

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**ANÁLISE DO PROCESSO EROSIVO NO
LOTEAMENTO PARAÍSO – ITAJUBÁ – MG.**

TEREZA FERNANDA DA SILVA

Itajubá, agosto de 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

TEREZA FERNANDA DA SILVA

**ANÁLISE DO PROCESSO EROSIVO NO
LOTEAMENTO PARAÍSO – ITAJUBÁ – MG.**

Dissertação submetida ao Programa da Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Orientadora: Prof^a. Dra. Nívea Adriana Dias Pons

Co-Orientador: Prof^o. Dr. Marcelo Ribeiro Barison

Agosto de 2015

Itajubá

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

TEREZA FERNANDA DA SILVA

**ANÁLISE DO PROCESSO EROSIVO NO
LOTEAMENTO PARAÍSO – ITAJUBÁ – MG.**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 11 de agosto de 2015, conferindo ao autor o título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Banca Examinadora:

Prof^a. Dra. Nívea Adriana Dias Pons (UNIFEI)

Prof. Dr. Marcelo Ribeiro Barison (UNIFAL - MG)

Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha (UNIFAL - MG)

Prof^a. Dra. Adinele Gomes Guimarães (UNIFEI)

Prof^a. Dra. Daniela Rocha Teixeira Riodent Costa (UNIFEI)

Itajubá

2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pois sem Ele nada seria possível.

Ao meu marido (Lindyner Alexandre Mota) que esteve sempre ao meu lado, não medindo esforços para me apoiar e me ajudar em tudo o que fosse preciso.

Aos meus pais (Maria José da Silva e José Maria da Silva) que sempre me incentivaram a estudar.

As professoras Nívea Adriana Dias Pons e Adinele Gomes Guimarães e o professor Marcelo Ribeiro Barison por todo auxílio e orientação durante este trabalho.

Aos professores Diego de Souza Sardinha e Daniela Rocha Teixeira Riodent Costa por suas contribuições para finalização deste trabalho.

A amiga Adriana Candal pelo auxílio nos pequenos detalhes da dissertação, mas que fizeram toda a diferença.

Aos técnicos dos laboratórios (Tânia Aparecida de Souza Barbosa, Oswaldo Rodrigues, André Barouch, Josivaldo Rodrigues) que me auxiliaram nas coletas a campo e nos ensaios em laboratório.

Aos moradores do Loteamento Paraíso que proporcionaram o enriquecimento deste trabalho com suas informações.

A Universidade Federal de Itajubá, onde adquiri todos os conhecimentos que possuo e que me permitiu a realização deste trabalho por meio dos laboratórios, equipamentos e demais infraestrutura disponível.

RESUMO

SILVA, T. F. **Análise do processo erosivo no Loteamento Paraíso – Itajubá – MG**. 2015. Dissertação de Mestrado (Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Itajubá.

Para o melhor entendimento dos processos erosivos em áreas de expansão urbana há a necessidade de se conhecer as características físicas da área e a maneira como ocorreu sua ocupação. Por essa razão, este trabalho avaliou o processo erosivo instalado no Loteamento Paraíso, localizado na cidade de Itajubá – MG, a fim de identificar as possíveis causas da ocorrência do mesmo e propor medidas de mitigação. Para o desenvolvimento do trabalho foram levantadas informações referentes ao loteamento; coletadas amostras de solo para análise em laboratório; realizados ensaios a campo; e utilizado o Sistema de informações Geográficas e o Plano Diretor de Itajubá para análise das declividades do terreno e geração de documentos cartográficos. Os resultados das análises físicas indicaram maior porcentagem de frações de silte nos pontos do manto de alteração mais próximos da superfície (A1, A2 e A3) e de areia nos pontos inferiores do manto de alteração (A4 e A5). Conforme a classificação da EMBRAPA (1979), o ponto A5 foi identificado como arenoso e, segundo a classificação proposta por Araujo e Campos (2013), os pontos A3, A4 e A5 se classificam como muito erodíveis. Por meio da carta de declividade do loteamento verificou-se que mais de 40% da área apresenta declividade superior a 30%, a qual é restritiva à ocupação. E para a minimização dos processos erosivos no loteamento seriam necessárias medidas de contenção da água e do solo e por fim, a recomposição das áreas erodidas com solo de área de empréstimo, solo do ponto A1 ou ainda entulho. Em relação à voçoroca da Rua Oito verificou-se que para sua recomposição seriam necessários cerca de 2.910 caminhões de 5m³ de solo, a um custo de aproximadamente R\$ 203.700,00. Por fim, segundo informações obtidas, a implantação do loteamento não ocorreu de maneira correta, de modo que os fatores físicos da área contribuíram para a formação do processo erosivo, mas a ocupação do loteamento também representou um fator agravante.

Palavras-chave: Ocupação urbana, SIG e Erosão.

ABSTRACT

SILVA, T. F. **Analysis of the Erosion Process in Paraíso Housing Development – Itajubá – MG.** 2015. Mastering Dissertation (Environmental and Water Resources). Universidade Federal de Itajubá.

For a better understanding of erosion processes in areas of urban expansion, it is necessary to know the physical characteristics of the area and how it was occupied. Therefore, this study evaluated the erosion installed on Paraíso Housing Development, located in Itajubá - MG, in order to identify the possible causes of the occurrence and propose mitigation measures. A significant amount of information regarding the Housing Development was collected to develop this study such as: soil samples were collected for laboratory analysis; field analyses were carried out; and the System of Geographical Information and Itajubá Master Plan were used for analyzing the terrain slopes and generating cartographic documents. The results of the physical analysis indicated higher percentage of silt fractions in the points closer to the surface alteration mantle (A1, A2 and A3) and sand on the lower spots of the alteration mantle (A4 and A5). According to EMBRAPA's classification (1979), A5 point was identified as sandy and, according to the classification proposed by Araujo and Campos (2013) A3, A4 and A5 points are classified as very erodible. Based on the land slope card subdivision of the card slope, it was found that almost 40% of the area has slopes higher than 30%, which is a restriction to the occupation. And to minimize the erosion in housing development would take measures to contain the water and soil and finally the restoration of eroded areas with lending area of ground, from the point A1 soil or rubble. Regarding the gully of Eight Street it was found that for his recovery would take about 2,910 trucks 5m³ of soil, at a cost of approximately R\$ 203.700,00. Finally, according to information obtained, the implementation of the settlement did not occur properly, so that the physical factors of the area contributed to the formation of erosion, but the allotment occupation also represented an aggravating factor.

Keywords: Urban occupation, GIS, Erosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1. Loteamento Paraíso, Itajubá - MG.	2
Figura 3. 1. Voçoroca no Loteamento Paraíso, Itajubá – MG.	18
Figura 4. 1. Fluxograma das principais etapas do estudo.	22
Figura 4. 2. Croqui de localização da cidade de Itajubá - MG.	23
Figura 4. 3. Limite territorial do município de Itajubá, ruas referentes à área urbana e o círculo em vermelho indicando a localização da área do Loteamento Paraíso.	24
Figura 4. 4. Vista da parte superior do Loteamento Paraíso.	25
Figura 4. 5. Vista da parte inferior do Loteamento Paraíso.	25
Figura 4. 6. Localização da área de estudo (Loteamento Paraíso) no município de Itajubá – MG, por meio da seta vermelha.	26
Figura 4. 7. Tubulações de escoamento pluvial presentes na voçoroca da Rua Oito.	27
Figura 4. 8. Processo erosivo na parte superior não pavimentada da Rua Dr. Laércio Sanches.	29
Figura 4. 9. Pontos de coleta de amostras, onde A1 e A2 se encontram na camada com coloração castanho avermelhado, A3 se situa na camada intermediária e A4 e A5 se encontram na camada de coloração rosa claro. ...	31
Figura 4. 10. Localização dos pontos onde foram realizados os Ensaios com o Permeâmetro de Guelph ao longo da voçoroca da Rua Oito.	32
Figura 5. 1. Área total do Loteamento Paraíso em Itajubá – MG representado pela linha amarela, quadra esportiva coberta em azul, residências em preto, fábrica de usinagem em lilás e locais com presença de processos erosivos em vermelho. P1 e P2 correspondem aos limites do loteamento em sua parte inferior.	38
Figura 5. 2. Evolução do processo erosivo com aprofundamento significativo da voçoroca na Rua Oito entre os anos de 2012 e 2013.	39
Figura 5. 3. Distribuição granulométrica do peneiramento fino dos pontos amostrados (A1, A2, A3, A4 e A5).	43

