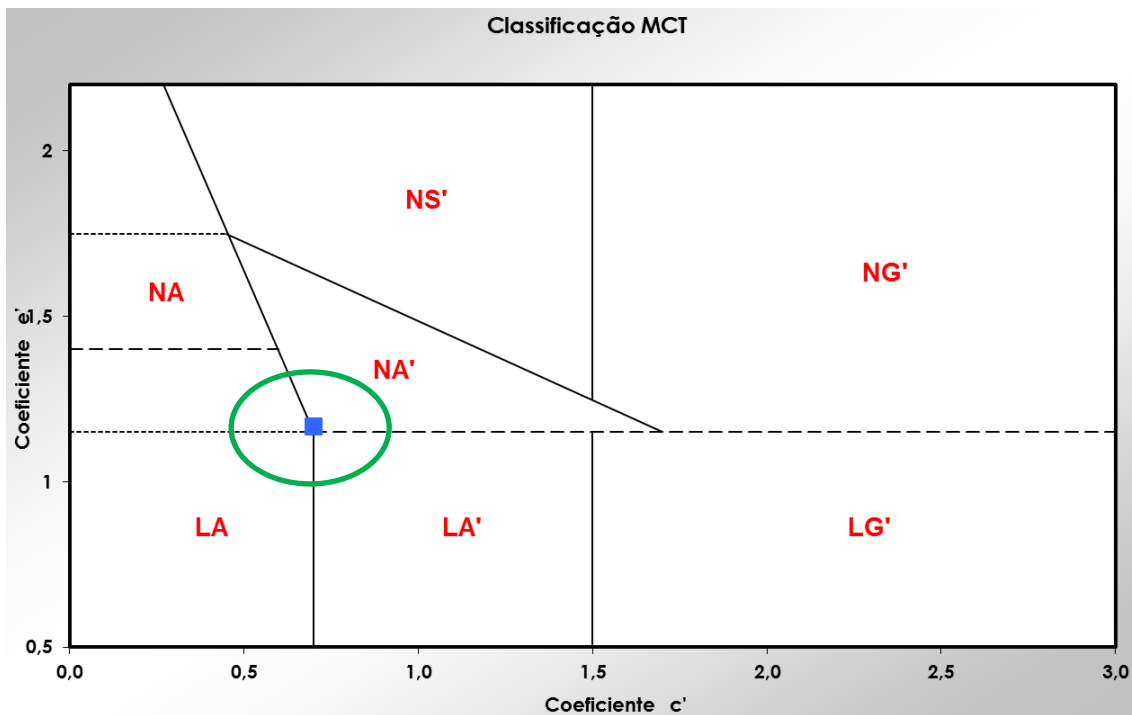


Figura 29: Classificação MCT da amostra CAM1.

A amostra LAT1 foi classificada como LG'. Tal classificação enquadra argilas, argilas arenosas, argilas siltosas e siltes argilosos, de comportamento laterítico argiloso. Esse tipo de solo pode exibir granulometria diversa e, em geral, elevada porosidade aparente natural, baixa resistência e baixa capacidade de suporte, quando encontrado no campo. Porém quando compactado de maneira adequada, pode apresentar grande resistência e capacidade de suporte, além de baixa permeabilidade (NOGAMI e VILLIBOR, 1995 *apud* SAMPAIO, 2014).

A amostra CAM1 foi classificada como NA', que representa solos não lateríticos arenosos. Os solos dessa classificação exibem características diretamente relacionadas a sua rocha matriz, não podendo ser generalizada suas propriedades e comportamentos (NOGAMI e VILLIBOR, 1995 *apud* SAMPAIO, 2014).

6.2.4 ENSAIOS PARA OBTENÇÃO DO pH DO SOLO

Os resultados obtidos nos ensaios para a determinação do pH do solo estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4: Valores de pH para as três amostras analisadas.

Amostra	pH
LAT1	5,3
CAM1	4,8
CAM2	5,0

Os valores de pH apontam a acidez no solo, típico de solos de regiões tropicais, corroborando com os trabalhos de Ferreira (2005), Horta (2006) e Sampaio (2014). O solo que apresentou pH um pouco mais elevado foi o LAT1 (Tabela 4).

6.2.5. ENSAIO DE OXIDAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

O cálculo da porcentagem de matéria orgânica (MO) no solo apresentado na Equação 2 foi utilizado para obtenção dos resultados descritos na Tabela 5, onde estão também os resultados obtidos em Sampaio (2014) que realizou o ensaio pelo mesmo método nas mesmas amostras.

Tabela 5: Quantidade de matéria orgânica (M.O.) presentes nos três solos analisados e comparação com os dados obtidos por Sampaio (2014).

Amostra	Autor	MO (g/kg)
LAT1	Cassaro (2015)	21,7
	Sampaio (2014)	31,0
CAM1	Cassaro (2015)	29,0
	Sampaio (2014)	24,0
CAM2	Cassaro (2015)	24,3
	Sampaio (2014)	18,0

Nos dois casos observamos teores próximos e baixos de matéria orgânica, material esse que ajuda na permeabilidade do solo, permitindo que haja maior infiltração da água. A matéria orgânica também ajuda na elevação da coesão entre as partículas minerais presentes no solo. Nos casos de baixos teores de MO, como no presente trabalho, isso acaba acarretando em uma baixa permeabilidade e baixa coesão entre as partículas, aumentando o fluxo superficial e diminuindo a resistência à erosão.

6.2.6 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA (CTC) E DA SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (SE).

Após análise pelo método do papel filtro, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Valores de CTC e SE para as amostras LAT1 e CAM1.

Amostra	CTC (CMOL_c/100g)	SE (m²/g)
LAT1	2,33	18,20
CAM1	1,62	12,68

Na Tabela 7 temos a identificação dos argilominerais segundo sua CTC (classificação baseada em Resende et al. 1997 *apud* OLIVEIRA, 2015).

Tabela 7: Intervalos de CTC e SE (RESENDE et al., 1997 *apud* OLIVEIRA, 2015).

Mineral	CTC (CMOL_c/100g)	SE (m²/g)
Caulinita	3-15	10-20
Haloisita	5-50	21-43
Ilita	10-40	70-120
Clorita	10-40	79-150
Vermiculita	100-150	300-500
Esmectita	60-150	700-800
Alofana	25-70	70-300

Portanto pode-se concluir que nas duas amostras analisadas foram encontradas caulinita. No caso do LAT1, cabe lembrar que o mesmo apresentou 50% da fração argila, desta forma, o CTC, quando determinado só para essa fração, pode ser maior do que o que foi obtido, assim é possível ter outros argilominerais neste solo. Os resultados de DRX e EDS irão comprovar a presença desses argilominerais nesses solos.

De acordo com a Tabela 6, a SE obtida para o LAT1 foi maior que a obtida para o CAM1. O valor de SE, para ambos os solos foi baixo (Tabela 6).

6.2.7 DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)

Através da difratometria de raios X foi possível identificar os argilominerais presentes nos solos coletados na voçoroca do Córrego do Cravo. Nas Figuras 30, 31 e 32 estão os resultados de DRX obtidos para as amostras LAT1, CAM1 e CAM2 (sem tratamento), respectivamente.

