



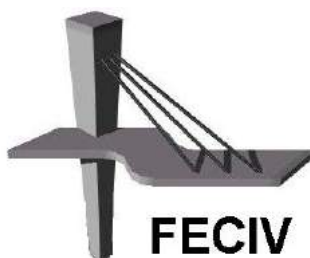
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CARACTERIZAÇÃO COMPORTAMENTAL DAS
FEIÇÕES EROSIVAS NA BACIA DO CÓRREGO
CAMPO ALEGRE COM BASE NOS ESTUDOS
GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO - PERÍMETRO
URBANO DE UBERLÂNDIA – MG**

SARA NUNES GIFFONI

UBERLÂNDIA, 28 DE JANEIRO 2010.



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



Sara Nunes Giffoni

**CARACTERIZAÇÃO COMPORTAMENTAL DAS FEIÇÕES EROSIVAS NA BACIA
DO CÓRREGO CAMPO ALEGRE COM BASE NOS ESTUDOS GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICOS - PERÍMETRO URBANO DE UBERLÂNDIA – MG**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Nishiyama

Uberlândia, 28-01-2010

SARA NUNES GIFFONI

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU , MG, Brasil

- G458c Giffoni, Sara Nunes, 1985-
Caracterização comportamental das feições erosivas na Bacia do
Córrego Campo Alegre com base nos estudos geológico-geotécnicos -
perímetro urbano de Uberlândia -MG [manuscrito] / Sara Nunes Giffoni. -
2010.
138 f. : il.
- Orientador: Luiz Nishiyama.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.
1. Mecânica de rochas - Teses. 2. Geotecnologia ambiental - Teses. 3. Geoprocessamento - Teses. 4. Erosão - Uberlândia - Teses. I. Nishiyama, Luiz. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 624.13



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA Nº: 068/2010

CANDIDATA: Sara Nunes Giffoni

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Nishiyama

TÍTULO: "Caracterização comportamental das feições erosivas na bacia do córrego Campo Alegre com base nos estudos geológicos geotécnicos - perímetro urbano de Uberlândia - MG"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana

LINHA DE PESQUISA: Planejamento e Infraestrutura Urbana

DATA DA DEFESA: 28 de janeiro de 2010

LOCAL: Sala de Apoio I da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 9:00 horas / 10:00 horas

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que a candidata foi:

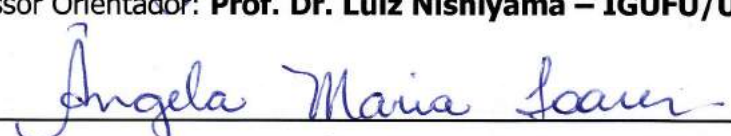
☒ APROVADA

☐ REPROVADA

OBS:

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:


Professor Orientador: **Prof. Dr. Luiz Nishiyama – IGUFU/UFU**


Membro externo: **Prof.ª Dr.ª Ângela Maria Soares - UFTM**


Membro: **Prof. Dr. Joaquim Mario Caleiro Acerbi – FECIV/UFU**

À minha “imouto” Lara, que ela seja uma geógrafa
brilhante e esteja ao meu lado para cuidar e explorar
a natureza.

.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao Professor Luiz Nishiyama pela dedicação em me orientar.

Aos colegas da CCA – Consultoria socioambiental – Gibisson, Isomar e Rita – pela ajuda e principalmente Mário Trento e Arnaldo Zago pela compreensão nessa fase de pesquisa.

Ao técnico do laboratório de geotecnia Veloso pela enorme ajuda na realização dos ensaios.

Ao técnico do laboratório de geologia Paulino pela atenção e ajuda com os ensaios.

À secretária da pós-graduação Sueli pela paciência e conforto sempre.

Aos Professores Adriano Rodrigues, Carlos Faria, José Eduardo Alamy, Vânia Rosolen e em especial ao Professor Joaquim Mário Acerbi pela grande ajuda e dedicação em minha pesquisa.

Às pessoas maravilhosas que me acompanharam e ajudaram incrivelmente nos trabalhos de campo: Arnaldo Zago, Cristiano Carvalho, Laís Barbosa, Lara Giffoni e Pedro Nishida.

Aos amigos especiais que me ajudaram de alguma forma: César Schmidt, Lucas Ferreira, Marcelo Hayashi, Marcelo Barbosa, Felipe Afonso e Fernando Maywald.

À Nathália Assunção de Souza querida amiga e sempre presente durante todo meu mestrado.

À minha mãe Cida e a minha mãe adotiva Beth Meira pela compreensão.

À Iluminação Divina pela “força que anima a vida” por manter minha existência e a firmeza para a realização deste e de todos os projetos de minha vida.

*A felicidade consiste em dar sentido à própria
existência.*

*É como estar no meio das maiores montanhas do
mundo e sentir simplesmente que se está vivendo.*

*Assim é a montanha, leva-me ao fim de minhas
forças, ao êxtase do meu espírito.*

*Penso nunca mais voltar a enfrentá-la e, no entanto,
o tempo passará e sei que lá estarei novamente, pois
a dor é passageira, a emoção eterna. Namastê!*

(Waldemar Niclevicz após a escalada do Everest em 1991)

Quem tem um por que viver encontrará quase
sempre um como.

Nietzsche

GIFFONI, S N. **Caracterização comportamental das feições erosivas na bacia do córrego campo alegre com base nos estudos geológico-geotécnico - perímetro urbano de Uberlândia – MG.** 149 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é caracterizar as feições erosivas no córrego Campo Alegre levantando por meio de ensaios geológicos e geotécnicos os atributos do meio físico e determinando parâmetros geotécnicos juntamente com o uso de geoprocessamento para que seja possível combinar essas análises e chegar ao fator de desenvolvimento e evolução da erosão. Essa pesquisa se justifica pela situação semelhante em vários córregos dentro de Uberlândia, tanto os processos erosivos como a configuração da paisagem. Foram elaborados 4 perfis de solo e em cada um 5 níveis com exceção do perfil 3 com 3 níveis. Dos 4 perfis foram retiradas várias amostras deformadas e indeformadas e realizados ensaios de: Granulometria, Limites de Atterberg, Permeabilidade *in situ*, Adensamento, Cisalhamento e Adsorção de Azul e metileno. Foram elaborados mapas: Hipsométrico, Declividade e levantados através de imagens e fotografias aéreas o limite da erosão para os anos de 1979, 1997, 2004, 2007 e 2009. Os resultados mostraram que o solo é areno-siltoso e de baixa coesão, portanto perde com maior facilidade o solo dos níveis inferiores frente à água do córrego. Os níveis superiores são menos erodíveis e com maior quantidade de matéria orgânica, portanto adquirem uma maior agregação e sedem por falta de suporte carregado. A destinação de galerias pluviais vindas dos bairros na cabeceira do córrego faz que o volume da água no canal seja intensificado pela ação mecânica da água que tem um poder de carregamento muito grande dos materiais utilizados para aterramento da erosão. No médio curso do braço direito o canal do córrego criou um curso meandrante à direita e devido ao solapamento da base pela ação da água teve início um processo de *piping* e colapso, caracterizando este local como o de maior intensidade de processos erosivos. Os blocos continuam caindo depositando mais material para ser carregado na próxima estação chuvosa, e novamente liberar os últimos níveis para serem removidos por *piping*.

Palavras-chave: ensaios geotécnicos, erosão urbana, ocupação de cabeceiras, geoprocessamento.

GIFFONI, S N. **Mannering characterization of erosives features on stream basin of Campo Alegre based on geological-geotechnical studies – urban perimeter of Uberlândia – MG.** Dissertation, Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

ABSTRACT

The meaning of this work is to characterize the erosion feature at Campo Alegre stream, through geological and geotechnical by categorizing essays the physical environment attributes and determining geotechnical parameters and also geoprocessing to be possible match this analysis and get to the factor of development and evolution of erosion. This research is justified by the similar situation at several streams in Uberlândia, both erosive processes as landscape configuration process. Were produced 4 soil profiles and in each 5 soil levels, except profile number 3 with 3 levels. From these 4 profiles, were taken several disturbed and undisturbed samples and made the following essays: Granulometria, Limites de Atterberg, Permeabilidade in situ, adensamento, cisalhamento, erodibilidade and adsorção de azul de metileno. Were prepared hypsometric maps and slope maps, produced based on the topographic map. Results showed that the soil is silty-sand and with low cohesion, therefore loses more easily the soil of lowest levels of the profiles. The higher levels are less erodible and get easily amount cause of organic materials, thus acquire a greater aggregation and yield and lack of bases being transported by the stream. The destination of rain water coming from the neighborhoods in the headwaters of streams, enhances the water volume in the channel by the increasing os mechanical action of water that has a large power on carrying materials used to backfill the erosion. In the medium course of the stream right arm channel has a meandering course to the right and due to the transportation of lowest levels and bases it has started a piping process and collapse on the surface by the lack of support, characterizing this area as the highest intensity of erosion. The blocks keep falling depositing more material to be transported as the next rainy season and again release the latest levels to be removed by pipping.

Keywords: Geotechnical essays, urban erosion, headwater occupations, geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema da erosão nos solos.	18
Figura 2: Localização do Município de Uberlândia.	19
Figura 3 - Relação entre a textura do solo e tamanho dos poros.	25
Figura 4: Processo esquematizado da erosão hídrica.	28
Figura 5: Tipos básicos de vertentes que caracterizam processos erosivos.	31
Figura 6: Salpico do efeito da queda da gota d'água.	34
Figura 7: Esquema do processo de erosão pluvial.	35
Figura 8: Bacia do Córrego Campo Alegre.	48
Figura 9: Vista aérea da voçoroca na cabeceira do córrego Campo Alegre em processo de aterramento com resíduos da construção civil. Atentar para a ocupação urbana na porção superior da bacia.	52
Figura 10: Detalhe do aterramento da voçoroca na porção de cabeceira do córrego Campo Alegre.	53
Figura 11: Reativação da erosão (voçoroca) no ano de 1998 com destruição parcial da galeria pluvial.	53
Figura 12: material arrastado (resíduos) pela força da correnteza durante a reativação da erosão na cabeceira do córrego, atualmente exposto nas margens em razão do aprofundamento do leito fluvial.	54
Figura 13: Segundo ponto de lançamento de água pluvial com evolução da feição erosiva. ..	55
Figura 14: Segundo ponto de lançamento de águas pluviais. Atentar para a extensão da feição erosiva decorridos 4 anos após o seu início.	55
Figura 15: Resíduos carreados para jusante.	56
Figura 16: Galeria de lançamento pluvial a partir de onde evolui a feição erosiva.	56
Figura 17: Detalhe da canalização Pluvial sobre a área erodida.	57
Figura 18: Segundo local de lançamento de galeria pluvial aterrado em 2004.	57
Figura 19: Visão da área mais ativa da erosão em outubro de 2008.	58
Figura 20: Visão da área mais ativa da erosão em outubro de 2009.	58
Figura 21: Fotografia da Nascente do córrego Campo Alegre.	59
Figura 22: Resíduos acumulados no talvegue constituindo um banco métrico de assoreamento.	60
Figura 23: Ruptura de talude com formação de blocos poliédrico de solo.	60
Figura 24: Os blocos de solo que se desprendem após a ruptura do talude e se acumulam na sua base.	61
Figura 25: Árvores se inclinam em razão do movimento do terreno no sentido do talude de erosão.	61
Figura 26: Extinção da palmeira buriti por falta de umidade ou queda de talude.	62
Figura 27: Coloração dos cupins mostra limite entre o solo hidromórfico e não hidromórfico.	62
Figura 28: Perfil mostrando os níveis de diferentes materiais constituintes do solo.	63
Figura 29: Aspecto da porção de cabeceira da erosão do córrego Campo Alegre logo após o assoreamento do canal fluvial, seguiu-se o alargamento deste.	63

Figura 30: Aspecto da cabeceira do córrego Campo Alegre. Atentar para a erosão presente na área.....	66
Figura 31: Ponto de coleta de amostra em um dos taludes de erosão.	67
Figura 32: Fixação de estacas na borda da erosão.....	68
Figura 33: Levantamento com GPS geodésico no trecho de maior velocidade de erosão.....	69
Figura 34: Amostragem de solo para obtenção da amostra indeformada.....	69
Figura 35: Ensaios de permeabilidade com permeâmetro de Guelph.	70
Figura 36: Amostragem indeformada de solo em cilindro.....	70
Figura 37: Peneiramento Grosso no ensaio de granulometria.....	73
Figura 38: Modelagem de cilindros no ensaio de Limites de Atterberg.	74
Figura 39: Ensaio de Cisalhamento.....	75
Figura 40: Ensaio de Adensamento.....	75
Figura 41: Esquema do aparelho de adsorção de água.....	76
Figura 42: Ensaio de Erodibilidade. Perda por imersão.....	77
Figura 43: Permeâmetro de Guelph. Ensaio de Permeabilidade.....	82
Figura 44: Mapa de Distribuição dos pontos de ensaio de permeabilidade.....	83
Figura 45: Mapa de locação das áreas de amostragem e perfil do solo.....	86
Figura 46: Mapa topográfico do córrego Campo Alegre.....	87
Figura 48: Perfil de solo 1.....	91
Figura 49: Foto do perfil 1. Atentar para a variação da coloração e da textura e a presença de uma camada orgânica no topo do perfil.....	93
Figura 50: Perfil de solo 2.....	94
Figura 51: Foto do perfil 2.....	96
Figura 52: Perfil de solo 3.....	97
Figura 53: Foto do perfil 3.....	99
Figura 54: Perfil de solo 4.....	100
Figura 55: Foto do Perfil 4.....	102
Figura 56: Canal assoreado.....	104
Figura 57: Visão geral da feição erosiva.....	107
Figura 58: Queda de blocos por falta do suporte carregado.....	116
Figura 59: Vista do perfil 4 onde ocorre o piping.....	116
Figura 60: Canal aberto pelo piping na altura do nível P4N4.....	117
Figura 61: Colapso na estação chuvosa.....	118
Figura 62: Colapso na estação seca.....	118
Figura 63: Nomograma proposto por Lautrin (1987) apud Pejon (1992).....	121
Figura 64: Diagrama da atividade das argilas pelo método do azul de metileno.....	121
Figura 65: Mapa de declividade do córrego Campo Alegre.....	127
Figura 66: Mapa Hipsométrico do córrego Campo Alegre.....	129
Figura 67: Banco de materiais carregados.....	130
Figura 68: Mapa de análise temporal da feição erosiva – 1997 – 2004.....	132
Figura 69: Mapa de análise temporal da feição erosiva 2004 – 2007.....	133
Figura 70: Mapa de análise temporal da feição erosiva 2007 – 2009.....	134
Figura 71: Carta-imagem: Evolução temporal da feição erosiva do córrego Campo Alegre.....	135

LISTA DE TABELAS E QUADROS

TABELA 1 - Caracterização do Perfil 1.....	92
TABELA 2 - Caracterização do Perfil 2.....	95
TABELA 3 - Caracterização do Perfil 3.....	98
TABELA 4 - Caracterização do Perfil 4.....	101
TABELA 5 - Resultados da determinação da massa específica dos sólidos	103
TABELA 6 - Parâmetros obtidos no ensaio de adensamento	109
TABELA 7 - Resultados do ensaio de cisalhamento.....	113
TABELA 8 - Resultados do ensaio de erodibilidade.....	114
TABELA 9 - Resultados dos Ensaios de adsorção de azul de metileno	119
TABELA 10 - Resultados do ensaio de permeabilidade.....	123
TABELA 11 - Parâmetros Geotécnicos - Resultados gerais dos ensaios realizados	124
QUADRO 1 - Modelo de Ficha para descrição de perfis	71
QUADRO 2 - Classificação de declividade e categorias de relevo	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Índice de vazios por tensão efetiva aplicada da amostra P4N3 inundada.....	107
Gráfico 2: Gráfico do índice de vazios por tensão efetiva aplicada da amostra P4N3 inundada.....	108
Gráfico 3: Índice de vazios pela tensão efetiva aplicada da amostra P4N5 inundada.....	108
Gráfico 4: Envoltória de resistência da amostra P4N3 natural.....	110
Gráfico 5: Envoltória de resistência da amostra P4N3 inundada.....	111
Gráfico 6: Envoltória de resistência da amostra P4N4 natural.....	111
Gráfico 7: Envoltória de resistência da amostra P4N4 inundada.....	112
Gráfico 8: Envoltória de resistência da amostra P4N5 natural.....	112
Gráfico 9: Envoltória de resistência da amostra P4N5 inundado.	113

LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

ABREVIATURAS

IP – Índice de Plasticidade
CTC – Capacidade de troca catiônica
SE – Superfície Específica
SIG – Sistema de Informações Geográficas
FPA – Frente Polar Antártica
MP – Massa Polar
ZCAS - Zonas de Convergência do Atlântico Sul
LVAw - Latossolo Vermelho-Amarelo
LVd - Latossolo Vermelho
Gxbe - Gleissolo
PVAe - Argissolo Vermelho-Amarelo
CXd1 - Cambissolo
GPS – Global positioning system
VB – valor de azul de metileno
Acb – atividade da argila

SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
USDA – Departamento de Agricultura Norte americano
USLE - Universal Soil Loss Equation
MUSLE – Modified Universal Soil Loss Equation
SUC - Sistema Unificado de Classificação
HRB – Sistema Rodoviário de Classificação
SEPLAMA – Secretaria de planejamento e meio ambiente
DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto.
UFU – Universidade Federal de Uberlândia
PMU – Prefeitura Municipal de Uberlândia

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLOS

σ - Tensão Normal

(τ) - Tensão Cisalhante

ε - Deformação cisalhante específica

ϕ - ângulo de atrito interno

C - coesão

K – coeficiente de permeabilidade

W- Umidade

γ_s - Massa específica dos sólidos

σ_p - Tensão de pré adensamento

Cc' - Índice de compressão

Cs - Índice de Expansão

ϕ_m - fluxo devido ao potencial matricial do solo

(ψ) - potencial matricial

K (ψ) - condutividade hidráulica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos	20
1.1.1 – Objetivo Geral	20
1.1.2 - Objetivos Específicos	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 Solo e Erosão	23
2.2 Fatores de influência e evolução nos processos erosivos:	30
2.3 Drenagem Urbana / Erosões Urbanas	36
2.3.1 Causas e Efeitos	37
2.4 Ensaios Geotécnicos.....	38
2.5 Mapeamento Geotécnico.....	43
2.6 Geoprocessamento	44
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	47
3.1 Localização / Acesso.....	47
3.2 Hidrografia	47
3.3 Vegetação.....	49
3.4 Clima	49
3.5 Geomorfologia	50
3.6 Geologia e materiais inconsolidados.....	50
3.7 Histórico da evolução da feição erosiva do Córrego Campo Alegre	52
3.8 Aspectos ambientais atuais da área estudada	59
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	65
4.1 Levantamento de dados.....	65
4.2 Trabalhos de Campo	65
4.3 Perfis do solo.....	71
4.4 Ensaios Geotécnicos.....	73
4.4.1 Massa específica dos sólidos	73
4.4.2 Granulometria por peneiramento e sedimentação	73
4.4.3 Limites de Atterberg.....	74
4.4.4 Ensaio de Cisalhamento Direto	74
4.4.5 Ensaio de Adensamento.....	75
4.4.6 Ensaio de Erodibilidade.....	76
4.4.7 Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno.....	77
4.5 Ensaios de Permeabilidade in situ.....	80
4.6 Documentos Cartográficos.....	84
4.6.1 Locação das áreas de amostragem e perfil do solo.....	84
4.6.2 Mapa topográfico.....	84
4.6.3 Mapa de declividade	84

4.6.4 Mapa Hipsométrico	88
4.6.5 Mapas: Análise Temporal da Feição Erosiva	88
4.6.6 Mapa: Evolução Temporal da Feição Erosiva do Córrego Campo Alegre ..	88
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	90
5.1 Perfis do solo	90
5.2 Ensaio Geotécnicos e de Caracterização	103
5.2.1 Massa Específica dos Sólidos	103
5.2.2 Granulometria	105
5.2.3 Limites de Atterberg	105
5.2.4 Adensamento	107
5.2.5 Cisalhamento Direto	109
5.2.6 Erodibilidade	114
5.2.7 Adsorção de Azul de Metileno (talvez levar para antes de cisalhamento e adensamento)	119
5.2.8 Permeabilidade <i>in situ</i>	122
5.3 Documentos Cartográficos	125
5.3.1 Mapa de declividade	125
5.3.2 Mapa Hipsométrico	128
5.3.3 Mapa: Análise Temporal da Feição Erosiva	130
5.3.4 Carta-imagem: Evolução Temporal da Feição Erosiva do Córrego Campo Alegre	131
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	136
7. REFERÊNCIAS	139

1. INTRODUÇÃO

As cidades são os locais onde se concentram a maior parte da população mundial, portanto elas deveriam primar pela melhor qualidade de vida de seus cidadãos. Porém, é comum que se observe o contrário. A ocupação urbana tem modificado substancialmente o ciclo natural do ambiente e, principalmente, o meio físico. Desse modo, desastres envolvendo os componentes do meio físico em decorrência da ação antrópica ocorrem com grande frequência nas cidades. Na maioria das vezes, os acidentes do meio físico estão associados à falta de planejamento no processo de uso e ocupação e se manifestam com efeitos danosos ao homem e ao meio ambiente.

Uma das principais escalas de zoneamento e compartimentação mais importantes do meio físico são as bacias de drenagem. Elas sofrem alterações físicas, químicas e biológicas resultantes de sua ocupação, principalmente em áreas urbanas. De acordo com Guerra (2005, p. 64)

Não podemos pensar numa bacia hidrográfica levando-se em conta apenas os processos que ocorrem nos leitos dos rios, porque grande parte dos sedimentos que eles transportam é oriunda de áreas situadas mais à montante, vindo das encostas. Qualquer alteração ou processos que ocorram na área de uma bacia hidrográfica poderão ser delimitados no interior da mesma (GUERRA, 2005, p. 64).

Dentre os problemas de maior gravidade nas áreas urbanas estão as feições erosivas aceleradas, que se desenvolvem, na maioria das vezes, em decorrência do aumento do escoamento superficial via redução da infiltração das águas pluviais. Todo o fluxo superficial assim gerado é direcionado para os canais fluviais que recebem um volume de água muito maior do que a sua capacidade natural de drenagem. Nessa perspectiva, os processos erosivos passam a dominar tal ambiente como efeito da força das águas.

A erosão do solo pode ser dividida em normal e acelerada. A primeira pode ser definida como a erosão que ocorre na superfície terrestre, refletindo uma condição natural de equilíbrio ou como parte do ciclo geológico (denudação). A segunda representa o resultado da quebra deste estado de equilíbrio, causado pelo aumento significativo da remoção dos materiais geológicos podendo ser natural ou antrópica (BENNETT, 1939 *apud* FERREIRA, 2004 p.4).

Diante disso, é extremamente importante que as formas de ocupação próxima de canais fluviais levem em consideração a dinâmica hídrica do escoamento superficial, pois sem isso elas acabam gerando alguma repercussão negativa, decorrente da instabilização do canal

fluvial e da bacia como um todo. A intensificação da ocupação urbana requer estudos que visem a caracterização da dinâmica das bacias hidrográficas, especialmente aquela relacionada aos processos erosivos. Para tanto, compreender o comportamento dos materiais inconsolidados e as características físicas da bacia hidrográfica é fundamental para entender a gênese e a evolução das feições erosivas, como mostra a figura 1.

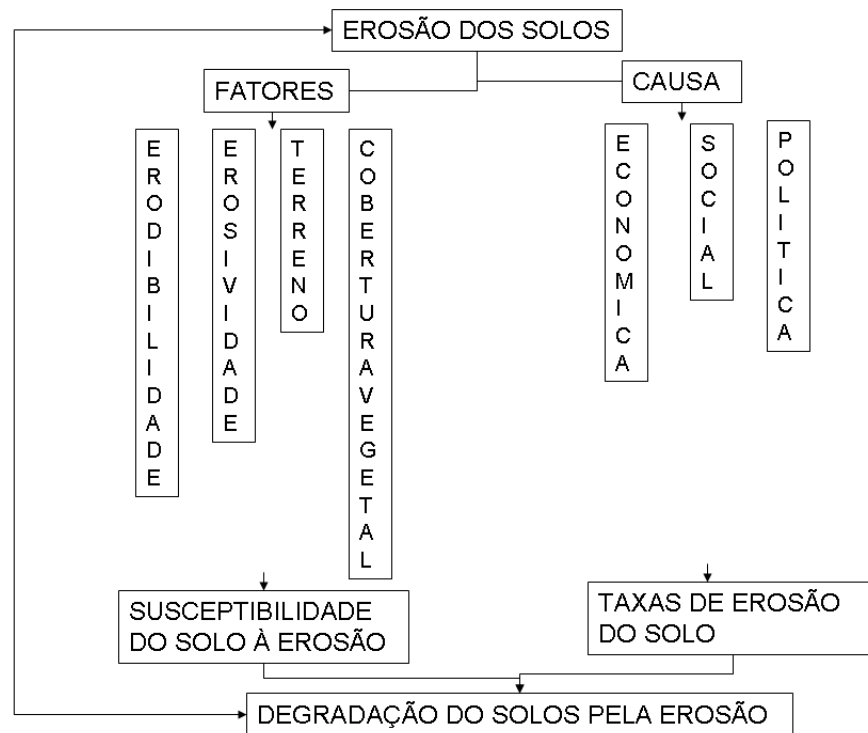


Figura 1: Esquema da erosão nos solos.
Fonte: LAL, 2001 *apud* FERREIRA, M., 2004, p. 5

Segundo Ridente e Almeida Filho (1998) *apud* Ferreira (2004 p.5) na origem, a erosão urbana está associada à falta de planejamento adequado, que considere as particularidades do meio físico, as condições socioeconômicas e as tendências de desenvolvimento da área urbana. Em decorrência disto as áreas construídas, ampliadas e pavimentadas aumentam o volume e a velocidade das enxurradas e não sendo estas dissipadas concentram os escoamentos, acelerando os processos de desenvolvimento de ravinas e voçorocas.

Ainda segundo Ridente (2001) *apud* Ferreira (2004 p.5), o grande prejuízo atual associado à erosão em áreas urbanas é de caráter social e econômico, pois a deflagração ou evolução deste leva à destruição de moradias e equipamentos públicos como ruas, sistemas de esgoto, redes elétricas, sistemas de drenagem, além de levar à perda de vidas humanas.

O município de Uberlândia pode ser considerado um polarizador regional no Triângulo Mineiro e o centro econômico influenciador do Centro-Oeste e Sudeste que desenvolveu sua economia, sobretudo no setor agropecuário. De acordo com a Prefeitura Municipal, Uberlândia é caracterizada como pólo moveleiro, região centralizadora do cerrado e maior centro atacadista-distribuidor da América Latina.

Uberlândia encontra-se localizada entre as coordenadas 18° 30' e 19° 30' de latitude Sul e 47° 50' e 48° 50' de longitude oeste de Greenwich, na mesorregião do Triângulo, Estado de Minas Gerais (figura 2). A área total do município é de 4.115,09 Km², sendo 3.896,09 km² correspondente à zona rural e 219 Km² à zona urbana. Sua altitude varia entre 650 e 900 metros, com média de 863 metros. (PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA).

A área urbana de Uberlândia é cortada por um rio principal – rio Uberabinha – e 23 afluentes. De acordo com Baccaro e Carrijo (2000, p.3) “Na zona urbana, o Rio Uberabinha possui como afluentes os seguintes córregos: Cajubá, São Pedro, das Tabocas, do Óleo, Jataí, Lagoinha, Salto, Guariba, Lobo, Moji, Cavalo, Vinhedo e Buritizinho.”

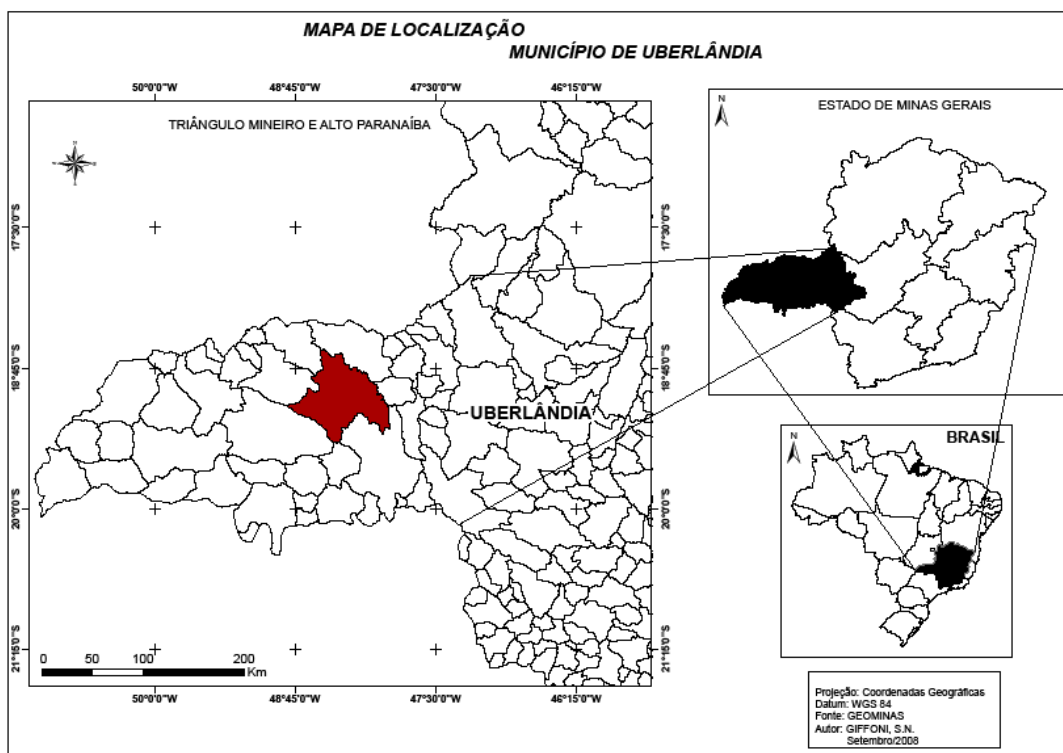


Figura 2: Localização do Município de Uberlândia.

Em vários desses afluentes já foram diagnosticadas feições erosivas que vão desde sulcos a voçorocas.

A área de estudo compreende a bacia do córrego Campo Alegre e se localiza no perímetro urbano de Uberlândia, no setor sul da cidade, entre as coordenadas 790400 E e 7900000 N, tendo parte da sua área ocupada por 3 bairros residenciais, a saber: Jardim Aurora, Parque São Gabriel e Residencial Campo Alegre.

1.1 Objetivos

1.1.1 – Objetivo Geral

A pesquisa desenvolvida como dissertação de mestrado teve como objetivo principal, caracterizar a evolução da feição erosiva acelerada presente na porção de cabeceira do Córrego Campo Alegre a partir da avaliação das características geológico-geotécnicas e por meio de ferramentas de geoprocessamento, de modo que seja possível elaborar um modelo conceitual de feições erosivas para a área urbana de Uberlândia com base nos estudos realizados no córrego Campo Alegre.

1.1.2 - Objetivos Específicos

 Levantar os atributos do meio físico e parâmetros geológico – geotécnico do meio físico da bacia, fundamentais para o estudo do desenvolvimento da erosão acelerada;

 Analisar o comportamento mecânico do solo através de ensaios geotécnicos, e com a ajuda de geoprocessamento combinar essas análises.

1.2 Justificativa

O rápido crescimento populacional verificado na cidade de Uberlândia nas últimas 3 décadas implicou em um acelerado crescimento de sua malha urbana. A implantação de novos bairros residenciais – alguns deles com estrutura urbana precária – de maneira desordenada e sem levar em consideração as limitações do meio físico tem resultado em uma série de problemas econômicos e ambientais que envolvem, principalmente, o meio físico.

Todos os anos, especialmente no verão quando incidem as precipitações de maior intensidade, são comuns ocorrências de episódios de enchentes, erosões, escoamentos superficiais (*runoff*) devido a todas as interferências e sobrecargas nas bacias urbanas de Uberlândia. Em algumas situações é formado um cenário catastrófico, com perdas econômicas, materiais e de vidas humanas.

Um dos problemas mais graves vivenciados na área urbana de Uberlândia é a erosão acelerada decorrente do aumento do volume das águas de escoamento superficial provenientes das áreas impermeabilizadas. Estas águas normalmente são lançadas nos cursos d'água, muitas vezes em quantidade superior à sua capacidade natural de drenagem. Aprofundamentos e alargamentos dos canais pela erosão são situações comumente observadas em vários córregos urbanos.