Figura 5. 4. Ensaio de Proctor para os pontos amostrados (A1, A2, A3, A4 e A5), onde γ_d corresponde ao peso específico aparente seco do solo amostrado.	45
Figura 5. 5. Planta Planialtimétrica do Loteamento Paraíso, onde o traçado laranja delimita a área do loteamento, a área em vermelho identifica os pontos onde há erosão, as linhas em preto representam o traçado das ruas e as linhas verdes são as curvas de níveis da área.	48
Figura 5. 6. Carta de Declividade do Loteamento Paraíso.	49
Figura 5. 7. Locais afetados pelo escoamento pluvial do Loteamento Paraíso: Avenida Wagner Machado, na parte inferior do loteamento; área sem vegetação, situada em frente ao loteamento; e Rio Sapucaí, próximo ao loteamento. Setas azuis indicando a direção do escoamento.	51
Figura 5. 8. Detalhamento planialtimétrico da voçoroca localizada na Rua Oito.	53
Figura 5. 9. Área do loteamento com presença de calçamento e edificações..	54
Figura 5. 10. Área do loteamento com ocupação por vegetação rasteira.	55
Figura 5. 11. Área do loteamento com solo exposto.	55
Figura 5. 12. Carta de suscetibilidade à erosão em função do uso e ocupação do Loteamento Paraíso.	57
Figura 5. 13. Carta de suscetibilidade à erosão em função da declividade do Loteamento Paraíso.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 5. 1. Atributos físicos dos pontos amostrados no Loteamento Paraíso.	41
Tabela 5. 2. Distribuição granulométrica do peneiramento fino dos pontos amostrados.....	43
Tabela 5. 3. Valores de peso específico aparente seco máximo e umidade ótima obtidos no Ensaio do Proctor para os pontos amostrados.	44
Tabela 5. 4. Valores obtidos no ensaio de permeabilidade do solo, utilizando o Permeâmetro de Guelph e sua classificação.	45
Tabela 5. 5. Área dos intervalos de declividade do Loteamento Paraíso.	50
Tabela 5. 6. Dimensões da voçoroca localizada na Rua Oito.	52
Tabela 5. 7. Matriz de decisão para determinação da suscetibilidade à erosão.	56
Tabela 5. 8. Valores de áreas conforme a suscetibilidade à erosão em função da declividade do Loteamento Paraíso.	56

SUMÁRIO

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	II
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS	V
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GERAL.....	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
3.1. LEGISLAÇÃO SOBRE PARCELAMENTO DO SOLO	5
3.1.1. Lei 6.766 (BRASIL, 1979).....	5
3.1.2. Lei Complementar nº 8 (ITAJUBÁ, 2003)	7
3.1.3. Deliberação Normativa COPAM nº 58 (MINAS GERAIS, 2002)...	10
3.1.4. Resolução CONAMA nº 412 (BRASIL, 2009).....	11
3.2. PARCELAMENTO DO SOLO X OCUPAÇÃO INADEQUADA	13
3.3. IMPACTOS OCASIONADOS POR LOTEAMENTOS	14
3.3.1. Solo e processos erosivos.....	16
3.4. ENSAIOS GEOTÉCNICOS.....	19
3.5. GEOPROCESSAMENTO	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1. ETAPA DE ESCRITÓRIO.....	23
4.1.1. Localização da Área de Estudo	23
4.1.2. O Loteamento Paraíso.....	26
4.1.3. Carta de Declividade e de Suscetibilidade à Erosão da Área de Estudo	29
4.2. ETAPA DE CAMPO.....	30
4.2.1. Amostragem da Área de Estudo.....	30
4.2.2. Permeabilidade na Área de Estudo	32
4.3. ETAPA DE LABORATÓRIO	34
4.3.1. Ensaio Geotécnicos	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1. O LOTEAMENTO PARAÍSO.....	37
5.2. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DO LOTEAMENTO PARAÍSO.....	39
5.2.1. Ensaio Geotécnicos	39

5.2.2.	Levantamento Planialtimétrico.....	46
5.2.2.1.	Levantamento Planialtimétrico da Voçoroca da Rua Oito.....	51
5.3.	CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO DO LOTEAMENTO PARAÍSO	54
5.4.	MEDIDAS PARA A MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS EROSIVOS	59
6.	CONCLUSÕES	61
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXO I.....	72
ANEXO II.....	73
ANEXO III.....	74
ANEXO IV	75
ANEXO V	76

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, em função do crescimento populacional, vem ocorrendo um processo acelerado de expansão da área urbana. Dados do Censo demográfico 1940-2010 (IBGE, 2014), indicam que em 1940 a taxa de urbanização no Brasil era de aproximadamente 31% e em 2010 essa taxa já era superior a 84%. O aumento da população nas áreas urbanas também pode ser observado no município de Itajubá, que em 1991 apresentava uma população de 75.014 habitantes, em 2010 passou a 90.658 e que segundo a estimativa do IBGE para 2014 eram de 95.491 residentes (IBGE, 2014), um aumento de quase 27% em 23 anos.

Dentre os inúmeros motivos que levam a expansão da área urbana, pode-se citar como fator significativo o deslocamento da população rural para as cidades em busca por melhores condições de vida (escolas, emprego, saúde e etc.). Contudo, essa expansão urbana muitas vezes acontece de forma desordenada provocando grandes impactos ao meio ambiente.

Em Itajubá, a ocupação de diversas áreas ocorreu de maneira indevida e sem qualquer preocupação com as consequências ao meio ambiente: ao longo dos rios e ribeirões, sem respeitar suas margens que são áreas de preservação permanente; ao longo de rodovias, onde não foram mantidas as faixas sem ocupação estabelecidas por lei; e em encostas onde não foram respeitadas as declividades do local. As ocupações de maneira desordenada e sem as devidas precauções acabam por provocar sérios danos ao ambiente e prejuízos à própria população.

Como exemplo desses danos pode-se citar os movimentos de massa ou erosões que poderiam ser evitadas com a presença de cobertura vegetal, controlando o impacto das gotas de chuva sobre o solo; ou pelo conhecimento das características fisiográficas da área que permitiriam o estabelecimento adequado do seu uso e que seriam de grande importância para a elaboração de projetos urbanísticos mais apropriados ao local.

Além dessas medidas, o entendimento de como ocorre a expansão urbana pode auxiliar na criação de políticas de ocupação do território e no planejamento urbano das cidades, pois possibilita identificar: a necessidade de novas moradias, e, conseqüentemente, a implantação de novos parcelamentos de solo; necessidade de

infraestrutura para atender essa população; e, medidas para minimizar ou evitar os impactos ambientais ocasionados pelo processo de urbanização.

Assim, pretende-se com esse trabalho, levantar informações sobre o processo de ocupação do Loteamento Paraíso na cidade de Itajubá – MG comparando com a legislação de parcelamento do solo, além de elaborar a caracterização fisiográfica da área para verificar a influência sobre os processos erosivos existentes no local.

O Loteamento Paraíso (Figura 1. 1) localizado no bairro do Açúde em Itajubá – MG foi escolhido para realização desse trabalho devido ao impacto sócio-econômico-ambiental sobre a população local. Essa população possui habitações próximas à área comprometida por voçorocas, possibilitando a ocorrência de acidentes, além da desvalorização dos imóveis e a irregularidade dos mesmos. Espera-se que este estudo possa ajudar na minimização dos impactos ocasionados na área promovendo a melhora na qualidade de vida da comunidade.