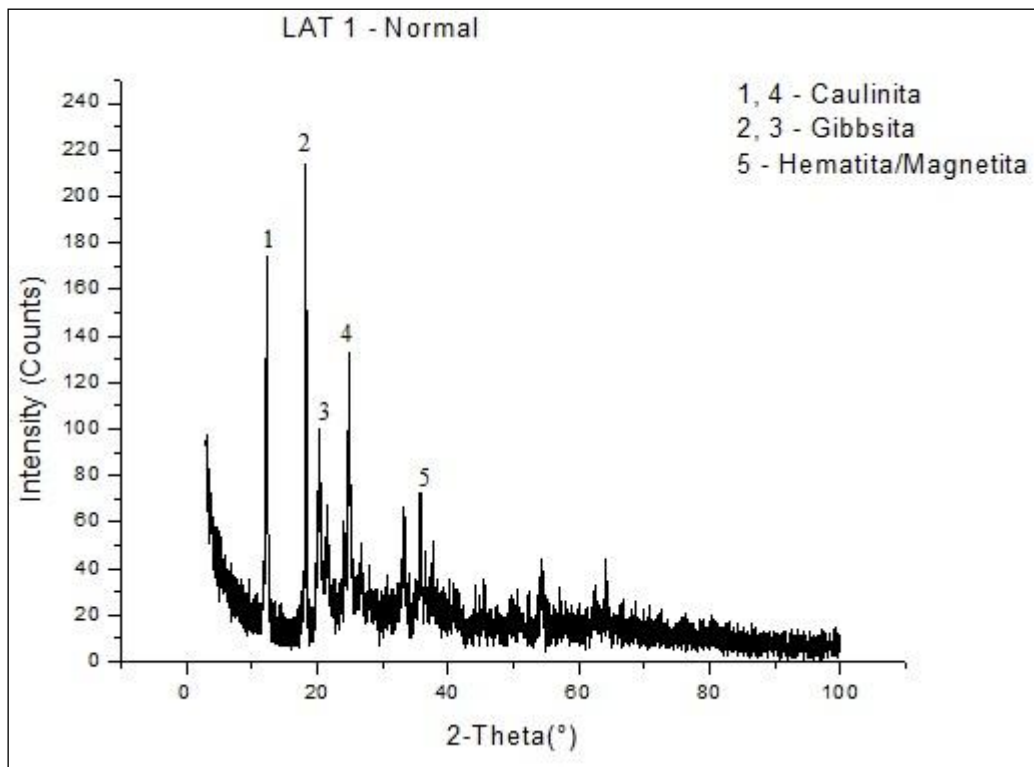


Figura 30: Difratograma com os argilominerais encontrado na amostra LAT1.

Na amostra de Latossolo foram encontrados os argilominerais Gibbsita $[\text{Al}(\text{OH})_3]$, Caulinita $[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$, Hematita (Fe_2O_3) e Magnetita $[\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3)]$. As amostra do LAT1 com o tratamento de etilenoglicol, indicou os mesmos argilominerais, enquanto que a amostra tratada com aquecimento de $550\text{ }^\circ\text{C}$ evidenciou a presença de Clorita $[(\text{MgFe})_3(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\cdot(\text{MgFe})_3(\text{OH})_6]$, Quartzo (SiO_2) e Goetita $[\text{FeO}(\text{OH})]$, além de alguns dos argilominerais já encontrados nos outros tratamentos da amostra LAT1.

A Figura 31 exibe o difratograma da amostra CAM1 (sem tratamento).

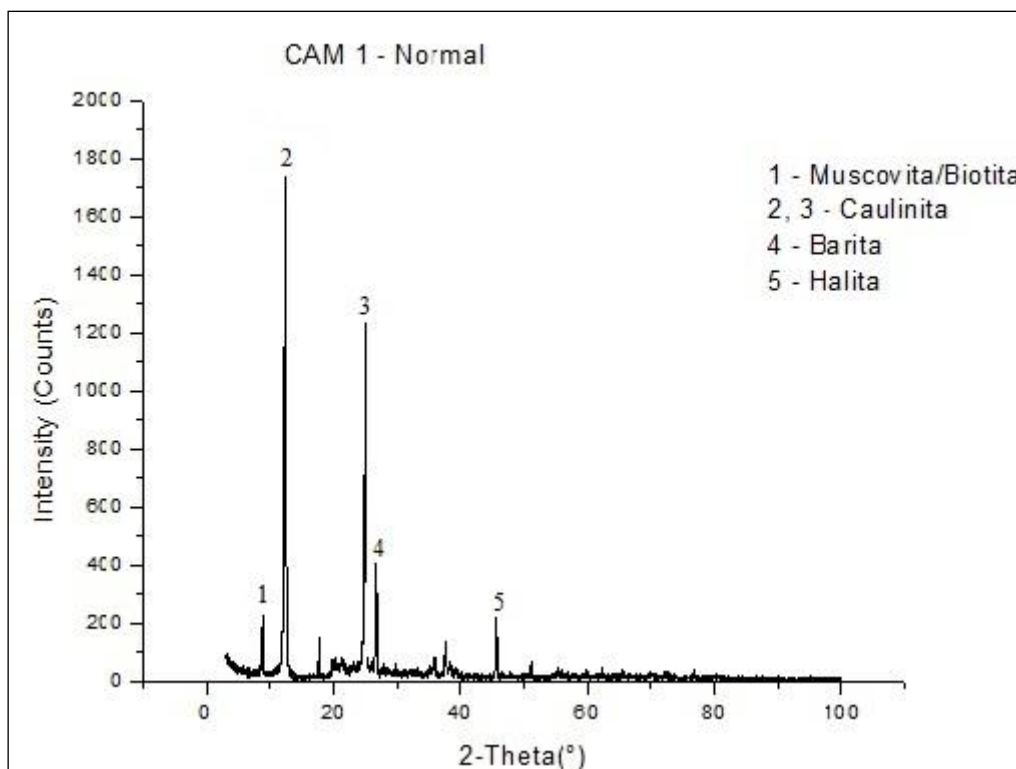


Figura 31: Difratoograma com os argilominerais encontrado na amostra CAM1.

Para a amostra CAM1 normal foram encontrados Muscovita $[KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OHF)_2]$, Biotita $[K(MgFe)_3(OHF)_2(AlFe)Si_3O_{10}]$, Caulinita $[Si_2Al_2O_5(OH)_4]$, Barita ($BaSO_4$) e Halita ($NaCl$). Na amostra de CAM1 tratada à 550° foram encontrados os mesmos argilominerais que foram detectados na amostra normal (sem tratamento). Já na amostra de CAM1 com etilenoglicol foram encontrados, além de alguns dos argilominerais detectados na amostra normal, a Haloisita ($Al_4Si_4OH_8O_{10} \cdot 8H_2O$) e o Quartzo (SiO_2).

Neste ensaio, não foi possível caracterizar a amostra CAM2.