A situação de maior gravidade pode ser observada na porção de cabeceira do córrego Campo Alegre, onde uma imensa feição erosiva sob a forma de voçoroca evoluiu em razão da descarga de água pluvial oriunda dos bairros residenciais que ocupam parte de sua bacia. Outras bacias existentes na área urbana de Uberlândia apresentam situações semelhantes à do córrego Campo Alegre, sobretudo no que diz respeito ao formato, altitude, aspectos geológicos e geotécnicos. A compreensão dos processos geodinâmicos atuantes e o conhecimento dos tipos materiais inconsolidados ali presentes, bem como da morfologia, da morfometria da bacia e da ação antrópica, são fundamentais para o entendimento da evolução de voçorocas junto aos córregos urbanos de Uberlândia.

Uma vez conhecidos e avaliados os fatores que levaram ao desencadeamento da feição erosiva, será possível caracterizar córregos e suas respectivas bacias que apresentam situações semelhantes e que poderão desenvolver, quando ocupados, feições erosivas de proporções semelhantes.

Justifica-se, por esse motivo, a importância da pesquisa que de posse de seus resultados, o poder público local – a quem cabe planejar e tomar as decisões que melhor atendam ao bem estar e qualidade de vida de toda a população – possa buscar uma forma de ocupação ordenada que considere as limitações do meio físico.

A escolha do córrego Campo Alegre deveu-se à presença de uma voçoroca em franca evolução, pela semelhança morfológica de sua bacia com as demais bacias urbanas de Uberlândia, pela facilidade de acesso ao seu interior para se caracterizar os materiais ali expostos e pelos processos geodinâmicos atuantes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Solo e Erosão

Os solos caracterizam-se como um corpo heterogêneo e anisotrópico. Isto se dá em razão de sua origem pelo intemperismo de diferentes tipos de rochas que foram submetidos à interação de diferentes processos físicos, químicos e biológicos e em distintas condições climáticas e de duração do tempo.

O solo pode apresentar conceitos distintos para diferentes áreas do conhecimento, geralmente tais conceitos são empregados de acordo com o uso de cada atividade/área, conforme observado a seguir:

 Agronomia – porção que vai da superfície do terreno até onde as raízes das plantas alcançam;

 Pedologia – é a porção superficial da terra que engloba os diferentes horizontes diagnósticos (identificados a partir de suas características físicas, químicas e morfológicas), inclusive a rocha em vias de decomposição;

 Geologia – produto da alteração *in situ* da rocha ou resultantes de algum processo de transporte e que recobre as rochas. Nos mapas geológicos produzidos no Brasil os solos não são representados.

 Engenharia civil – todo material passível de escavação por meio de processos convencionais (sem uso de explosivos) e suporte para a maioria das obras de engenharia (fundação).

Segundo a ABNT – NBR 6502/1995, “Solo é um material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não conter matéria orgânica.”

Para Lepsch (2002, p.36), “Os horizontes do solo são constituídos de quatro componentes principais: partículas minerais, materiais orgânicos, água e ar, os quais normalmente estão tão misturados que sua separação só pode ser feita em laboratório.”

Conforme Pinto (2002) os solos são constituídos por um conjunto de partículas com água (ou outro líquido por influência antrópica) e ar nos espaços intermediários. As partículas, de maneira geral, encontram-se livres para deslocar entre si. O comportamento do solo depende do movimento das partículas sólidas.

Os solos são corpos naturais da superfície terrestre que ocupam áreas e expressam características (cor, textura, estrutura, etc.) da ação combinada dos fatores, associados aos mecanismos e processos de formação do solo. As diferenças entre as várias condições naturais determinam as características individuais de cada tipo de solo. A quantidade e a intensidade de chuva, radiação solar, temperatura, umidade declividade do terreno, comunidades de plantas que nele se desenvolvem, afetam a natureza do solo em cada local. O solo como entidade natural independente, pode possuir características herdadas do material originário e/ou características adquiridas, cujas relações variam com o tempo (PALMIERI; LARACH, 1996 *apud* SILVA, 2007).

Para Leinz e Amaral (1995) *apud* Rodrigues (2007) os fatores de formação do solo, comumente denominados de intemperismo, incluem as forças físicas que resultam na desintegração ou desagregação das rochas, as reações químicas que alteram a composição das mesmas, e as forças biológicas que intensificam a ação das duas anteriores.

De acordo com Pinto (2002) a decomposição das rochas através de agentes químicos e físicos origina os solos. Nesse contexto, a variação de temperatura provoca trincas pelas quais a água penetra e ataca quimicamente os minerais. O congelamento da água nas trincas, entre outros fatores, exerce elevadas tensões e estimula uma maior fragmentação dos blocos. A presença da fauna e flora promove o ataque químico, através de hidratação, hidrólise, oxidação, lixiviação, troca de cátions e carbonatação.

O conjunto desses processos, que são muito mais atuantes em climas quentes do que em climas frios, leva à formação dos solos, que em consequência, são misturas de partículas pequenas que se diferenciam pelo tamanho e pela composição química.

Conforme Lepsch (2002, p. 37), as partículas minerais do solo podem ser classificadas quanto a seu tamanho, origem e composição. Em relação à origem, existem dois tipos:

- 🌳 Os remanescentes da rocha que deu origem ao solo;
- 🌳 Os produtos secundários, decompostos e/ou recompostos depois da intemperização dos minerais da rocha mãe.

Os primeiros são denominados minerais primários ou minerais originais, enquanto os segundos são conhecidos como minerais secundários ou pedogênicos.

Os minerais do solo também podem ser classificados em argila, silte e areia, conforme a dimensão de suas partículas. A proporção desses componentes pode ser precisamente determinada no laboratório pela análise granulométrica. A figura 3 expressa a dimensão com que cada uma dessas partículas se encontra no solo.

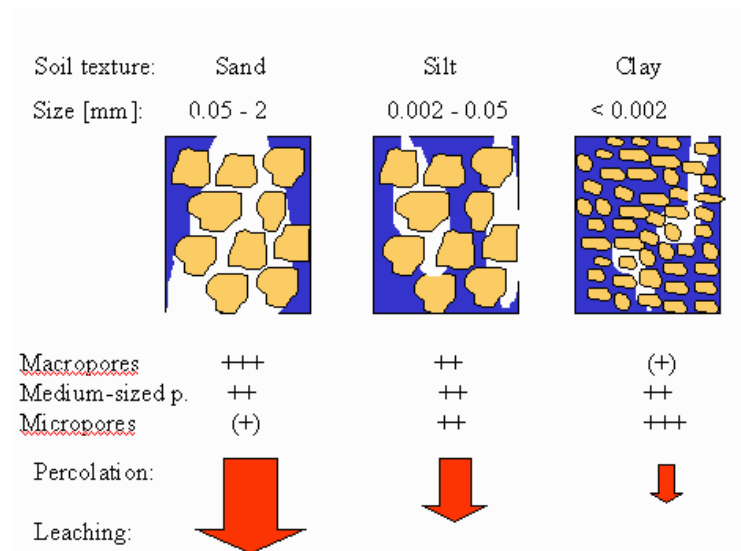


Figura 3 - Relação entre a textura do solo e tamanho dos poros.
Fonte: Department of Soil Science, University of Wisconsin.

Com as atividades humanas intensas e sem planejamento o solo foi se tornando desprovido de vegetação, e isto o deixa exposto a uma série de fatores que tendem a depauperá-lo ou erodi-lo. A velocidade com que esse processo ocorre varia com suas características, com o tipo e clima e como aspectos da topografia.

As Principais propriedades do solo que determinam sua erodibilidade, resistência em ser erodido e transportado, são: textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e pH. A textura ou teores granulométricos dos solos (areia, silte e argila) relacionam-se com a erosão pela

facilidade de alguns grãos serem removidos mais facilmente em relação a outros. O teor de matéria orgânica do solo correlaciona-se na ordem inversa com a erodibilidade, tendo importante papel na agregação das partículas, conferindo-lhes maior estabilidade. A alta estabilidade dos agregados permite maior infiltração, pelo elevado índice de porosidade, diminuindo o escoamento superficial, possibilitando maior resistência do solo ao impacto das gotas de chuva (GUERRA e CUNHA, 1966).

O conceito de feições erosivas aceleradas do tipo voçoroca pode variar de autor para autor e nos países de diferentes línguas. A palavra erosão refere-se à *erodere* (latim – verbo) que, significa corroer, desgastar. Esse termo tem sido conceituado e discutido por inúmeros autores, com diversos enfoques ao longo de várias décadas, em muitos países.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - NBR 6502-1995 erosão significa “remoção de partículas da crosta terrestre, causada por um ou vários fatores de natureza física, química ou biológica, responsável pelo modelado do relevo terrestre”.

Para Rodrigues (1982), o termo voçoroca deriva do tupi-guarani *ibi-çoroc*, que corresponde a terra rasgada ou rasgão no solo. Dependendo da região onde ocorre, atribuem-se outros nomes para o mesmo processo erosivo, tais como: voçoroca, buracão, grota, grotão, desbarrancado, botoroca, soroca, cavão, barroca (Portugal), lavaka (República Malgaxe), donga (África do Sul) e “*gully erosion*” (países da língua inglesa).

Tucci, *et al.* (1995, p. 349) conceitua erosão como “[...] o processo de carreamento dos solos. Os agentes podem ser a água, os ventos ou outros. Em geral os principais processos erosivos, nos centros urbanos são causados pelas águas.”

A erosão faz parte da dinâmica da natureza, porém com a intervenção humana, grandes modificações são percebidas.

Esses processos são agravados pela ação humana, através da alteração das características das condições naturais, seja pelo desmatamento, remoção de encostas, aumento das áreas impermeabilizadas, ou criação de caminhos preferenciais pela construção de vias (TUCCI, *et al.*, 1995 p. 349).

A primeira pessoa a pensar e escrever sobre uma feição erosiva foi Burton em 1868, falando a respeito das erosões subterrâneas e apresentando um rápido estudo sobre a distribuição, gênese, morfologia e classificação das voçorocas.

Hartt (1868 *apud* RODRIGUES, 1982, p.5) destaca que “A erosão acelerada é equacionada como sendo resultante da ação das águas superficiais, eventualmente auxiliadas pela atuação das fontes”.

Já fazendo ênfase ao ser humano como fator de influência, Monbeig (1949, *apud* RODRIGUES, 1982) ressalta que a interferência do homem, a permeabilidade do solo e o clima são os fatores mais recentes para explicar o fenômeno erosivo.

Segundo Lepsch (2002 p.151), as erosões podem ser:

- 🌳 Naturais ou geológicas: que se desenvolvem em condições de equilíbrio com a formação do solo.
- 🌳 Acelerada ou antrópica: cuja intensidade, por ser superior à da formação do solo, não permite sua recuperação natural.

Sintetizando o processo mecânico, as erosões são desencadeadas pelo impacto das gotas da chuva na superfície do solo. Esse impacto promove a desagregação das partículas do terreno, transportando-as através do escoamento superficial.

A forma mais comum de erosão é a perda da camada superficial do solo pela ação da água e/ou vento. O escoamento superficial da água carrega a camada superior do solo; isso ocorre sob a maioria das condições físicas e climáticas. O deslocamento de partículas da camada superior pela ação do vento é mais comum em climas árido e semi-árido do que sob as condições mais úmidas. A perda da camada de solo, seja pela ação da água ou do vento, reduz a fertilidade pelas seguintes razões:

- 🌳 Conforme o solo se torna mais denso e fino, fica menos penetrável as raízes e pode se tornar superficial demais a elas;
- 🌳 Reduz a capacidade do solo de reter água e torná-la disponível as plantas;
- 🌳 Os nutrientes para as plantas são levados com as partículas de solos erodidas.

No Brasil, a erosão hídrica é a mais importante e se processa em duas fases distintas: desagregação e transporte. A desagregação é ocasionada tanto pelo impacto direto ao solo das gotas da chuva como pelas águas que escorrem na sua superfície. Nos dois casos a forma de energia é intensa e desagrega e arrasta o solo. Ela é chamada de energia cinética ou do movimento e varia conforme o peso (massa) do que está se movendo (água e/ou partículas do solo) e ao quadrado de sua velocidade (LEPSCH, 2002, p.155).

As gotas da chuva atingem a superfície com uma velocidade entre 5 a 15 Km/h, enquanto a água das enxurradas tem velocidade bem menor usualmente não maior de 1Km/h. O primeiro passo para a erosão é, portanto, o impacto direto das gotas de chuva o que provoca forte desagregação das partículas de solo desprovido de vegetação. [...] Grande quantidade de solo pode ser removida desde que suas partículas estejam desagregadas e suspensas nas águas das enxurradas, por que isto as torna susceptível de serem transportadas. A facilidade com que uma partícula é transportada depende de seu tamanho: a argila, silte e a matéria orgânica são as mais facilmente carregadas pelas águas devido ao pequeno peso e dimensão de suas partículas. (LEPSCH, 2002, p.155).

Para Guerra, Silva e Botelho (1999), a enxurrada é formada no momento em que a água originada da chuva chega a escorrer sobre a superfície. Ela pode desgastar o solo de formas diversas dependendo da maior ou menor suscetibilidade à erosão do solo em que escoa. Nesse contexto, é possível que se desenvolva três tipos principais de erosão hídrica: superficial ou laminar; em sulcos; e em voçorocas ou ravinas, conforme ilustrado na figura 4.

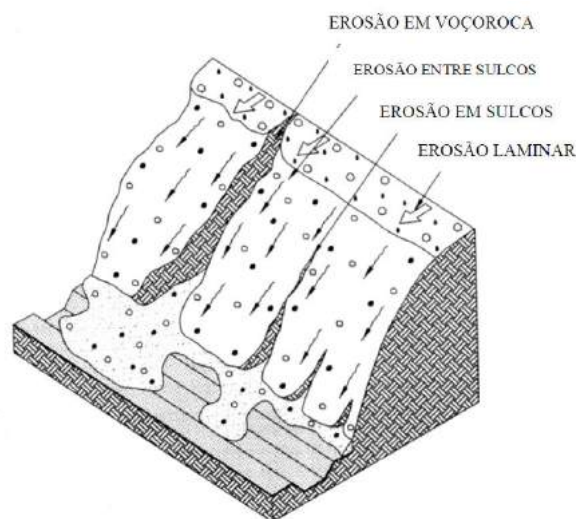


Figura 4: Processo esquematizado da erosão hídrica.
Fonte: LOPIS, TRILLO, 1999, *apud* GOMES, 2001.

Erosão Laminar, ou lavagem superficial é a uniforme remoção de uma fina camada superior de todo o terreno. Ao atingirem a superfície do solo descoberto as gotas de chuva rompem os

agregados, reduzindo-os a partículas menores, passíveis de serem arrastadas pela força da enxurrada.

Erosão em Sulcos decorre da irregularidade na superfície do solo devido à concentração da enxurrada em determinados locais. Em algumas encostas, a água corre por pequenos sulcos e converge para outros mais acentuados; ano após ano estes vão se ampliando e formando grandes cavidades ramificadas.

Ravinas são pequenos sulcos que ainda estão em tempo de serem corrigidos; já as voçorocas são canais mais profundos que podem ser cortadas por fluxos de água maiores e difíceis ou impossíveis de serem corrigidas.

De acordo com Araujo, *et al.* (2005), os riscos de erosão dependem tanto das condições naturais como dos modelos de uso da terra. O clima (especialmente a intensidade da chuva, as características das encostas, a cobertura vegetal e a natureza do solo também são importantes. Com respeito ao uso da terra, qualquer atividade humana que exija a remoção da cobertura vegetal protetora (florestas, arbustos, forragens, etc.) promove a erosão, o mesmo ocorrendo com medidas impróprias como arar morro acima.

No princípio dos anos 60, o Departamento de Agricultura Norte - Americano (USDA) desenvolveu uma equação semi-empírica conhecida como Equação Universal de Perdas de Solo (USLE – *Universal Soil Loss Equation*). A USLE leva em consideração todos os fatores conhecidos que afetam a erosão pluvial: clima, solo, topografia e cobertura vegetal. A equação é baseada na análise estatística da erosão mensurada no campo, em uma classificação de parcelas de experimentação sob chuva natural e simulada. Com parâmetros mais aprimorados ainda foi desenvolvida a MUSLE sendo que para essa equação a quantidade de fatores requeridos são maiores.

Segundo Tucci (1995, p. 350) para avaliar o processo erosivo, é necessário conhecer as características do local, tais como o tipo de solo, a declividade do terreno, as condições de uso do solo e as características de cobrimento da superfície, assim como a área de drenagem e as características das chuvas.

2.2 Fatores de influência e evolução nos processos erosivos:

De acordo com Araujo, *et al.* (2005) os fatores estimulam os processos erosivos são extremamente interdependentes e constituem um conjunto de atributos que mantém um equilíbrio dinâmico no meio, ou seja, alterando-se um desses aspectos todo o restante tende a se modificar procurando um novo estágio de equilíbrio. Para esse autor, “Quando ocorre um processo erosivo, um ou mais desses fatores foram alterados, ou removidos ou intensificados e geralmente nossas análises visuais e imediatistas não percebem a modificação tão intensa que ocorre nesse sistema.” (ARAÚJO, *et al.*, 2005, p.83)

Clima

Vários fatores na questão climática como: distribuição, volume, intensidade, duração e frequência das precipitações, além da variação da temperatura. É importante que estes elementos sejam analisados, principalmente em regiões tropicais, pois influenciam diretamente nos processos erosivos, tanto desnudando o terreno como alterando o comportamento do lençol freático. (RODRIGUES, 2002)

Os processos erosivos são mais expressivos durante o período chuvoso, assim como aqueles em que a intensidade da água é aumentada, pois após chegar ao índice máximo de saturação do solo, a água escorre por sobre a superfície carreando os materiais mais leves e menores, como é o caso do processo erosivo em questão.

A variação de temperatura provoca no solo alterações que favorecem as erosões como ressecamento, diminuição da coesão, desagregação nos meses frios e secos, preparando o ambiente para se degradar nos meses quentes e chuvosos com a volta das chuvas (FERREIRA, 2004 p. 4).

Relevo/Geologia

Segundo Castelo (1986), como interferência na topografia, a declividade é o fator mais determinante para o aparecimento de erosões, tendo em vista que quanto maior o grau de inclinação do terreno, mais intensificado será o escoamento superficial, o qual acelera os processos erosivos. Além do grau de inclinação, a forma e extensão também são contribuintes. A forma da encosta influi na geometria das erosões, podendo esta ser côncava

ou convexa e a extensão oferece maior tempo de percurso onde o escoamento tem mais facilidade de se concentrar.

Para Lepsch (2002), nos terrenos planos ou apenas levemente inclinados, a água escoar com pequena velocidade e, além de possuir menos energia, tem mais tempo para infiltrar-se, ao passo que nos terrenos muito inclinados, a resistência ao escoamento das águas é menor e, por isso elas atingem maiores velocidades.

A figura 5 mostra como diferentes tipos de vertente podem dar origem à processos erosivos.

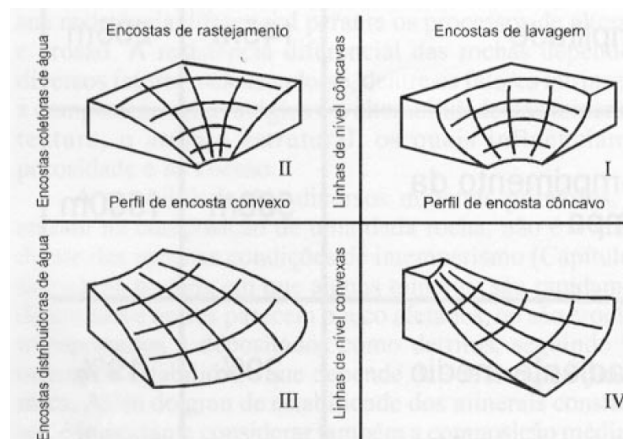


Figura 5: Tipos básicos de vertentes que caracterizam processos erosivos.
Fonte: MOREIRA e PIRES NETO, 1998 *apud* GOMES, 2001.

As coberturas de tipos sedimentares geralmente abrigam os processos mais comuns de erosão. Segundo Rodrigues (1982) a análise de perfis em áreas de boçorocas mostra duas situações distintas. Uma onde a erosão está encaixada somente em depósitos modernos e outra em que são cortados materiais arenosos, siltosos ou argilosos de formações antigas.

Conforme o autor, as voçorocas do segundo tipo são sempre maiores e é provável que as camadas sotopostas, quando apresentam níveis menos permeáveis, favorecem a atuação da água subterrânea na remoção de partículas e ainda outros fenômenos.

O motivo pela qual os processos erosivos se iniciam em sedimentos recentes com mais facilidade é a baixa compactação e cimentação que oferece pouca coesão, além da expressiva porosidade do solo que o torna altamente friável.

Ayres (1936), propôs velocidades de segurança contra erosão que foram usadas por Nascimento (1952), o qual destacou dois fatores básicos fundamentais para os processos erosivos: transportabilidade e destacabilidade do solo.

Cobertura vegetal

Conforme Lepsch (2002), o papel da vegetação para o solo é tão importante quanto a luz solar o é para a vegetação, pois ela é o fator de estabilidade natural das encostas. Seu sistema radicular oferece estruturação para o solo, pois as raízes da vegetação de vertente preenchem os vazios entre blocos de rocha e solo, assim como retarda a infiltração das águas pluviais.

Geralmente a retirada da cobertura vegetal precede alguma ocupação humana, sendo esta destinada para culturas, a preparação do solo se dá geralmente em períodos que favorecem a gênese das erosões, sendo para construção urbana, o que ocorre geralmente em topos de morros, a pavimentação diminui a infiltração e favorece o escoamento superficial. (LEPSCH, 2002, p.148)

A vegetação constitui um importante fator de proteção do solo contra a atuação das gotas de chuvas e aumento da resistência aos escoamentos superficiais. A deposição de partículas, por interceptação ou por redução de velocidade do fluxo da água é importante na contenção e aglutinação do solo por ação das raízes, formando agregados mais estáveis e ampliando as taxas de infiltração. Neste sentido, Epstein e Grant (1973), Nishiyama (1998) *apud* Rodrigues (2002), concluem que a presença da cobertura vegetal, viva ou morta, evita a formação de crosta decorrente da ação da água de chuva.

A retirada de vegetação de uma encosta para a implantação de casas ou mesmo para o cultivo resulta na exposição do solo, aumentando a possibilidade de escorregamentos e/ ou movimentos de massas. Geralmente nas encostas com vegetação é mais difícil o aparecimento de movimentos de massa, principalmente escorregamentos, entretanto, a simples presença de vegetação não significa que em uma determinada encosta não vá apresentar problemas, mas diminui muito suas possibilidades (RODRIGUES, 2002).

Guerra e Cunha (1996), afirmam que “A cobertura vegetal reduz as taxas de erosão do solo através de sua densidade, da possibilidade de reduzir a energia cinética das chuvas através da

interceptação de suas copas, e de formar húmus, importante para a estabilidade e teor de agregados dos solos.”

Ação antrópica

Historicamente o ser humano construiu um caminho de evolução e desenvolvimento econômico e tecnológico, porém com um rastro destrutivo. A falta de técnica, conhecimento ou própria negligência são responsáveis pelos eventos desastrosos e danos socioeconômicos ligados a um desequilíbrio ambiental.

É possível destacar como práticas antigas as queimadas, a abertura de valas e a mineração. As queimadas geram perda de matéria orgânica, alteram as características químicas e afetam a estrutura do solo, tornando-o mais frágil à erosão. A abertura de valas, por sua vez, são caminhos preferenciais para a água e levam ao carreamento e conseqüente processo erosivo. Já a mineração é lembrada como responsável pela retirada de enormes quantidades de materiais, gerando voçorocas e desmoronamentos. (LEPSCH, 2002)

Acredita-se que os seres humanos, ao se concentrarem num determinado espaço físico, aceleram inexoravelmente os processos de degradação ambiental. Segundo esta lógica, a degradação ambiental cresce na proporção que a concentração populacional aumenta. Desta forma, cidades e problemas ambientais teriam entre si uma relação de causa e efeito rígido. Outra idéia generalizada pelo senso comum é a de que os seres humanos são, por natureza, depredadores e aceleradores dos processos erosivos. (COELHO, 2001 *apud* RODRIGUES, 2007)

A ampliação das áreas impermeabilizadas, devido ao crescimento urbano, repercute na capacidade de infiltração das águas no solo, favorecendo o escoamento superficial, a concentração das enxurradas e a ocorrência de ondas de cheia. Afeta, também, o funcionamento do ciclo hidrológico, uma vez que interfere no rearranjo dos armazenamentos e na trajetória das águas. Para a área da seção transversal dos cursos d'água não ser afetada pela urbanização é necessário que o total das áreas pavimentadas da bacia de drenagem seja inferior a 5% da área total (CHRISTOFOLETTI, 1980 *apud* GUERRA e CUNHA, 2000).

Ação da água

De acordo com Rodrigues, (1982 p. 34) “a água é o principal fator dinâmico no processo erosivo, sendo responsável direto pela gênese e evolução das boçorocas.” Ela pode atuar como a gota de chuva, lençol subterrâneo e escoamento superficial.



Figura 6: Salpico do efeito da queda da gota d'água.
Fonte: SALEMI, 2009.

O ciclo hidrológico é o ponto de partida dos processos erosivos, o efeito *splash* ou impacto da gota de chuva sobre o solo é o primeiro estágio do processo erosivo, porque ele é responsável direto pela ruptura dos agregados, diminuindo a superfície de contato, selando a parte superior do solo e facilitando, portanto o transporte das partículas pelo escoamento superficial. As gotas de chuva têm uma grande importância no fenômeno erosivo, pois quando elas caem sobre o solo descoberto, podem compactá-lo e desagregá-lo aos poucos. (GUERRA e CUNHA 1999).

No âmbito da gota de chuva, o fenômeno mais conhecido e expressivo de aparecimento de um processo erosivo é o efeito “*splash*” ou “*splash erosion*” que ocorre com o impacto da gota da chuva sobre o terreno, provocando deslizamento da partícula por saltitação. (RODRIGUES, 1982)

O efeito erosivo de uma gota se dá a partir de sua energia mecânica potencial que depende diretamente da velocidade com que a gota chega ao solo. Segundo Buckman e Brady (1967) *apud* Rodrigues (1982) esse fenômeno pode deslocar as partículas a até 60 cm de altura e 1,50m na horizontal. A figura 7 apresenta um esquema do processo de erosão pluvial.

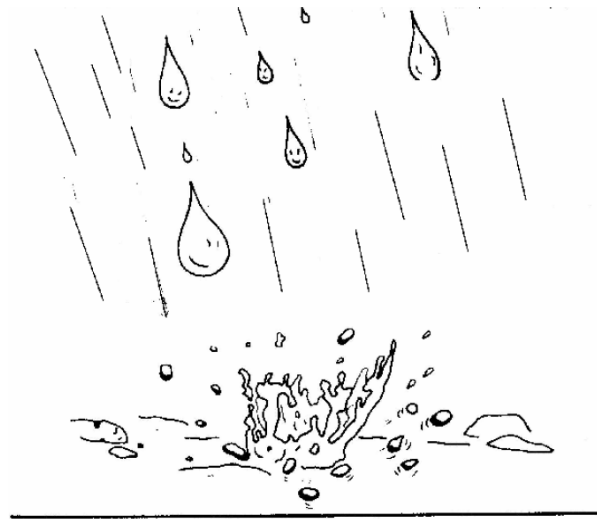


Figura 7: Esquema do processo de erosão pluvial.
Fonte: DAEE, 1990 *apud* GOMES, 2001.

Se tratando de escoamento superficial, é possível classificar três tipos: “Escoamento em Filetes”, “Laminar” e “Concentrado”. O escoamento em filete é mais comum, pois ocorre tanto em decorrência de precipitações fracas como também nas fases iniciais e finais de chuvas fortes. Ocorre em qualquer tipo de encosta e ainda nos taludes das voçorocas, embora seja mais comum em declives fracos.

A porção da água que não conseguiu se infiltrar ao atingir o solo se acumula nas partes planas e tende a escoar pelas encostas. Esse escoamento cria pequenos canais difusos que se encaixam em micro leitos.

O carreamento desses filetes de água é baixo e tem capacidade para transportar somente partículas de argila e material dissolvido. Quando o fluxo atinge maior velocidade ao descer a encosta ele adquire capacidade para transportar siltes e areias finas.

Vieira (1973) *apud* Rodrigues (1982, p.39) destaca que “O escoamento laminar se forma com o aumento da precipitação onde a micro rede formada pelos pequenos canais não comporta o volume da massa aquosa e transborda gerando uma lamina de água de até 10 cm.”

No escoamento concentrado a capacidade de transporte é alta e ocorre quando o fluxo de água se concentra em canais estáveis onde se desenvolve turbilhonamento do escoamento com grande quantidade de materiais sólidos, o que culmina em intenso processo erosivo.

O lençol subterrâneo como fator erosivo tem sua ação intensificada durante o período chuvoso quando, segundo Pichler (1953) *apud* Rodrigues (1982 p.47), “as veias de água experimentam, em consequência de um aumento de fluxo, um aumento correspondente de pressão.”

2.3 Drenagem Urbana / Erosões Urbanas

A urbanização de bacias é um desafio para os planejados em pensar as melhores formas de prevenção de desastres sociais e ambientais ou recuperação no caso de algum dano ao meio. A quantificação da superfície impermeável pode ser utilizada como um indicador para se prever a diferença entre uma bacia urbana e outra rural.

Segundo Schueler (1995) *apud* Araujo, *et al.* (2002), havendo um valor tão baixo quanto 10% de cobertura impermeável da bacia hidrográfica já é suficiente para ocorrer a degradação, sendo que se torna mais severa quanto maior a cobertura impermeável.

À medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem os seguintes impactos: (i) aumento das vazões máximas (em até 7 vezes, Leopold, 1968) devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies; (ii) aumento da produção de sedimentos devido a desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos (lixo); (iii) deterioração da qualidade da água, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial. (TUCCI e COLLISCHONN, 1998, p. 2).

De acordo com Filho (2001 p. 23), as primeiras ocorrências de erosão urbana expressiva conhecida no Brasil são da região Sul e Sudeste. Elas datam de cerca de 60 anos no Oeste de São Paulo e 40 anos no Noroeste do Paraná, coincidindo, praticamente, com o ápice do processo de colonização e ocupação dessas regiões, realizados através do desmatamento intensivo para plantio de café, culturas anuais de algodão e amendoim, e a instalação de núcleos urbanos ao longo das ferrovias e rodovias.

As formas mais comuns de processos erosivos em drenagens urbanas são erosão laminar e sulcos ou ravinas nas vias públicas e áreas periféricas. Quando intensificados se desenvolvem as voçorocas.

Segundo Pontes (1980) *apud* Filho (2001), “os principais fatores que influem na erosão das áreas urbanas e relacionadas com o escoamento superficial são: vazão do escoamento das águas pluviais, declividade do terreno e natureza do terreno.”

Ainda segundo Filho (2001 p. 24), dentre as principais causas do desencadeamento e a evolução dos processos erosivos nas áreas urbanas podem ser destacados:

- 🌳 A maioria dos loteamentos populares e conjuntos habitacionais não contam com sistemas de drenagem de água pluvial e servida ou, quando os tem, são deficientes.

- 🌳 Sistema viário, de maneira geral, tem implantação inadequada, com ruas perpendiculares às curvas de nível, ausência de pavimentação, guias e sarjetas.

- 🌳 Expansão urbana descontrolada, com a implantação de loteamentos e conjuntos habitacionais em locais não apropriados, sob o ponto de vista geotécnico e agravado pela deficiência de infra-estrutura.

- 🌳 A implantação de loteamentos em topos de colinas, fazendo com que as águas pluviais sejam lançadas próximas à zona urbanizada, à meia encosta ou cabeceira de drenagem, as quais ficam submetidas à ação erosiva.

2.3.1 Causas e Efeitos

Com a urbanização os espaços permeáveis são convertidos para usos que aumentam as superfícies impermeáveis, resultando no aumento do escoamento superficial e da carga dos poluentes, e geralmente resulta em alterações nas características físicas, químicas e biológicas da bacia hidrográfica.

Conforme Guerra e Cunha (1966), a ocupação desordenada do solo em bacias hidrográficas, com rápidas mudanças decorrentes das políticas e dos incentivos governamentais, agrava seus desequilíbrios. Dentre as atividades que causam degradação podem ser citadas as praticas agrícolas, desmatamento, mineração, superpatoeiro e urbanização.