Figura 1. 1. Loteamento Paraíso, Itajubá - MG.

O primeiro capítulo desta dissertação apresenta uma breve introdução sobre a expansão urbana no Brasil e no município de Itajubá com as consequências de uma ocupação de maneira inadequada, com as razões e os objetivos para realização deste trabalho.

O segundo capítulo apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos necessários para o andamento deste estudo.

No terceiro capítulo é apresentado o levantamento bibliográfico do assunto, trazendo em tópicos os temas: Parcelamento do Solo x Ocupação Inadequada; Legislação sobre Parcelamento do Solo; Impactos Ocasionalmente por Loteamentos; Ensaio Geotécnicos; e Geoprocessamento.

O quarto capítulo apresenta a localização da área de estudo e traz uma breve descrição do município de Itajubá, onde está localizado o Loteamento Paraíso.

No quinto capítulo são apresentados todos os materiais empregados nas amostragens e ensaios, e as normas seguidas para a realização das análises a campo e em laboratório. Além disso, apresenta a metodologia para a elaboração da carta de declividade.

O sexto capítulo apresenta todos os resultados obtidos nas etapas de campo, laboratório e de escritório e também apresenta uma discussão sobre todos os dados obtidos, principalmente a caracterização fisiográfica da área de estudo.

No sétimo capítulo são apresentados os resultados mais significativos com a proposição para estudos futuros.

O oitavo capítulo apresenta todas as referências bibliográficas utilizadas na elaboração deste estudo.

Por último, têm-se os anexos que apresentam informações mais detalhadas para o entendimento dos resultados e desta dissertação.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O estudo teve como objetivo avaliar o processo erosivo instalado no Loteamento Paraíso, na cidade de Itajubá – MG, a fim de identificar as possíveis causas de ocorrência e medidas de mitigação.

2.2. Objetivos Específicos

Com o intuito de alcançar o objetivo geral do estudo foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar banco de dados no sistema de informações geográficas (SIG) com os dados referentes às características de Zoneamento Urbano e do meio físico do Loteamento Paraíso no município de Itajubá – MG;
- Caracterizar e analisar as propriedades físicas do solo e fragilidade à erosão;
- Propor melhorias para a minimização dos impactos erosivos na área de estudo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Legislação sobre Parcelamento do Solo

Segundo Minaki e Amorim (2012) a legislação sobre parcelamento do solo corresponde a um grupo de leis indispensáveis para organizar um espaço, sendo que as principais leis relacionadas a parcelamento são a Lei 6.766; o Plano Diretor de Município; a Deliberação Normativa COPAM nº. 58; e a Resolução CONAMA nº. 412.

3.1.1. Lei 6.766 (BRASIL, 1979)

Uma das principais leis relacionadas ao parcelamento do solo é a Lei 6.766 que entrou em vigor em 19 de Dezembro de 1979. Esta lei dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, as providências relacionadas ao assunto e ainda define alguns termos, como (BRASIL, 1979):

- Loteamento: divisão de uma área em lotes com a necessidade de criação, ampliação ou alteração de vias de circulação;
- Desmembramento: divisão de uma área em lotes utilizando vias de circulação já existentes;
- Lotes: áreas com infraestrutura básica de dimensões estabelecidas pelo Plano Diretor ou por lei que trate da área onde se localiza o parcelamento;
- Infraestrutura básica: tubulações para escoamento de águas pluviais e para abastecimento de água, cabos e postes para iluminação pública e de energia domiciliar, redes de esgoto sanitário e as vias de circulação. Para Zonas Habitacionais de Interesse Social (ZHIS) a iluminação pública não é considerada como parte da infraestrutura básica necessária para esse empreendimento;
- Equipamentos comunitários: estruturas públicas relacionadas à educação, cultura, saúde, lazer, etc.

Ainda, segundo a Lei 6.766/1979, o parcelamento do solo considerado como urbano somente é permitido em zona urbana, de expansão urbana ou em áreas determinadas pelo Plano Diretor ou definidas por lei municipal. O parcelamento do

solo não é permitido em: áreas alagadas ou inundáveis, antes da adoção de medidas para escoamento adequado das águas da chuva; áreas com aterro de material prejudicial à saúde, sem adequação do local; áreas com declividade a partir de 30%, sem os devidos ajustes técnicos; locais com condições geológicas impróprias; e áreas de preservação ecológica ou com poluição imprópria às condições sanitárias (BRASIL, 1979).

Em relação à construção da infraestrutura básica nos loteamentos, quando não executadas seguindo normas técnicas, estas acabam por provocar impactos sobre o meio ambiente que muitas vezes se intensificam devido às características físicas do terreno. Por essa razão, na implantação de loteamentos, algumas condições urbanísticas devem ser seguidas (BRASIL, 1979):

- A distribuição das áreas no loteamento deve ser adequada à densidade de ocupação estabelecida no Plano Diretor ou por lei municipal específica;
- Os lotes devem apresentar dimensões mínimas estabelecidas por legislação estadual ou municipal;
- Às margens de rios, rodovias e ferrovias devem-se respeitar uma faixa de 15m de ambos os lados, exceto se uma legislação específica estabelecer outros limites. Para dutovias, se existir, a área não-edificável será determinada no licenciamento ambiental;
- As ruas do loteamento devem estar ligadas a outras vias já existentes, levantando-se em consideração a topografia da área;
- O Plano Diretor do município ou demais leis municipais devem estabelecer os usos e ocupações adequadas e os índices urbanísticos para cada zona do território;

Ainda, na Lei 6.766 (BRASIL, 1979), estão estabelecidas outras exigências para a implantação de loteamentos e desmembramentos, como:

- Antes da elaboração do projeto, o loteador deverá requerer à prefeitura que estabeleça o uso da área, o esquema dos lotes, ruas, da área livre e dos dispositivos urbano e comunitário, para isto deverá apresentar planta da área, onde serão indicados todos os dados solicitados. Em seguida, o loteador deverá apresentar à prefeitura o projeto com desenhos, memorial descritivo, cronograma das obras de, no máximo, quatro anos, e a certidão da área e

certidão negativa emitida pelo Cartório de Registro de Imóveis. Se o projeto não for executado no período estabelecido sua aprovação perderá valor.

- O pedido de aprovação do projeto de desmembramento pelo loteador à prefeitura deverá ser solicitado junto com a certidão do Cartório de Registro de Imóveis e a planta da área com: a localização das ruas e loteamentos vizinhos; o principal uso da área; e a divisão desejada dos lotes.
- O Estado ficará responsável pela aprovação de empreendimentos situados em: áreas de proteção de mananciais e de proteção ao patrimônio cultural, histórico, paisagístico e arqueológico; área no limite de municípios, localizado em dois ou mais municípios, situado em área metropolitana ou aglomerações urbanas; e quando o loteamento possuir área maior que um milhão de metros quadrados.
- O loteador, após receber a aprovação do projeto deverá registrá-lo no Registro Imobiliário em cento e oitenta dias, encaminhando os seguintes documentos: título de propriedade do imóvel, certidões negativas, cópia da aprovação do loteamento, entre outros. Após examinar os documentos, se não houver oposição, o oficial de registro avisará à Prefeitura por meio de certidão.
- A Prefeitura Municipal ou Distrito Federal podem adequar loteamento ou desmembramento não autorizado ou realizado sem atender as exigências necessárias, a fim de impedir danos aos padrões de desenvolvimento urbano e aos proprietários dos lotes, sendo ressarcidos pelas despesas decorrentes.
- Loteamentos ou desmembramentos não registrados não serão considerados em desapropriações para fins de indenização.
- Considera-se crime, iniciar ou executar loteamento ou desmembramento sem autorização do órgão responsável ou em discordância com as leis; afirmar a falsa legalidade do empreendimento; e registrar loteamento ou desmembramento sem autorização dos órgãos responsáveis.