6.2.8 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ANÁLISE DA ENERGIA DISPERSIVA (EDS)

Com a microscopia eletrônica de varredura foi possível verificar claramente os minerais (estudo da morfologia) presentes nas amostras e através da análise de energia dispersiva foi possível identificar os teores de cada elemento químico nos minerais (estudo semi-quantitativo). Na Figura 32 observa-se a amostra de Latossolo. Os

números no interior da Figura indicam os minerais em que sua composição foi analisada. Na Figura 33 têm-se os espectros EDS da análise pontual dos pontos número 1, 2 e 3.

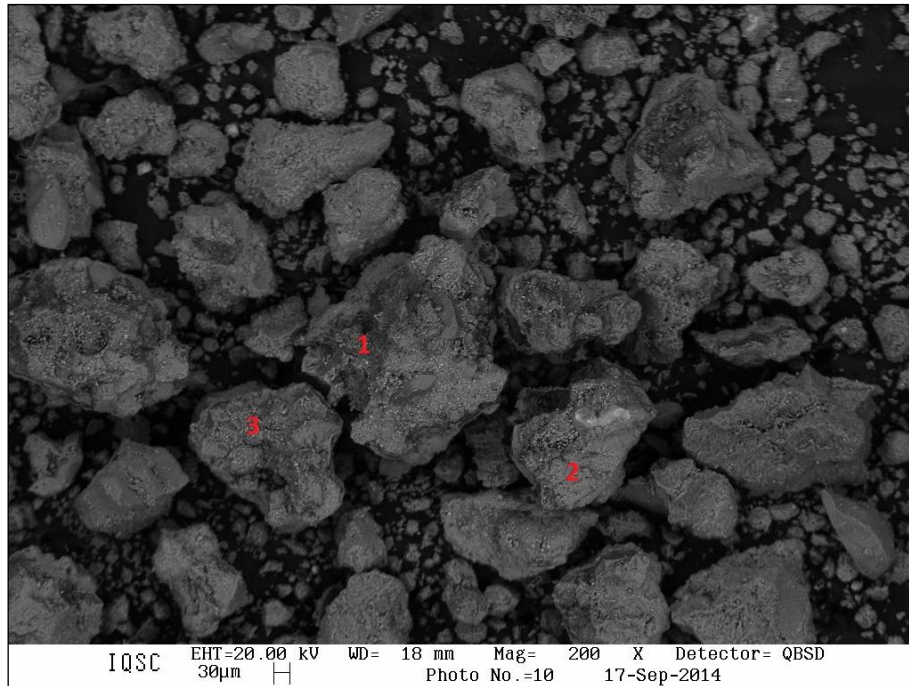


Figura 32: Imagem da amostra do Latossolo com três pontos de análise pontual (MEV/EDS).

Pela foto obtida no MEV observa-se a uniformidade do solo, como suas partículas são arredondadas formando aglomerados, sendo possivelmente concreções lateríticas, mostrando como este solo é mais desenvolvido e mais resistente a processos erosivos.

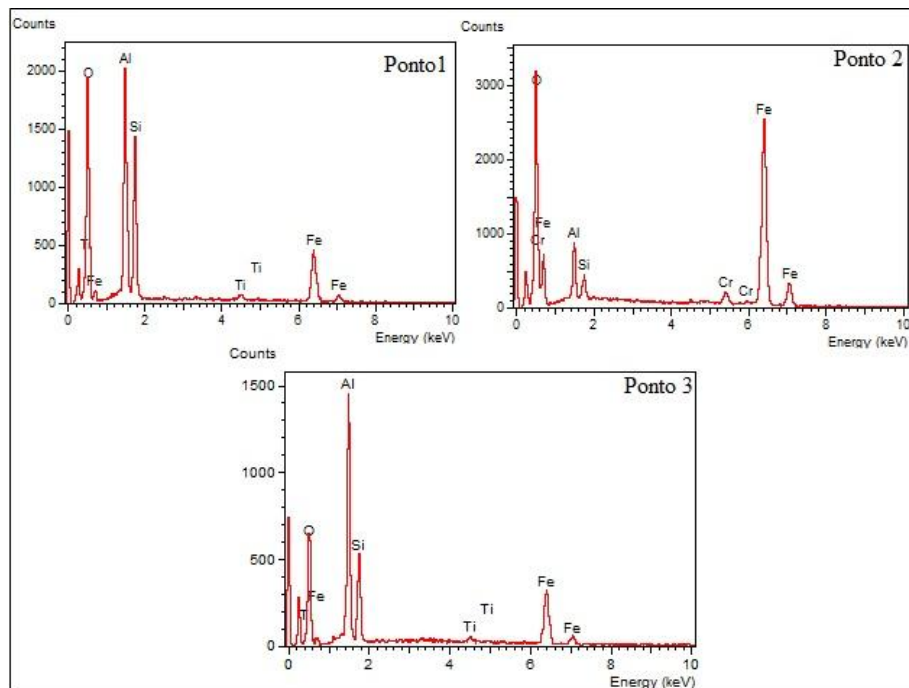


Figura 33: Espectros de EDS dos três pontos obtidos na Imagem da Figura 32.

Nota-se que para o Latossolo existem nos três pontos analisados altos teores de ferro (responsável pela coloração avermelhada do solo), sílica e alumínio, elementos esses que compõem exatamente os argilominerais encontrados na difratometria de raios-x.

Para o solo CAM1 foram analisados sete pontos da imagem obtida pelo MEV (Figura 34). Na Figura 35 têm-se os espectros EDS da análise pontual do ponto número 7.

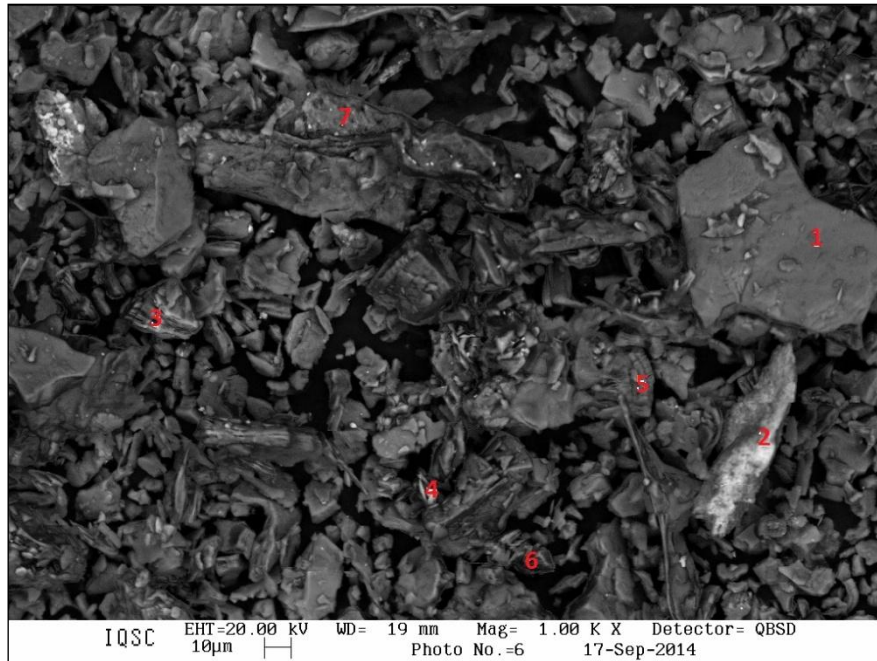


Figura 34: Imagem da amostra CAM1 com sete pontos de análise pontual (EDS).