Conforme Araujo, *et al.* (2005), as mudanças hidrológicas ocorrem devido ao descobrimento do terreno, à terraplanagem, e impermeabilização. Seus efeitos são muito maiores na qualidade da água do que em sua quantidade, pois ocorrem:

- 🌳 Elevação do pico de descargas.
- 🌳 Aumento do volume e velocidade de escoamento superficial urbano em cada tempestade.
- 🌳 Diminuição do tempo para que o escoamento superficial alcance o curso d'água.
- 🌳 Aumento da frequência e magnitude dos alagamentos.
- 🌳 Redução dos fluxos no período de seca.

Concomitantemente ocorrem alterações na qualidade da água por diversos poluentes provenientes da área urbana; os quais variam desde matéria orgânica até metais tóxicos. E segundo Araujo *et al.* (2005) os principais encontrados em cursos d'água urbano são inseticidas, fertilizantes, óleos, descargas de automóveis, sedimentos, nutrientes, substâncias consumidoras do oxigênio dissolvido, metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo, bactérias e vírus patogênicos.

Ainda como conseqüências da urbanização de curso d'água já foram estudadas mudanças de temperatura e destruição de vários ecossistemas aquáticos. (ARAUJO, *et al.*, 2005).

A impermeabilização de superfícies respondeu pela redução substancial da infiltração, com conseqüente acréscimo do escoamento superficial. Diante disso tem-se a redução do abastecimento do lençol freático, o que implica em desperenização dos cursos d'água, ao mesmo tempo em que responde por suas descargas excepcionais (fluxo torrencial) no período das chuvas. (CASSETI, 1991)

2.4 Ensaios Geotécnicos

No estudo da mecânica dos solos, existem ensaios geotécnicos e determinações que permitem uma classificação dos solos. As mais comuns para fins de engenharia civil são: SUC - Sistema Unificado de Classificação e HRB – Sistema Rodoviário, a finalidade principal é a melhor utilização ou não desse material ou dessa superfície.

Segundo Fiori e Carmignani (2001) *apud* Rodrigues (2007), os índices físicos dos solos expressam relações matemáticas entre peso e volume dos componentes de uma massa de solo, ou seja, entre as frações de sólidos, líquidos e gases.

Os índices físicos são relações entre as diversas fases, em termos de massa ou pesos e volumes, que procuram caracterizar as condições físicas em que um solo se encontra em um dado momento e por isso, pode ser alterado ao longo do tempo. Esses mesmos índices desempenham importante papel no estudo das propriedades dos solos, uma vez que estas dependem dos seus constituintes e das proporções relativas entre eles, assim como da interação de uma fase sobre as outras. (PINTO, 2002)

Em relação ao tamanho das partículas, os solos se classificam em solos grossos (pedregulhos e areias), e solos de granulação fina (siltes e argilas). Os pedregulhos são acumulações incoerentes de fragmentos de rocha, com dimensões maiores que 2 mm. As areias têm origem semelhante à dos pedregulhos, entretanto as suas dimensões variam entre 2 mm e 0,05 mm, elas são ásperas ao tato e, estando isenta de finos, não se contraem ao secar, não apresentam plasticidade e comprimem quase instantaneamente ao serem carregadas. Os siltes são solos de granulação fina que apresentam pouca ou nenhuma plasticidade. Já as argilas são solos de granulação muito fina que apresentam características marcantes de plasticidade e elevada resistência, quando secas, constituem a fração mais ativa nos solos, segundo Silva (2007).

A massa específica dos solos conforme a ABNT - NBR 6508/1984 é definida como a relação entre a massa e o volume dos sólidos (grãos) cuja determinação é feita em ensaio a parte. A massa específica pode ser determinada pelo método da balança hidrostática ou por meio do picnômetro – método utilizado nessa pesquisa. O resultado final é a média obtida de pelo menos dois ensaios considerados satisfatórios, ou seja, quando os seus resultados não diferem de mais que 0,02 g/cm³ e deve ser expresso com três algarismo significativos, em g/cm³.

Granulometria orientada pelas normas ABNT - NBR 6457 e ABNT - NBR 7181 é a representação gráfica da distribuição do diâmetro aproximado dos grãos de um solo, em que a abscissa é o tamanho das partículas crescente para a direita em escala logarítmica, e a ordenada é a percentagem acumulada do solo seco em relação à massa total seca, com diâmetro menor que o tamanho correspondente, utilizada para classificação do solo quanto à percentagem das frações de sua composição. Esta determinação pode ser feita através de um

peneiramento para solos grossos (areia e pedregulho) e de uma sedimentação para solos finos (silte e argila).

Segundo Rezende (1999), nos peneiramentos são empregadas as peneiras definidas pela ABNT - NBR 5734, com abertura variando de 50 mm à 0,074 mm (peneira de numero 200). O resultado final deve ser apresentado graficamente, dispondo o diâmetro das partículas em abscissas (escalas logarítmicas), e as porcentagens das partículas menores do que os diâmetros considerados em ordenadas (escala aritmética).

Conforme a ABNT - NBR 6502/1995 (Rochas e solos), o Limite de Liquidez é o teor de umidade de um solo argiloso correspondente ao estado de consistência limite entre os estados líquido e plástico.

Limite de plasticidade é o teor de umidade na fronteira entre os estados plástico e semi-sólido, corresponde ao teor de umidade para o qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar com a palma da mão um cilindro com cerca de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento.

O Índice de Plasticidade (IP) mede a maleabilidade dos solos e fisicamente representa a quantidade de água necessária para que um solo passe do estado plástico ao líquido. Mede também a tendência à expansão do solo, calculado pela diferença entre Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade. Conforme Fiori; Carmignani (2001) *apud* Rodrigues (2007).

Os limites de consistência foram desenvolvidos para se caracterizar o material quanto à sua plasticidade, pois para a engenharia civil apenas o ensaio de granulometria não era suficiente em se tratando de solos finos. O Limite de Liquidez é o teor de umidade do solo na fronteira entre os estados líquido e plástico e a norma reguladora desde ensaio é a NBR 6459. O limite de Plasticidade é o teor de umidade do solo entre os estados plásticos e semi-sólidos e é realizado conforme a NBR 7180. (REZENDE, 1999)

A quantidade e as propriedades físico-químicas da fração mais fina – argilosa – do solo é em grande parte responsável por seu comportamento, as quais não são muito preconizadas nos ensaios geotécnicos.

Zuquette (1987) sugere o uso de um método de identificação da fração fina do solo por meio da adsorção de um corante orgânico, conhecido como azul de metileno. Este método vem sendo utilizado na França desde 1977 com essa finalidade principalmente para uso rodoviário. (LAN, 1977 *apud* PEJON, 1992).

No Brasil esse método já foi desenvolvido por Casanova (1986), Fabbri e Sória (1991) e Fabbri (1994), todos mostrando que é uma alternativa rápida econômica e simples para caracterização da fração fina dos solos.

Bonini (2005) e Chen, *et al.* (1974) determinaram Superfície Específica e CTC para algumas argilas brasileiras e relacionaram os resultados com algumas propriedades tecnológicas: composição química, umidade de prensagem, retração linear, tensão de ruptura, absorção d'água, porosidade e perda ao fogo.

Segundo Lan (1980) *apud* Bonini (2005, p. 8) o ensaio de azul de metileno mede a superfície da fração argilosa ativa, que depende da natureza da fração argila presente no solo. Esse autor utilizou o ensaio de azul de metileno para avaliar o consumo do corante por misturas artificiais de argila (bentonita+ilita, bentonita+caulinita e ilita+ caulinita) com variação dos teores entre 0% e 100%, constando que o valor de azul varia linearmente com a quantidade de cada tipo de argila presente na mistura, sendo influenciado mais significativamente pelo aumento da proporção da argila mais ativa. Lan ainda conclui que a quantidade de elementos inertes no solo não tem influência na adsorção de azul de metileno.

O azul de metileno ou cloridrato de metiltiamina apresenta a composição $C_{16}H_{18}N_3S$ $Cl \cdot 3H_2O$. Caracteriza-se como um corante catiônico que em soluções aquosas dissocia-se em ânions cloreto e cátions azul de metileno.

O método da adsorção do azul de metileno permite a determinação da capacidade de troca de cátions (CTC) e da superfície específica (SE) dos argilo-minerais. O Cation azul de metileno substitui os cátions Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} e H_3O^+ adsorvidos aos argilo-minerais, ocorrendo um processo de adsorção irreversível, o que caracteriza uma forma de medida da capacidade de troca catiônica. (CHE, *et al.*, 1974; PEJON, 1992)

Quando a superfície dos argilo-minerais fica recoberta por uma camada monomolecular de cátions de azul de metileno, é possível ser feita a determinação da Superfície Específica (área interna mais a externa), permitindo também conhecer a área total recoberta.

Segundo Pejon (1992, p. 84) vários métodos, quase todos obtidos de forma empírica, procuram caracterizar a erodibilidade em taludes. Dentre eles se destacam os trabalhos de Meireles (1967), Santos e Castro (1966 e 1967), Philipponat (1973), Nascimento (1974), Nogami e Villibor (1979) e Villibor, *et al.* (1986). Analisando-se estes trabalhos verifica-se que nenhum dos métodos conseguiu uma identificação total dos materiais erodíveis, situando-se os melhores resultados em torno de 80%. Porém foi consenso entre a maioria dos autores que a desagregabilidade e absorção de água são muito importantes na análise da erodibilidade.

Para se determinar a erodibilidade de um solo existem vários métodos. Um dos mais comuns é o “Ensaio de Inderbitzen”, porém ele dá ênfase nos processos erosivos causados por escoamento superficial, pois testa o fluxo laminar e o equipamento necessário é mais sofisticado que os demais, além de requerer um custo mais alto.

A metodologia proposta por Nogami e Villibor (1979) apresenta para essa pesquisa algumas vantagens. De acordo com Pejon (1992, p. 85):

- 🌳 Utiliza amostras indeformadas.
- 🌳 Considera o efeito da secagem.
- 🌳 Permite inferir as propriedades de desagregabilidade e infiltração.
- 🌳 Facilidade e rapidez de execução.
- 🌳 Não necessita de equipamentos sofisticados.

No ensaio de Cisalhamento direto se obtém parâmetros de coesão C e ângulo de atrito ϕ assim como a envoltória de resistência do solo. Neste ensaio se estabelece o deslizamento de uma metade do corpo de prova em relação à outra, determinando assim para cada tensão normal σ à superfície de deslizamento, o valor do esforço cortante τ necessário para provocar a deformação contínua até a ruptura. O ensaio é realizado mantendo-se constante a tensão – vertical.

O processo de adensamento é entendido como a variação de volume que se processa num solo, graças à expulsão gradual da água de seus vazios, e o ensaio tem a finalidade de determinar os parâmetros do solo necessários para o cálculo de recalques.

Como resultado das diversas sobrecargas e descarregamentos, é gerado um gráfico semilogarítmico dos valores de variação do volume representado pelos índices de vazio em cada estágio de carregamento pelas tensões aplicadas.

Pela análise do gráfico é possível de se determinar um coeficiente angular denominado índice de compressão C_c , o qual é importante para o cálculo dos recalques. E pela reta final apresentada no gráfico se estuda a ocorrência de alguma expansão após o descarregamento.

2.5 Mapeamento Geotécnico

Dearman & Matula (1976) *apud* Silva (2003) sugerem que o mapeamento geotécnico deve se apresentar como instrumento de auxílio a planejadores, sendo que as informações contidas nos mapas e cartas devem ser de fácil entendimento, objetivas e necessárias para a avaliação dos aspectos geotécnicos do ambiente, tanto no planejamento regional quanto no urbano.

Para Zuquette (1987), “Mapeamento Geotécnico é um processo de análise dos componentes do meio físico, cuja finalidade básica consiste em levantar, avaliar e analisar os atributos deste, buscando refletir as suas verdadeiras condições através de mapas ou cartas”.

Se o mapeamento geotécnico levar em conta a elaboração de uma carta de susceptibilidade à erosão os atributos devem ser: natureza dos materiais, relevo (grau de declividade e forma e comprimento de encosta, cobertura vegetal, fatores climáticos, ação antrópica, ação das águas e do vento. (ZUQUETTE, 1987)

Pejon (1992) *apud* Silva (2003, p. 9) propôs a hierarquização e a atribuição de pontos aos diversos fatores intervenientes no processo erosivo, os quais incluem características dos materiais inconsolidados (textura, profundidade, erodibilidade, permeabilidade) e características ambientais como o potencial de escoamento superficial que, por sua vez, considera atributos como a litologia, declividade e densidade de drenagem.

2.6 Geoprocessamento

Uma das ferramentas atualmente mais procuradas para estudos ambientais, gestão pública, planejamento, topografia, negócios, etc., é o geoprocessamento, também conhecido como geotecnologia. “As geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. As geotecnologias são compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware*”. (ROSA, 1995, p.81).

O uso de tais ferramentas geralmente gera grande quantidade de dados, que são representados no campo computacional por estruturas conhecidas como arquivos vetoriais e raster.

As estruturas vetoriais se baseiam em um espaço contínuo que se comporta segundo postulados da geometria euclidiana enquanto que as estruturas raster dividem o espaço geográfico em elementos discretos, requerendo a adoção de uma geometria própria que poderíamos chamar de geometria digital. (ROSA, 1995.p.28).

Costa e Silva (2004, p. 191), afirmam: “Pela sua própria natureza, esses dados necessitam de georreferenciamento e do uso de técnicas que permitam nas diferentes fases do trabalho o cruzamento e a análise de informações territorialmente especializadas (mapas temáticos)”.

De acordo com Fontes (1998) para tratamento qualificado dos dados mapeados em campo e da análise das amostras coletadas, podem ser utilizados programas automatizados do tipo SIG, que são ferramentas valiosas para a elaboração das cartas interpretativas e derivadas, como o caso da carta de suscetibilidade a erosão.

O Sistema de Informação Geográfica - SIG, de acordo com Rosa e Brito, (1996, p. 10) são “tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações”; propicia pesquisas com grau de detalhamento e qualidade técnica importante ao se estudar a superfície terrestre. “Tão importante quanto manipular dados é gerar novas informações a partir destas. Neste sentido, a utilização de um Sistema Geográfico de Informações, constitui-se em ferramenta poderosa”. (COSTA e SILVA, 2004, p. 191).

“Um SIG pode ser definido como um sistema destinado à captura, armazenamento, checagem, integração, manipulação, análise e apresentação de dados referidos espacialmente na

superfície terrestre”. (ROSA, 1995 p.21). Ele é formado por três componentes básicos à eficiência do produto que se está buscando. São o hardware e sistema operacional, software de aplicação (SIG) e aspectos institucionais do SIG.

Para um bom desempenho de um SIG é importante ter domínio de certas noções cartográficas e estar completamente inteirado das possibilidades de erros que os dados podem apresentar, associados à informação espacial, o que interfere na qualidade da pesquisa ou interpretação de uma realidade. De acordo com Brito e Rosa (1996, p. 53) os principais tipos de erros são os seguintes:

 Erros Comuns: associados ao controle do usuário, e mais fáceis de serem checados, estão relacionados à idade dos dados, à cobertura areal (parcial ou total), escala do mapa/carta, densidade de observação, relevância, formato, acessibilidade e custo.

 Erros Resultantes de Variações Naturais ou de Medidas Originais: Estão ligados com a variabilidade da informação espacial e a correspondente acurácia com que foi adquirida. Esse tipo de erro normalmente é detectado quando se estiver trabalhando intimamente com os dados. Esses erros podem ser de: acurácia posicional, acurácia do conteúdo, fontes de variações nos dados.

 Erros de Processamento: São devido às técnicas utilizadas para a entrada, acesso e manipulação da informação espacial. São erros mais difíceis de serem detectados, requerem um profundo conhecimento dos dados e das estruturas dos dados e algoritmos.

A cartografia geotécnica tem a finalidade de fornecer dados sobre as propriedades das rochas, solos, água e assim como os processos e fenômenos que ocorrem neste meio, podendo ser naturais ou artificiais, com a finalidade de servir de subsídio para o planejamento urbano. (GOMES, 2001 *apud* FERREIRA 2004, p. 47).

Segundo Canil (2001) *apud* Ferreira (2004) a investigação e cadastramento das feições erosivas (locadas na base cartográfica constituem a carta de feições erosivas), levantamentos dos condicionantes naturais do meio físico (geologia, geomorfologia e pedologia do terreno) e das formas de uso e ocupação devem ser mapeadas e atualizadas com base em trabalhos de campo e documentação cartográfica (imagens de satélite, fotografias aéreas e panorâmicas).

A grande e principal vantagem da utilização dessas tecnologias é a praticidade que se obtém trabalhando previamente em escritório, adquirindo informações sem o custo do campo. Além disso, é possível analisar vários atributos em sobreposição e assim realizar o cruzamento dos dados, gerando mapas de aptidão ou suscetibilidade.

Diante disso, o sensoriamento remoto se configura como uma excelente ferramenta de se fazer análises temporais, pois permite avaliar elementos a partir da captura informações que estão fora do alcance dos recursos físicos humanos.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1 Localização / Acesso

A Bacia do córrego Campo Alegre localiza-se no setor sul da cidade (7904000E e 7900000N) e é cortada em seu médio curso pelo anel viário no sentido SO - NE, que interliga o setor sul da cidade de Uberlândia à BR-050. Sua bacia é ocupada por três bairros residenciais, e caracteriza-se como um dos afluentes da margem direita do Rio Uberabinha. Figura 8.

3.2 Hidrografia

As principais bacias do município de Uberlândia são: rio Araguari, rio Tijuco, rio Uberabinha, ribeirão Douradinho, ribeirão Babilônia. O Córrego Campo alegre é afluente direto do Rio Uberabinha e sua bacia tem a extensão de 6,79 km².

O córrego Campo Alegre é formado pela junção de dois canais de 1ª, sendo que em apenas um deles se desenvolve processos erosivos, o outro canal está bem preservado e mantém espécies de Buritis. A extensão total do curso do córrego Campo Alegre é de 7.757,70 metros. A declividade é suave, mas à medida que a altitude diminui e o curso segue para o rio Uberabinha a declividade se intensifica.

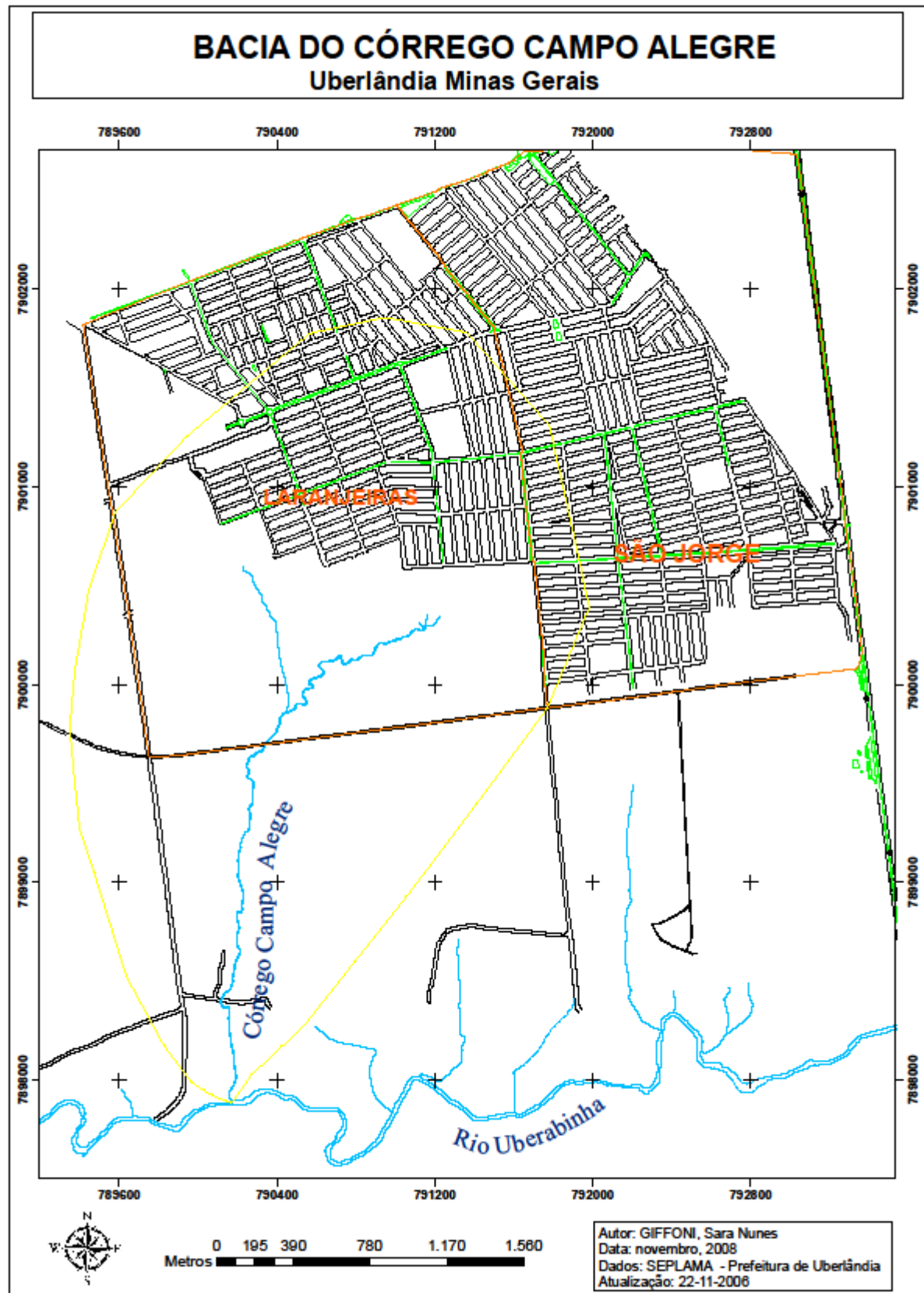


Figura 8: Bacia do Córrego Campo Alegre.

3.3 Vegetação

Em Uberlândia, segundo Baccaro (1990) *apud* Schneider (1996), a cobertura vegetal natural é do tipo campo cerrado, caracterizado por arbustos distribuídos irregularmente no solo coberto por gramíneas e ciperáceas.

A topografia é usualmente plana, com extensas áreas hidromórficas, com espessos horizontes de argila, solos orgânicos e turfa. Esse ambiente é propício à formação de covais ou campos de murundus, que constituem ecossistemas pouco conhecidos no que diz respeito à sua função e origem. Podem ocorrer nos fundos de vale, os capões de mata ciliar e são associados à grande saturação de água nos solos. (BACCARO, 1990 *apud* SCHNEIDER, 1996).

Os principais tipos fisionômicos identificados em Uberlândia são: Mata Ciliar, Cerradão, Mata, Cerrado, Campo Sujo, Campo Limpo, Vereda. (GIFFONI, 2006)

Na bacia do Córrego Campo Alegre, existe pouca vegetação ciliar, grande parte da área não ocupada por bairros residenciais é de uso rural para pastagem. A mata ciliar está preservada apenas no braço direito do córrego onde não desenvolve processo erosivo. A vegetação presente nas porções úmidas do córrego é de vereda, e sua espécie principal, os buritis.

3.4 Clima

O clima da região do Triângulo Mineiro, na qual Uberlândia esta inserida, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw, ou seja, possui um inverno seco e um verão chuvoso dominado predominantemente pelos sistemas intertropicais e polares (MENDES, 2001 *apud* SILVA e ASSUNÇÃO 2004).

Uberlândia está no caminho de massas de ar vindas do sul, como a Frente Polar Antártica (FPA) e a Massa Polar (MP) leste (ondas de leste) e oeste (instabilidade tropical). Também sofre influência das Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), responsáveis por chuvas intensas e prolongadas.

Segundo as classificações dos macroclimas do Brasil a cidade de Uberlândia está localizada em uma região de clima subquente, com temperatura variando de 19°C a 27° C e pluviosidade média anual em torno de 1500mm/ ano.

3.5 Geomorfologia

A compartimentação geomorfológica do Triângulo Mineiro foi proposta por Baccaro (1991) em quatro unidades: áreas elevadas de cimeira, áreas de relevo medianamente dissecado, áreas de relevo intensamente dissecado e áreas de relevo residual.

Baccaro (1989) identificou na área do município de Uberlândia três categorias: área de relevo dissecado, intensamente dissecado e área de relevo com topo plano.

A Bacia do córrego Campo Alegre apresenta as características geomorfológicas da classe “Topo Plano”, pois apresenta:

topos planos e largos e vales muito espaçados entre si, com pouca ramificação da drenagem, vertentes com baixas declividades, entre 3 e 5°, sustentadas pelo arenito da Formação Marília recoberto pelos sedimentos do Cenozóico. Os processos geomorfológicos de escoamento pluvial laminar e difuso são os mais importantes na remoção dos detritos e na evolução dessas vertentes. Um elemento comum neste setor são microformas de relevo “murundus”, que alguns estudiosos associam à antigas termiteiras. São pequenas elevações que ocorrem na periferia das planícies ou em depressões úmidas aos níveis de topos e encostas. Nesta área estão as nascentes do Rio Uberabinha e seu afluente Bom Jardim, principais fornecedores de água ao município. (BACCARO, 1990 *apud* SCHNEIDER, 1996)

Baccaro (1989) *apud* Silva (2007) afirma que:

A bacia do Córrego Campo Alegre desenvolve-se sobre uma superfície de relevo de topo plano. Essa unidade de relevo compreende todas as porções de topos planos e amplos vales muito espaçados entre si, com pouca ramificação de drenagem, vertentes com baixas declividades (entre 2% e 5%) sustentadas pelos arenitos da Formação Marília e recobertos pelos sedimentos Cenozóicos. Próximo aos canais fluviais em ambas as margens, ocorre uma massa significativa de solo hidromórfico (organossolo e gleissolo). Os processos geomorfológicos de escoamento pluvial laminar e difuso são os mais importantes na remoção dos detritos e na evolução das vertentes fluviais. (BACCARO, 1989 *apud* SILVA, 2007)

3.6 Geologia e materiais inconsolidados

A região do Triângulo Mineiro, na qual se encontra a cidade de Uberlândia, acha-se inserida na borda nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná. Nesta porção da Bacia ocorrem litologias sedimentares e magmáticas do período Mesozóico: arenitos da Formação Botucatu, basaltos

da Formação Serra Geral, e rochas do Grupo Bauru. As unidades atribuídas ao Paleozóico não estão presentes na região.

No município de Uberlândia foram caracterizadas por Nishiyama (1989 p. 10) as seguintes unidades geológicas: Complexo Basal Goiano, Grupo Araxá, Formação Botucatu, Formação Serra Geral, Formação Adamantina, Formação Marília e sedimentos do Cenozóico. Este últimos recobrem quase todo o município de Uberlândia, desde as chapadas até as vertentes de vales de rios.

De acordo com Nishiyama (1989, p. 10) o Grupo Bauru na região do Triângulo Mineiro é representado pelas Formações Adamantina, Uberaba e Marília. Com a deposição de sedimentos da Formação Marília encerra o período deposicional na Bacia Sedimentar do Paraná, no Cretáceo Superior. Regionalmente, as unidades geológicas que formam a base deposicional dos sedimentos da Bacia Sedimentar do Paraná são os Grupos Araxá e Canastra, ambos do Proterozóico médio, além do Complexo Basal Goiano, de idade Arqueana.

No perímetro urbano de Uberlândia, os basaltos da formação Serra Geral afloram apenas no vale do rio Uberabinha e seus afluentes. Nos interflúvios acham-se recobertos por sedimentos do Grupo Bauru e/ou sedimentos cenozóicos cujas espessuras não ultrapassam 60 metros na área central da cidade. (NISHIYAMA, 1989, p.10)

Na bacia do Córrego Campo Alegre os basaltos afloram apenas próximo da sua foz no Rio Uberabinha. Outros raros afloramentos são de arenitos da formação Marília ou sedimentos cenozóicos.

Conforme Rosa, *et al.* (2004), no município de Uberlândia são predominantes os seguintes tipos de solos: Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAw), Latossolo Vermelho (LVd), Gleissolo (Gxbe), Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAe), Cambissolo (CXd1),

Na bacia do Córrego Campo Alegre, segundo Silva (2007), o tipo de solo predominante é o Latossolo Vermelho Amarelo (LVAw) Latossolo Vermelho – Amarelo Ácrico + Latossolo Vermelho – Ácrico ambos textura argilosa (fase cerrado). (LVAd) Latossolo Vermelho – Amarelo Distrófico + Latossol Vermelho Escuro Distrófico + Cambissolo Haplico Tb Distrófico, derivados do material areno-argiloso, resultantes do retrabalhamento do arenito Bauru e da cobertura argilo-laterítica de idade Terciária.

3.7 Histórico da evolução da feição erosiva do Córrego Campo Alegre

Em 1983, com aprovação do loteamento do bairro São Jorge, deu-se início ao processo de urbanização na bacia do córrego Campo Alegre. Com a implantação deste bairro e de outros que se seguiram durante a década de 1980, toda a água pluvial proveniente destes bairros foi direcionada para uma de suas cabeceiras. (SILVA, 2007, p. 128).

A rápida expansão da área urbana na década de 1980 marcada pela implantação de novos bairros residenciais sem a infra-estrutura adequada para coleta e destinação das águas pluviais direcionou essas águas à cabeceira dos córregos. A situação da área estudada não é diferente dos demais córregos urbanos de Uberlândia, pois a impermeabilização do solo fez com que as águas pluviais fossem totalmente remetidas à cabeceira do córrego Campo Alegre.

O efeito gerado por esse lançamento resultou no aumento excessivo na vazão do curso d'água que, por consequência, levou ao aumento da energia mecânica da água, dando início a erosão e evoluindo rapidamente para o estágio de voçoroca. A primeira erosão de magnitude do córrego Campo Alegre teve início na década de 1980, logo após a implantação dos bairros São Jorge, Laranjeiras e Aurora. Esta erosão teve início na porção de nascente do córrego e evoluiu no sentido montante estendendo-se por uma distância de aproximadamente 200 metros. Preocupada com a rápida evolução da voçoroca, a Prefeitura Municipal de Uberlândia realizou o seu aterramento com resíduos de construção civil. (Figuras 09 e 10).

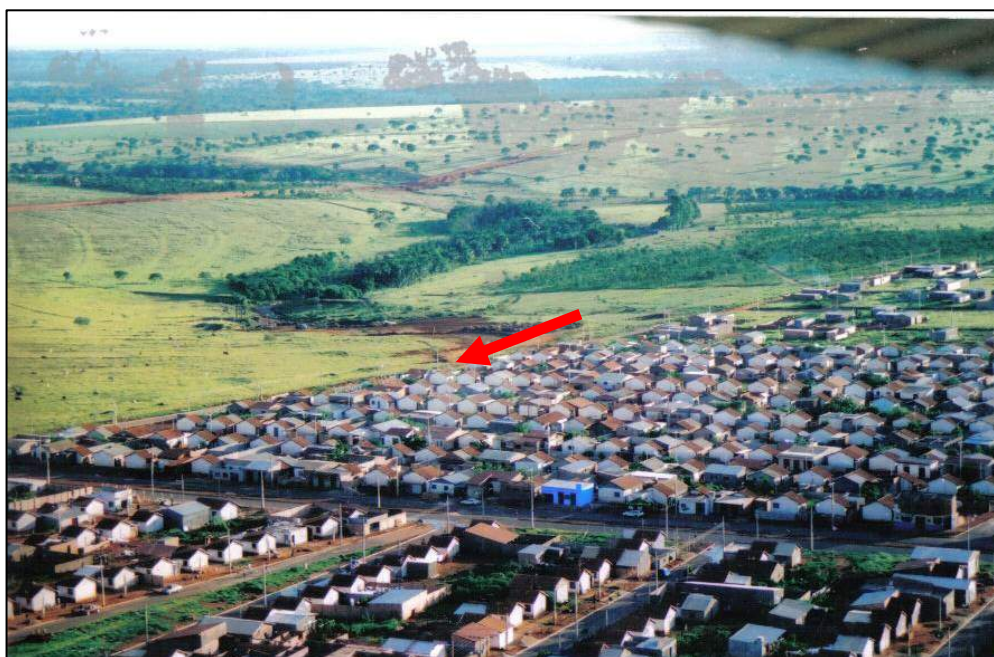


Figura 9: Vista aérea da voçoroca na cabeceira do córrego Campo Alegre em processo de aterramento com resíduos da construção civil. Atentar para a ocupação urbana na porção superior da bacia.

Autor: NISHIYAMA, 1997.



Figura 10: Detalhe do aterramento da voçoroca na porção de cabeceira do córrego Campo Alegre.
Autor: NISHIYAMA, 1997.