3.1.2. Lei Complementar nº 8 (ITAJUBÁ, 2003)

Para a elaboração de projetos de loteamentos, além da Lei 6.766, que trata sobre o parcelamento do solo, todas as diretrizes estabelecidas no Plano Diretor do

município devem ser observadas e cumpridas, visto que o Plano Diretor trata sobre parcelamento do solo em nível municipal.

O Plano Diretor, segundo o Artigo 40 da Lei 10.257/2001 (Estatuto da Cidade), é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, aprovado por meio de lei municipal, devendo ser revisto no mínimo a cada dez anos. Para sua elaboração deve haver a participação por meio de audiências da população e de associações da comunidade, além disso, todos os documentos e informações nele presentes devem ser de livre acesso aos interessados. O plano diretor se faz obrigatório em: municípios com população superior a vinte mil habitantes; cidades que façam parte de região metropolitana, aglomerações urbanas e áreas de especial interesse turístico; e áreas de influência de empreendimentos de significativo impacto ambiental (BRASIL, 2001).

Em Itajubá – MG, onde se localiza o Loteamento Paraíso, há a Lei Complementar nº 8, publicada em 30 de dezembro de 2003, chamada de Plano Diretor de Desenvolvimento de Itajubá, o qual está sofrendo atualizações como exigido pela Lei 10.257/2001.

O Plano Diretor de Itajubá (2003), em seu Artigo 11, estabelece como responsabilidade da Secretaria Municipal de Planejamento, a criação de políticas, planos e programas relacionados à política urbana, a organização do território, ao sistema habitacional e demais assuntos relacionados. O Plano Diretor tem como um dos objetivos de sua Política Urbana promover a organização do município por meio da distribuição da população, das atividades sociais e econômicas e da infraestrutura básica necessária. E para atingir esse objetivo emprega a organização físico-territorial equilibrada entre ocupação, uso e capacidade do solo e infraestrutura disponível.

A Seção II do Plano Diretor de Itajubá (2003) trata sobre o Zoneamento do município e estabelece que a ocupação e o uso do solo serão distribuídos em sete Zonas e seis Áreas de Interesse Especial, conforme a infraestrutura, o meio físico, a capacidade de adensamento e a poluição. Para a realização deste trabalho, a área escolhida localiza-se na Zona de Expansão Urbana (ZEU), que corresponde às áreas destinadas ao crescimento futuro do município, ainda não parceladas, pertencentes ao perímetro urbano e apropriadas à ocupação uni ou multifamiliar e

aos usos compatíveis com o uso residencial, como comércio, serviços e indústrias não poluentes.

Em seu Capítulo IX, o Plano Diretor de Itajubá (2003) traz as seguintes orientações sobre parcelamento do solo:

- Parcelamentos com área maior que 25 ha, apenas serão aprovados após licenciamento ambiental do Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM e os demais ficam sujeitos ao Conselho Municipal de Conservação, Defesa e Desenvolvimento do Meio Ambiente – CODEMA. Sendo necessária, para um melhor controle ambiental, a apresentação de: Relatório de Controle Ambiental (RCA); Plano de Controle Ambiental (PCA); Laudo Geotécnico; Anuência prévia do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), quando há interferência em área de preservação permanente; Parecer do Instituto Estadual de Florestas (IEF).
- Os parcelamentos do solo devem manter as condições hidrológicas da bacia por meio de ações para redução da vazão da água da chuva.
- O parcelamento do solo não será admitido em áreas: alagadiças, susceptíveis à inundação, pertencentes a mananciais, cursos d'água e demais recursos hídricos; de preservação ambiental; necessárias às ações de desenvolvimento do município; sem acesso adequado e sem infraestrutura básica apropriada; sem condições geológicas e hidrológicas adequadas; de declividade maior que 30%, exceto se apresentar dispositivos para contenção e laudos geotécnicos; que apresentam material prejudicial à saúde como aterro; e sem condições sanitárias em função da poluição.
- O Cartório de Registro de Imóveis deve informar à Prefeitura Municipal as solicitações de registro de parcelamentos do solo e realizar a publicação na imprensa.
- O loteador é obrigado a destinar 35% da área a ser parcelada à prefeitura para implantação de dispositivos urbanos e comunitários, vias de circulação e espaços livres (áreas verdes, praças, etc.).
- Parcelamentos de uso industrial, com lotes de, no mínimo, 10000m², devem transferir à prefeitura 15% para uso público, sendo 5% para os equipamentos urbanos e comunitários e espaços livres.

- Os parcelamentos devem reservar faixas não edificáveis: de 50m para o Rio Sapucaí e 30m para seus afluentes; ao longo de rodovias, ferrovias, dutos e córregos canalizados devem ser reservados uma área de 15m de ambos os lados, sendo admitida a implantação de vias marginais.

3.1.3. Deliberação Normativa COPAM nº 58 (MINAS GERAIS, 2002)

Nos dias atuais, com a questão ambiental cada vez mais em evidência, com o aumento do processo de urbanização e, conseqüentemente, com a implantação de loteamentos que geram certos impactos, fez-se necessário o estabelecimento de normas para a implantação desses empreendimentos, por meio de leis voltadas ao licenciamento ambiental.

A Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 58, publicada em 28 de Novembro de 2002, institui as orientações para o licenciamento ambiental de loteamentos do solo urbano para uso total ou com predomínio residencial (MINAS GERAIS, 2002).

Por meio da Deliberação Normativa COPAM nº 58/2002 são estabelecidas as áreas não sujeitas a parcelamento do solo como (MINAS GERAIS, 2002):

- Sub-bacias hidrográficas que segundo Resolução do Conselho Nacional de Meio ambiente (CONAMA) nº 357 de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) são classificadas como classe especial (águas empregadas para abastecimento humano com desinfecção e águas empregadas na preservação das comunidades aquáticas) ou classe I (águas utilizadas para abastecimento humano com simples tratamento, águas empregadas na preservação das comunidades aquáticas e para uso recreativo de contato primário), quando localizadas antes do ponto de captação para abastecimento conforme a Lei Estadual nº 10.793/1992 (MINAS GERAIS, 1992);
- Zonas de amortecimento de unidades de conservação de proteção integral, que são consideradas pela Lei Federal nº 9.985/2000 (BRASIL, 2000) como zona rural e não podem ser transformadas em área urbana.

Os empreendimentos realizados nestas áreas antes desta Deliberação Normativa devem solicitar licenciamento corretivo e empregar medidas de mitigação

e de compensação para reduzir os impactos provocados na área (MINAS GERAIS, 2002).

Ainda segundo a Deliberação Normativa nº 58/2002 (MINAS GERAIS, 2002) estão sujeitos a licenciamento ambiental os loteamentos situados no limite de municípios ou em mais de um deles; em áreas naturais protegidas por lei, como Unidades de Conservação de Uso Sustentável, Área Especial de Interesse Turístico, etc.; e os enquadrados segundo o ANEXO II desta Deliberação Normativa.

Os documentos exigidos dos empreendimentos para o licenciamento ambiental variam conforme seu porte que é estabelecido pela área total (ha) e a densidade populacional bruta (hab./ha). Parcelamentos de solo urbano com área inferior a 100 ha estão dispensados de apresentar Estudo de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) e devem entregar somente o Relatório de Controle Ambiental (RCA). O licenciamento ambiental desses empreendimentos está sujeito à adequação dos sistemas de esgotamento sanitário e de destinação de resíduos sólidos do empreendimento (MINAS GERAIS, 2002).