Pela imagem obtida, fica claro que, ao contrário do latossolo, as partículas do cambissolo são mais placóides, possivelmente uma alteração com características da rocha de origem.

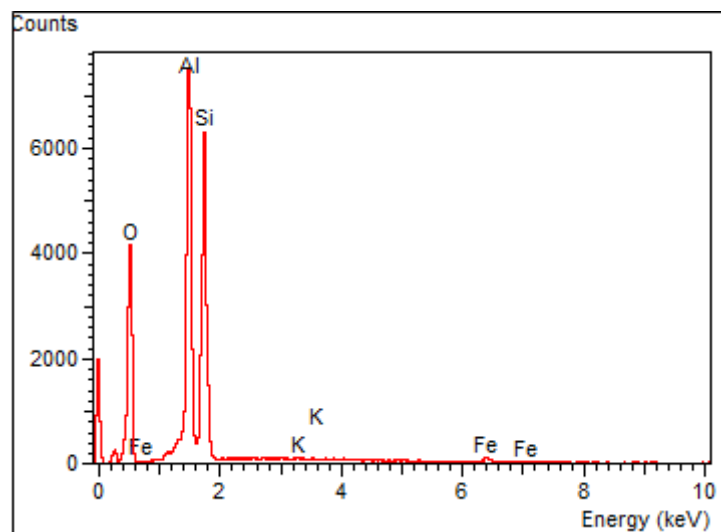


Figura 35: Espectro EDS do ponto número 7 da Figura 34.

Apesar de terem sido analisados sete pontos, o espectro EDS do ponto sete representa bem todos os outros, pois eles apresentaram resultados semelhantes: altas concentrações de sílica e alumínio, tais elementos são formadores dos argilominerais.

Assim novamente, esse ensaio confirma os resultados obtidos nas análises de difratometria de raios-X.

6.2.9. ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL (ATD)

A análise térmica diferencial (ATD) resulta em uma curva, cujos picos de temperatura (endotérmicos ou exotérmicos) apontam a presença de certos argilominerais. Os resultados obtidos para as amostras LAT1 e CAM1 estão representadas nas Figuras 36 e 37, respectivamente.

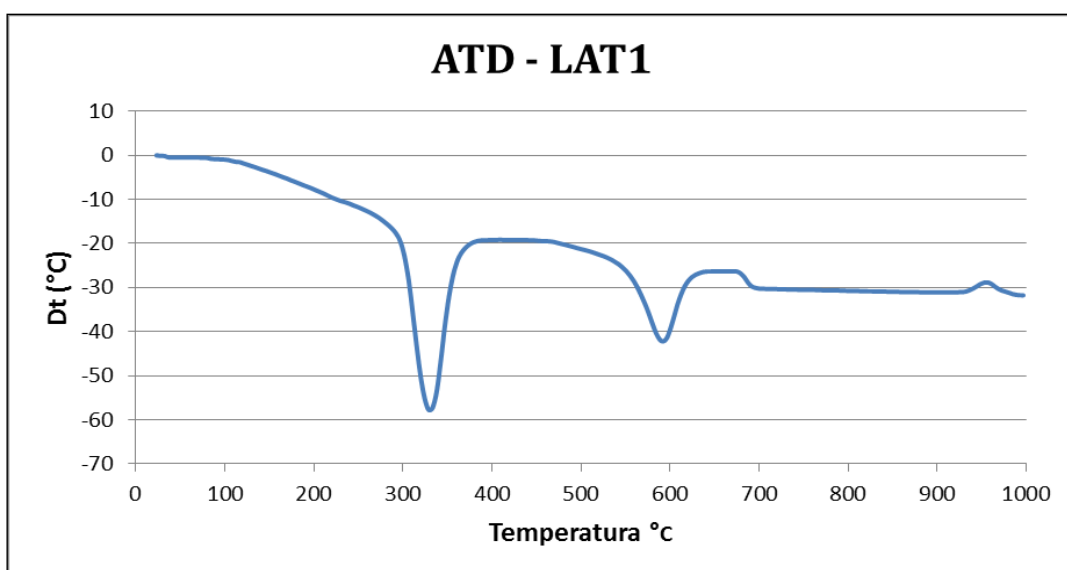


Figura 36: Gráfico obtido no ensaio de ATD para a amostra LAT1.

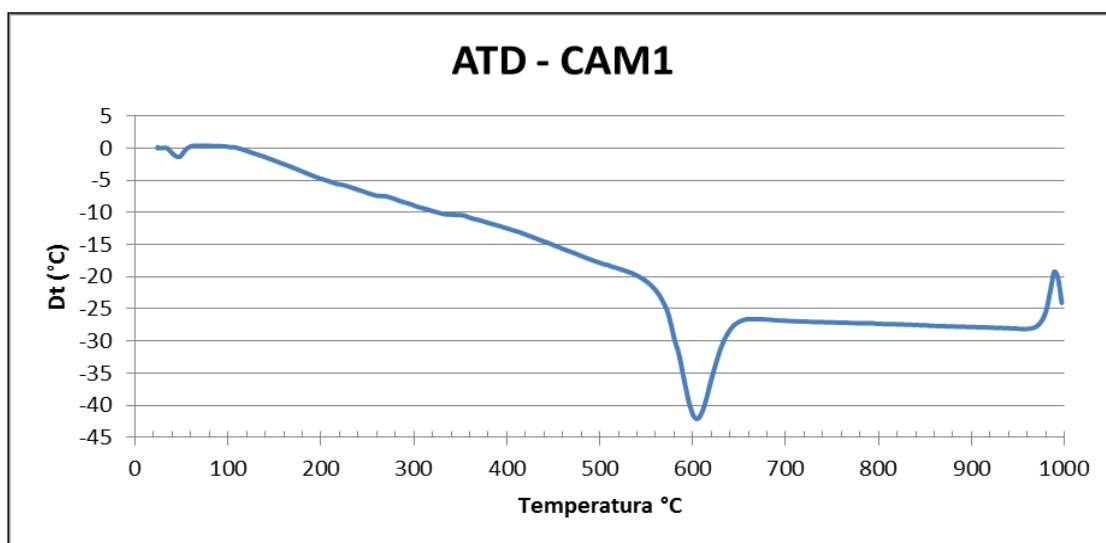


Figura 37: Gráfico obtido na análises de ATD para a amostra CAM1.