No ano seguinte ao aterramento, em 1998, a erosão foi reativada, desta vez atingindo os resíduos empregados no aterramento. A reativação da feição erosiva deveu-se ao lançamento de águas pluviais na porção de cabeceira a partir de uma galeria pluvial. A ausência de estrutura adequada para dissipação da energia das águas pluviais no ponto de lançamento culminou no rápido avanço da erosão sobre materiais de aterramento e solo natural, com destruição da própria galeria, conforme pode ser observado na figura 11, a seguir:



Figura 11: Reativação da erosão (voçoroca) no ano de 1998 com destruição parcial da galeria pluvial.

A quantidade de material carregado por ocasião da reativação da erosão sobre o aterro de resíduos acabou por assorear a vereda anteriormente. Com o aprofundamento do canal pela ação erosiva do grande volume de água pluvial, parte do depósito encontra-se atualmente exposta. (Figura 12)



Figura 12: material arrastado (resíduos) pela força da correnteza durante a reativação da erosão na cabeceira do córrego, atualmente exposto nas margens em razão do aprofundamento do leito fluvial.

Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.

No sentido de minimizar a vazão afluyente à galeria existente na cabeceira do córrego Campo Alegre, uma segunda galeria foi construída no ano de 1997, tendo o seu ponto de lançamento instalado a cerca de 450 metros à jusante do ponto de lançamento existente. Novamente, por problemas de subdimensionamento ou de manutenção do dissipador de energia, uma grande erosão evoluiu rapidamente a partir do ponto de lançamento, estendendo-se à montante por uma distância de aproximadamente 90 metros. (Figuras 13, 14 e 15).

Em vários momentos foram realizadas tentativas para a estabilização da feição erosiva com utilização de resíduos da construção civil, sem sucesso esperado. No entanto, resíduos utilizados no aterramento foram carregados para a jusante (Figura 15), juntamente com sedimentos pela energia das águas que ali chegavam.



Figura 13: Segundo ponto de lançamento de água pluvial com evolução da feição erosiva.
Autor: NISHIYAMA, 2003.



Figura 14: Segundo ponto de lançamento de águas pluviais. Atentar para a extensão da feição erosiva decorridos 4 anos após o seu início.
Autor: NISHIYAMA, 2003.



Figura 15: Resíduos carregados para jusante.
Autor: NISHIYAMA 2004.

Quando esta pesquisa se iniciou os mesmos pontos anteriormente descritos foram visitados, procurando destacar as diferenças na paisagem pretérita e atual, principalmente nos aspectos da feição erosiva na sua configuração atual.

O local correspondente à figura 11 onde aflorava o lençol freático graças à reativação da feição erosiva, hoje se encontra aterrado e uma nova galeria foi construída, porém a erosão continuou a evoluir no trecho jusante à galeria. (figuras 16 e 17)



Figura 16: Galeria de lançamento pluvial a partir de onde evolui a feição erosiva.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.



Figura 17: Detalhe da canalização Pluvial sobre a área erodida.
Autor: GIFFONI, S. Data: 19 jan. 2009.

O segundo ponto de lançamento de águas pluviais que chegavam através da galeria mostrado nas figuras 13, 14 e 15, hoje se encontra coberto por vegetação que se regenerou sobre o aterro construído em 2004 (Fotografia 18).



Figura 18: Segundo local de lançamento de galeria pluvial aterrado em 2004.
Autor: GIFFONI, S. Data: 16 jan. 2009.

Foi identificada uma área na margem direita onde os processos contribuintes da erosão estão agindo mais intensamente e se caracteriza como uma das porções mais sensíveis em toda a extensão da erosão. Tal constatação pode ser comprovada pelo rápido avanço da erosão no

sentido da curvatura externa do córrego. Fotografias obtidas com intervalo de 1 ano mostram o quão rápido e de grandes proporções foi o avanço da feição erosiva. (Figuras 19 e 20).



Figura 19: Visão da área mais ativa da erosão em outubro de 2008.
Autor: GIFFONI, 2008.



Figura 20: Visão da área mais ativa da erosão em outubro de 2009.
Autor: GIFFONI, 2009.

3.8 Aspectos ambientais atuais da área estudada

O aterramento da antiga voçoroca com resíduos de construção civil e diversos outros resíduos na década de 1980 realizado diretamente sobre o lençol freático exposto no interior da erosão, comprometeu e compromete a qualidade da água que nasce sob o aterro fez com que a água brotasse em meio a entulhos (figura 21). Esta constatação pode ser feita diretamente em campo, denunciado pelo forte odor exalado e pela presença de uma película de aspecto ferruginoso sobre a água, possivelmente resultante da oxidação de metais que contém ferro. A figura 21 a seguir mostra uma porção do aterro onde os resíduos foram expostos pela erosão.



Figura 21: Fotografia da Nascente do córrego Campo Alegre.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.

A crescente impermeabilização do solo estimulada pela construção dos bairros e a incidência da água pluvial sobre o aterro, resultou na remobilização dos resíduos no sentido da calha fluvial do córrego Campo Alegre, conforme pode ser visualizado na Figura 22. Com o completo assoreamento do fundo de vale fluvial carregado de resíduos e sedimentos, a água fluvial, juntamente com a pluvial, tem produzido intensa erosão da baixa vertente desse córrego, atingindo proporção de voçoroca.

Atualmente, o córrego Campo Alegre tem o seu talvegue estabelecido sobre um banco de resíduos e a cada chuva de maior intensidade cria novos traçados, evoluindo lateralmente e produzindo o solapamento dos taludes de erosão formados anteriormente.



Figura 22: Resíduos acumulados no talvegue constituindo um banco métrico de assoreamento.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.

Além da verticalidade do talude da erosão, o seu solapamento produzido pela água fluvial associada à pluvial favorece a evolução da feição erosiva por ruptura de talude e quedas de blocos, inclusive no período seco do ano, como pode ser observado nas da figuras 23 e 24.



Figura 23: Ruptura de talude com formação de blocos poliédrico de solo.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.



Figura 24: Os blocos de solo que se desprendem após a ruptura do talude e se acumulam na sua base.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.

Movimentos lentos, do tipo rastejo, também podem ser evidenciados na área. A inclinação de vegetação de porte arbóreo no sentido à parte alta da vertente constitui-se em forte evidência da ocorrência desse tipo de movimento (Figura 25).

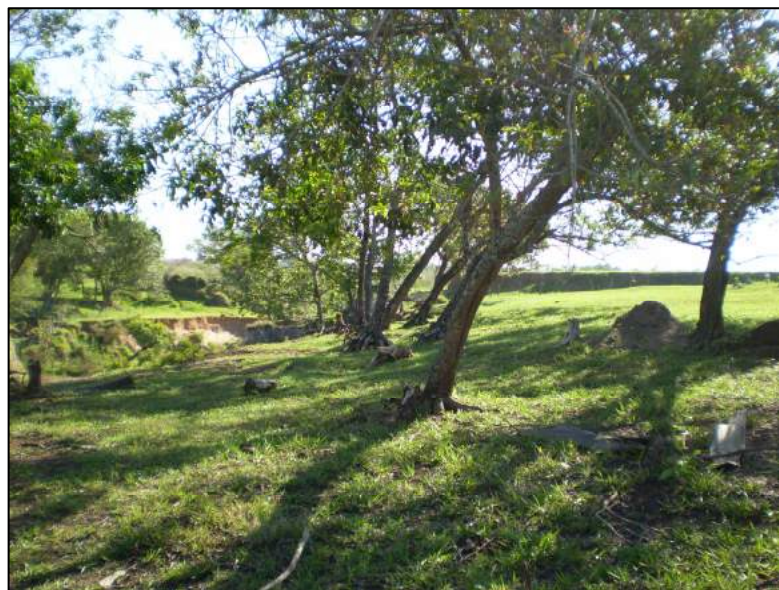


Figura 25: Árvores se inclinam em razão do movimento do terreno no sentido do talude de erosão.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.

Outra característica observada na área estudada diz respeito ao rebaixamento do lençol freático em razão do aprofundamento do talvegue fluvial. Esta situação expôs as camadas orgânicas e submeteu a vegetação higrófila, a exemplo da palmeira buriti, a um ambiente de pouca umidade e, conseqüentemente a morte por falta de umidade ou por queda durante a evolução dos taludes de erosão (Figura 26).



Figura 26: Extinção da palmeira buriti por falta de umidade ou queda de talude.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.

Fora da erosão, na porção mais elevada da vertente fluvial, o limite da área úmida pode ser observado pela mudança de coloração nas estruturas dos termiteiros (Figura 27) que ficam mais avermelhados à medida que o solo sofre menor influência sazonal da variação do lençol freático. Da mesma maneira, a coloração escura do solo denuncia a presença de matéria orgânica, situação comum nas porções úmidas, destacando-se principalmente nos taludes da sob a forma de turfa.



Figura 27: Coloração dos cupins mostra limite entre o solo hidromórfico e não hidromórfico.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.



Figura 28: Perfil mostrando os níveis de diferentes materiais constituintes do solo.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.

Atualmente, o canal do Córrego (Figura 29) encontra-se aproximadamente quatro vezes mais largo do que a sua extensão original, com a queda de grandes blocos de solo e o intenso transporte de materiais desprendidos a cada chuva.



Figura 29: Aspecto da porção de cabeceira da erosão do córrego Campo Alegre logo após o assoreamento do canal fluvial, seguiu-se o alargamento deste.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.

Outro fator preocupante é que a área a partir de onde a fotografia foi tirada está sendo preparada para receber um loteamento de condomínios. Caso a canalização de águas pluviais

também seja direcionada para o Córrego Campo Alegre, a situação do processo erosivo será ainda mais intensificada.

Atualmente um novo talvegue encontra-se em vias de formação. A faixa anteriormente ocupada pelas águas, agora se resume a um canal com cerca de 6 metros por onde flui toda a água fluvial e pluvial.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Levantamento de dados

O primeiro levantamento de dados se deu visando a redação do estado da arte. Foi realizada pesquisa bibliográfica consultando acervo pessoal de professores, acervo da biblioteca da Universidade Federal de Uberlândia e documentos disponíveis na internet. As referências bibliográficas sobre erosão são muito vastas, principalmente em se tratando de análises e diagnósticos ambientais de seus processos. Quando se trata de mecânica do solo ou testes de laboratório acerca do comportamento do solo, as referências são menos numerosas.

Foi cedido pela Prefeitura Municipal de Uberlândia, pela SEPLAMA – Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente, produtos de sensoriamento remoto utilizados no presente trabalho de dissertação. Os produtos cedidos foram: Imagem de Satélite do Sensor QuickBird da DigitalGlobe com resolução espacial de 0,60 m na banda pancromática e 2,4 m nas bandas multiespectrais, ortofotos aéreas na escala de 1:8000 obtidas pela ESTEIO em 2004.

Pela Universidade Federal de Uberlândia - Laboratório de Cartografia foram cedidas fotografias aéreas de 1997 e 1979 ambas com cobertura da área da bacia do córrego campo alegre.

Dados vetoriais como: limites do município e área urbana de Uberlândia, do Estado de Minas Gerais e Brasil, rede de drenagem, malha viária, bairros integrados e curvas de nível, utilizados para a confecção dos produtos cartográficos foram obtidos do GEOMINAS – Geoprocessamento em Minas, que é um banco de dados *on line* disponível em <<http://www.geominas.mg.gov.br/>> e em arquivos do DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto.

4.2 Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados com as seguintes finalidades: reconhecimento da área, obtenção de fotografias, retirada de amostras de solo, ensaios *in situ* e, principalmente, para fazer uma prévia identificação dos possíveis fatores determinantes do processo erosivo em evolução na área estudada.

No mês de agosto de 2008 foram realizados os primeiros trabalhos de campo com a finalidade de identificar os principais atributos da bacia do córrego Campo Alegre. São eles: relevo; tipos de materiais inconsolidados; declividade; comprimento das encostas, dentre outros; além de levantar previamente os principais fatores que poderiam estar contribuindo para o desenvolvimento da erosão e obter fotografias a serem utilizadas para monitoramento visual e caracterização da paisagem.



Figura 30: Aspecto da cabeceira do córrego Campo Alegre. Atentar para a erosão presente na área.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.

No mês de janeiro de 2009 foram desenvolvidas atividades de campo para a obtenção de amostras para os ensaios geotécnicos e a caracterização de quatro perfis de solo nos taludes da erosão.

As amostras deformadas foram obtidas diretamente nos perfis dos taludes previamente escolhidos, armazenadas em sacos plásticos e, em seguida, transportadas para o laboratório de Geotecnia da UFU – Universidade Federal de Uberlândia, onde permaneceram por uma semana para secagem.



Figura 31: Ponto de coleta de amostra em um dos taludes de erosão.
Autor: GIFFONI, S. Data: 18 jan. 2009.

Ainda no mês de janeiro de 2009 foi realizado o estaqueamento em um trecho da erosão do córrego Campo Alegre, situado no talude da margem direita. A escolha desse trecho deve-se à sua maior atividade erosiva e, também, onde a atividade antrópica voltada à criação de gado é mais intensa.

Um GPS geodésico, modelo Hipper L1/L2 da Topcon, foi instalado em uma posição fixa por 2 horas seguidas recebendo dados que foram posteriormente utilizados como base de correção para os pontos coletados ao longo do limite da erosão. Esta localização foi escolhida de forma adequada para captação de sinais dos satélites e também para a boa distribuição geométrica necessária para a correção dos dados móveis dos outros levantamentos.



Figura 32: Fixação de estacas na borda da erosão.
Autor: GIFFONI, S. Data: 18 jan. 2009.

No dia 19 de janeiro de 2009, com o mesmo GPS geodésico Hipper, foram coletadas informações de coordenadas de pontos de referência localizados na área da bacia do córrego Campo Alegre, com a finalidade de retificação e georreferenciamento das imagens e fotografia aéreas fornecidas pelo Laboratório de Cartografia do Instituto de Geografia da UFU e pela Prefeitura Municipal.

Já em 21 de janeiro do mesmo ano foram realizados levantamentos geodésicos dos dois taludes da erosão, no trecho onde foi verificado o seu maior avanço, utilizando do GPS geodésico Hipper L1/L2 da Topcon.

No dia 11 de fevereiro de 2009, em outra atividade de campo, foram realizados ensaios de permeabilidade com o uso do Permeômetro de Guelph, no local escolhido para monitoramento por estacas (talude da margem direita do córrego). Os ensaios foram realizados em dois alinhamentos: próximo à margem da voçoroca e a 25 metros desta e em 3 profundidades distintas: superfície; 10 centímetros e 30 centímetros, todos à carga hidráulica constante de 3 centímetros.



Figura 33: Levantamento com GPS geodésico no trecho de maior velocidade de erosão.
Autor: GIFFONI, S. Data: 21 jan. 2009.

No mês de setembro de 2009 foi realizada a amostragem de solo com obtenção de amostras indeformadas com dimensão 40 x 40 x 40 cm, conforme a NBR 9604 NB1131, para realização dos ensaios de cisalhamento direto e adensamento. Também foram amostrados no perfil 4, em cada um dos 5 níveis anteriormente caracterizados, amostras indeformadas em cilindro volumétrico confeccionado em PVC para realização do ensaio de erodibilidade.



Figura 34: Amostragem de solo para obtenção da amostra indeformada.
Autor: GIFFONI, S. Data: 01 set. 2009.



Figura 35: Ensaio de permeabilidade com permeâmetro de Guelph.

Autor: GIFFONI, S. Data: 02 set. 2009.

Ainda, no mês de setembro de 2009, foram realizados 6 novos ensaios de permeabilidade com o permeâmetro de Guelph.

No mês de outubro de 2009 foi realizada a última atividade de campo com o objetivo de obter amostras indeformadas de solo em cilindros em cada uma dos 5 níveis do perfil 4 para realização de ensaios de absorção de água e erodibilidade por perda de massa por imersão, segundo Pejon, 1992.



Figura 36: Amostragem indeformada de solo em cilindro.

Autor: GIFFONI, S. 06-10-2009

4.3 Perfis do solo

Quatro perfis de solo foram caracterizados junto aos taludes da erosão. A escolha dos perfis deveu-se pela fácil visualização dos diferentes níveis do solo e facilidade para amostragem.

As amostras de solo foram obtidas do perfil 04, previamente escolhido por ser o mais representativo em relação a outros três. Os três níveis amostrados receberam as seguintes denominações, do topo para a base do talude: P1N1 - primeiro nível do Perfil 1, P1N5 – 5º nível do perfil 1, P3N2 - segundo nível do perfil 3 e assim por diante

A localização dos perfis pode ser observada na figura 33. O Perfil 1 localiza-se na porção de cabeceira da erosão, próximo ao ponto de lançamento de uma galeria pluvial. O Perfil 2 e 3 estão localizados na porção média da erosão, junto ao seu talude esquerdo. Já o Perfil 4 encontra-se no talude da margem direita da erosão, em sua porção mais ativa.

A representação esquemática dos 4 perfis dos taludes da erosão foi elaborada com auxílio de trena métrica e um esboço prévio feito em campo. Posteriormente, a representação final, com adição de novas informações de campo, foi obtida com auxílio do software Microsoft Power Point.

As informações de campo referentes à caracterização do perfil foram sistematizadas no quadro da Sociedade Brasileira de Ciência do solo, a seguir:

QUADRO 1 - Modelo de Ficha para descrição de perfis

DESCRIÇÃO GERAL – IDENTIFICAÇÃO TÁTIL VISUAL
PERFIL
DATA
CLASSIFICAÇÃO

UNIDADE DE MAPEAMENTO
LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO, COORDENADAS
SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE PERFIL
ALTITUDE
LITOLOGIA
FORMAÇÃO GEOLÓGICA
PERÍODO
MATERIAL ORIGINÁRIO
PEDREGOSIDADE
ROCHOSIDADE
RELEVO LOCAL
RELEVO REGIONAL
EROSÃO
DRENAGEM
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA
USO ATUAL
CLIMA
DESCRITO E COLETADO POR
RAÍZES
OBSERVAÇÕES
P1N1
P1N2
P1N3
P1N4
P1N5

Fonte: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1996.

4.4 Ensaios Geotécnicos

Nos meses de fevereiro, março e julho de 2009 foram realizados no laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia os seguintes ensaios de laboratório: massa específica dos sólidos, granulometria, limites de Atterberg e ensaios especiais de cisalhamento direto e adensamento. Os ensaios de erodibilidade e adsorção de azul de metileno foram realizados nos meses de julho e agosto de 2009, junto ao Laboratório de Geologia do Instituto de Geografia da UFU.

A escolha desses ensaios deveu-se à disponibilidade em realização pelos laboratórios de geotecnia e geologia da UFU e sua importância para a caracterização dos materiais inconsolidados presentes nos taludes da erosão do córrego Campo Alegre quanto ao seu comportamento mecânico e químico.

4.4.1 Massa específica dos sólidos

A determinação da massa específica dos sólidos foi realizada segundo as especificações contidas na Norma NBR 6508/198.

4.4.2 Granulometria por peneiramento e sedimentação

Ensaios de granulometria seguiram as orientações explicitadas pelas normas NBR 6457 e NBR 7181. Nos peneiramentos foram utilizadas as peneiras determinadas pela NBR 5734.



Figura 37: Peneiramento Grosso no ensaio de granulometria.
Autor: GIFFONI, S. Data: 09 fev. 2009.

4.4.3 Limites de Atterberg

Os Limites de Atterberg ou limites de consistência foram desenvolvidos respectivamente conforme as normas da ABNT: NBR 7180 (Limite de Liquidez – LL) e NBR 6459 (Limite de Plasticidade- LP).



Figura 38: Modelagem de cilindros no ensaio de Limites de Atterberg.
Autor: GIFFONI, S. Data: 04 mar. 2009.

4.4.4 Ensaio de Cisalhamento Direto

O ensaio de cisalhamento foi realizado para os 3 últimos níveis do perfil 4, ou seja P4N3, P4N4 e P4N5, sendo estas escolhidas por serem as de maior instabilidade no perfil de maior atividade erosiva. As amostras indeformadas foram retiradas conforme a norma ABNT - NBR 9604/1986 (Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas)

O ensaio de cisalhamento foi direto com adensamento rápido conforme a ASTM D3080. Nesse ensaio aplica-se inicialmente, sobre o corpo de prova, apenas a tensão normal e após a estabilização das deformações verticais devido à essa tensão que será mantida sobre o corpo de prova, aplica-se a tensão cortante crescente até a ruptura.



Figura 39: Ensaio de Cisalhamento.
Autor: GIFFONI, S. Data: 09 jul. 2009.

4.4.5 Ensaio de Adensamento

O ensaio de adensamento foi também realizado para os três últimos níveis do perfil 4: P4N3, P4N4 e P4N5, sendo estas escolhidas por serem as de maior instabilidade no perfil de maior atividade erosiva. O coeficiente de adensamento foi determinado pelo método de Taylor.



Figura 40: Ensaio de Adensamento.
Autor: GIFFONI, S. Data: 21 jul. 2009.

4.4.6 Ensaio de Erodibilidade

O ensaio de erodibilidade foi realizado em cinco amostras sendo uma de cada nível do perfil quatro. O método do ensaio foi desenvolvido por Nogami e Villibor (1979) e adaptado por Pejon (1992).

O método é dividido em duas etapas: absorção de água e perda de solo por imersão. As amostras utilizadas para esse ensaio foram coletadas em cilindros de PVC rígido com a ponta biselada, com 4cm de diâmetro e 2cm de altura. Antes da realização do ensaio as amostras ficaram sete dias para secagem ao ar livre.

Na etapa de adsorção de água foi utilizado um equipamento montado no próprio laboratório que consiste num recipiente cilíndrico ligado a um tubo de vidro horizontal graduado. O conjunto é preenchido com água e na porção superior do recipiente cilíndrico encontra-se adaptada uma pedra porosa, mantida saturada. A amostra então é colocada sob a pedra porosa e inicia-se a contagem de tempo e medição do volume de água absorvido pela amostra até sua saturação.

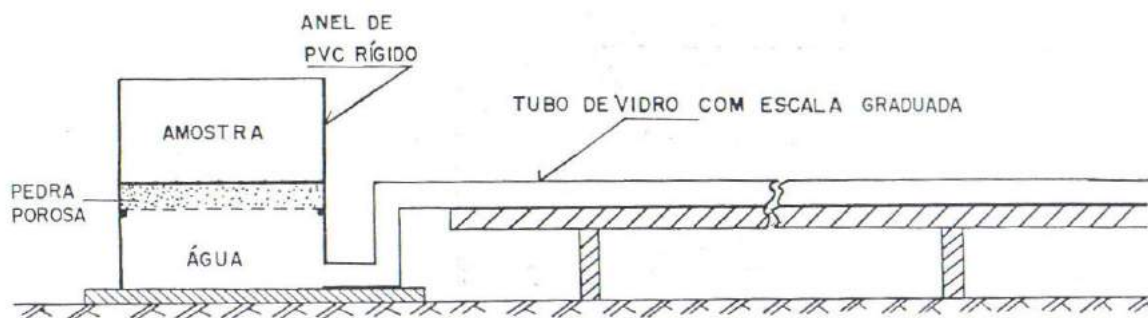


Figura 41: Esquema do aparelho de adsorção de água.
Fonte: NISHIYAMA, 1989.

Essa primeira etapa permite a obtenção do índice de absorção (S) através do gráfico montado a partir do volume de água absorvido por unidade de área da base do corpo de prova (q) em função da raiz quadrada do tempo (et) sendo $S = q / et$.

Na etapa de perda de peso por imersão, a amostra contida no cilindro de amostragem é fixada uma pedra porosa em sua base. O conjunto é imerso em um recipiente com água, e disposto

na horizontal a aproximadamente 2,0 mm do nível da água para a saturação completa da amostra.

Atingida saturação completada da amostra de solo, o conjunto é submerso em um recipiente maior com água devendo, neste momento, a superfície livre da amostra ser posicionada na vertical. Após 24 horas o recipiente com a amostra é recolhido e a quantidade de solo desprendido pesada.

Para o cálculo do índice de erodibilidade (E), Pejon (1992) propõe a expressão para: $E = 40 S/P$, onde S representa a adsorção de água e P a perda de peso por imersão. Dependendo do valor encontrado para este índice, o solo pode ser considerado não erodível ($E > 1,0$) e erodível ($E < 1,0$).



Figura 42: Ensaio de Erodibilidade. Perda por imersão.

Autor: GIFFONI, S. Data: 18 jul. 2009.

4.4.7 Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno

A realização deste ensaio se deu pela metodologia descrita por Lan (1977, 1980) e Beaulier (1979) e adaptada por Pejon (1992).

Para a realização do ensaio foram pesados 4 g do solo e diluídos em 10 ml água destilada. Posteriormente foi titulado a solução de azul de metileno com uso de uma bureta com

graduação de 1 ml e capacidade para 50 ml. O Becker com solo e solução de azul deve ser mantido em constante agitação através de um agitador magnético.

Inicialmente, adiciona-se 5 ml de solução de azul de metileno e após um intervalo de 3 minutos, com o auxílio de uma haste de vidro, captura-se uma gota da suspensão a qual será disposta sobre um papel filtro. Este procedimento é repetido a cada 3 minutos observando-se a mancha formada pela gota da suspensão e o aparecimento de uma aureola azul clara em torno da mancha.

O teste é considerado positivo no aparecimento da aureola, portanto se encerra o ensaio. Caso contrário, este procedimento deve ser continuado.

O método da adsorção do azul de metileno permite a determinação da capacidade de troca de cátions (CTC) e da superfície específica (SE) dos argilo-minerais o índice de atividade da fração argilosa (Acb) e avaliar o comportamento laterítico da amostra.

O Cátion azul de metileno substitui os cátions Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} e H_3O^+ adsorvidos aos argilo-minerais, ocorrendo um processo de adsorção irreversível, o que caracteriza uma forma de medida da capacidade de troca catiônica.

A Capacidade de Troca Catiônica pode ser obtida a partir da seguinte expressão (Che *et al.*, 1974 *apud* Pejon, 1992):

$$CTC = \frac{V * C * 100}{M} \quad (0.1)$$

Sendo que:

V = Volume da solução de azul de metileno gasto (ml)

Varia conforme o solo

C = Concentração da solução de azul de metileno (normalidade)

1,5 gramas para 1000 mls de água – normalidade = 0,0047

M = massa do solo seco (g)

4 gramas

A determinação da Superfície Específica é calculada pela expressão:

$$SE = \frac{3,67 * V}{M} \quad (0.2)$$

Sendo que:

3,67 m²/ ml = superfície recoberta por um ml de azul de metileno

V = Volume da solução de azul de metileno gasto (ml) (varia conforme o solo)

M = massa do solo seco (g) = 4 gramas

Ainda buscando associar o valor da adsorção do azul de metileno (VB) com a mineralogia das argilas, definindo este índice como sendo a massa de azul de metileno necessária para recobrir com uma camada monomolecular as partículas contidas em 100g de um solo. Buscou-se, para cada uma das amostras, o VB definido pela formula:

$$VB = \frac{1,5 * V * 100}{M * 1000} \quad (0.3)$$

Concomitante se faz necessário caracterizar a atividade da fração argilosa por meio da quantidade de azul de metileno adsorvido por 100gramas de argila, ou seja, (Acb) proposto por Lautrin (1989). O valor de Acb é definido pela formula abaixo:

$$Acb = \frac{Vb * 100}{\% \text{ argila}} \quad (0.4)$$

A conclusão e análise dos resultados são realizadas utilizando-se tabelas e gráficos referenciados em Beaulieu (1979) *apud* Pejon (1992) e Lautrin (1987).

4.5 Ensaios de Permeabilidade in situ

O ensaio de permeabilidade em campo foi realizado com o uso do Permeâmetro de Guelph. Foram escolhidos seis pontos na margem mais ativa da erosão para realização do ensaio, como podem se vistos na figura 31. O Permeâmetro de Guelph é um permeâmetro de carga hidráulica constante que mede a condutividade hidráulica saturada de campo acima do lençol freático (AGUIAR, 2001 p. 24)

Geralmente os ensaios de permeabilidade do solo omitem a influência da sucção matricial do solo podendo alterar os valores reais. Reynolds & Elrick (1985) apresentaram uma solução analítica (1.5) para essa falha baseando-se na equação de Richards (1931) representando o fluxo permanente de água através de uma cavidade cilíndrica.

$$\left(\frac{2 * \pi * H^2}{C} + \pi * a^2 \right) * K_{fs} + \left(\frac{2 * \pi * H}{C} \right) \phi_m = Q \quad (0.5)$$

Onde:

$Q [L^3 T^{-1}]$ = taxa de entrada no solo, em regime estacionário

$H [L]$ = altura da coluna de água dentro da cavidade

C = fator de forma adimensional

a = raio da cavidade

K_{fs} = permeabilidade do solo

ϕ_m = fluxo devido ao potencial matricial do solo dado pela equação (1.6)

$$\phi_m = \int_{\psi_i}^0 K(\psi) d\psi \quad (0.6)$$

Onde:

$K(\psi)$ [L T⁻¹] = condutividade hidráulica

(ψ) [L] = potencial matricial

Para a obtenção dos parâmetros K_{fs} e ϕ_m é necessária a realização de testes de infiltração no solo, utilizando-se pelo menos duas alturas de cargas distintas que segundo Reynolds & Elrick (1985) podem ser obtidos pela equação abaixo:

$$K_{fs} = G_2 Q_2 - G_1 Q_1 \quad (0.7)$$

$$\phi_m = J_1 Q_1 - J_2 Q_2 \quad (0.8)$$

Onde:

$$J_1 = \frac{((2H_2)^2 + a^2 C_2) C_1}{2\pi(2H_1 H_2 (H_1 - H_2) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1))} \quad (0.9)$$

$$J_2 = J_1 \frac{((2H_1)^2 + a^2 C_1) C_2}{((2H_2)^2 + a^2 C_2) C_1} \quad (0.10)$$

$$G_2 = \frac{H_1 C_2}{\pi(2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1))} \quad (0.11)$$

$$G_1 = G_2 \frac{H_2 C_1}{H_1 C_2} \quad (0.12)$$

Nas equações acima o subscrito 1 e 2 indicam as 2 cargas hidráulicas e o fator de forma C é obtido em função do tipo de solo e da relação H/a. Entretanto, no uso dessas equações é possível se obter valores negativos para K_{fs} , portanto para essa correção Elrick *et Al* (1989) apresenta um método a partir de uma única altura de carga hidráulica.

$$K_{fs} = \frac{CQ}{2\pi H^2 + C\pi a^2 + \frac{2\pi H}{\alpha}} \quad (0.13)$$

$$\phi_m = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + C\pi a^2) * \alpha + 2\pi H} \quad (0.14)$$



Figura 43: Permeômetro de Guelph. Ensaio de Permeabilidade.
Autor: GIFFONI, S. Data: 02 set. 2009.