3.1.4. Resolução CONAMA nº 412 (BRASIL, 2009)

Além da Deliberação Normativa COPAM nº 58/2002 que trata sobre o licenciamento de loteamentos, há a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 412, de 13 de Maio de 2009, que estabelece normas e orientações para o licenciamento ambiental de empreendimentos designados à edificação de residências de Interesse Social. Esta resolução simplifica a questão do licenciamento ambiental para essa situação, onde a área parcelada não poderá apresentar mais do que 100 hectares, sendo importante destacar os conceitos a seguir (BRASIL, 2009):

- Empreendimentos designados à edificação de residências de interesse social: conjuntos habitacionais para a população de baixa renda;
- Relatório Ambiental Simplificado (RAS): estudos ambientais ligados ao empreendimento para a obtenção da licença, contendo diagnóstico ambiental, caracterização, identificação dos impactos e as medidas de controle, mitigação e compensação;

- Relatório de Detalhamento dos Programas Ambientais: documento detalhado das medidas de mitigação e compensação e dos programas ambientais sugeridos no RAS.

Ainda segundo a Resolução CONAMA nº 412/2009 (BRASIL, 2009):

- O licenciamento de empreendimentos para habitações de interesse social que apresentem pequeno potencial de impacto ambiental estarão sujeitos à licença única composta da localização, instalação e operação, com prazo de avaliação de 30 dias.
- Para o licenciamento ambiental simplificado desses empreendimentos devem ser entregues os documentos: solicitação de licença ambiental; posição do órgão para retirada de vegetação; outorga de recursos hídricos; declaração municipal de conformidade do uso e ocupação do solo conforme a legislação local; relatório com localização, descrição, projeto básico e cronograma das obras com a anotação de responsabilidade técnica (ART); RAS; e Relatório de Detalhamento dos Programas Ambientais.
- Os empreendimentos sujeitos a licenciamento ambiental simplificado devem atender as seguintes regras e normas: instalação de sistemas de fornecimento de água; coleta e tratamento de esgoto sanitário; recolhimento e disposição apropriada de resíduos sólidos e manejo de águas da chuva; e definição de áreas para circulação, instalação de equipamentos urbanos e comunitários, áreas verdes e espaços livres de uso público.
- Não estarão sujeitos a licenciamento ambiental simplificado, empreendimentos com intervenção em Áreas de Preservação Permanente e que se localizem em: áreas de risco à erosão; áreas alagadiças; aterros de material nocivo à saúde ou áreas com possível contaminação; e em áreas com declividade maior ou igual a 30%.
- O empreendedor deverá comunicar ao órgão licenciador impactos ambientais não considerados no RAS.
- O órgão licenciador poderá alterar as condicionantes e as medidas de controle e ajustamento do empreendimento, interromper ou anular a licença caso ocorra: desajustamento das condicionantes ou preceitos legais; riscos ambientais ou à saúde; e mudança da função socioeconômica do empreendimento.

Assim, conhecendo-se as legislações pertinentes ao parcelamento do solo e seguindo-se todas as diretrizes e parâmetros estabelecidos para implantação desses empreendimentos, os impactos ambientais sobre a área podem ser reduzidos ou até mesmo evitados.

3.2. Parcelamento do Solo x Ocupação Inadequada

O parcelamento do solo é um instrumento da política de desenvolvimento e expansão urbana municipal que está ligado ao Estatuto da Cidade (Lei 10.257/2001) e que segue as diretrizes da Lei 6.766 de 1979 e do Plano Diretor do município. Mesmo com a existência de leis que auxiliam na execução de novos parcelamentos, a ocupação inadequada de áreas ocorre em várias localidades no Brasil, em função do crescimento populacional, do deslocamento dos moradores da zona rural, dentre outros fatores.

A lei do Estatuto da Cidade ou Lei 10.257 de 2001 regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, instituindo diretrizes para o uso da propriedade urbana em função da coletividade, da segurança, do bem-estar da população e do equilíbrio do meio ambiente (BRASIL, 2001).

A Lei 6.766 de 1979 dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, as providências relacionadas ao assunto, define alguns termos e estabelece entre outras determinações como a implantação de um projeto de parcelamento do solo deve ser realizada, definindo que tipo de parcelamento do solo será executado no local (loteamento ou desmembramento de uma área) seguindo as condições estabelecidas nesta lei e nas leis estaduais e municipais relacionadas ao assunto (BRASIL, 1979).

Segundo o artigo 182, parágrafo 1º da Constituição Federal de 1988, o Plano Diretor é ferramenta básica da política de desenvolvimento e de expansão urbana (BRASIL, 1988), tendo como uma das suas principais funções estabelecer as zonas de ocupação com diferentes parcelamentos do solo, que serão constituídos de áreas destinadas a moradia, lazer, comércio, indústria e instituições, conforme o uso mais adequado para cada região e levando em consideração as diretrizes do Estatuto da Cidade (Itajubá, 2003). Conforme Thomas (2012) o termo zoneamento passou a ser utilizado com a criação da Política Nacional de Meio Ambiente em 1981 e tornou

oficial em 2002 pelo Decreto 4.297, quando passou a se chamar zoneamento ecológico-econômico.

Segundo Moreira Junior (2010), o problema das ocupações inadequadas pode ser observado nas grandes cidades, onde há bairros com infraestrutura completa e habitações de alto padrão e em espaços próximos, bairros com falta de dispositivos para suprir as necessidades mínimas (escola, esgoto, iluminação, etc.), sem contar a presença de danos ao meio ambiente.

Para Esdras (2012) as dificuldades em conseguir uma moradia adequada acabam por levar inúmeras famílias a assentamentos sem infraestrutura ou a ocupação de locais impróprios, tornando-se um dos grandes problemas a ser enfrentado pelos governos, visto que o número de famílias nessa situação vem aumentando a cada dia, segundo dados da ONU (Organização das Nações Unidas). Como exemplo dessas ocupações irregulares pode-se citar a ocupação de prédios abandonados e em ruínas, lotes situados à margem de rios, em morros de declividade acentuada e às margens de rodovias.

Por fim, as ocupações podem promover o surgimento de favelas em áreas sem qualquer estrutura que acabam por intensificar os processos de degradação ambiental e a desvalorização da área ao seu redor. Além disso, segundo Carvalho (2001 *apud* ESDRAS, 2012) quando há interesse político que permite o desrespeito às legislações sobre o parcelamento do solo, ocorrem consequências socioambientais para o município e suas áreas ocupadas de maneira ilegal que podem, muitas vezes, ser evitadas pelo simples cumprimento das leis existentes.

3.3. Impactos Ocasionados por Loteamentos

Segundo Mesquita et al. (2011), a sociedade atual vem passando por um processo de desenvolvimento acelerado sem organização e planejamento, o qual tem acarretado impactos graves sobre o meio ambiente, como a poluição e a degradação do mesmo. Por essa razão, Werneck e Silva (2010), baseados nas discussões da Conferência Rio-92, afirmam que para que haja desenvolvimento sustentável na ocupação de uma área é necessária, primeiramente, uma avaliação dos impactos que poderão ocorrer sobre o local a ser ocupado.

Conforme a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº1/1986, impacto ambiental é qualquer modificação das características do meio ambiente provocada por ações humanas que comprometam a saúde, a segurança, o bem-estar e as atividades socioeconômicas da população; a flora e a fauna; as características estéticas e sanitárias do meio ambiente; e as condições dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

Segundo Serato e Rodrigues (2010), uma das interferências proporcionadas pelo homem sobre o meio ambiente são as ocupações de áreas para a agricultura e a construção de residências, muitas vezes, em locais inadequados que colaboram para ocorrência ou intensificação de processos de degradação ambiental.

Mathias (2011) em seu estudo realizado na região do Córrego Tucunzinho em São Pedro – SP, concluiu que a intensificação dos processos erosivos acelerados na área tem relação com o comportamento hídrico do solo e de seu escoamento superficial, somado ao uso do solo pelo homem relacionado à urbanização em função do aumento nas vazões pluviais e da inexistência de equipamentos de drenagem apropriados. O autor ainda percebeu que a deterioração da bacia está ligada, tanto ao processo erosivo, quanto a ação humana, por meio do descarte de resíduos sólidos e efluentes.