De acordo com Tan, Hajek e Barshad (1986) todos os picos apresentados nas duas amostras foram endotérmicos (Figuras 36 e 37), e para cada intervalo de temperatura em que ocorreu o pico é possível identificar o mineral presente na amostra. No caso do LAT1 o primeiro pico ocorreu entre 300 °C e 400 °C indicando a presença de Gibsita, o segundo pico ocorreu entre 500 °C e 600°C indicando a presença de Caulinita. Já no CAM1 o pico ocorreu também próximo aos 600 °C indicando a presença de Caulinita. Vale aqui ressaltar que houve uma queda contínua e não esperada nos gráficos, apesar disso não há influências nos resultados, pois Oliveira (2015) encontrou exatamente os mesmos picos para as mesmas amostras de solo. Além disso, Oliveira (2015) encontrou Caulita em análise de ATD para a amostra CAM2, que no caso do presente trabalho, não foi analisada, pois o equipamento estava em manutenção na época que a mesma seria ensaiada.

6.3. Análise do Retorno dos Processos Erosivos. Contexto Pedológico e de Uso e Ocupação

Nos trabalhos de Ferreira (2005), Horta (2006), Ferreira (2008) e Pesce (2009), houve uma concordância a respeito da infiltração da água no solo e do escoamento superficial desta com a influência antrópica. Dentre os motivos apontados como desencadeadores de tantas voçorocas na região estão: A) a abertura indiscriminada de estradas rurais nos anos 50 e 60, causando compactação do solo e a formação de cavas que chegaram a atingir mais de 10 m de profundidade; B) a mineração de ouro e outros minérios, a pecuária e agricultura extensiva, que instabilizaram e empobreceram o solo ainda mais, contribuindo para a fácil desagregação do mesmo e a concentração de fluxo hídrico.

Na região da Voçoroca do Córrego do Cravo, Ferreira (2005) constatou a presença de estradas rurais. Tal fato, possivelmente está diretamente ligado com a origem da voçoroca, pois com a implantação destas estradas ocorreu concentração de fluxo, que favoreceu as enxurradas, direcionando a água para o interior da erosão. Ademais houve uma clara contribuição da pecuária com elevados índices de degradação ocasionados pelo pastoreio acima da capacidade suporte no seu entorno, incluindo o

avanço da infra-estrutura municipal que causou compactação do solo, concentração do fluxo da água e, em alguns casos, a voçoroca foi utilizada como depósito de resíduos de obras civis. Outro fator importante citado por Ferreira (2005) são as queimadas. Em visita a campo em 2012 pode-se observar que uma grande parte da voçoroca tinha passado por uma queimada. Essa prática é comum tanto para abertura de novas pastagens quanto para plantio rotativo, para que não haja crescimento da cultura anterior, realiza-se uma queimada para evitar a germinação dos brotos no local. Intencional ou não, toda queimada causa impactos diretos na qualidade do solo que atinge, destruindo nutrientes e microrganismos decompositores, além de expor o solo.

No trabalho de Horta (2006) pode-se notar que na região desse estudo há, além da grande influência da pastagem e do avanço do município, grandes áreas de solo exposto, que aumenta a erosão hídrica, pois não há dissipação de energia pela presença da vegetação.

Ferreira (2008) constatou que nas áreas onde o Cambissolo origina-se da alteração do granito-gnaiss, como na maior parte da Voçoroca do Córrego do Cravo, há uma baixa proporção de palhada (tipo de gramínea da qual o gado se alimenta), que resulta num sinal de superpastejo da área (Figura 38). O superpastejo está diretamente ligado à redução da macroporosidade em superfície e em profundidade, dificultando a drenagem da água no perfil do solo, fazendo com que ocorra um rápido encharcamento da superfície e subsequente aumento do escoamento superficial com maior exposição aos processos erosivos. Hakansson e Voorches (1997) afirmam também que a compactação excessiva do solo diminuiu o volume dos poros, sua distribuição e a força do próprio solo, influenciando diretamente no crescimento de raízes, desde a capacidade de atingirem horizontes inferiores até mesmo atrapalhando sua oxigenação. Além disso, o armazenamento e movimento de água, ar e calor no solo também é comprometido.



Figura 38: Caminho de gado mostrando a compactação do solo no local.

O trabalho de Pesce (2009) já tem um foco diferente em relação ao Cambissolo, quando comparado com o de Ferreira (2008). Pesce (2009) mostrou que, apesar da fração silte ter um grande potencial de retenção de água, houve um grande impacto causado pela compactação do solo na região por diversos motivos já citados. A presença de unidades morfológicas homogêneas compactadas no perfil do solo, resultado do aumento da densidade do solo e da redução da porosidade total e da macroporosidade do solo reduziu a infiltração da água na área de estudo. Além disso, foi encontrada uma unidade morfológica homogênea constituída de cascalhos que por não apresentarem uma barreira para a remoção das partículas pela força da água favoreceu a suscetibilidade a erosão, alterando completamente a dinâmica da água no perfil do solo.

Os solos de clima quente e úmido, segundo Setzer (1960), são muito lavados e empobrecidos pelo excesso de precipitação. São ácidos porque perderam as bases (considerados como elementos mais móveis), ficando em evidência os ácidos orgânicos, os quais promovem a solubilização de uma parte da alumina que passa a agir como um ácido mineral (acidez nociva). Esses fatores são suficientes para dificultar o crescimento

de vegetação natural no local, provando que apenas uma recuperação baseada na revegetação local será, definitivamente, ineficaz.

Por causa das características granulométricas, haverá no local uma grande susceptibilidade ao encrostamento, de acordo com Resende (1982) e Ferreira (2005), reduzindo muito a infiltração de água, elevando significativamente o escoamento superficial e diminuindo a sua resistência à erosão hídrica, além de ser outro fator para o baixo teor de matéria orgânica no solo.

Os horizontes A e B dos solos são extremamente rasos como foi percebido em visita a campo, porém o maior horizonte é o C o qual é encontrado em toda a extensão da voçoroca do Córrego do Cravo, sendo esse característico do Cambissolo (solo residual). Esse solo é originário da alteração do granito-gnaiss, sendo, portanto formado pela fração silte/areia fina. Ferreira (2005) constatou que a coesão entre partículas desse solo é praticamente ausente e, associado ao baixo teor de carbono orgânico total, possibilita, junto com o escoamento superficial concentrado, uma fácil remoção das partículas do solo, potencializando o efeito erosivo, além de impossibilitar o crescimento de vegetação pelo arraste de nutrientes.

6.4. Técnicas de Recuperação

O Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do Governo do Estado de São Paulo tem um manual sobre Controle de Erosão, que contém um tópico específico sobre estruturas de controle e dissipação da energia das águas dentro de uma voçoroca. Para avaliar melhor as técnicas empregadas na recuperação da erosão do Córrego do Cravo e para determinar as mais adequadas para este mesmo local, a seguir, serão listadas algumas técnicas empregadas em erosão de grande porte, com características parecidas com as da voçoroca aqui estudada.