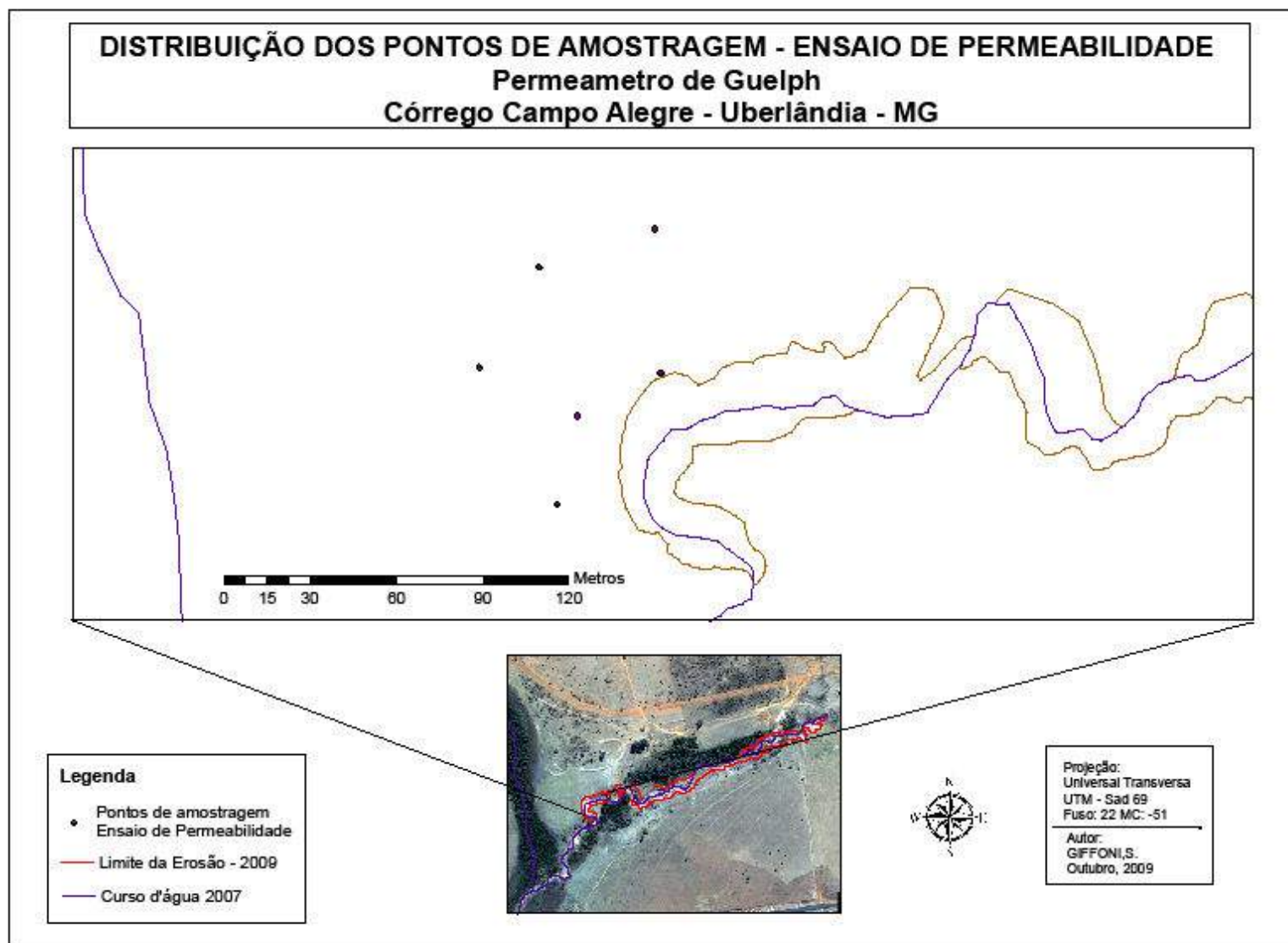


Figura 44: Mapa de Distribuição dos pontos de ensaio de permeabilidade.

4.6 Documentos Cartográficos

4.6.1 Locação das áreas de amostragem e perfil do solo.

Uma carta-imagem foi elaborada para localizar os principais pontos dessa pesquisa. A imagem abrange o braço esquerdo do córrego Campo Alegre onde se desenvolvem os processos erosivos, desde a nascente até sua foz.

Os quatro perfis de solo, os pontos de amostragem do ensaio de permeabilidade e o trecho escolhido para investigação mais detalhada onde está a porção mais ativa da erosão estão destacados nesse mapa.

O mapa geral e de localização dos pontos, figura 45, foi elaborado com o auxílio do software Arcgis 9.2 por meio do qual se construiu o banco de dados, e da imagem cedida pela SEPLAM da Prefeitura Municipal de Uberlândia.

A imagem utilizada foi cedida pela prefeitura e é proveniente do Satélite Quickbird de resolução espacial 0,60 cm. Foram obtidas com GPS de navegação Garmim 60 map. Ainda a partir desses mapas serão gerados outros que permitirão aprofundar mais a análise do estudo da erosão.

4.6.2 Mapa topográfico

Para a elaboração do mapa topográfico, figura 46, foi utilizado levantamento topográfico com curvas de nível de equidistância equivalente a 1 metro, cedidas pelo DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto, tratadas com o *software* Arcgis 9.2 e ajustadas pelo *software* AutoCAD 2007.

4.6.3 Mapa de declividade

O mapa de declividade foi elaborado a partir do levantamento topográfico cedido pelo DMAE com equidistância de 1m, tratado com *software* Arcgis 9.2, e estabelecimento de 7 classes de declividade, a saber: 0-2%, 2-5%, 5-10%, 10-15%, 15-20%, 20-30%, 30-45%.

As classes de declividade e classificação do relevo em relação à declividade podem ser visualizadas no quadro 2, proposto por Guerra e Cunha (1996).

QUADRO 2 - Classificação de declividade e categorias de relevo

CLASSIFICAÇÃO	CLASSES DE DECLIVIDADE (%)
Muito fraca	Até 6%
Fraca	De 6% a 12%
Média	De 12 a 20%
Forte	De 20 a 30%
Muito forte	Acima de 30%

Fonte: GUERRA e CUNHA (1996)



Figura 45: Mapa de locação das áreas de amostragem e perfil do solo

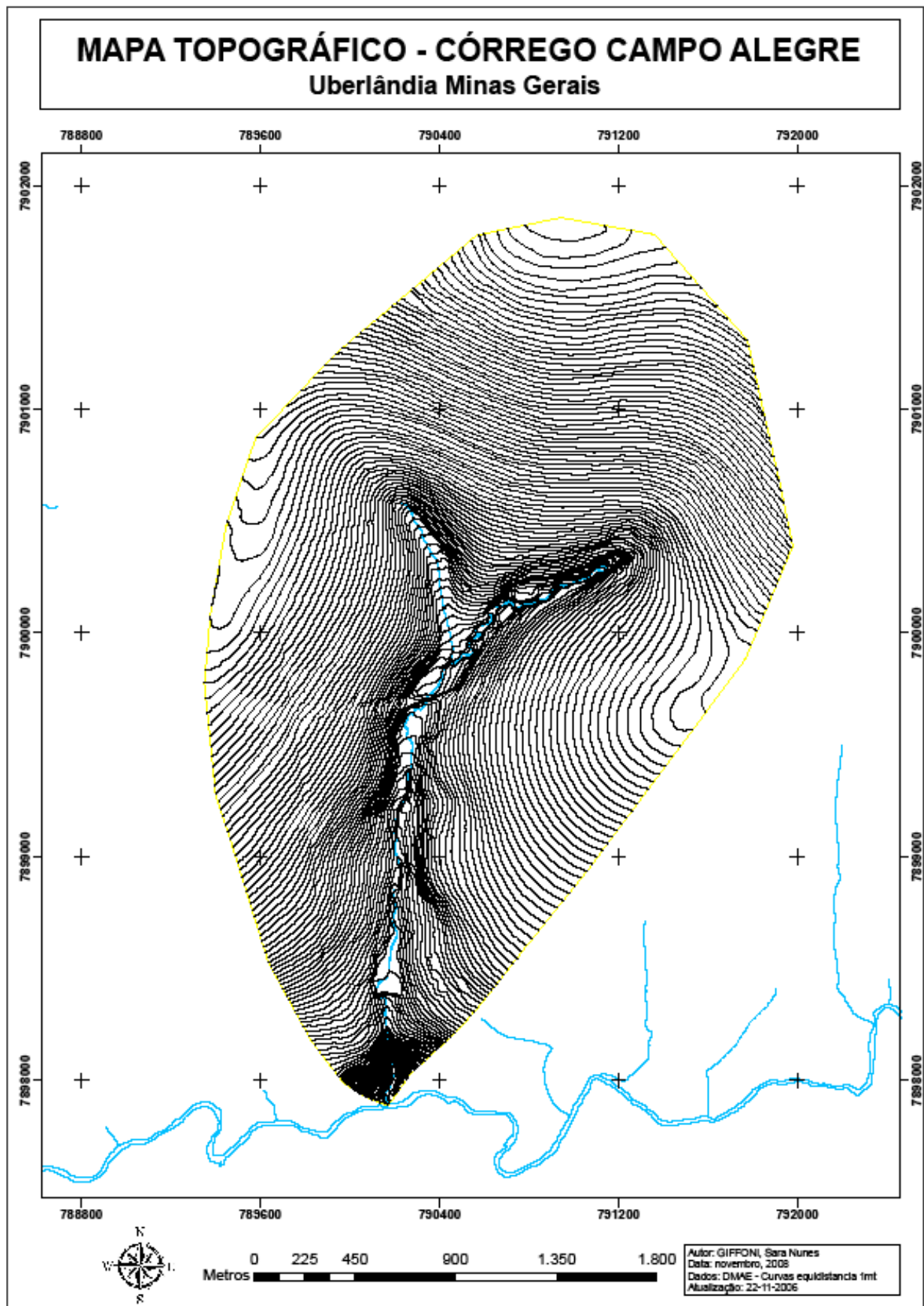


Figura 46: Mapa topográfico do córrego Campo Alegre.

4.6.4 Mapa Hipsométrico

Também gerado a partir do levantamento topográfico cedido pelo DMAE e elaborado no *software* Arcgis 9.2.

4.6.5 Mapas: Análise Temporal da Feição Erosiva

Para a confecção desses mapas foi necessário, inicialmente, digitalizar em tela a borda da erosão, bem como o córrego com suas alterações de curso em imagem de satélite ou fotografias aéreas disponíveis.

Fotografias aéreas em papel, obtidas no ano de 1979 (IBC-GERCA), em escala 1:25.000, foram copiadas para o meio digital com uso de um *scanner* para, posteriormente, ser digitalizada em tela. No ano de sua obtenção, não se observava nenhuma evidência da feição. Assim sendo, apenas o curso do córrego foi digitalizado.

Fotografias aéreas do ano de 1977 (ESTEIO, 1977), em escala 1:8.000, em meio digital, cedidas pela Prefeitura Municipal de Uberlândia possibilitaram digitalizar tanto a feição erosiva quanto o curso d'água. Trabalho semelhante foi realizado com fotografias aéreas de 2004 (ESTEIO, 2004).

Com um grau de precisão maior oferecido pela imagem de satélite Quickbird do ano de 2007, foi possível digitalizar o curso d'água e os limites da feição erosiva. Em 2009 o levantamento do limite da feição erosiva e do córrego foi realizado com uso de um GPS geodésico Hipper da Topcon.

Para uma melhor visualização e análise comparativa os levantamentos foram combinados em 3 mapas: 1997 e 2004, 2004 e 2007 e 2007 e 2009. No mesmo mapa encontram-se representadas os pontos de lançamento de 2 galerias pluviais.

4.6.6 Mapa: Evolução Temporal da Feição Erosiva do Córrego Campo Alegre

Para uma análise de efeito comparativo foram elaboradas 4 cartas-imagem, dispostas em ordem cronológica, as quais evidenciam a evolução da feição erosiva (voçoroca) e as

alterações no curso d'água, utilizando as mesmas imagens e fotografias descritas no item anterior.

O modelo proposto por esta pesquisa avaliou, mediante o resultado dos ensaios realizados e o banco de dados de informações geográfica, quais as melhores informações e sua eficiência ou não na compreensão da evolução do processo erosivo. As combinações das informações levantadas e produzidas pelas diversas técnicas utilizadas nesta pesquisa combinam os parâmetros sugeridos para o modelo proposto.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Perfis do solo

Com o aprofundamento do canal fluvial sob a ação das águas pluviais lançadas na cabeceira do córrego Campo Alegre, os diferentes níveis do solo foram expostos e tiveram, portanto, fácil acesso. Desse modo, foram definidos para o estudo quatro perfis de solo no trecho onde se desenvolvem os processos erosivos ao longo do córrego Campo Alegre.

Foram realizadas amostragens nos quatro perfis, totalizando 18 amostras distribuídas da seguinte maneira: cinco no primeiro; cinco no segundo; três no terceiro e cinco no quarto perfil. De uma maneira geral, os solos presentes nos perfis, apesar de apresentar coloração, espessura dos níveis e texturas diferenciadas, são constituídos predominantemente de fração areia.

Para uma melhor caracterização da cor foi utilizada a Carta de Munsell, comum na classificação de solos tropicais e semi-tropicais. Cada nível dos perfis avaliados encontra-se descrito a seguir, conforme caracterização tátil e visual.

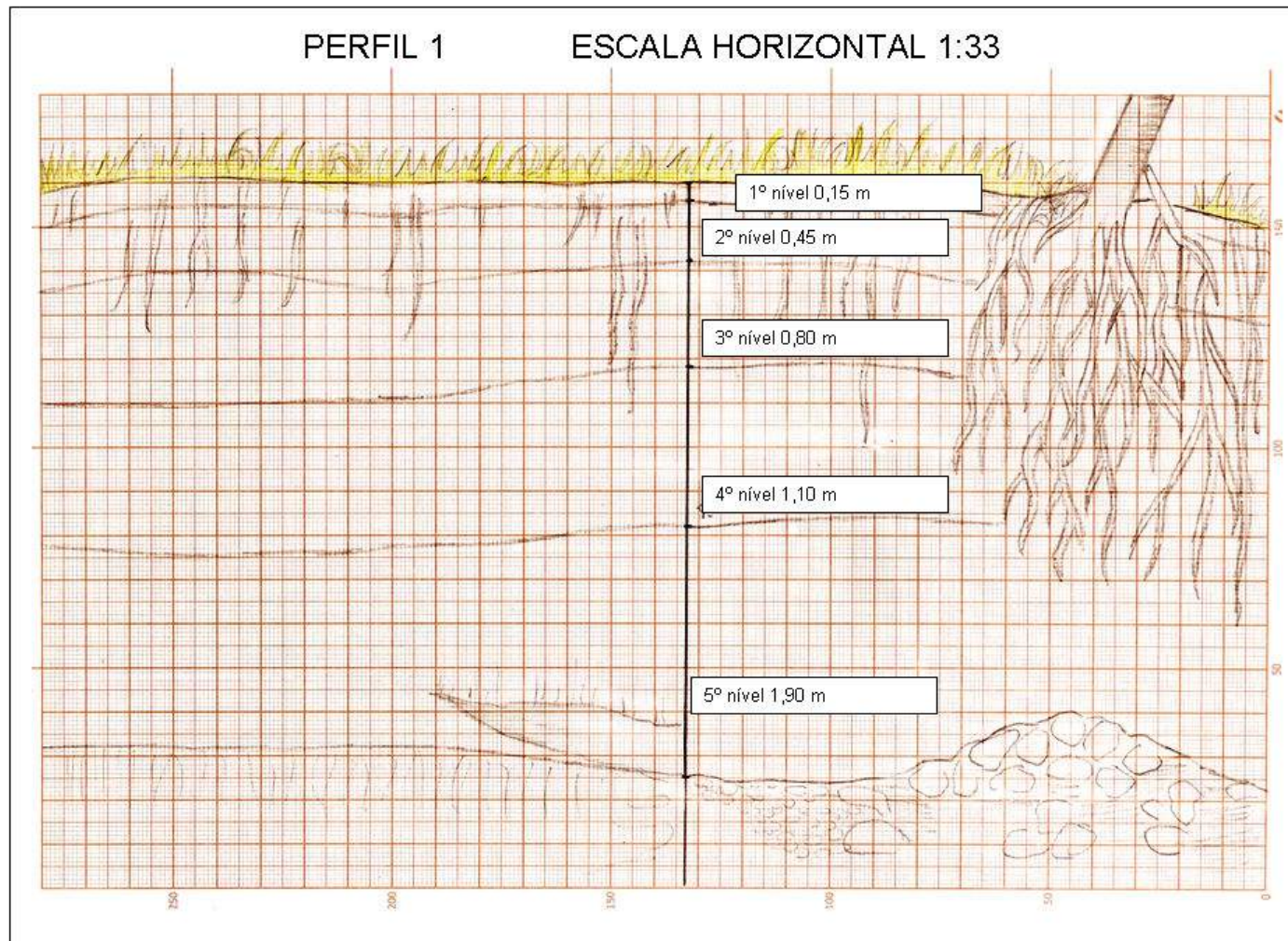


Figura 48: Perfil de solo 1.

TABELA 1 - Caracterização do Perfil 1

DESCRIÇÃO GERAL	
PERFIL	PERFIL 01
DATA	16-01-2009
CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA	Gleissolo + Organossolo
LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO, COORDENADAS UTM	Uberlândia, Minas Gerais, 791102, 845 W e 7900296, 928 S
SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE PERFIL	Declividade moderada entre 5 e 10%, sem cobertura vegetal natural nas vertentes e vereda no fundo de vale associada a mata paludosa
ALTITUDE	Elipsoidal : 848,53
FORMAÇÃO GEOLÓGICA -GRUPO	Formação Marília – Grupo Bauru
LITOLOGIA	Arenito e Arenito conglomerático
PERÍODO	Cretáceo Superior (Ks)
MATERIAL ORIGINÁRIO	Arenito
ROCHOSIDADE	Ausente
RELEVO LOCAL	Pouco ondulado, colinas amplas e perfil convexo
RELEVO REGIONAL	Formas tabulares , topo plano com diferentes graus de dissecação
EROSÃO	Sim
DRENAGEM	Sim
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	Árvores dispersas nativas do Cerrado
USO ATUAL	Pastagem
CLIMA	Aw - Koppen
DESCRITO E COLETADO POR	Sara Giffoni
MATÉRIA ORGÂNICA	Sim, presença abundante de matéria orgânica.
OBSERVAÇÕES	
P1N1	Solo do primeiro horizonte do perfil com grande quantidade de matéria orgânica mineralizada e de raízes vegetais. A espessura é de 0,15 m, coloração segundo a carta de Munsell é Dark Brown – Marrom Escuro. Solo áspero ao tato indicando grande quantidade de areia. Desagrega facilmente, com pouca ou nenhuma plasticidade.
P1N2	Solo Turfoso, de coloração, segundo carta de Munsel, Black (Preta), bastante rígido e coeso quando seco, odor relativo à presença de matéria orgânica, inflamável, com predominância da matéria orgânica sobre partículas minerais, pouco úmido e com média plasticidade. Apresenta uma espessura de 0,45 m.
P1N3	Solo bastante áspero ao tato, essencialmente arenoso, sem presença de matéria orgânica, coloração segundo carta de Munsell – Pinkish Grey – cinza rosado, pouco úmido e se encontra ao longo de uma espessura de 0,80 m. Desagrega

	muito facilmente, com pouca ou nenhuma plasticidade.
P1N4	Solo com predominância de areia e quantidade subordinada de argila, coloração segundo carta de Munsell – Pink – rosa – pouco úmido, sem presença de matéria orgânica, apresenta baixa plasticidade e coesão, ocupa uma espessura de 1,10 m.
P1N5	Nível obliterado pelos materiais desprendidos da parte alta do talude de erosão é o último nível do perfil possível de visualização, com solo de coloração clara e abundante argila e areia, é bastante coeso e úmido, próximo ao nível do curso d'água, segundo a carta de Munsell é da cor – White – branco, a porção exposta ocupa uma espessura de 1,90m. Para a retirada da amostra foi necessário a remoção do material desprendido de outros níveis.



Figura 49: Foto do perfil 1. Atentar para a variação da coloração e da textura e a presença de uma camada orgânica no topo do perfil.

Autor: GIFFONI, S. 16 jan. 2009.

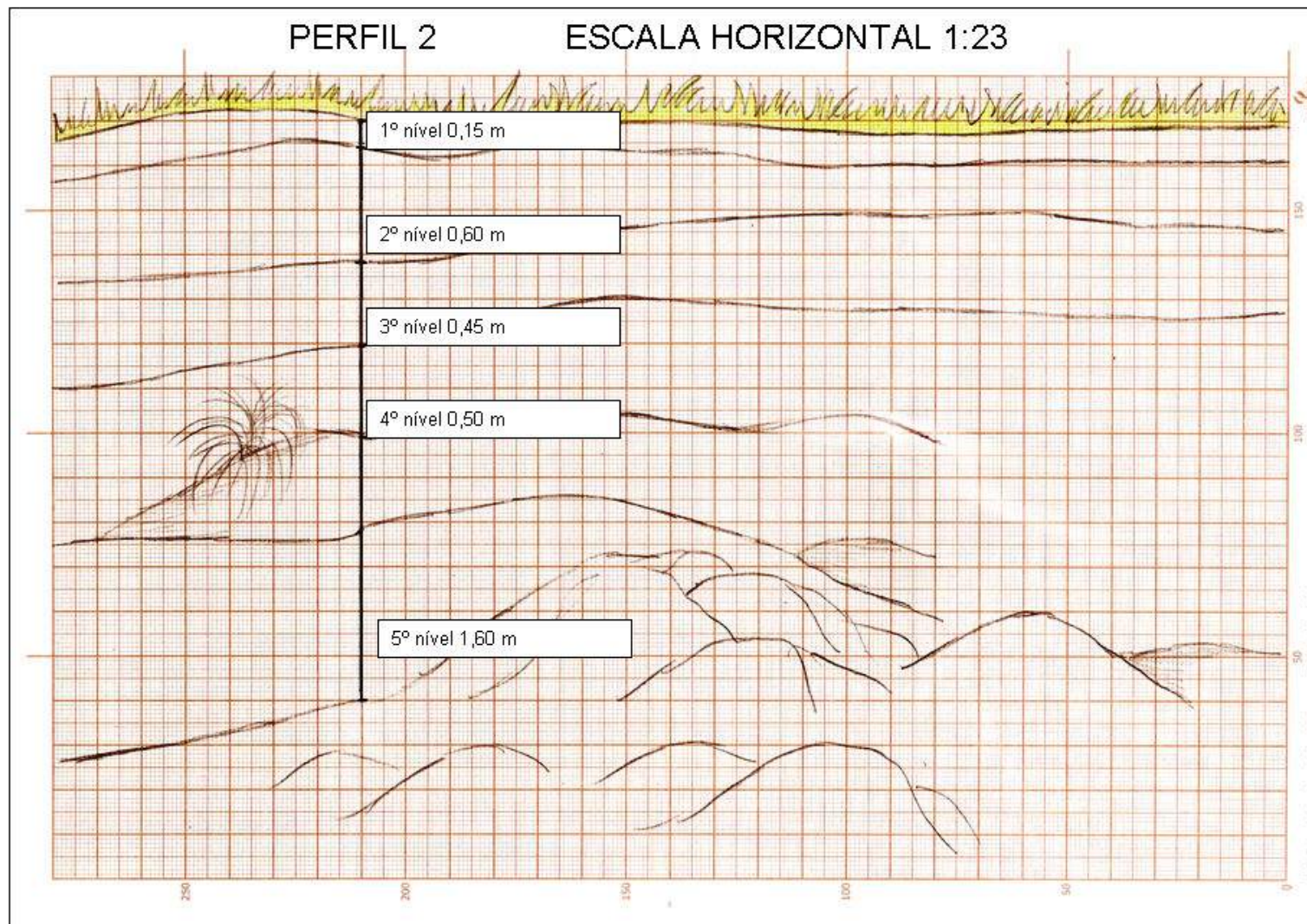


Figura 50: Perfil de solo 2.

TABELA 2 - Caracterização do Perfil 2

DESCRIÇÃO GERAL	
PERFIL	PERFIL 02
DATA	16-01-2009
CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA	Gleissolo + Organossolo
LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO, COORDENADAS UTM	Uberlândia, Minas Gerais, 790881,592 W e 7900137,694 S
SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE PERFIL	Declividade moderada entre 5 e 10%, sem cobertura vegetal natural nas vertentes e vereda no fundo de vale associada a mata paludosa
ALTITUDE	Elipsoidal: 843,19
FORMAÇÃO GEOLÓGICA	Formação Marília – Grupo Bauru
LITOLOGIA	Arenito e Arenito conglomerático
PERÍODO	Cretáceo Superior (Ks)
MATERIAL ORIGINÁRIO	Arenito
ROCHOSIDADE	Ausente
RELEVO LOCAL	Pouco ondulado, colinas amplas e perfil convexo
RELEVO REGIONAL	Formas tabulares , topo plano com diferentes graus de dissecação
EROSÃO	Sim
DRENAGEM	Sim
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	Árvores dispersas nativas do Cerrado
USO ATUAL	Pastagem
CLIMA	Aw - Koppen
DESCRITO E COLETADO POR	Sara Giffoni
RAÍZES	Sim, abundante presença de matéria orgânica.
OBSERVAÇÕES	

DESCRIÇÃO DOS NÍVEIS DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS	
P2N1	Solo do primeiro horizonte do perfil com bastante matéria orgânica sendo grande quantidade de raízes, sua espessura é de 0,15 m, a coloração segundo a carta de Munsell é Dark Brown – marrom -, solo é áspero ao tato indicando grande quantidade de areia, desagrega facilmente, apresenta em superior quantidade areia e pouco ou nenhuma plasticidade.
P2N2	Nível de material mais fino e com menor quantidade de areia, porém ainda com grande quantidade de matéria orgânica. É áspero ao toque e de acordo com carta de munsell sua coloração é Redish Yellow – amarelo-avermelhado. Sua espessura é 0,60 m.
P2N3	Nível essencialmente arenoso, sem presença de matéria orgânica, porém com quantidade considerável de argila. Sua coloração segundo carta de Munsell – Pinkish Grey – cinza-róseo, pouco úmido e espessura de 0,45 m. Desagrega-se muito facilmente, com pouco ou nenhuma plasticidade.
P2N4	Este nível não se apresenta muito bem definido no perfil em razão da mudança gradual na coloração e de textura, em geral apresenta mosqueamento. De acordo com a carta de Munsell sua coloração é Strong Brown – Marrom intenso. É comum observar blocos que se desprendem do talude, é essencialmente arenoso com menores quantidades de argila e silte, apresenta baixa plasticidade e muita aspereza ao tato. A espessura desse nível é de aproximadamente 0,50 m.
P2N5	Nível obliterado por blocos desprendidos da parte superior do perfil, apresenta textura mais fina em relação a outros níveis, essencialmente arenosa, porém com maior quantidade de argila do que os demais níveis. Mostra coloração clara que, de acordo com a carta de Munsell, pode ser caracterizada como Pink – Rosa. A parte não recoberta e possível de ser medida apresenta espessura de 1,60 m. Para a retirada da amostra foi necessário a remoção do material desprendido de outros níveis.



Figura 51: Foto do perfil 2.
 Autor: GIFFONI, S. Data: 16 jan. 2009.

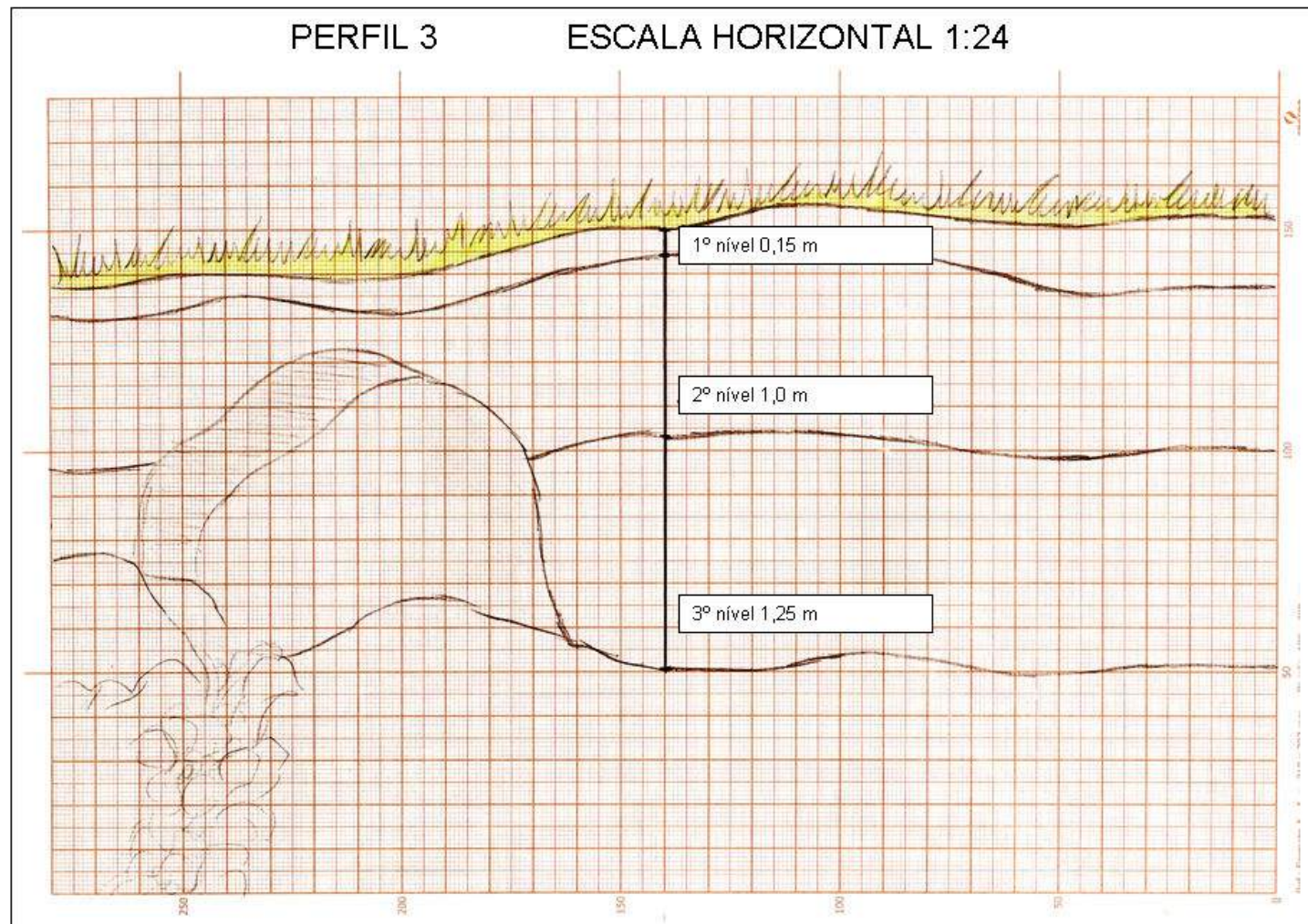


Figura 52: Perfil de solo 3

TABELA 3 - Caracterização do Perfil 3

DESCRIÇÃO GERAL	
PERFIL	PERFIL 03
DATA	16-01-2009
CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA	Gleissolo + Organossolo
LOCALIZAÇÃO MUNICÍPIO	Uberlândia, Minas Gerais, 790634,473 W e 7900128,572 S
ESTADO	
COORDENADAS (utm)	
SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE PERFIL	Declividade moderada entre 5 e 10%, sem cobertura vegetal natural nas vertentes e vereda no fundo de vale associada a mata paludosa
ALTITUDE	Elipsoidal: 839,96
FORMAÇÃO GEOLÓGICA	Formação Marília – Grupo Bauru
LITOLOGIA	Arenito e Arenito conglomerático
PERÍODO	Cretáceo Superior (Ks)
MATERIAL ORIGINÁRIO	Arenito
ROCHOSIDADE	Ausente
RELEVO LOCAL	Pouco ondulado, colinas amplas e perfil convexo
RELEVO REGIONAL	Formas tabulares , topo plano com diferentes graus de dissecação
EROSÃO	Sim
DRENAGEM	Sim
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	Árvores dispersas nativas do Cerrado
USO ATUAL	Pastagem
CLIMA	Aw - Koppen
DESCRITO E COLETADO POR	Sara Giffoni

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA	
RAÍZES	Sim, pouca presença de matéria orgânica, apenas no primeiro nível mais superficialmente.
OBSERVAÇÕES	Perfil parcialmente à mostra, pois um bloco desprendido da porção superior do perfil encobriu a sua porção inferior, próxima ao nível do curso d'água.
DESCRIÇÃO DOS NÍVEIS DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS NO PERFIL	
P3N1	Nível com espessura aproximada de 0,15 m. Constituído de materiais bastante ásperos ao tato. Coloração escura e presença de raízes. Apresenta em superior quantidade a fração areia.
P3N2	Este nível apresenta espessura de 1 metro, constituição arenosa e áspera ao tato, porém com maior plasticidade em relação ao nível superior, possivelmente pela maior quantidade da fração argila. Sua coloração, de acordo com carta de Munsell, é Light Brown – marrom claro - porém visualmente aparenta-se como cinza com algumas manchas amareladas.
P3N3	Apresenta maior heterogeneidade granulométrica ao longo da sua porção exposta. Sua coloração de acordo com carta de Munsell é Brown – marrom, porém visualmente aparenta mais próximo do amarelo ou cor mostarda, a espessura possível de ser medida é de 1,25 m, nível arenoso, porém é nota-se fração argila presente em maior quantidade em relação aos níveis superiores.



Figura 53: Foto do perfil 3.
 Autor: GIFFONI, S. Data: 16 jan. 2009.