Salomão et al. (2012) verificaram que na área urbana de Franca as principais intervenções humanas relacionadas ao surgimento ou intensificação dos processos erosivos foram: o projeto incorreto do sistema viário, somado a ausência de pavimentação, guias e sarjetas; o sistema de drenagem de águas pluviais ineficiente nos bairros da periferia; e a construção de loteamentos e habitações em locais inadequados geotecnicamente acrescido de infraestrutura imprópria. O que permite concluir que não houve planejamento e conhecimento da capacidade de uso do solo para ocupação urbana.

No estudo de Pereira (2015), o autor identificou apenas sete impactos positivos proporcionados pela implantação de loteamentos fechados de alto padrão e vinte e sete impactos negativos gerados. Dentre os impactos negativos identificou-se a intensificação de processos erosivos e de assoreamento em função da limpeza do terreno, remoção da cobertura vegetal e realização de terraplanagem.

Assim, o que se observa são os inúmeros problemas que surgem em relação à implantação de loteamentos que necessitam de infraestruturas e de ações rápidas

e adequadas que nem sempre são executadas de maneira correta. Por isso, em razão dessas ocupações, às vezes inadequadas, e os prejuízos que elas acarretam, Ross (2003 *apud* THOMAS, 2012) acredita que hoje há uma busca pelo entendimento da interação homem/natureza, de forma que se possa estabelecer uma relação equilibrada e sustentável nessas situações.

3.3.1. Solo e processos erosivos

Segundo Caputo (1988), os solos são resultados do intemperismo ou meteorização das rochas, por meio de ação mecânica ou química. Conforme afirmação de Pinto (2006) o solo é constituído por três fases que interferem em seu comportamento: partículas sólidas e por vazios (água e/ou ar).

Dentre as partículas sólidas encontradas no solo pode-se mencionar a presença dos argilominerais que, segundo Das (2007), correspondem a silicatos complexos de alumínio que combinados com certa quantidade de água dão ao solo certa plasticidade. Ainda, segundo o mesmo autor, com a presença de umidade e teor de minerais de argila igual ou superior a 50%, estas ficam responsáveis por definir as propriedades de engenharia de um solo.

Para Wischmeier e Mannering (1969 *apud* SCHICK et al., 2014) uma característica importante do solo é a erodibilidade que se relaciona com a separação e carregamento das partículas devido à chuva e à enxurrada e que também tem relação com a sua disposição a infiltrar água. Enquanto erosividade, para Alves e Azevedo (2013) é o procedimento em que a chuva age sobre o solo que apresenta disposição à erosão.

Recentemente, devido ao aumento da população associado aos conhecimentos mais avançados da área de engenharia, arquitetura, urbanismo, etc. que possibilitam a alteração de qualquer ambiente para seu uso, tem-se observado uma aceleração dos processos erosivos.

No Brasil, as áreas mais sujeitas a processos de erosão e, por esta razão, também as mais estudadas são: Noroeste do Paraná, Planalto Central, Oeste Paulista, Campanha Gaúcha, Triângulo Mineiro e o Médio Vale do Paraíba do Sul (Botelho e Guerra, 2003 *apud* REZENDE et al., 2011).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), a erosão é um processo onde as partículas do solo se separam e são carregadas pela ação do vento ou da água,

sendo que a declividade do terreno, a presença de vegetação, o tipo de solo, sua capacidade de absorção da água e sua resistência ao processo erosivo são fatores determinantes para a ocorrência em maior ou menor intensidade deste processo.

Conforme Silva et al. (2003 *apud* MESQUITA et al. 2011), a erosão pode ser classificada em dois tipos: natural ou geológica, onde o processo ocorre sobre o solo pela ação da água, vento ou outro agente natural em ambiente naturalmente equilibrado; e acelerada, antrópica ou induzida, onde o processo é mais rápido e ocorre em função da ação humana ou de animais.

Para Rezende et al. (2011) a erosão hídrica é uma das maiores causadoras de danos ao solo, promovendo perdas socioeconômicas e ambientais, sendo as voçorocas, dentre os estágios do processo erosivo pela ação da água, as que promovem os danos mais significativos com relação à perda de áreas para agricultura e outros fins; ao assoreamento de corpos d'água; e até mesmo a acidentes.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), a erosão hídrica é a mais comum e pode ocorrer de várias formas:

- Erosão pelo impacto da gota de chuva sobre o solo, que corresponde à primeira etapa do processo erosivo;
- Erosão laminar, onde ocorre a retirada de camadas de solo, fase do processo erosivo bastante perigoso, pois é pouco perceptível;
- Erosão em sulcos que ocorre na forma de riscos de profundidade variada que se formam devido à concentração da enxurrada em irregularidades do terreno;
- Voçorocas (Figura 3. 1) que são provocadas pela concentração da enxurrada em sulcos que carregam o solo do terreno após muitos anos, podendo atingir grandes extensões e profundidades; entre outras formas.

Guerra e Botelho (1995 *apud* SERATO e RODRIGUES, 2010) esclareceram ainda que as erosões com dimensões superiores a 50 cm devem ser nomeadas voçorocas e as inferiores devem ser designadas de ravinas, onde a diferença entre as duas formas está relacionada apenas as dimensões das mesmas.



Figura 3. 1. Voçoroca no Loteamento Paraíso, Itajubá – MG.

Segundo Rezende et al. (2011), as voçorocas surgem principalmente de práticas de manejo do solo inadequado (remoção da vegetação, uso intensivo da área como pasto, técnicas de preparo para agricultura e também ao não empregarem ações de conservação do solo) relacionadas ao tipo de solo com grande presença de areia e silte.

Para o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (1989) o surgimento de voçorocas, pode estar relacionado à ausência de planos e ações para controle e direcionamento das águas pluviais na elaboração de rodovias, cercas, infraestrutura, etc. E, segundo Guerra (2003 *apud* REZENDE et al., 2011), ainda há outra forma capaz de gerar uma voçoroca. Esta pode se originar por meio do escoamento sub-superficial que ocasiona o colapso da camada acima em pouco tempo.

Segundo Nardin et al. (2010), para reduzir a capacidade erosiva da chuva em áreas susceptíveis ao surgimento de voçorocas, deve-se utilizar mecanismos mecânicos, físicos e edáficos para que se aumente a infiltração e conseqüentemente a retenção de água no solo. Como exemplo disso, Bezerra e Rodrigues (2006) em seu estudo a respeito do uso de geotêxteis em solos degradados, observaram que solos cobertos por vegetação do tipo gramínea apresentaram menor ação do efeito *Splash*, escoamento superficial, perda de solo e, conseqüentemente, eram menos sujeitos a ação de processos erosivos.

Por essa razão, a retirada da cobertura vegetal de uma área onde será implantado um novo loteamento deve ser planejada e executada com cautela para evitar possíveis impactos sobre a área. Também o conhecimento das características físicas do local, por meio de ensaios geotécnicos, tanto a campo quanto em laboratório, são de grande importância para que técnicas possam ser empregadas de maneira a minimizar os impactos ocasionados pela ação dos processos erosivos ou, até mesmo, para que eles possam ser evitados.

3.4. Ensaio Geotécnicos

Assim, para se conhecer as propriedades dos solos, índices físicos devem ser determinados por meio de ensaios geotécnicos para que se possa entender seu comportamento em relação às interferências naturais e antrópicas a que estão sujeitos. Por essa razão, esses ensaios são de grande importância em estudos de impactos ocasionados por processos erosivos.

No estudo de Silva et al. (2013), os autores realizaram a caracterização geotécnica do local e o levantamento de observações de campo, de maneira que puderam ter um melhor entendimento dos processos erosivos que ocorrem nessa área, característico do que vem ocorrendo em outros locais da cidade, pelo grande número de loteamentos implantados sem os devidos cuidados com as restrições que o meio físico apresenta. Por meio dos ensaios, foi possível identificar que o conjunto redução de resistência do solo causada pela água e mecanismos de erosão interna retrogressiva, são responsáveis pelas instabilidades sucessivas do talude e a evolução significativa e rápida do processo erosivo no local.