Como um dos principais problemas de uma voçoroca é o controle do fluxo de água concentrado, o manual apresenta o conceito dos dissipadores de energia (para bacias de impacto e de mergulho). As bacias de impacto (Figura 39) são normalmente indicadas para vazões de até 11 m³/s e velocidades de escoamento inferiores a 9 m/s. A dissipação de energia ocorre por impacto do jato d'água num defletor vertical suspenso e pelos torvelinhos (redemoinhos) que se formam, causando perda de energia da

corrente. Já as bacias de mergulho são concebidas com base no conceito de que as águas descarregadas pelo emissário escavariam o terreno até atingir uma profundidade estável. Nesse caso a água perde energia ao entrar no pequeno lago formado pela bacia (os cálculos para dimensionamento podem ser encontrados na publicação do Instituto de Saneamento Ambiental da Universidade Católica do Paraná, 1984).



Figura 39: Dissipador de energia tipo bacia de impacto (Disponível em: http://lpeng.br.tripod.com/artigos/dissipadores_energia.htm, acesso em: 22 de outubro de 2015).

Considerando obras menores, o manual apresenta os vertedores (Figura 40), que são estruturas construídas em locais de barramento da água escoada no interior da voçoroca, tendo como principal função a condução controlada da água em excesso, destacando-se entre os mais comuns os vertedores de queda. Geralmente os vertedores estão acoplados a algum tipo de obra de dissipação de energia, por exemplo, bacias, degraus hidráulicos, “chicanas”, ou até mesmo os já citados: tipo bacia de impacto e tipo bacia de mergulho.

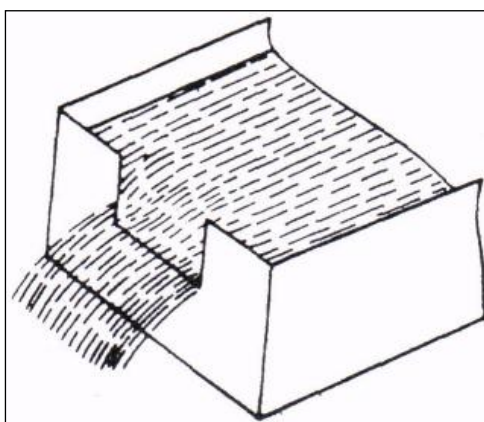


Figura 40: Vertedor de queda (Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAahUQAD/operacao-eta?part=2>, acesso em 22 de outubro de 2015).

Rocha (2007) utilizou vertedores para poder calcular a quantidade e caracterizar os sedimentos que eram arrastados na voçoroca, além de poder obter dados de vazão. Nesse caso o vertedor atuou mais como obra de monitoramento do canal de enxurrada dentro da voçoroca e menos como redutor de energia da água. A Figura 41 exhibe o vertedor no interior da voçoroca estudada por Rocha (2007).



Figura 41: Vertedor montado no interior da voçoroca (Rocha, 2007).

Outro tipo de estrutura, que também pode ser acoplada após o vertedouro, são as obras de represamento. Elas consistem em pequenas barragens ou diques construídos no interior da voçoroca. A tipologia dessas obras varia em função da complexidade e dimensão da voçoroca, destacando-se as barragens de terra, barragens de madeira, de sacos de solo-cimento, de gabião e de concreto. Aqui vale ressaltar o trabalho de Francisco (2011), onde foi utilizada barreiras de bambus cobertas com saco de rafia (Figura 42) e colunas de pneus preenchidas com terra (Figura 43) para represar a água. Nesse trabalho foram fixadas estacas antes e depois da barreira, para que houvesse um controle do volume de sólidos que seriam retidos.



Figura 42: Barreira de bambu coberta com saco de ráfia (Francisco, 2011).



Figura 43: Barreira de pneus preenchida com terra (Francisco, 2011).

Nos dois casos encontrou-se grande deposição de terra a montante das duas barreiras e diminuição dessa deposição a jusante das barreiras. Isso contribuiu para a estabilidade do local e para a redução de energia da água que chega a jusante da barreira, trabalhando como um dissipador de energia por impacto. A partir disso pode-se concluir que a instalação desse tipo de estrutura em voçorocas irá, a curto e médio prazo, colaborar para a reabilitação da estabilidade local, dentro da voçoroca.

Outra estrutura recomendada pelo DAEE, e que será essencial na recuperação da Voçoroca do Córrego do Cravo, são os drenos. Os drenos são enterrados, e tem por objetivo drenar as águas subsuperficiais de maneira a impedir o arraste do solo pelo “piping”. Sampaio (2014) em sua pesquisa, também sugeriu a instalação de dreno na

voçoroca do Córrego do Cravo. Os tipos de drenos são apresentados nas Figuras 44, 45 e 46.

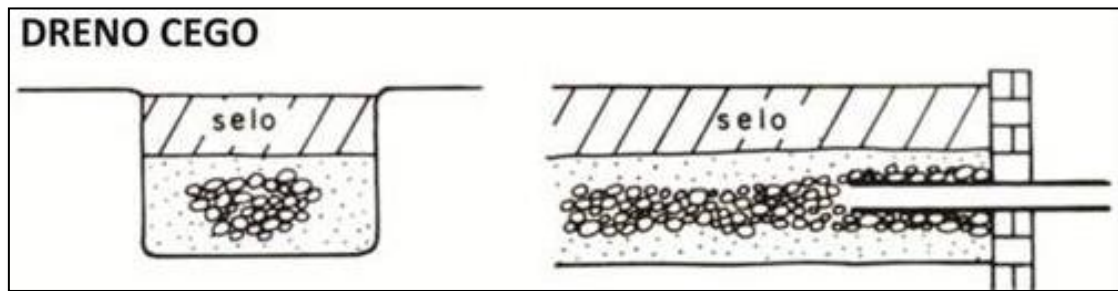


Figura 44: Dreno de fundo, ou enterrado, do tipo cego (DAEE, 1990).

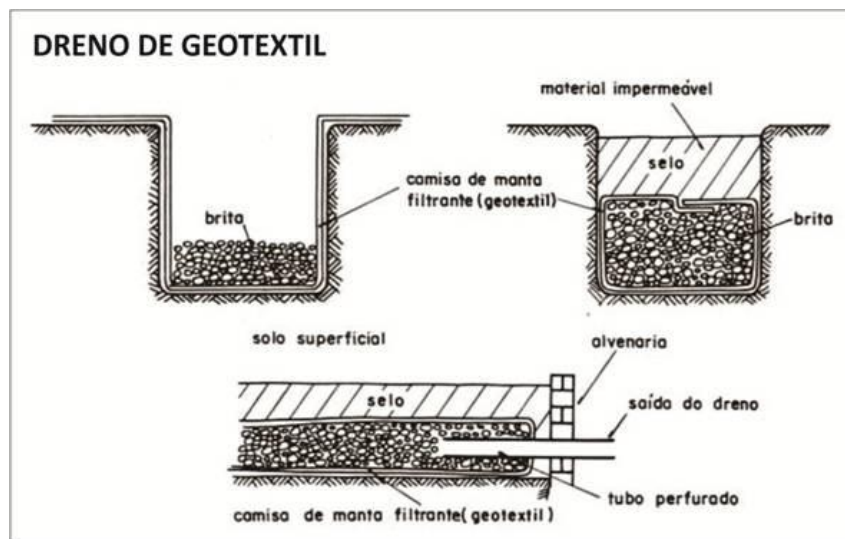


Figura 45: Dreno de fundo, ou enterrado, de geotêxtil (DAEE, 1990).