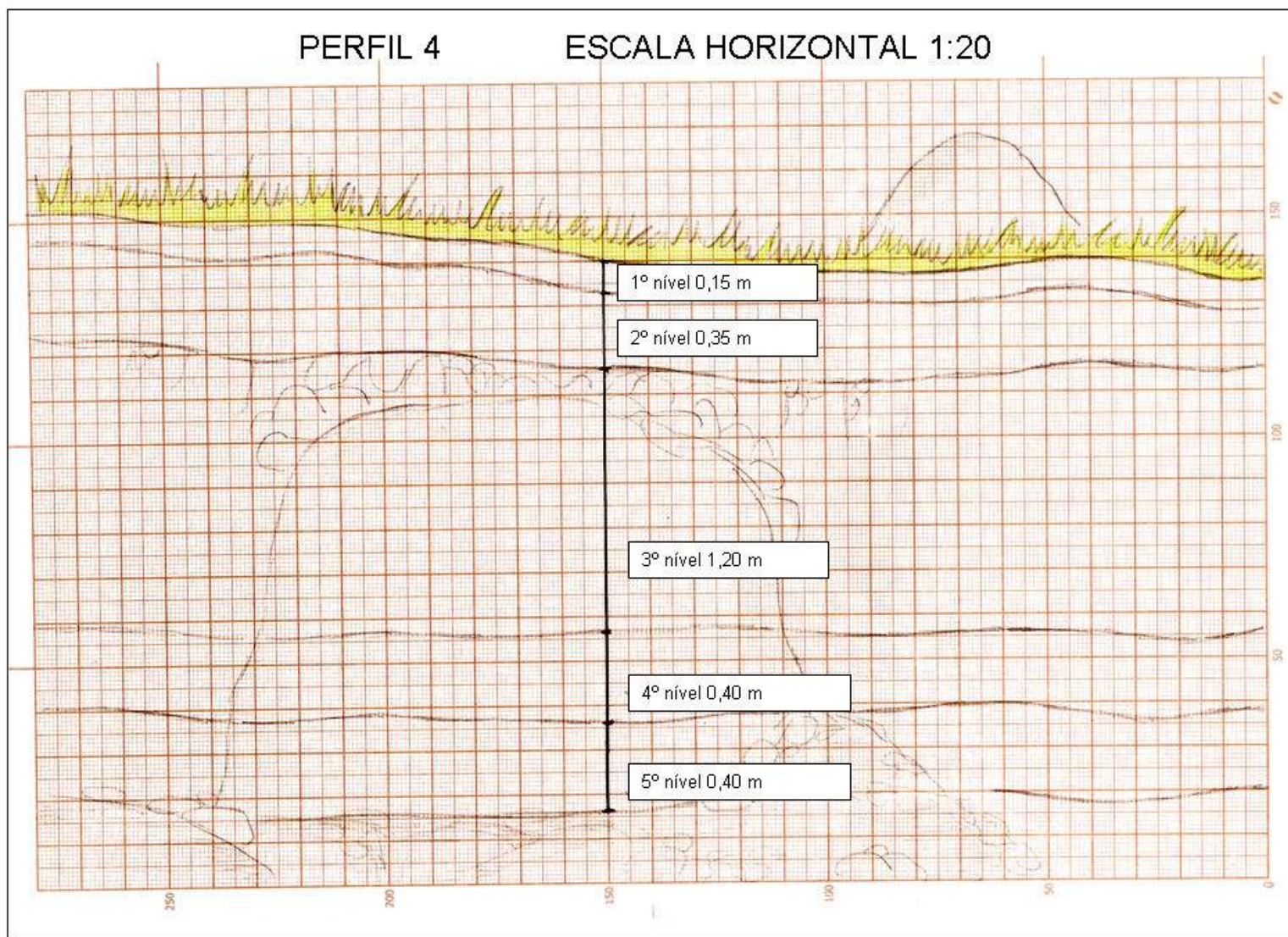


Figura 54: Perfil de solo 4.

TABELA 4 - Caracterização do Perfil 4

DESCRIÇÃO GERAL	
PERFIL	PERFIL 04
DATA	16-01-2009
CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA	Gleissolo + Organossolo
LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO, COORDENADAS	Uberlândia, Minas Gerais, 790583,474 W e 7900091,67 S
SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE PERFIL	Declividade moderada entre 5 e 10%, sem cobertura vegetal natural nas vertentes e vereda no fundo de vale associada a mata paludosa
ALTITUDE	Elipsoidal: 839,36
FORMAÇÃO GEOLÓGICA	Formação Marília – Grupo Bauru
LITOLOGIA	Arenito e Arenito conglomerático
PERÍODO	Cretáceo Superior (Ks)
MATERIAL ORIGINÁRIO	Arenito
ROCHOSIDADE	Ausente
RELEVO LOCAL	Pouco ondulado, colinas amplas e perfil convexo
RELEVO REGIONAL	Formas tabulares , topo plano com diferentes graus de dissecação
EROSÃO	Sim
DRENAGEM	Sim
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA	Árvores dispersas nativas do Cerrado
USO ATUAL	Pastagem
CLIMA	
DESCRITO E COLETADO POR	Sara Giffoni

DESCRIÇÃO DOS NÍVEIS DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS NO PERFIL	
P4N1	Solo do primeiro nível do perfil com matéria orgânica principalmente raízes. Sua espessura é de 0,15 m, a coloração segundo a carta de Munsell é Brown – marrom, apresenta-se áspero ao tato, desagrega facilmente. Apresenta em superior quantidade de areia e baixa plasticidade.
P4N2	Segundo nível ainda de coloração escura em razão da presença de matéria orgânica, de acordo com carta de Munsell sua cor é Brown – marrom, textura arenosa e pouco ou nenhuma plasticidade.
P4N3	Coloração de acordo com Munsell Light Gray – cinza claro. Corresponde ao nível de maior espessura, inclusive nos outros perfis, medindo cerca de 1,2m. A textura dos materiais constituintes é áspera em razão da presença da fração arenosa, apresenta baixíssima ou nenhuma coesão, sendo pouco plástico.
P4N4	Nível mais argiloso do perfil, totalmente recoberta por blocos desagregados dos níveis superiores, sua espessura é de 0,40 m. De acordo com Munsell sua coloração é Reddish Yellow – amarelo-avermelhado, porém visualmente aproxima-se mais do vermelho. É fina ao toque, menos áspera em razão da predominância de silte e argila sobre a fração areia.
P4N5	De acordo com Munsell sua cor é Reddish Yellow, porém visualmente assemelha-se a um amarelo ou mostarda. Tem espessura de 0,40 m, e uma quantidade um pouco maior de silte e argila. Apresenta maior plasticidade e coesão. Também estava totalmente coberta por blocos desagregados das partes superiores do perfil. Tem textura fina ao toque e menos áspera.
DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA	
RAÍZES	Sim, presença de matéria orgânica.
OBSERVAÇÕES	Este é o local de atividade erosiva mais intensa, portanto o perfil do solo estava à mostra, porém com vários blocos desprendidos das partes superiores que recobriam os níveis inferiores, inclusive com vegetação associada. Portanto foi necessário realizar um trabalho de desobstrução de uma faixa estreita para visualização e coleta das amostras.



Figura 55: Foto do Perfil 4.
Autor: GIFFONI, S. Data: 16 jan. 2009.

5.2 Ensaios Geotécnicos e de Caracterização

Os ensaios de laboratório foram realizados a partir de 18 amostras retiradas de cada nível dos quatro perfis. São apresentados, a seguir, os resultados das análises realizadas:

5.2.1 Massa Específica dos Sólidos

O resultado para a determinação de massa específica em todas as amostras variou entre 2,04 e 3,0 g/cm³ (tabela 5). Os valores da massa específica dos sólidos obtidos para as amostras ensaiadas são numericamente correspondentes à densidade do mineral que constitui os grãos do solo.

A tabela 5 apresenta os resultados da massa específica dos sólidos encontrados para os níveis dos perfis do solo avaliados.

TABELA 5 - Resultados da determinação da massa específica dos sólidos

	Massa Específica dos Sólidos (g/cm³)
PERFIL 1	
Nível 1	2,108
Nível 2	2,48
Nível 3	2,456
Nível 4	2,662
Nível 5	2,614
PERFIL 2	
Nível 1	2,808
Nível 2	2,799
Nível 3	2,561
Nível 4	3,059
Nível 5	2,792
PERFIL 3	
Nível 1	2,523
Nível 2	2,718
Nível 3	2,798
PERFIL 4	
Nível 1	2,419
Nível 2	2,946
Nível 3	2,787

Nível 4	2,974
Nível 5	2,559

Como a massa específica dos sólidos ou massa específica dos grãos define uma relação entre a massa e o volume dos grãos, é possível inferir a respeito do comportamento em relação à densidade desses materiais. Os resultados mostraram que são mais densos os minerais constituintes dos níveis mais profundos. Em todos os perfis os maiores valores encontrados variaram entre os níveis 4 e 5. Portanto sua tendência é ser mais resistente ao transporte em suspensão pela água, pois são mais densos.

Já os primeiros níveis – 1 e 2 – orgânicos apresentaram os menores valores de massa específica dos sólidos em todos os perfis, com exceção do perfil 2 que no nível 3 apresentou o menor valor (2,56 g/cm³).

Os níveis com massa específica menores têm maior tendência a ser carregado em suspensão pelo corpo d'água. Por esse motivo os níveis cujos materiais foram assoreados – figura 56 – e depositados ao longo do canal, foram os níveis mais profundos de cada perfil – 4 ou 5 – justamente os níveis que apresentaram maiores valores de massa específica dos sólidos.



Figura 56: Canal assoreado.
Autor: GIFFONI, S. Data: 19 jan. 2009.

5.2.2 Granulometria

Com o ensaio de granulometria foi possível confirmar o que já se esperava das características texturais do solo percebidas durante a análise visual e tátil. Das 18 amostras ensaiadas, coletadas em 4 perfis distintos, algumas apresentaram características semelhantes quanto à cor e à textura, embora pertencessem a perfis distintos. Por exemplo: as amostras P1N2 e P4N2. De uma forma geral, os resultados mostraram que o solo local é predominantemente arenoso e secundariamente, siltoso. Tal característica pode ser conferida na tabela 11.

Em todos os perfis os níveis com presença da matéria orgânica tiveram os resultados alterados pelas mesmas, tanto maior quanto maior o teor de matéria orgânica, observados em descontinuidades nos gráficos de granulometria e no lapso de massa nas tabelas de ensaio. Os níveis que apresentaram essa alteração no gráfico foram: P1N1, P1N2, P2N2, P4N3, P4N4 e P4N5.

Em todos os perfis os primeiros níveis e também orgânicos são os mais arenosos, com porcentagem acima de 50. Os únicos níveis em que a porcentagem de areia foi menor do que 50% foram: P1N5, P2N3, P3N3, P4N3, P4N4 e P4N5. Os demais níveis em sua maioria foram areno-siltosos, com exceção dos níveis P2N1 e P2N2 que se caracterizaram como areno-argilosas.

5.2.3 Limites de Atterberg

As amostras de solo coletadas no perfil 2 nível 1, perfil 3 nível 1 e 3 e perfil 4 nível 1 mostraram-se como não plásticos. Para as demais amostras o limite de liquidez variou entre 21% e 37,5% e o limite de plasticidade entre 16,29% e 20,62%%. Conforme o IP obtido e o resultado da granulometria foi possível classificar o solo de acordo com a Classificação Unificada – SUCS e HRB.

Algumas amostras mostraram um grau de dificuldade maior na realização do ensaio, e não apresentaram coesão alguma se desmanchando, pois não se molda em bolas ou filetes de solo coeso para se concluir o ensaio, confirmando assim a baixa plasticidade ou nenhuma. Portanto, para algumas amostras não foi possível a conclusão do ensaio completo, nem para a

determinação do limite de liquidez como o limite de plasticidade. São estas: P1N1, P1N2 e P1N3.

Na classificação HRB as amostras se enquadraram dentro da classe A-2 variando o último número entre 4, 5 ou 6, ou seja, conforme o material constituinte são classificados como: “Pedregulho ou areia siltosa ou argilosa”. Com exceção dos níveis 1, 2 e 3 do perfil 1 e nível 3 do perfil 3 que não puderam ser classificados.

De acordo com a Classificação SUCS o solo do primeiro nível em todos os perfis não puderam ser classificados, assim como o nível 3 do perfil 3. Os demais entraram na classe CL ou OL que conforme respectivamente são: “Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras” e “Siltes orgânicos e siltes argilosos orgânicos de baixa plasticidade”.

Esses solos são, em geral, de granulação fina dilatância nenhuma a muito lenta, rigidez pequena a média e facilmente identificáveis pela cor, cheiro, porosidade e frequentemente textura fibrosa. Apesar de serem classificados como argilas e siltes pelas classificações HRB e SUCS são essencialmente arenosos, porém a quantidade de areia fina é predominante, o que combinado com grande quantidade de silte pode se comportar como silte nos ensaios. Os valores dos resultados podem ser conferidos na tabela 11.

Em todo o trecho da bacia do córrego Campo Alegre afetado pela feição erosiva, o material inconsolidado, em sua maior parte, é areno-siltoso como mostrado pelos ensaios de granulometria e limites de Atterberg. Esse material se constitui, portanto, como um fator determinante para a sua fragilidade frente aos processos de erosão, graças a sua baixa coesão e facilidade para o destacamento de partículas e ao transporte pela ação das águas, o que também contribuiu para a amplitude da feição erosiva em questão. (Figura 57)

Tanto os ensaios de granulometria como o de limites de Atterberg mostraram o solo bastante orgânico e arenoso nos primeiros níveis - 1 e 2 - dos taludes, e siltoso nos últimos níveis - 4 e 5. Por este motivo os últimos níveis cedem com facilidade ao transporte pelo curso d'água e as primeiras se aglutinam pela matéria orgânica e sedem em blocos pela falta de suporte dos níveis inferiores que foram carregados.



Figura 57: Visão geral da feição erosiva.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2009.

5.2.4 Adensamento

Ensaio de adensamento foram realizados para os três últimos níveis do perfil quatro: P4N3, P4N4 e P4N5, todos com os corpos de prova inundados desde o início do ensaio. Os gráficos 1, 2 e 3 apresentam a variação dos índices de vazios versus tensão efetiva aplicada. Os parâmetros de compressibilidade, especificamente, tensão de pré-adensamento, índice de compressão e expansão são calculados a partir destes gráficos.

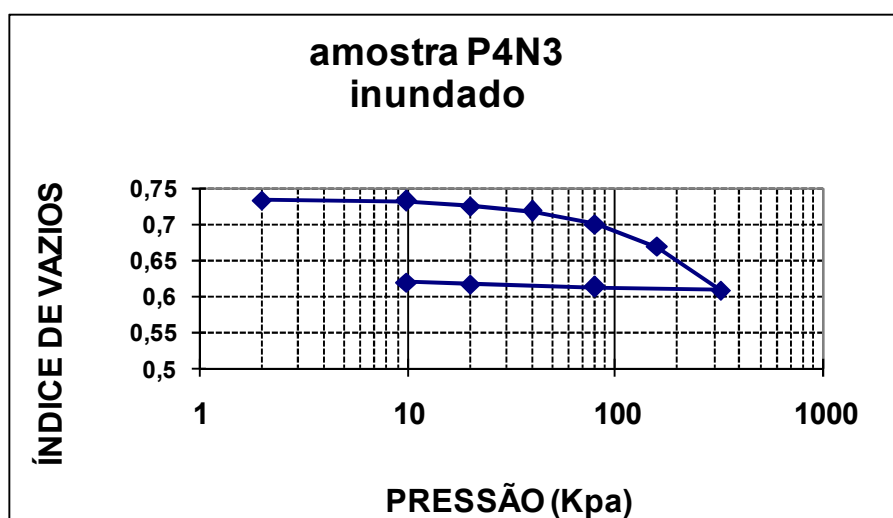


Gráfico 1: Índice de vazios por tensão efetiva aplicada da amostra P4N3 inundada.

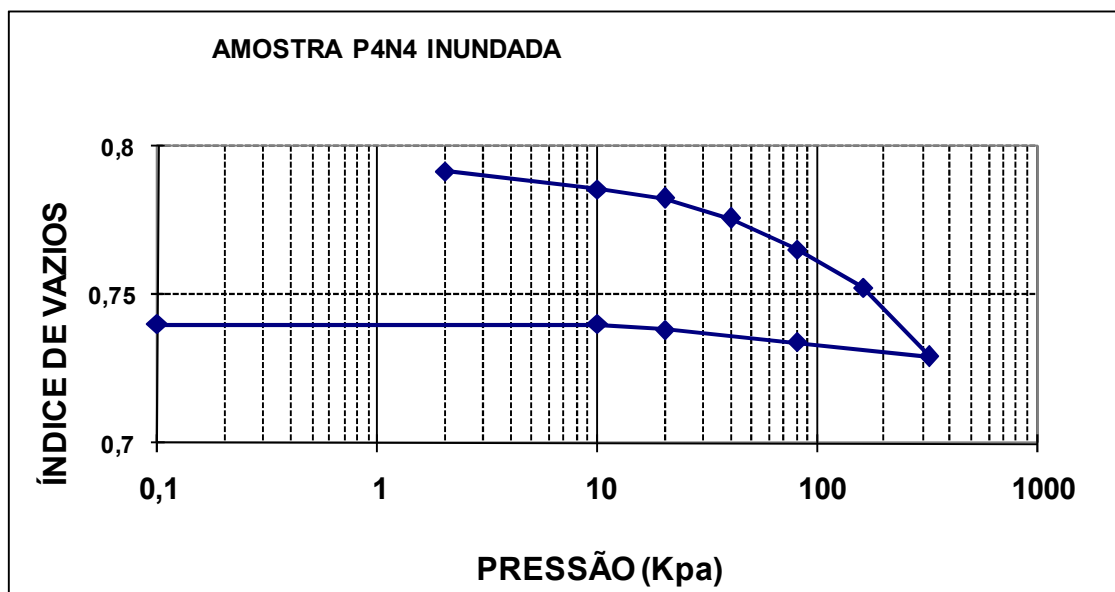


Gráfico 2: Gráfico do índice de vazios por tensão efetiva aplicada da amostra P4N3 inundada.

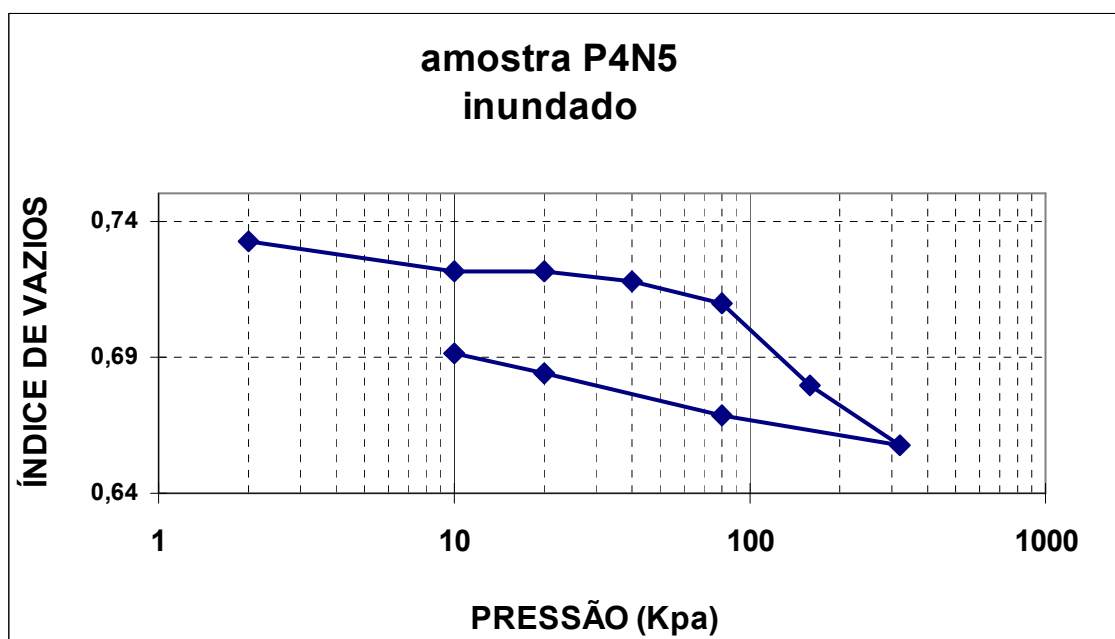


Gráfico 3: Índice de vazios pela tensão efetiva aplicada da amostra P4N5 inundada.

A tensão de pré-adensamento foi determinada com os métodos de Casagrande (1958) e confirmada com o de Pacheco Silva (1970). Esses três últimos níveis, como já foi verificado no ensaio de granulometria, apresentam uma porcentagem mais alta da fração silte e argila. Portanto, o comportamento esperado com relação à deformabilidade desse solo mais fino pode ser confirmado com o ensaio de adensamento.

Nos três tipos de solo ensaiados os parâmetros de compressibilidade apresentaram valores compatíveis com aqueles encontrados na literatura corrente, Pinto (2002), se comportando, de maneira geral, como solos de baixa compressibilidade, conforme já previsto na classificação SUCS, que retrata o comportamento de um solo silto-argiloso ou argilo-siltoso. O nível P4N3 é menos compressível do que os demais níveis, o que pode ser devido ao menor teor de argila na sua composição. Este mesmo solo apresenta uma tensão de pré-adensamento maior do que os níveis inferiores. Os valores são mostrados na tabela 6.

TABELA 6 - Parâmetros obtidos no ensaio de adensamento

Ensaio de Adensamento			
Amostra	σ_p	Cc	Cs
P4N3	120	0,18	0,07
P4N4	80	0,06	0,07
P4N5	50	0,06	0,02

5.2.5 Cisalhamento Direto

Na realização do ensaio de cisalhamento direto CD, consolidado drenado, com deformações controladas, para uma dada tensão normal (σ), determina-se a Tensão cisalhante (τ) que o solo resiste para deslocamentos pré-fixados, podendo ser expressos também como Deformação cisalhante específica (ε). A partir dos resultados tensão cisalhante versus deformação específica se monta um gráfico no qual se retira a tensão cisalhante máxima para cada um dos ensaios realizados com tensões normais distintas, no caso 50, 100 e 200kPa.

De posse destes resultados plota-se em um gráfico Tensão Cisalhante (τ) versus Tensão Normal Aplicada (σ), e uma envoltória de resistência retilínea que melhor se ajusta aos pontos plotados, método esse conhecido na literatura, Pinto (2002), com envoltória de resistência de Mohr - Coulomb. Por meio dessa reta é possível se chegar aos valores de Coesão (C) e o ângulo de atrito interno (ϕ).

Assim como o adensamento, o ensaio de cisalhamento foi realizado para os três últimos níveis do perfil quatro: P4N3, P4N4 e P4N5 escolhidas por representarem a área mais sensível da erosão. As tensões utilizadas no ensaio foram 50 Kpa e 100 Kpa para amostras naturais e 50 Kpa e 200 Kpa para amostras inundadas.

Estas tensões foram escolhidas visando se comparar valores obtidos para os parâmetros de resistência para tensões abaixo e acima da tensão de pré – adensamento de cada solo analisado. Explicitando o comportamento do perfil 4, em condições normalmente adensadas e pré-adensadas.

A resposta dada pelo ensaio foi bastante eficiente na interpretação da forma de evolução da feição erosiva no local; e combinado com o resultado dos demais ensaios mostrou por que os níveis de solos de um mesmo perfil se comportam de maneiras diferentes e específicas à cada um dos três tipos de processos erosivos atuantes no córrego Campo Alegre.

O gráfico 4 representa os resultados para a amostra P4N3 natural e mostra a reta de ajustamento entre τ e σ donde se obteve os valores de C e ϕ . Para a carga de 50 Kpa, o valor da tensão de ruptura ou tensão cisalhante (τ) foi 23,35 kPa e para 100 Kpa o valor de τ foi 39,19 kPa. A coesão C foi 8 Kpa e ϕ foi 18° .

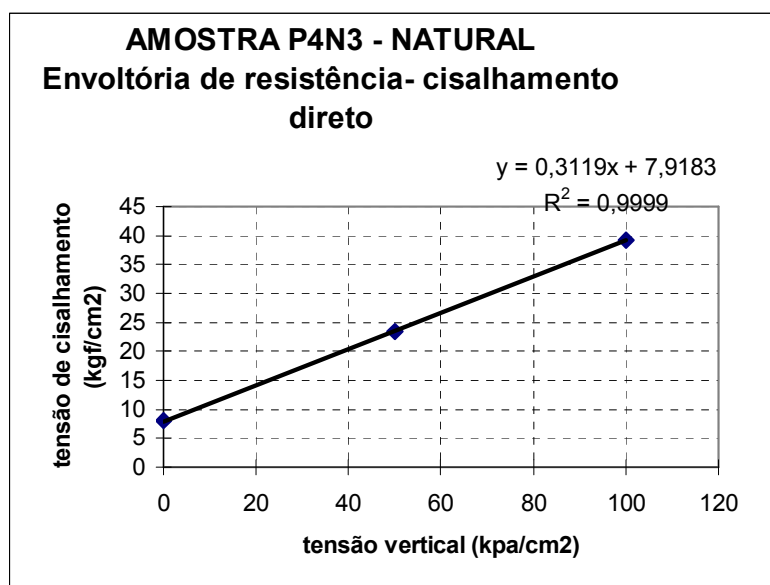


Gráfico 4: Envoltória de resistência da amostra P4N3 natural.

O gráfico 5 apresenta os resultados para a amostra P4N3 inundada e mostra a reta de ajustamento donde se obteve os valores de C e ϕ . Para a carga de 50 Kpa, o valor de τ foi 31,9 kPa e para a carga de 200 Kpa o valor de τ foi 122,91 kPa. Os valores de C e ϕ foram respectivamente: 0,5 Kpa e 31° .

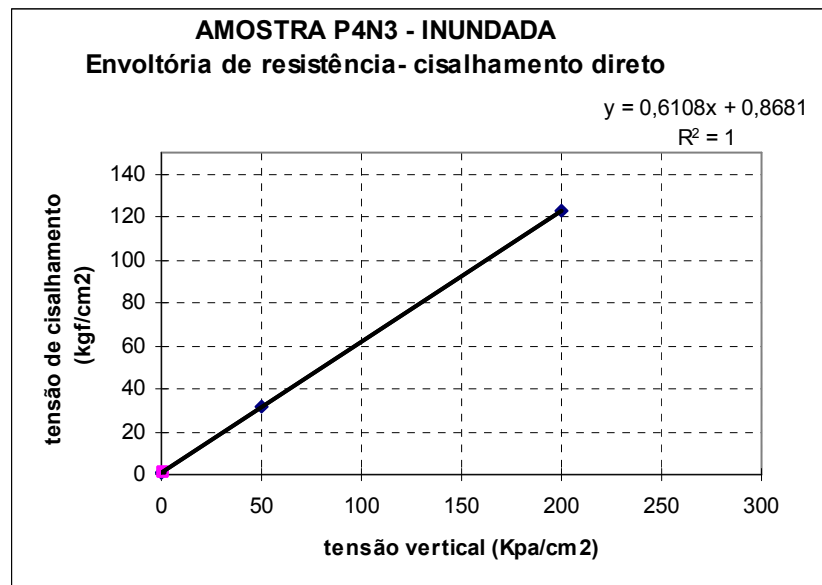


Gráfico 5: Envoltória de resistência da amostra P4N3 inundada.

O gráfico 6 representa os resultados para a amostra P4N4 natural e mostra a reta de ajustamento entre τ e σ donde se obteve os valores de C e ϕ . Para a carga de 50 Kpa, o valor de (τ) foi 19,6 kPa e para 100 Kpa o valor de τ foi 39,11 kPa. A coesão C foi 2 Kpa e ϕ foi 20°.

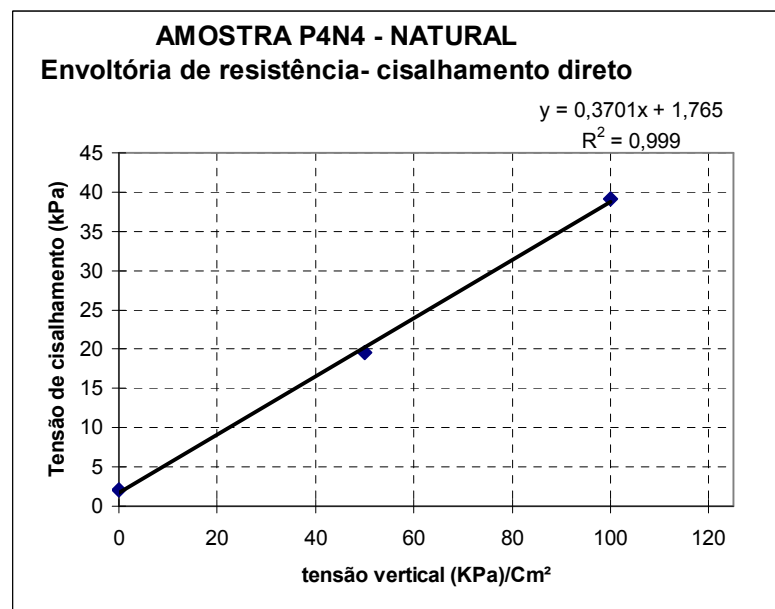


Gráfico 6: Envoltória de resistência da amostra P4N4 natural.

O gráfico 7 destaca os resultados para a amostra P4N4 inundada. Para a carga de 50 Kpa, o valor de τ foi 14 kPa e para a carga de 200 Kpa o valor de τ foi 56,74 kPa. Os valores de C e ϕ foram respectivamente: 0 Kpa e 16° .

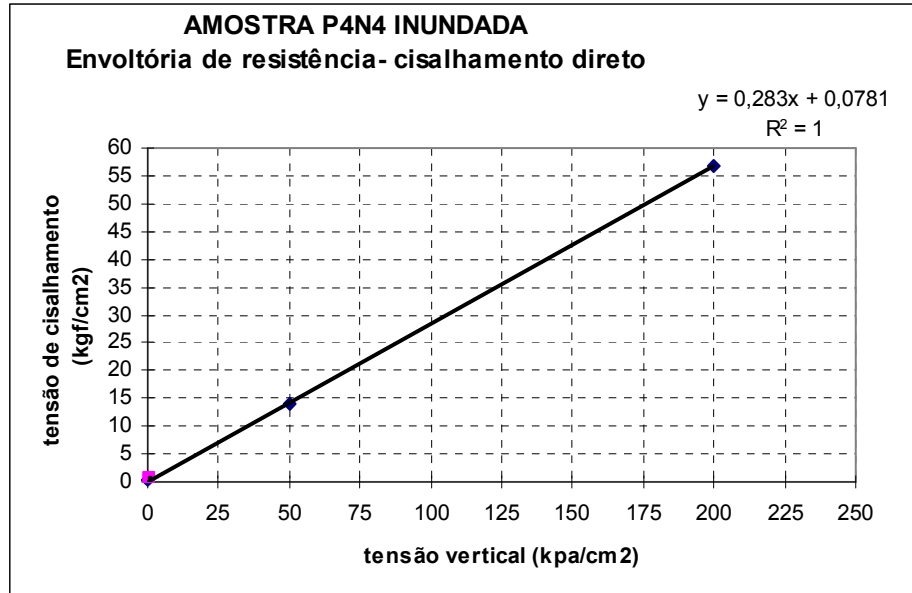


Gráfico 7: Envoltória de resistência da amostra P4N4 inundada.

O gráfico 8 apresenta os resultados para a amostra P4N5 natural e mostra a reta de ajustamento entre τ e σ donde se obteve os valores de C e ϕ . Para a carga de 50 Kpa, o valor de (τ) foi 19,8 kPa e para 100 Kpa o valor de τ foi 26,93 kPa. A coesão C foi 13 Kpa e ϕ foi 8°

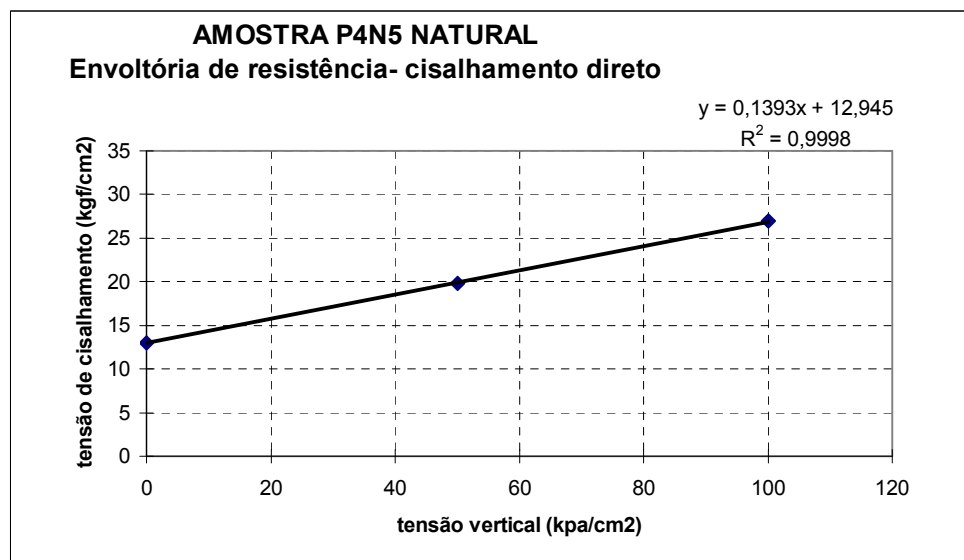


Gráfico 8: Envoltória de resistência da amostra P4N5 natural.