Araujo e Campos (2013) empregaram em seu estudo realizado no estado do Rio de Janeiro, ensaios de penetração de cone e desagregação, considerados como avaliadores da erodibilidade do solo pela literatura e sugeriram o uso de ensaios de sucção e resistência à tração como indicativos de susceptibilidade à erosão de um solo. O estudo permitiu concluir que a proposta sugerida pelos autores apresentou boa qualidade em seus resultados representando o comportamento que se pode esperar em campo, permitindo sua classificação pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos, onde segundo Gray e Leiser (1989 *apud* ARAUJO e

CAMPOS, 2013), a erodibilidade é decrescente ML > SM > SC > MH > OL > CL > CH > GM > SW > GP > GW.

Outro exemplo da importância desses ensaios geotécnicos observa-se no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre, que em seu artigo 135, inciso quinto, exige para a aprovação de parcelamentos do solo a avaliação de impacto urbano e ambiental considerando as condições físico-ambientais do local (Porto Alegre, 1999).

Para se minimizar ou evitar os impactos ocasionados pelos processos erosivos outra ferramenta importante é o Geoprocessamento.

3.5. Geoprocessamento

Segundo Werneck e Silva (2010), atualmente a realização de gerenciamento de recursos naturais não é possível sem o emprego de ferramentas da informática, devido às ações antrópicas dinâmicas e as reações, às vezes, rápidas do meio ambiente. Por essa razão o geoprocessamento, área do conhecimento que emprega procedimentos relacionados à matemática e à computação para a manipulação da informação geográfica (Câmara e Davis, 2009) é empregado nas mais variadas áreas para realização de estudos de impactos pelo desmatamento e por queimadas; em ações preventivas para locais de risco; em elaboração de planos diretores e zoneamento urbano etc.

No trabalho de Esdras (2012) que tinha como objetivo compreender a formação das favelas em Montes Claros (MG) e caracterizar as áreas para identificar locais com riscos ambientais foi utilizado sensoriamento remoto, com imagens de alta resolução e o sistema de informação geográfica (SIG). Concluiu-se pelo estudo que as favelas mais antigas estão localizadas próximas ao centro comercial da cidade e as demais estão situadas nas proximidades de indústrias e de rodovias. As favelas tiveram sua formação, principalmente, em locais com declividade acentuada, às margens de rios e na periferia da cidade que são locais pouco requisitados pelos interesses imobiliários.

Calheiros et. al.(2013) realizaram uma avaliação ambiental no Litoral Sul Meridional de Alagoas, com o intuito de identificar áreas de conflitos entre o uso e ocupação da região que possui predomínio de plantação de cana-de-açúcar e coco.

O método empregado compôs-se de visitas à área; estudo de documentos cartográficos; e de imagens Landsat, por meio do uso de geoprocessamento e do Sistema de Informações Geográficas (SIG), para confecção de um mapa dos locais conflitantes. O resultado mostrou 2% de áreas conflitantes e também permitiu verificar a presença de novos processos socioeconômicos e políticos na região, como: expansão do turismo, novos loteamentos, crescimento urbano desordenado, etc.

No trabalho realizado por Lopes et al. (2011) o objetivo foi avaliar a perda de solo devido a erosão laminar em uma microbacia no Estado do Ceará, por meio da combinação de ferramentas de SIG e da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE). A análise identificou as áreas mais sujeitas ao processo de perda de solo na Bacia e concluiu que 66% da área possuem baixa susceptibilidade à erosão, em função de sua cobertura vegetal e das baixas declividades existentes.

Werneck e Silva (2010) tinham como objetivo em seu estudo, disponibilizar uma base cartográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé (RJ), elaborada por uma análise ambiental a partir do uso de geoprocessamento, para orientar as ações relacionadas a planejamento, considerando as questões ambientais. Ao fim do estudo observou-se que o relevo representa o principal contribuinte para os processos erosivos e para a definição de qual deve ser o tipo de uso do solo. Além disso, por meio da sobreposição dos atributos avaliados verificou-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Macaé, em sua maior parte, se situa em áreas sujeitas à degradação ambiental.

O geoprocessamento pode também ser de grande utilidade na elaboração de projetos de loteamentos, pois pode auxiliar, com agilidade e precisão, na tomada de decisões mais adequadas a implantação desses empreendimentos, de maneira a reduzir ou até mesmo a evitar seus impactos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada neste estudo é composta por três etapas:

1. Etapa de escritório, para levantamento de informações referentes à área de estudo, bibliografia sobre o tema abordado, legislação pertinente ao assunto e elaboração da carta de declividade do loteamento, da carta de suscetibilidade à erosão e de documentos cartográficos;
2. Etapa de campo, composta pela coleta de amostras de solo e pela realização de ensaios utilizando o permeâmetro de Guelph; e
3. Análise de laboratório para a determinação das propriedades físicas das amostras de solo.

A primeira etapa compreende em grande parte a uma pesquisa do tipo exploratória, por compor-se de levantamento de informações e assim proporcionar maior familiaridade com o assunto. As outras duas etapas correspondem à pesquisa do tipo quantitativa, por transformarem em números as informações para serem classificadas e avaliadas. As três etapas se complementam para alcançar os objetivos definidos, como se pode verificar no fluxograma da Figura 4. 1.

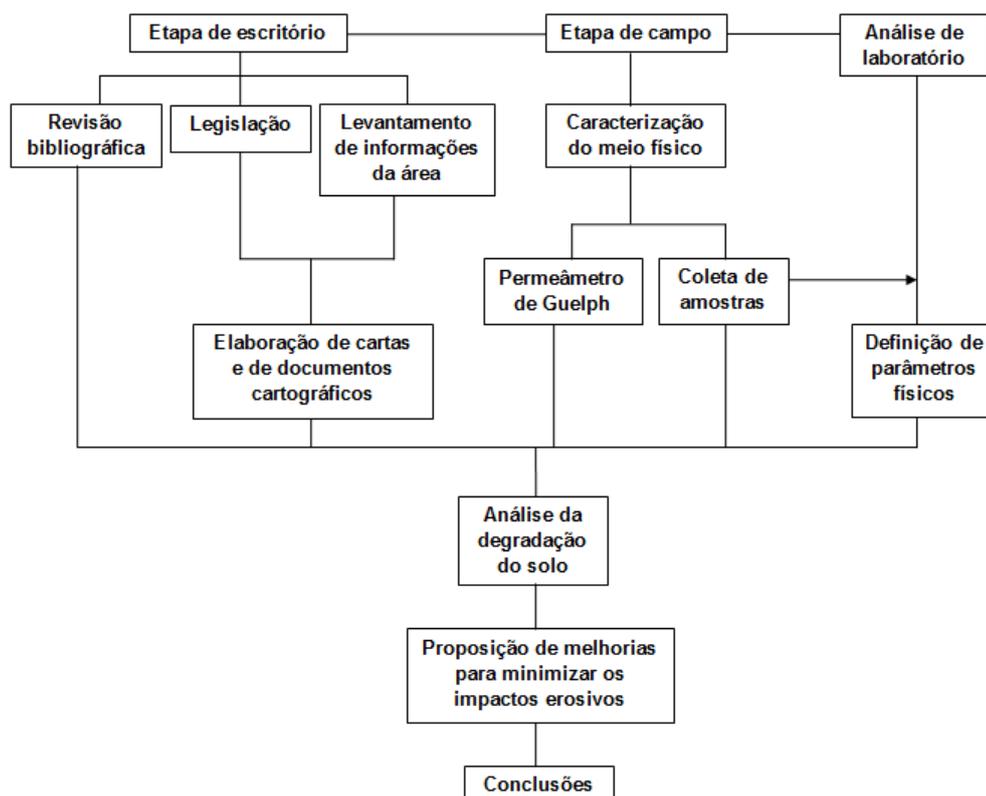


Figura 4. 1. Fluxograma das principais etapas do estudo.