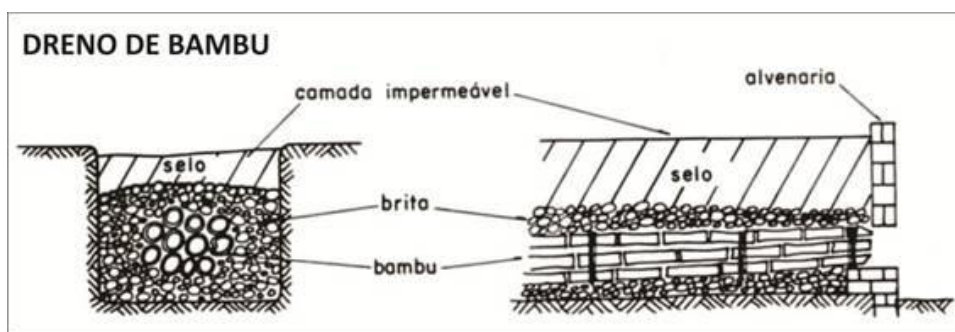


Figura 46: Dreno de fundo, ou enterrado, de bambu (DAEE, 1990).

Rotta (2012) avaliou diferentes métodos de recuperação aplicados a danos causados por fluxos concentrados de água em uma voçoroca no município de São Pedro (SP). Localizada em um loteamento em construção, o processo de recuperação empregado envolveu vários métodos já citados nesse trabalho. Foram realizadas obras para concentrar o fluxo pluvial e desviar o mesmo para outro local, fora da voçoroca, onde, na saída do tubo, foram dispostas rochas (Figura 47), um muro de contenção (Figura 48) ou um cordão de nível (Figura 49) para dissipar a velocidade de escoamento e a energia da água. Os cordões de nível consistem em bancos de terra de 1,5 a 2 m de largura, posicionados ao longo da encosta para agir como uma barreira para o escoamento superficial, formando uma área de armazenamento a montante, e quebrando a encosta em segmentos menores, buscando diminuir o escoamento superficial (ROTTA, 2012).



Figura 47: Blocos de rocha dispostos na frente de uma saída de tubulação funcionando como um dissipador de energia tipo bacia de impacto (ROTTA, 2012).



Figura 48: Muro de contenção posicionado na frente de uma saída de tubulação funcionando como um dissipador de energia tipo bacia de impacto (ROTTA, 2012).



Figura 49: Cordão de nível construído na frente de uma saída de tubulação funcionando como um dissipador de energia tipo bacia de mergulho (ROTTA, 2012).

O trabalho de Rotta (2012) concluiu que em teoria as medidas tomadas eram adequadas, porém houve um mau dimensionamento das obras realizadas, fazendo com que as mesmas causassem ainda mais impactos ou os transferissem para outra área. Ou seja, neste presente trabalho ressalta-se que além de ser necessário escolher as medidas mais adequadas, deve ser feito também um estudo sobre a forma que elas serão aplicadas, para que não causem ainda mais problemas.

Desta forma, após o levantamento das diferentes técnicas de recuperação, nota-se que no caso da voçoroca aqui estudada, o principal método que deve ser adotado é em relação à drenagem da água subsuperficial, onde deverão ser instalados drenos. Quanto à drenagem superficial, deverão ser realizadas canaletas para direcionar a água para fora da voçoroca, sendo a base destas canaletas construídas com material drenante, e não direto no solo como foi realizado em 2008.

7. CONCLUSÃO

O principal condicionante na área é o material geológico e a interferência antrópica. O histórico de impacto antrópico na área é extenso e é causador de condições que favorecem o processo erosivo. Além disso, apesar das camadas superficiais de Latossolo serem estáveis, o maior horizonte do solo é o C, formado essencialmente pelo Cambissolo que é um material de alta instabilidade geológica-geotécnica.

Desta forma, conclui-se que a instabilidade do Cambissolo é dada por diversos fatores: sua alta concentração de silte que causa encrostamento do solo, impossibilitando a infiltração da água e favorecendo a concentração do escoamento superficial; sua origem do granito-gnaiss e os argilominerais presentes, além do pH levemente ácido que dificulta o crescimento da vegetação no local.

A interferência antrópica, não só pelas estradas rurais irregulares que concentram o fluxo da água no local, mas também devido a utilização da voçoroca como depósito de resíduos de construção civil, as frequentes queimadas na região, o superpastejo que compacta ainda mais o solo, a monocultura que empobrece o solo, entre outros. Todos são fatores que fazem com que a voçoroca se mantenha ativa.

A recuperação dada pelo Projeto Maria de Barro em 2008 tinha um foco na estabilização, porém foi insuficiente. A principal medida a ser tomada é o disciplinamento do escoamento superficial da água com obras para tal. A montante da voçoroca, implantação de cordões de nível que irão reduzir a velocidade, a energia e a quantidade de água que chega na feição erosiva. Desviar o fluxo direto de água para outros locais, instalando canaletas, vertedores e dissipadores de energia do tipo bacia de

impacto e bacia de mergulho preferencialmente com materiais drenantes. Instalação de drenos para evitar surgimento de mais erosões subsuperficiais. Ademais, para o fluxo interno da voçoroca, utilização de barreiras que contenham a perda de solo, podendo estas serem de materiais diversos, como pneus por exemplo.

8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR6459 – MB30. Solo – Determinação do Limite de Liquidez. 6p. 1984

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR 6502. Rocha e solos – Terminologia. Rio de Janeiro. 1995. 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR6508. Grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm – Determinação de massa específica. Rio de Janeiro. 8p. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR7180 – MB31. Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. 3p. 1984

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR7181 – MB32. Análise granulométrica. Rio de Janeiro. 13p. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR10703. Degradação do Solo – Terminologia. 45p. 1989.

BARROW, C.J. Land Degradation.295p. 1991.

BERTONI, J. Sistemas para determinações de perdas por erosão. *Bargantia*. 9:147-155. 1949.

BERTONI, J.; LOMBRADI NETO, F.; Conservação do Solo. 3ª Edição. 1990. 355 p.

BITAR, O. Y. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. ABGE. 1995. 247p.