O gráfico 9 traz os resultados para a amostra P4N5 inundada. Para a carga de 50 kPa, o valor de τ foi 14,31 kPa e para a carga de 200 Kpa o valor de τ foi 53,85 kPa. Os valores de C e ϕ foram respectivamente: 1 Kpa e 15°.

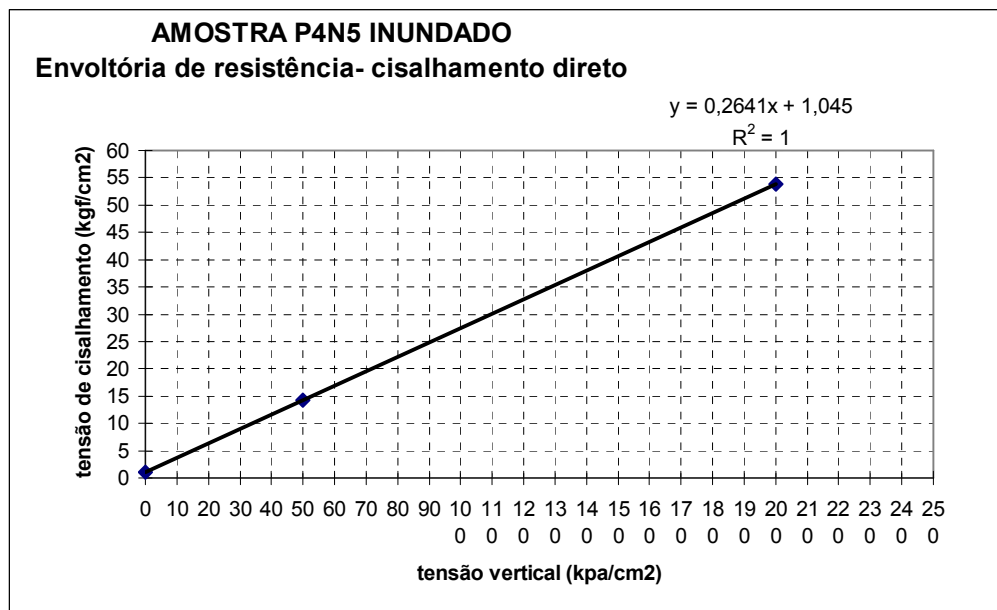


Gráfico 9: Envoltória de resistência da amostra P4N5 inundado.

Os resultados finais do ensaio são mostrados na tabela 7.

TABELA 7 - Resultados do ensaio de cisalhamento

P4: nível	σ_p (kPa)	C n (kPa)	C i (kPa)	Φ_n	Φ_i
3	120	8	1	18	31
4	80	2	0	20	15
5	50	13	1	8	31

As três amostras apresentaram valores de coesão baixos e quando inundadas as amostras perdem ainda mais a coesão chegando a 0 para o nível P4N4, o que explica a razão deste nível ceder de forma tão intensa à ação do *piping*.

Os baixos valores de coesão evidenciam o motivo destes níveis desagregarem tão facilmente frente à ação da água pluvial que vem solapando os três níveis inferiores, tirando a estrutura da vertente e deixando os blocos dos primeiros níveis sem suporte e cedendo em sequência.

A coesão determinada para os níveis P4N3 e P4N5 é uma coesão aparente devido à interface entre as partículas de água e partículas sólidas do solo, e a presença da água tanto por infiltração como do próprio curso d'água faz com que se perca essa mínima coesão que existe.

Entretanto, ao mesmo tempo em que a presença da água diminui a coesão enfraquecendo ou anulando os meniscos e dissolvendo algumas cimentações entre grãos, faz desaparecer as cimentações e os meniscos que em conjunto, funcionam como uma “cola”, permitindo também um maior entrosamento, rolamento e deslizamento entre partículas aumentando o ângulo de atrito.

Porém, como o efeito de coesão diminui ou desaparece, a água da chuva promove a desagregação do solo pelo impacto enfraquecendo a enxurrada e o córrego atuam fazendo o transporte (“carreamento”) e a posterior deposição do material solto. Todos esses processos caracterizam o solo como extremamente frágil à erosão.

A composição granulométrica destes três níveis é composta por argila e silte acima de 50%, o que deveria representar alguma coesão e resistência ao solo. Porém a presença de situações diversas e extremas, como é o caso da intensificação do volume do curso d'água e das chuvas, pode levar a um comportamento bem diferente do previsto para argilas e siltes. Deve-se levar em conta ainda que todo o processo erosivo é agravado pela retirada da vegetação nativa, mata ciliar e arbustos do cerrado, e também pela ocupação desordenada de áreas de cabeceiras dos córregos e por drenagem urbana feita de maneira inadequada.

5.2.6 Erodibilidade

O ensaio de erodibilidade foi realizado para os cinco níveis do perfil 4 localizado no trecho mais ativo da erosão, conforme tabela 8.

TABELA 8 - Resultados do ensaio de erodibilidade

Nível	P (%)	E
1	0,03	539,15
2	0,59	42,62

3	0,37	93,88
4	21,51	0,91
5	62,64	0,20

Resultados dos ensaios evidenciaram que as amostras de solo dos 2 níveis do perfil 4 - P4N1 e P4N2 - não são erodíveis ($E > 1$). Esta condição pode ser explicada pela quantidade de matéria orgânica presente nesses dois níveis, pois ela promove a coesão entre os grãos do solo e dá a ele uma característica mais resistente à ação da água superficial.

Conforme Vilar (1987) *apud* Pejon (1992, p. 90), os solos com alto teor de matéria orgânica tendem a formar grumos estáveis, resultando em altas forças superficiais, principalmente em materiais finos. Isso dificulta a ação dos processos erosivos.

Quanto aos níveis inferiores P4N3, P4N4 e P4N5 os resultados do ensaio de erodibilidade mostraram que são erodíveis com valores de E menor do que unidade. Esta condição dos solos presentes nos níveis inferiores do Perfil 4 explica porque eles se mostram mais susceptíveis à ação mecânica da água do córrego, especialmente nos períodos de maior vazão. Os valores de P são a porcentagem de solo desprendido durante a fase de imersão do ensaio. Inversamente proporcional aos valores de E , quanto maior a porcentagem de solo desprendido, menor o valor de E e, portanto, mais erodível.

Os resultados e determinações à partir dos resultados dos ensaios de adensamento cisalhamento e erodibilidade, são conclusivos para a compreensão dos 2º e 3º processos que atuam no perfil 4.

Os resultados mostraram que a baixa coesão, textura fina e alto índice de erodibilidade dos níveis P4N3, P4N4 e P4N5 são fatores favoráveis ao carregamento desses níveis de base nos taludes, facilitando o solapamento das bases.

A porção superior do talude não saturado em água e sem contato com a água fluvial por falta de suporte na sua base passa a sofrer rupturas cilíndricas (figura 58) que de início é observada apenas por pequenas fendas (milimétricas a centimétricas) e de extensão variável (algumas dezenas de centímetros a vários metros).



Figura 58: Queda de blocos por falta do suporte carreado.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.

O ensaio de erodibilidade deixou evidente a razão dos níveis se comportarem dessa maneira. Os níveis P4N1, P4N2 e P4 N3 não são erodíveis, pois foram determinadas como arenosas e com bastante presença de matéria orgânica que confere sua coesão. Enquanto os níveis P4N4 e P4N5 são erodíveis, perderam consideravelmente massa no ensaio de erodibilidade e coincidem com os níveis que cedem à ação do *piping* (figuras 59 e 60) e o carreamento.



Figura 59: Vista do perfil 4 onde ocorre o piping.
Autor: GIFFONI, S. Data: 06 out. 2009.



Figura 60: Canal aberto pelo piping na altura do nível P4N4.
Autor: GIFFONI, S. Data: 06 out. 2009.

À medida que o movimento vertical se processa com o deslocamento de grandes massas de solo, esses blocos sem estrutura começam a ceder em forma de cunhas. Finalmente, após um movimento relativamente lento no início do processo, a velocidade do movimento aumenta até toda a massa desprendida acumular-se na base do talude.

No período não chuvoso do ano ocorre grande acúmulo de solo desprendido. Com o advento das chuvas e conseqüente vazão do córrego – sobretudo nos momentos de pico após uma precipitação de maior intensidade – os materiais acumulados são rapidamente erodidos.

Independentemente da sazonalidade climática, a feição erosiva tende a se ampliar com a presença de determinados processos erosivos que continuam ativos, como é o caso do *piping* e a da ruptura de talude.

Na época chuvosa do ano ocorre a intensificação dos processos que atuavam no período seco, que se somam a outros processos ativos apenas no período chuvoso, tais como: erosão de materiais acumulados na base do talude; erosão do talude por escoamento pluvial sobre a superfície do terreno; carreamento de partículas destacados junto aos taludes, seja por escoamento seja por impacto das gotas da chuva; formação de novas rupturas de talude por saturação e redução conseqüente da resistência mecânica do solo.

A ação do fenômeno de *piping* durante o ano todo decorrente do escoamento da água freática cria um vazio interno no nível inferior do perfil (solo siltoso do nível 5 de característica erodível). O carreamento de grande quantidade de partículas, sobretudo de silte e argila, ao longo do tempo, faz com que o vazio interno se amplie a tal ponto, até que a porção superior do terreno sofra um colapso, levando à formação de pequenas crateras de abatimento de dimensões decimétricas a métricas. (Figuras 61 e 62)



Figura 61: Colapso na estação chuvosa.
Autor: GIFFONI, S. Data: 16 jan. 2009.



Figura 62: Colapso na estação seca.
Autor: GIFFONI, S. Data: 06 out. 2009.

Tais crateras permitem a entrada de maior quantidade de água para o interior do solo durante as precipitações e, desse modo, aumentam a vazão nos canais internos por onde as partículas do solo são carreados para fora do talude.

À medida que a erosão se amplia, as crateras formadas são a ela incorporadas, ampliando-se ainda mais a extensão da área afetada pela voçoroca.

5.2.7 Adsorção de Azul de Metileno (talvez levar para antes de cisalhamento e adensamento)

Os resultados para as 18 amostras dos 4 perfis ensaiadas são apresentados na tabela 9. Os valores da CTC foram maiores para os níveis com maior quantidade de matéria orgânica, como já era esperado. Os menores valores da CTC foram para os níveis intermediários dos perfis.

A análise dos valores de CTC, SE, VB e Acb pode ser feita por meio do nomograma –figura 63 – propostas por Beaulieu (1979) *apud* Pejon (1992) e Lautrin (1987) *apud* Pejon (1992).

TABELA 9 - Resultados dos Ensaio de adsorção de azul de metileno

	Capacidade de Troca Catiônica (Meq/100g)	Superfície Específica (m ² /g)	VB	Acb
P1N1	58,75	18,35	0,75	5,72
P1N2	73,43	22,93	0,93	6,94
P1N3	5,87	1,83	0,07	1
P1N4	8,81	2,75	0,11	0,418
P1N5	8,81	2,75	0,11	0,455
P2N1	29,37	9,17	0,37	1,82
P2N2	8,81	2,75	0,11	0,66
P2N3	8,81	2,75	0,11	0,44

P2N4	8,81	2,75	0,11	0,59
P2N5	5,87	1,83	0,07	0,39
P3N1	11,75	3,67	0,15	2,67
P3N2	5,87	1,83	0,07	0,34
P3N3	8,81	2,75	0,11	0,50
P4N1	41,12	12,84	0,52	4,77
P4N2	44,06	13,76	0,56	4,01
P4N3	11,75	3,67	0,15	1,27
P4N4	8,81	2,75	0,11	0,84
P4N5	11,75	3,67	0,15	1,30

Conforme a classificação proposta por Lautrin, os 18 solos ensaiados tiveram valores de VB abaixo de 1 e porcentagem de argila entre 7% e 26,8%. Desse modo, se enquadram na reta **a**, ou seja, a sua composição mineralógica provável é 100% caulinita, 0% de ilita e 0% de montmorilonita.

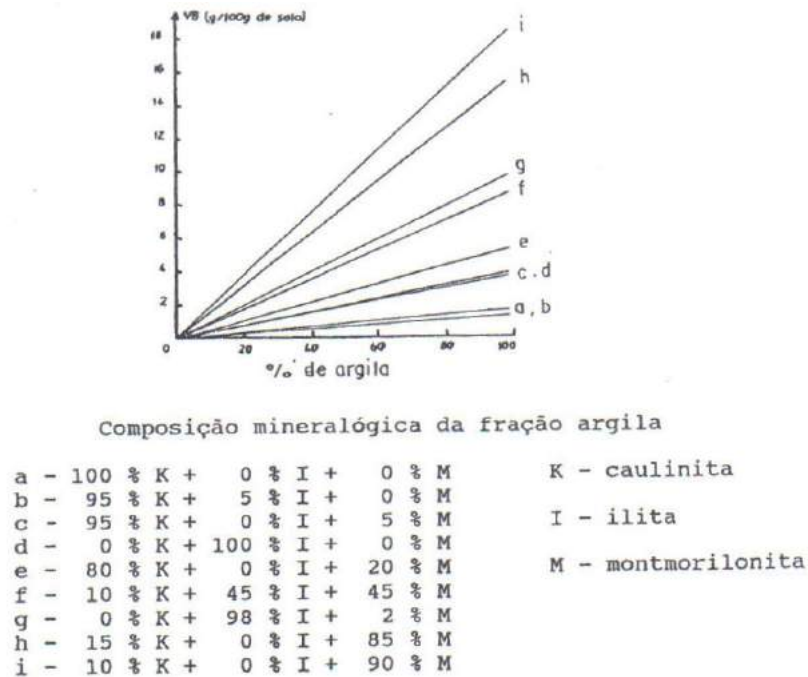


Figura 63: Nomograma proposto por Lautrin (1987) apud Pejon (1992).

Conforme o nomograma da figura 63 pode-se classificar o solo conforme a atividade das argilas. Os solos dos 4 perfis apresentaram valores para A_{cb} entre 0,34 e 6,94. Assim sendo, de acordo com a figura 64, proposta por Lautrin (1989), os solos dos níveis P1N4, P1N5, P2N2, P2N3, P2N4, P2N5, P3N2, P3N3 e P4N4, com valores de A_{cb} menores que 1, podem ser considerados não argilosos - classe 1.

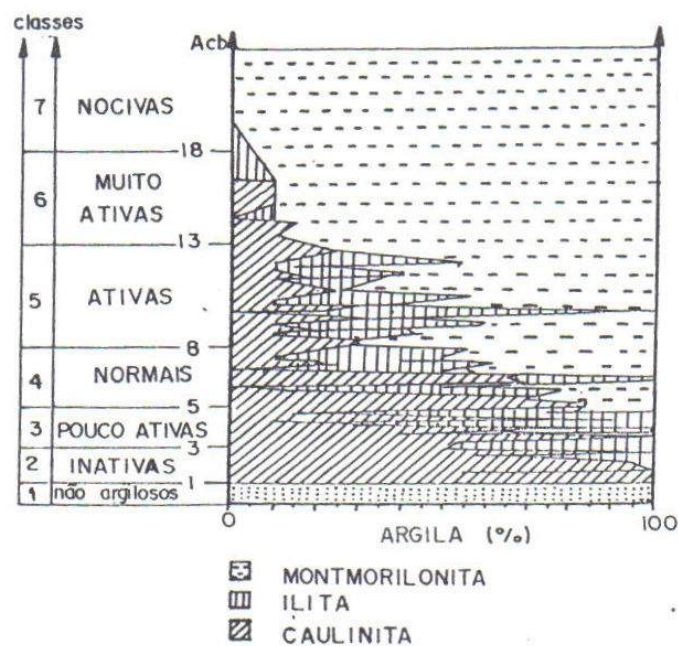


Figura 64: Diagrama da atividade das argilas pelo método do azul de metileno
Fonte: PEJON apud LAUTRIN, 1989.

Os níveis P1N3, P2N1, P3N1, P4N3 e P4N5 obtiveram valores de Acb entre 1 e 3 portanto se enquadram coma argilas inativas - classe 2. Os demais níveis P1N1, P4N1 e P4 N2 com valores de Acb entre 3 e 5 se enquadram na classe 3 de argilas pouco ativas. Somente o nível P1N2 obteve o valor de Acb 6, 9444 passando para a classe 4 de argilas normais.

Quando se trata dos níveis orgânicos P1N3, P2N1 P1N1, P4N1 e P1N2 esses resultados não correspondentes à realidade, pois esses níveis influenciaram no consumo de matéria orgânica. Entretanto, a Acb encontrada para os solos ricos em matéria orgânica não corresponde à realidade, pois a influência é da matéria orgânica e não da fração argila do solo.

5.2.8 Permeabilidade *in situ*

A região amostrada que fica na área mais ativa da erosão está entre as classes de declividade: 5-10%, 10-15% e 15-20%, como pode ser observado no mapa de declividade - figura 65. Isso evidencia a intensidade do relevo onde foram construídas curvas de nível logo acima da área amostrada para que a infiltração fosse favorecida em favor do escoamento superficial, já que a tendência natural do relevo não é favorecer infiltração.

O material constituinte do solo, resíduos de aterramento da voçoroca com solo transportado de outros locais, é bastante alterado, além de ser constantemente pisoteado pelo gado. Portanto, os resultados do ensaio de permeabilidade mostram a característica da situação atual do solo da vertente da erosão, considerando todas as alterações já sofridas.

Os valores do coeficiente de permeabilidade (K) de cada ponto e profundidades ensaiados podem ser conferidos na tabela 10.

Estudando os valores obtidos para o índice K, conclui-se que o solo tem uma alta permeabilidade, porém não se comportou de forma padrão para a superfície e para os mesmos níveis de profundidade.

TABELA 10 - Resultados do ensaio de permeabilidade

PERMEABILIDADE	
FURO 1 - 30CM	1,5 E -04
FURO 1 - 10CM	2,6 E -04
FURO 1 - SUPERFICIE	8,5 E -05
FURO 2 - 30CM	9,2 E -04
FURO 2 - 10CM	5,5 E -04
FURO 2 - SUPERFICIE	9,6 E -04
FURO 3 - 30CM	1,4 E -03
FURO 3 - 10CM	2,8 E -04
FURO 3 - SUPERFICIE	7,3 E -04
FURO 4 - 30CM	1,1 E -03
FURO 4 -10CM	1,3 E -03
FURO 4-SUPERFICIE	5,5 E -04
FURO 5 - 30CM	4,3 E -04
FURO 5 - 10CM	6,4 E -04
FURO 5 -SUPERFICIE	3,2 E -04
FURO 6 - 30CM	4,5 E -04
FURO 6 - 10CM	3,4 E -04
FURO 6 - SUPERFICIE	8,7 E -04

TABELA 11 - Parâmetros Geotécnicos - Resultados gerais dos ensaios realizados

PARÂMETROS GEOTÉCNICOS																		
	Z (m)	W %	Granulometria %			LL	LP	IP	γ_s (g/cm³)	HRB	SUCS	C' n	C' i	ϕ n	ϕ i	σ_p	Cc'	Cs $\approx$ Cr
P1			Areia	Argila	Silte													
N 1	0,15 m	0,6	50,8	16	34,8	NP	NP	NP	2,108	A-4	OL							
N 2	0,45 m	0,62	75	13	62	NP	NP	NP	2,48	A-4	OL							
N 3	0,80 m	0,46	83	7,5	9,5	NP	NP	NP	2,456	A-2-4	SC							
N 4	1,10 m	0,63	60	20	20	26%	17,41%	8,59%	2,662	A-2-6	SC							
N 5	1,90 m	0,47	45	19	36	28,50%	18,51%	9,99%	2,614	A-6	CL							
P2																		
N 1	0,15 m	0,58	60	21,7	18,3	54%	NP	NP	2,808	A-5	SM							
N 2	0,6 m	1,35	55	30	25	26,50%	17,79%	8,71%	2,799	A-6	CL							
N 3	0,45 m	0,94	42	28	14	37,50%	17,54%	21,91%	2,561	A-6	SC							
N 4	0,5 m	1,09	61	13	45	31%	18,64%	12,36%	3,059	A-6	SC							
N 5	1,6 m	0,54	55	19	36	29%	18,64%	11,36%	2,792	A-6	CL							
P3																		
N 1	0,15 m	0,50	75	8	17	NP	NP		2,523	A-2-4	SM							
N 2	1,0m	0,69	52	23	25	26%	20,55%	5,45%	2,718	A-6	SC							
N 3	1,25 m	0,46	49	22,5	28,5	21%	NP		2,798	A-4	SM							
P4																		
N 1	0,15 m	0,75	65	11	24	21%	NP		2,419	A-2-4	SM							
N 2	0,35 m	1,16	65	15	20	22,15%	16,29%	5,86%	2,946	A-2-6	CL							
N 3	1,20 m	0,70	39	12	49	36%	20,62%	15,38%	2,787	A-6	CL	8	1	18	31	120	0,18	0,07
N 4	0,40 m	0,58	49	15	46	29%	20,13%	8,87%	2,974	A-6	CL	2	0	20	15	80	0,06	0,07
N 5	0,40 m	0,45	40	16	44	28,50%	19,28%	9,22%	2,559	A-6	CL	13	1	8	31	50	0,06	0,02

Px: Perfil

Nx: Nível

Z: Espessura do nível

W: Umidade

LL: Limite de Liquidez

LP: Limite de Plasticidade

IP: Índice de Plasticidade

NP: Não Plástico

γ_s : Massa específica dos sólidos

Cn: Coesão ensaio natural

Ci: Coesão ensaio inundado

ϕ_n : Ângulo de atrito ensaio natural

ϕ_i : Ângulo de atrito ensaio inundado

σ_p : Tensão de pré adensamento

Cc': Índice de compressão

Cs: Índice de Expansão

5.3 Documentos Cartográficos

Todos os documentos cartográficos foram produzido por meio do software ArcGis 9.2, no qual foi criado um banco de dados com todas as informações produzidas a partir dos dados cedidos pela Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Uberlândia, pelo DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto, e pelo GEOMINAS.

5.3.1 Mapa de declividade

De acordo com Guerra e Cunha (1996), a declividade é a informação básica de topografia utilizada nas metodologias de identificação de áreas potenciais ao processo de erosão e nos sistemas de avaliação do planejamento e uso da terra.

O mapa de declividade elaborado para a bacia do Córrego Campo Alegre foi dividido em 7 classes 0-2 %, 2 – 5 %, 5-10 %, 10-15 %, 15- 20 %, 20 – 30 %, e 30 – 45 %. A grande maioria da bacia apresenta declividade dentro da classe 2 a 5 %. Nas bordas da bacia algumas

pequenas áreas com declividade de 0-2%, e a área urbana está localizada dentro do intervalo de 0 – 10%.

Nas porções adjacentes ao canal fluvial, predomina as classes de declividades entre 5 – 10 % e 10-15 % e grande parte do canal onde se localiza a feição erosiva está entre a porcentagem de declividade 10-15%, 15-20% e 20-30% e 30-45%.

Com base na classificação de Guerra e Cunha (1996), a maior parte da bacia se encontra na classe entre 2-5 %, considerada de categoria muito fraca e os processos erosivos ocorrem nas áreas com declividade entre 15 e 45 % graus, categorias de média a muito forte.

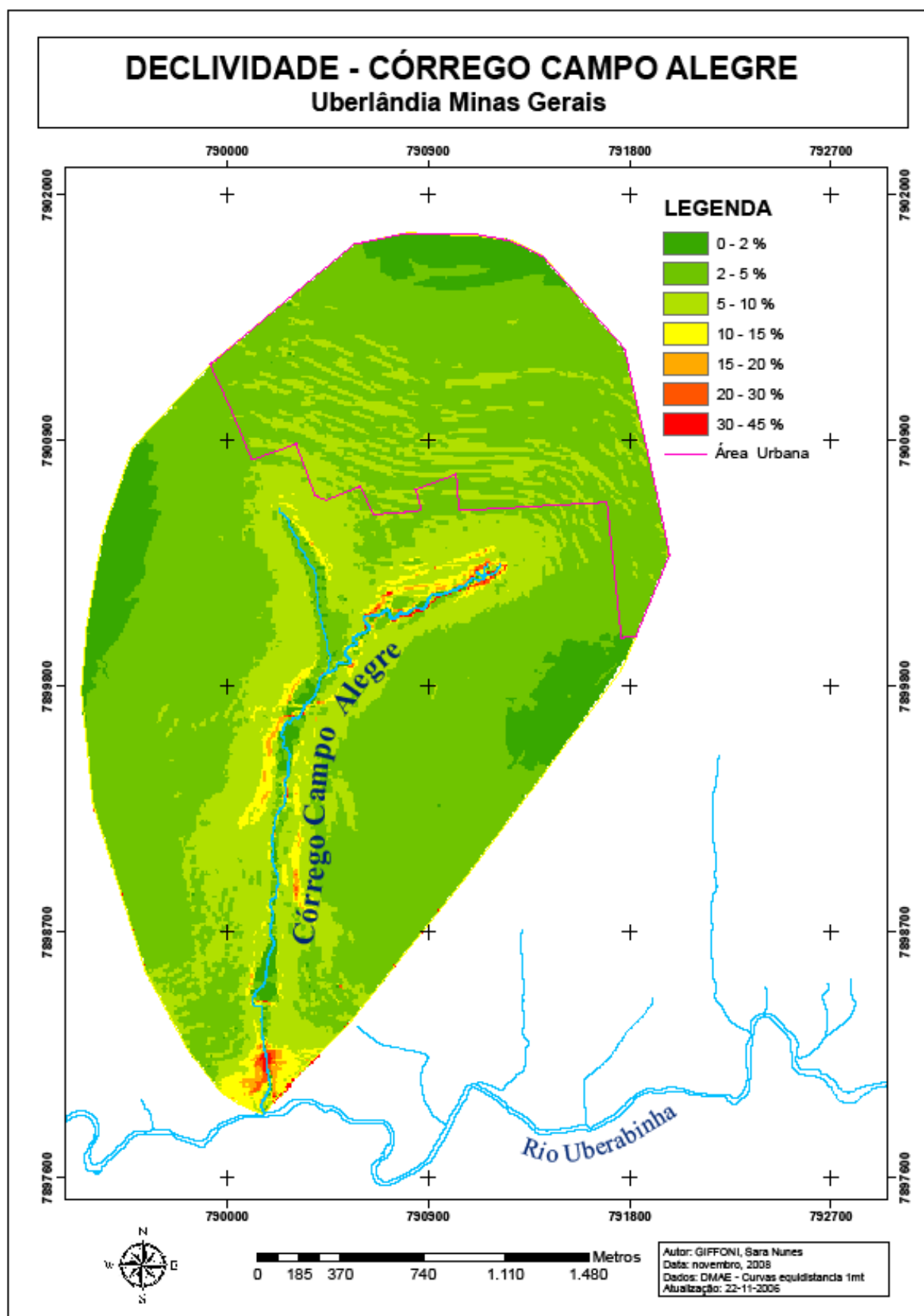


Figura 65: Mapa de declividade do córrego Campo Alegre.

5.3.2 Mapa Hipsométrico

Tendo as curvas de nível como base, foi construído no Arcgis 9.2 um TIN ou modelo numérico de elevação no qual foram divididas 14 classes de altimetria com diferença de 10 metros entre elas. O intervalo entre a menor e a maior altitude vai de 792 m a 923 m. e mostra que a diferença é bem expressiva dentro da bacia, ou seja, a intensidade e direção do escoamento superficial são condicionadas a essa diferença de altitude, 131 m. O mapa pode ser visualizado na figura 74.

Ao longo do canal erodido predominam as classes de altimetria de 840 – 850 m. e 850 – 860 m. e dentro da bacia como um todo a classe predominante é 850 – 860 m. O topo da cabeceira da bacia chega a 923m onde estão localizados os bairros, ou seja a altitude de onde vem o escoamento superficial.

A maior parte do canal direito do córrego Campo alegre está dentro da classe 850 – 860m e o canal erodido, principalmente a área mais sensível da feição, se localiza dentro da classe 850 – 840m. Esse desnível entre os dois cursos leva com a água subterrânea seja direcionado do braço direito para o esquerdo aumentando também o fluxo do lençol em direção ao curso d'água em processo erosivo.

Os mapas de declividade e hipsométrico ajudam a explicar o comportamento do lençol e o processo de *pipping*. Com o braço direito do córrego onde não existe erosão a uma cota um pouco maior do que o braço esquerdo, o movimento subterrâneo do lençol é direcionado no sentido da área mais sensível da erosão, ou seja, o canal lateral criado em consequência dos demais processos.

O córrego da erosão teve talvegue rebaixado. Nessa perspectiva, então o nível d'água do outro córrego vai em direção ao córrego da erosão, criando um gradiente hidráulico subterrâneo. A água do lençol então escoar em direção ao talude erodido, intensificando a ação do *piping* e mantendo sua atividade, mesmo nas estações secas.

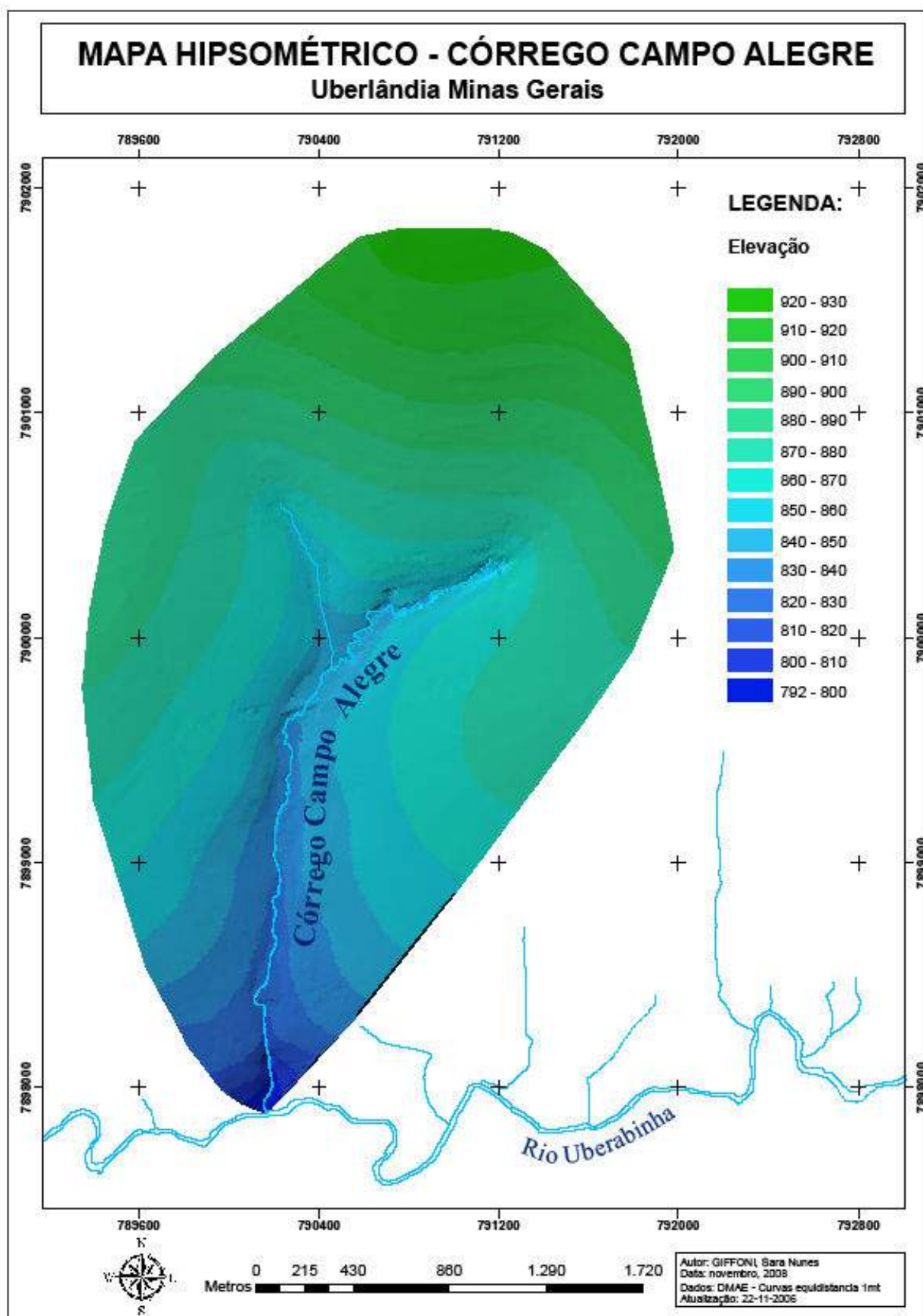


Figura 66: Mapa Hipsométrico do córrego Campo Alegre.