- BLUM, W. E. H. Basic concepts: degradation, resilience and rehabilitation. In: LAL, R.; Blum, W. H.; VALENTINE, C.; STEWART, B. A. Methods for assessment of soil degradation. CRC Press LLC. 1998. 558p.
- COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA CBH GRANDE – BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO GRANDE – GD1. Endereço eletrônico: <http://www.grande.cbh.gov.br/GD1.aspx>. Acessado em 19/12/2012
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). Controle de erosão: bases conceituais e técnicas, diretrizes para planejamento urbano e regional, orientações para o controle de voçorocas urbanas. 1ª Ed. São Paulo: DAEE/IPT. 1990.
- EMBLETON, C., THORNES, J. Process in Geomorphology. 448p. 1979.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisas de Solos, Rio de Janeiro. 212 p. 1997.
- EUSTERHUES, K; RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I. Stabilization of soil organic matter isolated via oxidative degradation. Organic Geochemistry, 36. p.1567-1575. 2005.
- FARIAS, C. A. Dinâmica da revegetação natural de voçorocas na região de Cachoeira do Campo – MG (dissertação de Mestrado) Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1992. 63 p.
- FERREIRA, R. R. M. Qualidade física de cambissolos sobre dois materiais de origem com pastagens extensivas. Tese de pós-graduação em Agronomia. Universidade Estadual de Londrina – UEL. 106p. 2008.
- FERREIRA, V. M. Voçorocas no município de Nazareno, MG: origem, uso da terra e atributos do solo. Universidade Federal de Lavras (UFLA) (Dissertação de mestrado). Lavras. 84p. 2005.
- FERREIRA, V.M.; SILVA, M. L.N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. A.; AVANZI, J. C. Influência antrópica e atributos de solo – relações em ambientes de

voçorocas na mesorregião Campos das Vertentes, MG. Geografia, Rio Claro. V. 36. n. 1. 2011.

FRANCISCO, A. B. O processo de voçorocamento no perímetro urbano de Rancharia – SP: sua dinâmica e as propostas de recuperação. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Dissertação de Mestrado. Presidente Prudente. 117p. 2011.

FRATTA, D.; AGUETTANT, J.; ROUSSEL-SMITH, L. Introduction to Soil Mechanics Laboratory Testing. 229p. 2007.

GREENWAY, D.R. Vegetation and Slope Stability. In: Slope Stability – Geotechnical Engineering and Geomorphology. p.187-230. 1987.

GRIM, R. E. Clay Mineralogy. New York: McGraw-Hill. 1953.

GUIMARÃES, V. Resíduos de mineração e metalurgia: efeitos poluidores em sedimentos e em espécie biomonitora rio Ribeira de Iguape – SP. Tese de Doutorado USP. Instituto de Geociências. São Paulo. Universidade de São Paulo (USP), 160p. 2007.

HÅKANSSON, I. VOORCHES, W.B. Soil Compaction. In: Methods for Assessment of Soil Degradation. p.167-179. 1997.

HORTA, I. F. Levantamento dos solos e ocupação da superfície do município de Nazareno, MG. Tese de Mestrado UFLA. Universidade Federal de Lavras, 74p, 2006.

INSITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapa dos Biomas Continentais Brasileiros, 2004. Diretoria de Geociências - Cooperação Técnica entre o IBGE e o Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 11 de julho de 2013.

INSITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapa Físico da Região Sudeste, 2008. Diretoria de Geociências. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 11 de julho de 2013.

JHONSON, D. N.; LAMB, P.; SAUL, M.; WINTER-NELSON, A. E.; SAUL, M.; JOHNSON, D. L.; AMBROSE, S. H.; BASSETT, T. J.; BOWEN, M. L.;

- CRUMMEY, D. E.; ISAACSON, J. S. Meanings of Environmental Terms. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.26, n.3, p.581-589. 1997.
- LAL, R. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 17 (4). 1998. 319-464p.
- MAYER, J. ZIRM, K. L. The management of hazardous substances in the environment. 200p. 1990.
- MORGAN, R. P. C. Soil erosion and its control. 2nd ed. Longman. Nova York. 198p. 1995.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. Ed. Villibor. 240p. 1995.
- NOGUEIRA, J. B.; Mecânica dos Solos: Ensaio de Laboratório. 248p. 2005.
- OLIVEIRA, M. P. P. de. Caracterização geológico-geotécnica e propostas de intervenções para estabilização de taludes na boçoroca do Córrego do Cravo – Nazareno/MG. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 143p. 2015.
- OREA, D. G.; Recuperación de Espacios Degradados. 583p. 2004.
- PEJON, O. J. Mapeamento geotécnico da Folha Piracicaba-SP (escala 1:100.000): Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2v. 1992.
- PESCE, L. R. F. Correlação de atributos físico-hídrico de um cambissolo háplico Tb distrófico sobre processo erosivo na região de Nazareno – MG. Tese de pós-graduação em Agronomia. Universidade Estadual de Londrina – UEL. 60 p., 2009.
- PROJETO MARIA DE BARRO. Recuperação da voçoroca do Córrego do Cravo – Nazareno (MG). Informações e imagens sobre métodos utilizados e evolução dos processos. Disponível em: <http://www.projetoMariadeBarro.org.br/?Pagina=apresenta_noticia&Id=163>. Acesso em: 31 de julho de 2012.

- SÁNCHEZ, L. E.. Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos. Oficina de Texto. 495p. 2008.
- SETZER, J. Pequeno curso de pedologia: notas e aula revistas pelo autor. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Conselho Nacional de Geografia. Rio de Janeiro. 121p. 1960.
- SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O. Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: BITAR, O. Y. Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE). São Paulo. 1995. 31-57p.
- SAMPAIO, L. de F. Estudo Geológico-Geotécnico dos Processos Erosivos e Proposta de Macrodrenagem: Voçoroca do Córrego do Cravo (Nazareno – MG). Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 224. 2014.
- SANTOS, P. de S. Tecnologia de Argilas Aplicada às Argilas Brasileiras. 802p. 1975.
- SANTOS, P. de S. Ciência e Tecnologia de Argilas. 408p. 1989.
- STOCKING, M.S. ELWELL, H.A. Developing a simple yet practical method of soil loss estimation. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 59: 43-47.
- RESENDE, M. Pedologia. Viçosa: UFV, 1982. 100 p.
- ROCHA, E. A. V. Avaliação do processo evolutivo e da dinâmica erosiva: um estudo de caso no município de Ipameri – GO. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Uberlândia – MG. 100p. 2007.
- ROTTA, C. M. S. Estudo da recuperação de áreas degradadas por processos erosivos: procedimentos e eficiência dos métodos. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos (Dissertação de Mestrado). São Carlos. 166p. 2012.
- TAN, K. H. HAJEK, B. F. BARSHAD, I. Thermal Analysis Techniques. *In: Methods of Soil Analysis.* p.151-184. 1986.
- TOLEDO, C. L. B.; Evolução Geológica das Rochas Máficas e Ultramáficas no Greenstone Belt Barbacena, Região de Nazareno, MG. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas (UNICamp). 308p. 2002.

- VILLALAZ, C. C. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. 4ª Edição. 643p. 1990.
- WILLIAMS, J.R. JONES, C.A.DYKE, P.T. The EPIC model. *In: EPIC – Erosion/Productivity Impact Calculator. Model Documentation.* U.S. Department of Agriculture Technical Buletin N° 1768. 235p. 1990.
- WISCHMEIER, W. H. SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537. 1978.
- WHITTIG, L. D. ALLARDICE, W. R. X-ray Diffraction Techniques. *In: Methods of Soil Analysis.* p.151-184. 1986.
- ZUQUETTE, L. V.; GUIMARÃES, V.; PEJON, O.J. Recuperação de Áreas Degradadas. *In: Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão.* v.1. p.589-620. 2013.