5.3.3 Mapa: Análise Temporal da Feição Erosiva

Para a elaboração dos mapas comparativos da evolução da feição erosiva - figuras 68, 69 e 70 – foram combinados todos os levantamentos da posição temporal do curso do córrego e da margem da vertente ou da voçoroca, em diferentes épocas. Apesar de terem sido levantados por meio de diferentes materiais cartográficos e em escalas distintas, proporcionam uma eficiente noção de como foi a evolução no período de quase 30 anos da feição erosiva e como isso alterou a dinâmica inicial do corpo hídrico.

É possível perceber a partir da feição erosiva e da análise dos mapas resultante das diferentes situações temporais do córrego que, em alguns trechos, a voçoroca evoluiu no sentido da parte alta da vertente e, em outros trechos, nota-se que teve a sua conformação alterada devido ao trabalho de aterramento realizado pela Prefeitura Municipal de Uberlândia.

O aumento da vazão do córrego durante as precipitações pluviais de maior intensidade resultou no carreamento do material empregado no aterramento da erosão. Este acabou por se depositar na porção jusante ao aterro, assoreando por completo o canal fluvial e criando, assim, uma espécie de banco de detritos de origem antrópica, como pode ser observado na figura 67. O assoreamento do canal promoveu a dispersão da água sobre esse banco.



Figura 67: Banco de materiais carreados.
Autor: GIFFONI, S. Data: 23 out. 2008.

A consequência do espalhamento da água fluvial associada às águas pluviais coletadas nos bairros situados na bacia do córrego Campo Alegre, produziu e vem produzindo a erosão das margens, o que levou à ampliação da largura do canal. Com o passar do tempo, notou-se nas imagens de diferentes épocas que o canal fluvial estabeleceu diferentes percursos em um sistema semelhante ao meandrante. Mais recentemente, em imagens de 1997, 2004 e 2007, percebeu-se que a erosão vem ampliando a sua área de abrangência em razão da migração lateral do canal fluvial, acelerada pelo acréscimo da vazão decorrente do lançamento de águas pluviais em uma condição meandrante.

Em vários trechos da margem fluvial, a vegetação de vereda e de mata paludosa, encontra-se em extinção ou severamente afetada, tanto pela erosão quanto pelo aprofundamento do canal. Esta última situação produziu a drenagem do nível superior, composta de solo orgânico com conseqüente rebaixamento do nível freático, o que resulta no ressecamento do solo anteriormente saturado e coberto pela vegetação higrófila.

O trecho de maior destaque pode ser observado na figura 70 que compara as diferentes fases de evolução da feição erosiva entre 2007 e 2009. Nela é possível observar o quanto a feição erosiva evoluiu e avançou no sentido de cotas maiores da vertente fluvial.

5.3.4 Carta-imagem: Evolução Temporal da Feição Erosiva do Córrego Campo Alegre

Na elaboração da carta-imagem – figura 71 – os mesmos levantamentos dos cursos d'água e margem da erosão são colocados à frente das respectivas imagens e fotografias. Isto favorece a análise da amplitude de área que foi aberta à vertente pelo aprofundamento do canal e carreamento dos blocos erodidos.

Outras análises importantes a serem feitas são sobre o uso e ocupação do solo em cada época; sobre como a alteração da cobertura vegetal e do próprio curso do rio foram se desenvolvendo; e sobre como estiveram ligados com o crescimento dos processos erosivos.

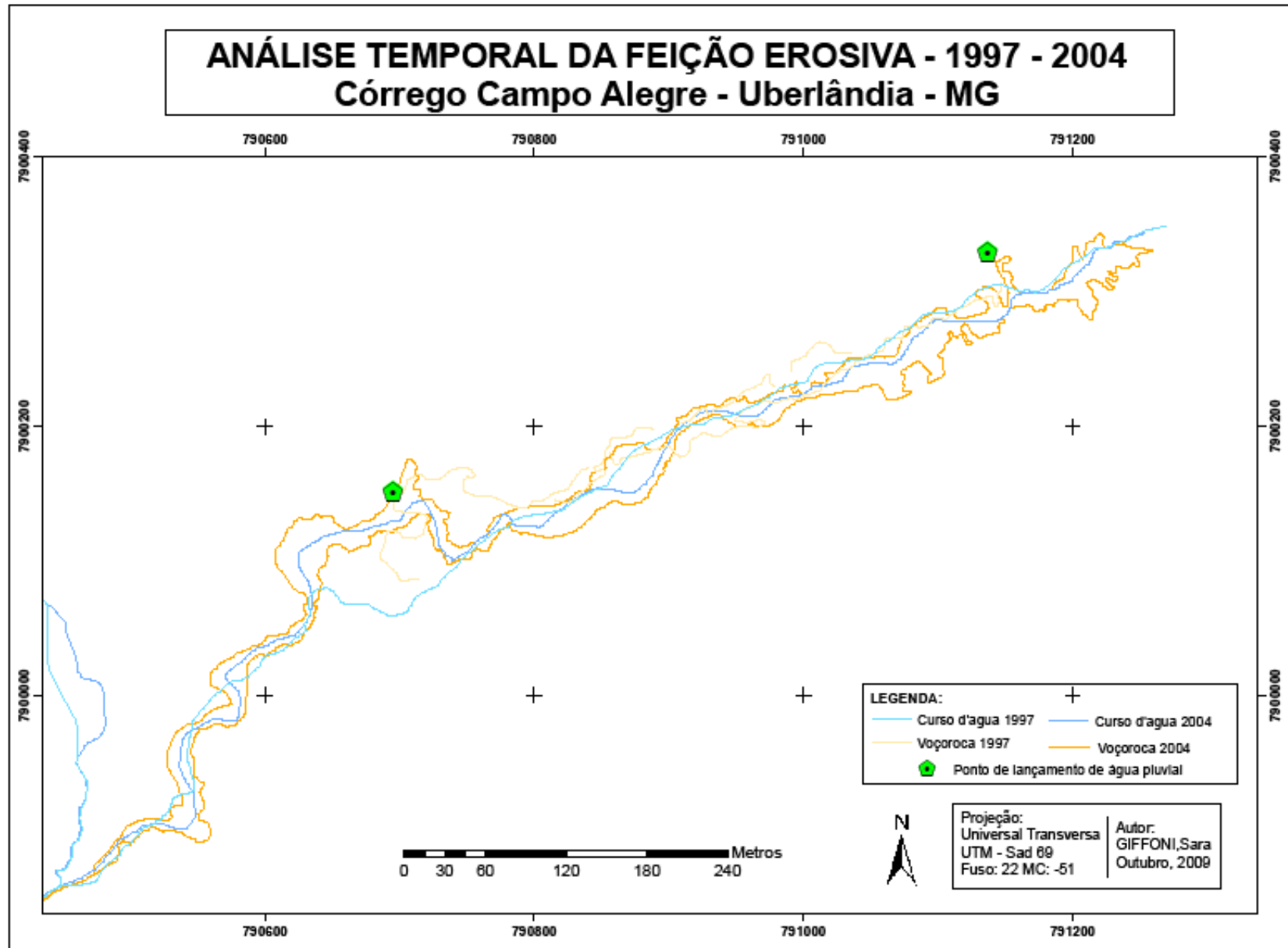


Figura 68: Mapa de análise temporal da feição erosiva – 1997 – 2004.

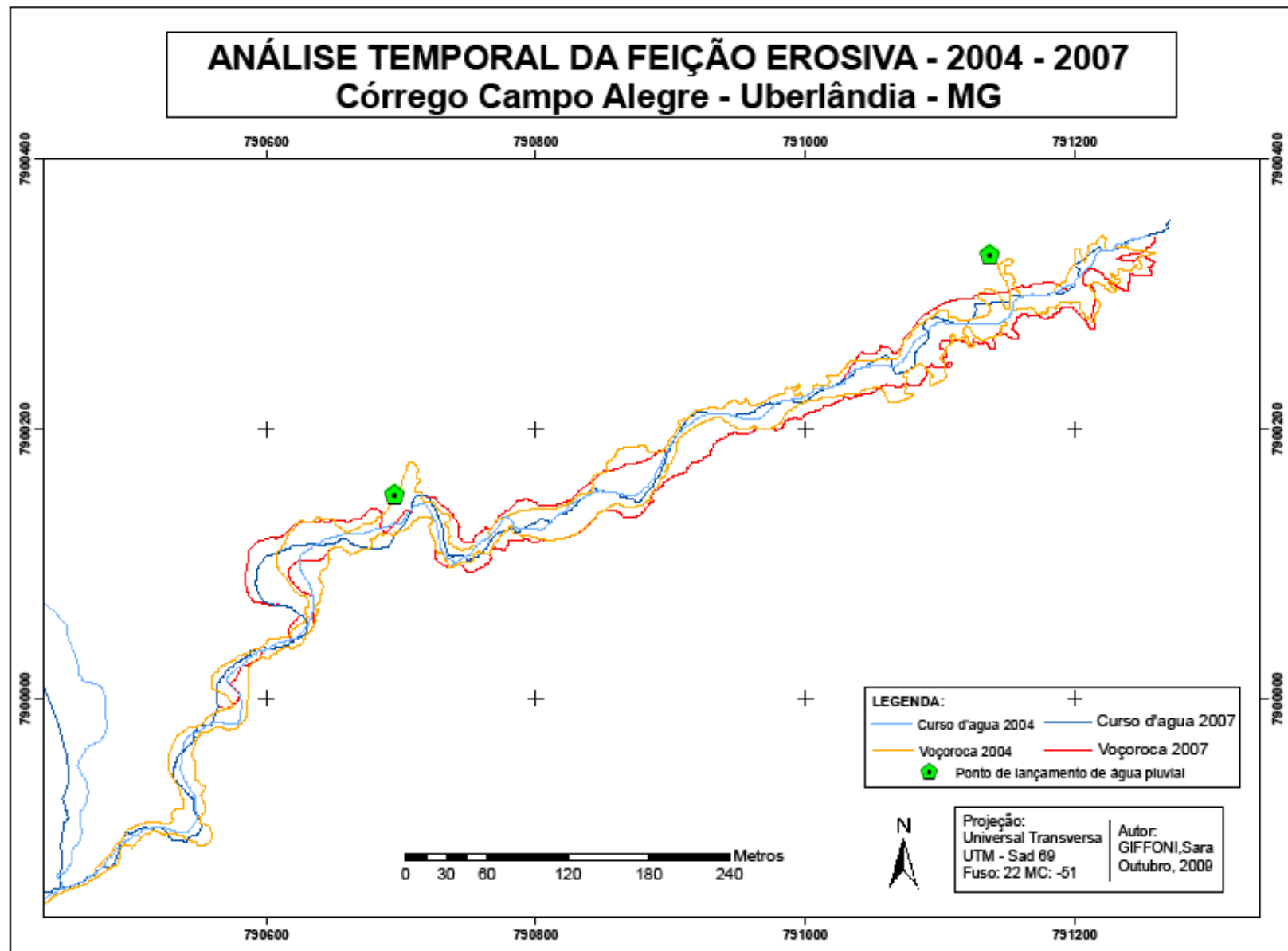


Figura 69: Mapa de análise temporal da feição erosiva 2004 – 2007.

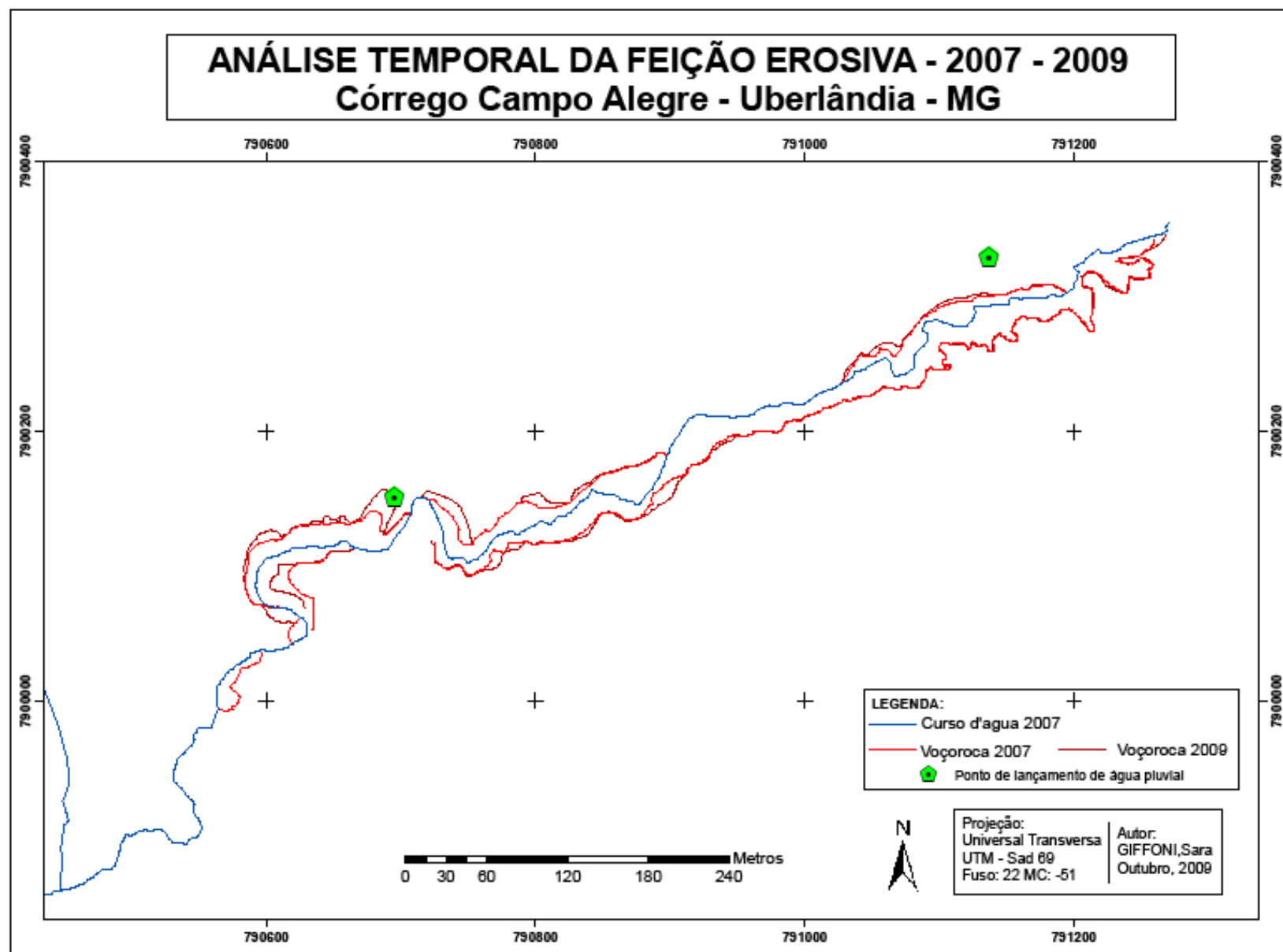


Figura 70: Mapa de análise temporal da feição erosiva 2007 – 2009.

EVOLUÇÃO TEMPORAL DA FEIÇÃO EROSIVA DO CÓRREGO CAMPO ALEGRE

Córrego Campo Alegre - Uberlândia - MG

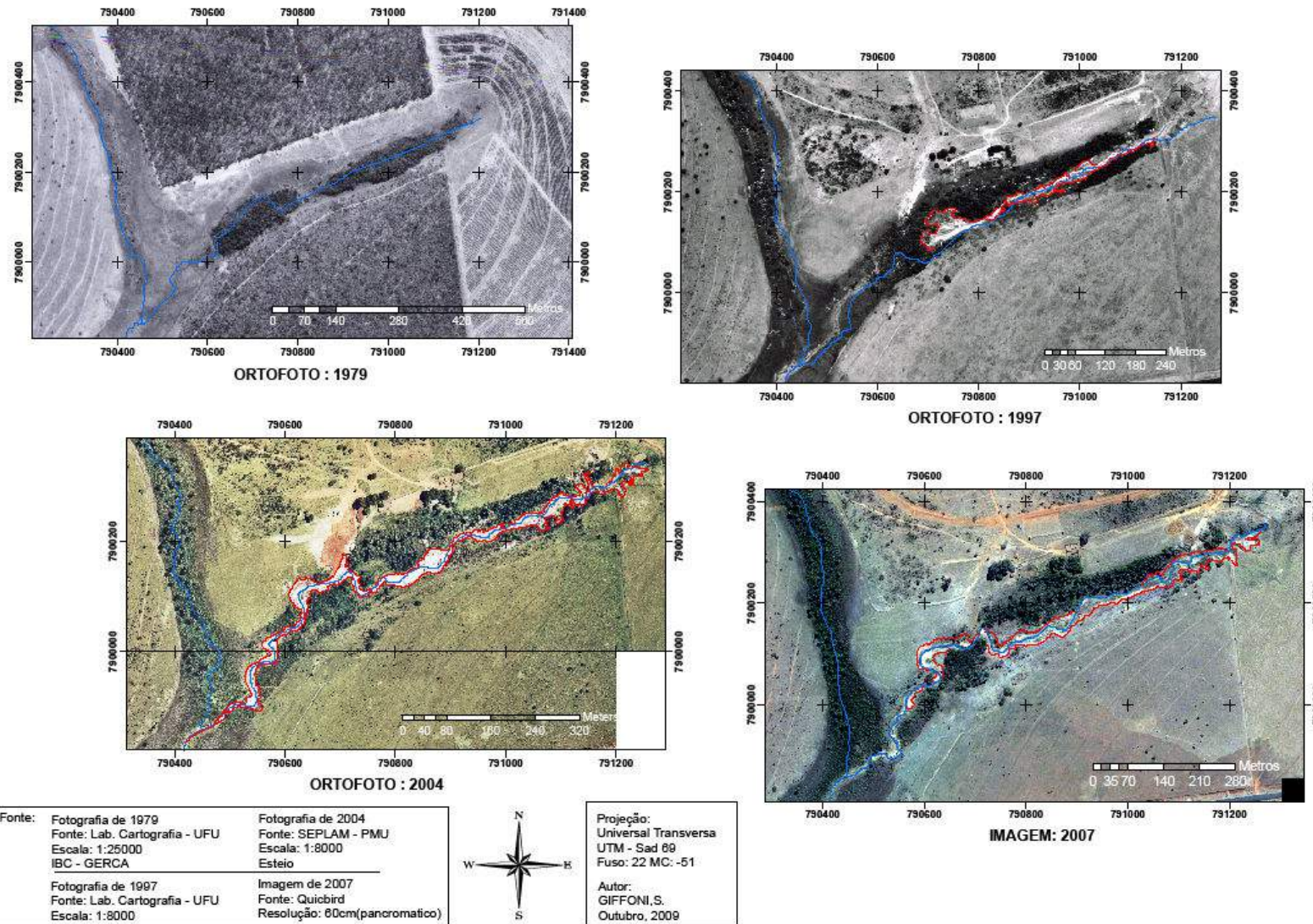


Figura 71: Carta-imagem: Evolução temporal da feição erosiva do córrego Campo Alegre.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alguns desequilíbrios ambientais podem ocorrer naturalmente pela fragilidade original do ambiente. Porém, geralmente é a intensidade da ação antrópica que desencadeia os grandes danos aos sistemas ambientais. Este foi o caso do processo erosivo do Córrego Campo Alegre, que começou a apresentar feições erosivas após a instalação de galerias pluviais e o conseqüente lançamento de água em volume superior à capacidade de suporte do córrego em questão.

O efeito gerado por esse lançamento resultou no aumento excessivo da vazão do curso d'água que, por conseqüência, levou ao aumento da energia mecânica desse recurso natural. Tal cenário estimulou o início do processo erosivo que evoluiu rapidamente para o estágio de voçoroca.

Como foi constado pelos diversos ensaios, o solo em toda a vertente é extremamente sensível à erosão hídrica, principalmente os de perfil mais profundo. Essa característica facilita o carreamento. Todavia, é importante destacar que os primeiros níveis do solo se conservam um pouco mais, pois a matéria orgânica lhes confere certa coesão.

Ao longo do braço direito do córrego Campo Alegre existem duas galerias de lançamento, as quais já foram por décadas aterradas e erodidas novamente, sempre repetindo o mesmo processo: aterramento com resíduos de construção civil e implantação de galerias de forma inadequada. Também pelas observações em campo é questionável o tipo de material utilizado para aterramento, pois em meio aos taludes erodidos é possível identificar materiais de origens diversas e em proporções grandes, o que não é indicado para aterramentos de voçorocas.

Toda a carga de detritos e sedimentos acumulou-se logo a jusante promovendo o assoreamento do canal fluvial que já havia sido parcialmente assoreado durante a evolução da erosão da nascente. O novo acúmulo de detritos criou um banco espesso composto de restos de materiais de construção civil, sedimentos e outros tipos de resíduos.

O grande volume de água descarregado nessa porção da bacia e sobre um trecho totalmente assoreado culminaram com a erosão lateral a partir da margem fluvial. Um sistema fluvial do tipo meandrante passou a se desenvolver ao mesmo tempo em que a erosão vertical ia gradualmente se processando. A migração lateral do canal que estava se estabelecendo sobre o banco de detritos e sedimentos possibilitou a erosão da margem oposta a curvaturas dos meandros dando origem a taludes verticais com alturas que chegam a 8 metros.

Uma vez iniciado a erosão, vários outros processos passam a atuar de maneira interdependente. A ação mecânica da água que escoar pelo canal fluvial, produz a erosão do solo siltoso em contato com a água, que correspondem aos níveis 3,4 e 5 do perfil 4. A presença do lençol freático nesta posição produz um fenômeno conhecido como *piping* ou erosão interna, que carrega as partículas finas do solo (silte e argila) para fora do talude de erosão.

Em decorrência do vazio interno criado pelo transporte do nível 4 da vertente, ocorreram subsidências e colapsos na superfície próxima ao talude do canal meandrante. Durante os meses de pesquisa e trabalhos de campo a dimensão dos colapsos aumentou e a tendência é a unificação com a queda dos blocos ampliando ainda mais a área da feição erosiva.

O avanço da erosão é iminente. Desde o início da pesquisa foi possível observar o aumento da quantidade de sedimentação e carreamento de blocos, principalmente na área mais sensível da erosão, à curvatura desenvolvida pelo canal.

É de urgência para os moradores dos bairros residenciais à cabeceira do córrego e para a propriedade rural à margem direita do canal que se contenha a erosão no córrego Campo Alegre. Destaca-se que o poder de auto-recuperação do ambiente natural do cerrado é grande. Portanto, se a área afetada for isolada para criar um ambiente favorável à sua estabilização, é possível conter o processo de erosão. Trata-se de uma alternativa barata e eficiente, porém não tão rápida e que garantiria, principalmente, o não surgimento de novos processos erosivos recorrentes.

Os córregos urbanos são semelhantes e todos direcionam a água pluvial para suas cabeceiras. Nessa perspectiva, é preciso repensar a forma de ocupação das bacias, principalmente as localizadas em áreas urbanas onde o solo é usado para habitação. Em várias bacias da área

urbana de Uberlândia ocorrem os mesmos problemas apresentados nesse estudo, sendo que há anos a Prefeitura utiliza as mesmas estratégias de contenção que geram gasto do dinheiro público em vão.

A pesquisa cumpriu o objetivo de caracterizar a erosão do córrego Campo Alegre, utilizando técnicas indicadas para se diagnosticar e planejar as intervenções em qualquer córrego urbano dentro da cidade de Uberlândia. É importante ressaltar que o estudo tem baixo custo e eficácia na resposta comportamental do solo, pois os produtos de sensoriamento remoto e estrutura de hardware e software são encontrados em diversas prefeituras ou universidades, retornando um trabalho muito eficiente.

Felizmente ainda não ocorreram perdas humanas em decorrência desse tipo de desastre ambiental e ainda existem dados suficientes provenientes de estudos, trabalhos empíricos e pesquisas mais extensas para dar suporte à correta ocupação e plano de contenção de voçorocas.

7. REFERÊNCIAS

ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas** – NBR 6502-1995, NBR 6502/1995, NBR 6502/1995, NBR 6508/1984, NBR 6502-1995, NBR 6457, NBR 7181, NBR 5734, NBR 6459, NBR 7180, NBR 9604, NBR 6508/198, NBR 6457, NBR 7181, NBR 6459, NBR 9604/1986, NBR 14724, NBR 10520.

ARAUJO, G.H. de S., ALMEIDA, J. R. de, GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

BADILLO, E. RODRIGUEZ, A. **Fundamentos de la mecânica de suelos**. 2 ed. Editorial Limusa – Wiley, S.A. México, 1972.

BONINI, A. O. **Proposta de um método de ensaio para determinação do volume de azul de metileno absorvido pela fração fina de solos tropicais**. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

BUENO, B. S., VILAR, O. M. **Mecânica dos Solos**, 1984. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Geotecnia, São Carlos, 1984.

CARRIJO, B.R., BACARRO, C.A.D. **Análise sobre a erosão hídrica na área urbana de Uberlândia (MG)**, Revista Caminhos de Geografia 1 (2) 70 – 83, dez 2000.

CASSETI, V. **Ambiente e Apropriação do Relevo**, São Paulo: Contexto 1991, Coleção Ensaios.

CASTELO, R., POLIDO, U. **As encostas Urbanas: Análise e proposta de metodologia para enfrentar o problema em Vitória ES**. Fundação Ceciliano Abel de Almeida / UFES, Vitória – ES, 1986

COSTA, N. M. C., SILVA, J. X., **Geoprocessamento Aplicado à criação de Planos de Manejo: O caso do Parque Estadual da Pedra Branca – RJ** In: SILVA, J. X., ZAIDAN, R. T. (Org.) **Geoprocessamento e Análise Ambiental** – Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

CUNHA, S. B., GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia: Exercícios Técnicas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

CUNHA, S. B., GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1966.

DUARTE, W. BRITO, J. **Análise Temporal do Uso da Terra e cobertura Vegetal do alto curso do rio Uberabinha utilizando imagens do satélite CBERS 2**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia 16-21 abril 2005, INPE p. 2965-2972.

ESCOLA POLITECNICA UFBA Departamento de Ciência e Tecnologia dos materiais
Laboratório de Geotecnia. Apostila: **Cisalhamento Direto**.

FERREIRA, M. D. **Análise da Evolução dos processos erosivos acelerados em áreas urbanas e das técnicas de controle e recuperação** : córrego do tucum (São Pedro –SP) .
Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.

FILHO, G. S. A. **Diagnóstico, Prognóstico e Controle de Erosão**. Minicurso -VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia – GO . ABGE.

FRASCOLI, A., LIMA, S. LILIENFEIN, J. WILCKE, W. ZECH, W. LEPSH, I. AYARZA, M. VILELA, L., **Solos da Chapada Uberlândia-Uberaba(MG) Morfologia Granulometria e pH, em toposequencia**. Revista Caminhos de Geografia. V. 1 p. 18-26, set 2000.
Disponível em: < <http://www.caminhosdegeografia.ig.ufu.br> > Acesso em 20 set 2006

GEOMINAS – Geoprocessamento em Minas. **Bases Cartográficas**. Disponível em:
<<http://www.geominas.mg.gov.br> >. Acesso em: 18 fev. de 2009.

GIFFONI, S. **Mapeamento dos Remanescentes de cobertura vegetal natural no município de Uberlândia - MG**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Bacharelado Em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia.

GOMES, F. **Estudo da Erodibilidade e Parâmetros Geotécnicos de um solo em processo erosivo**. Mestrado em Engenharia Civil. Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. 2001.

GUERRA, A., SILVA, A., BOTELHO, R. (org.) **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUERRA, A., CUNHA, S. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1966.

HEIDEMANN, M. **Mapeamento Geotécnico de um vetor de expansão urbana do município de Tubarão – SC**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão – SC, 2008.

LABORATÓRIO DE FÍSICA DO SOLO. LAFISO **Propriedades Químicas do solo** (apresentação de slides). Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em:
<http://w3.ufsm.br/fisica_e_genese/Graduacao/Tansparencias/Rochas_Antonio/PropQuim.pdf > Acesso em: 18 ago. de 2009.

LEMO, R. C. de, SANTOS, R. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3ª Edição Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

LEPSCH, I. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LIMA, S., FELTRAN FILHO, A., ROSA, R., **Mapeamento do Uso do Solo no Município de Uberlândia –MG, Através de Imagens TM/LANSAT.** Revista Sociedade & Natureza, V. 1 N.2 – 1989 – Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, Departamento de Geografia/EDUFU.

MUNSEL – **Soil Color Charts** – Edição Revisada, 2000.

NISHIYAMA, L. **Geologia do Município de Uberlândia.** Revista Sociedade e Natureza. V. 1 N. 1, 1989. Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia

NISHIYAMA, L. **Noções de Mecânica dos solos.** (Apresentação de Slides)

NISHIYAMA, L. **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000: Aplicação no município de Uberlândia – MG.** (Doutorado em Engenharia civil: Geotecnia) Escola de engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998.

PINTO, C. de S. **Curso Básico de Mecânica Exercícios resolvidos.** 2ª Ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2002.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA. **Uberlândia.** Disponível em: <<http://www3.uberlandia.mg.gov.br>>. Acesso em: 14 dez. 2007.

REZENDE, M. E. B. **Apostila de Laboratório de Mecânica dos solos 1** . Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 1999.

RODRIGUES, J.E. **Estudo de Fenômenos erosivos acelerados** – Voçorocas – 1982. 162 f. Tese de doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos. 1982.

ROSA, R. **O uso de SIG's para o zoneamento:** uma abordagem metodológica. 1995 Doutorado. (Doutorado em Geografia Física) Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

ROSA, R. BRITO, J. L. S. **Introdução ao geoprocessamento:** Sistema de informação Geográfica, Uberlândia, 1996. p.104

SALEMI, Luiz Felipe. **Erosão do solo.** 2009. In: WEBARTIGOS. Disponível em: <<http://webartigos.com/articles/27460/1/erosão-do-solo-o-efeito-das-gotas-de-chuva-sobre-o-solo-descoberto/pagina1.html>>. Acesso em: 15 dez. 2009

SANTOS, L., BACCARO, C., **Caracterização geomorfológica da bacia do rio tijuco.** Revista Caminhos da Geografia. 1 (11) 1-21 , Fev/2004.

SCHNEIDER, M. O. **Bacia do Rio Uberabinha: Uso agrícola do solo e meio ambiente.** 1996. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SILVA, A. **Caracterização dos fatores naturais e antrópicos responsáveis pelo desencadeamento das feições erosivas na cabeceira do córrego campo alegre**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2007.

SILVA, A. **Mapeamento Geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do córrego Tuncum**, São Pedro, São Paulo Escala 1:10000. (Dissertação) Escola de engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo São Carlos, 2003.

SILVA,E., ASSUNÇÃO, W. **O Clima na cidade de Uberlândia – MG**. Revista Sociedade & Natureza. V. 16, N. 30 p. 91, 2004. Disponível em: <<http://www.sociedadennatureza.ig.ufu.br>> Acesso em: 19 set 2006.

SILVA, J. RIBEIRO, S. **Estudo de Boçorocas e Métodos Expeditos Aplicados**. Instituto de Geociências e Ciências Aplicadas. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2001.

SOBREIRA, F. **Susceptibilidade a processos geológicos e suas Consequências na área urbana de mariana, MG** Geo.br 1 (2001) 43-60.

TUCCI, C.; COLLISCHONN, W. 1998. **Drenagem urbana e Controle de Erosão**. VI Simpósio nacional de controle da erosão. 29/3 a 1/4 1998, Presidente Prudente, São Paulo

TUCCI, C. MARQUES, D. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS, 2000.

TUCCI, C.E. M; PORTO, R.L.; BARROS, M.T., 1995 (orgs) **Drenagem Urbana**, Editora da Universidade, ABRH, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 430 p

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos solos**. Universidade de São Paulo, 1977.

UNIVERSITY OF WISCONSIN. **Department of Soil Science**. Disponível em: <<http://www.soils.wisc.edu/soils/index.php>>. Acesso em: 10 dez. 2009.

ZUQUETE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. Tese de doutorado: EESC/USP. São Carlos.1987