4.1. Etapa de Escritório

4.1.1. Localização da Área de Estudo

Para a realização deste trabalho, o local escolhido foi o Loteamento Paraíso, situado, na cidade de Itajubá, na região sul do estado de Minas Gerais (Figura 4. 2). Tal loteamento foi escolhido por apresentar processos erosivos intensos, os quais foram objeto de estudo neste trabalho.

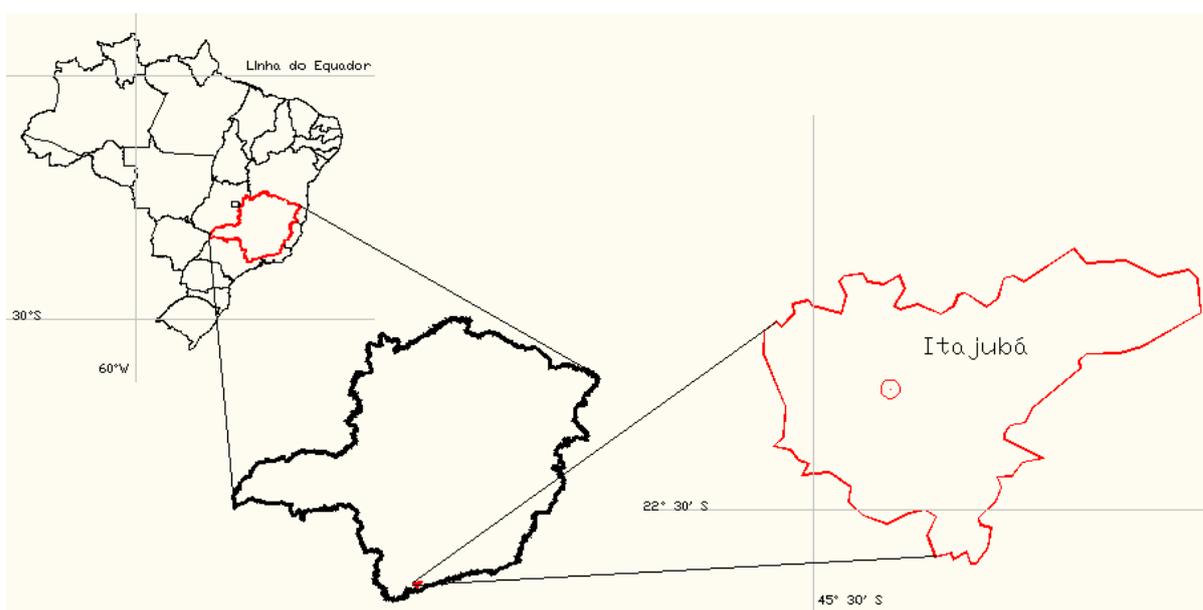


Figura 4. 2. Croqui de localização da cidade de Itajubá - MG.
Fonte: MOTA (2010).

A cidade de Itajubá situa-se nas coordenadas $22^{\circ} 25' 21.09''$ S e $45^{\circ} 27' 36.41''$ O, localizando-se a 216 km de São Paulo, 318 km do Rio de Janeiro e 445 km de Belo Horizonte, posição privilegiada entre as principais capitais do país. Sua localização estratégica atraiu a instalação de diversas indústrias dos mais variados setores: Mahle e Fania que produzem peças para o segmento automotivo; Alstom e Orteng empresas voltadas para a fabricação de transformadores de energia; Helibras, única fábrica brasileira de helicópteros, etc.

O município também é conhecido devido à presença de diversas escolas de ensino superior, como a Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, o Centro Universitário de Itajubá - FEPI, a Escola de Enfermagem Wenceslau Braz – EEWB, a Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas do Sul de Minas Gerais - FACESM, entre

outras instituições, que dispõem de cursos de graduação, pós-graduação, mestrado, MBA, etc.

Segundo dados do Censo do IBGE (2010), Itajubá apresenta 90.654 habitantes e está situada na Serra da Mantiqueira, na altitude média de 842 metros, apresentando topografia do tipo ondulada-montanhosa.

A Figura 4. 3 representa o limite territorial do município de Itajubá, correspondente a 294,8 Km² (IBGE, 2014). As linhas em preto referem-se às ruas da área urbana do município e o círculo em vermelho, a localização do Loteamento Paraíso em relação à área urbana de Itajubá.

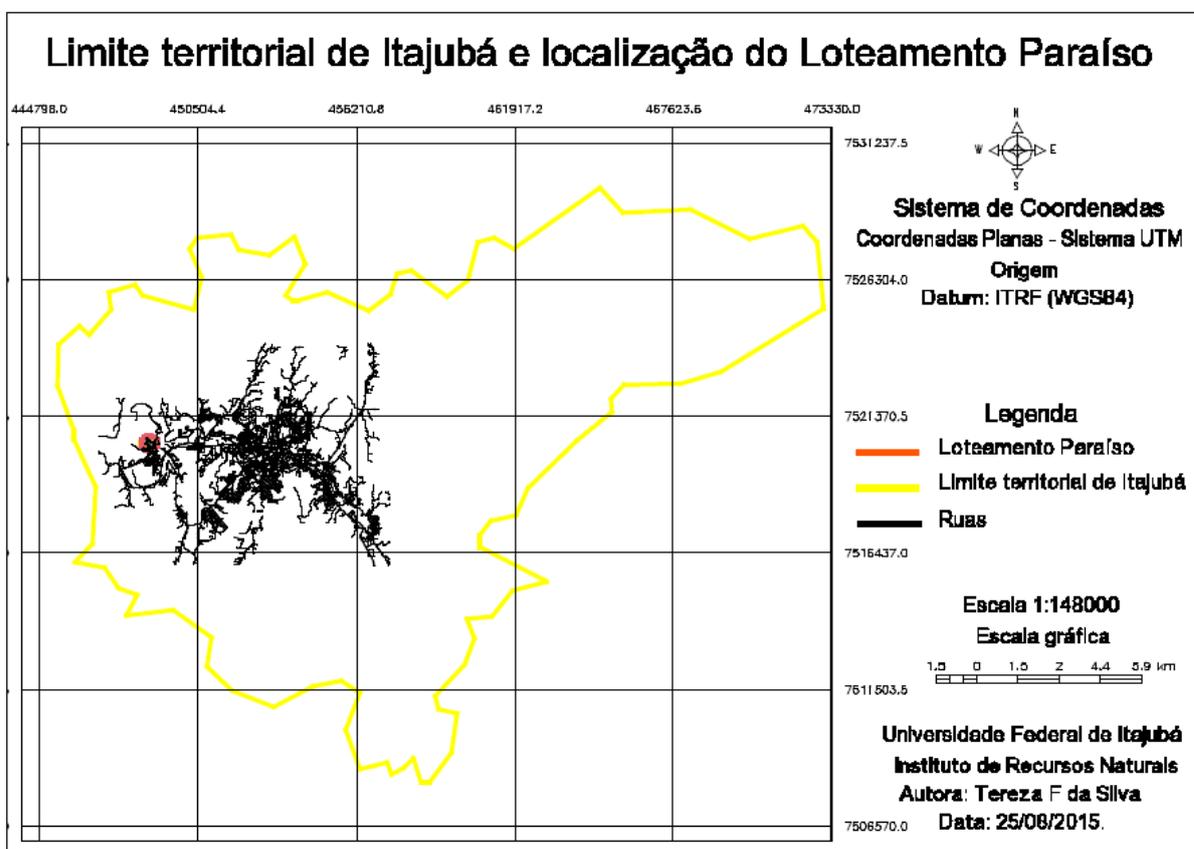


Figura 4. 3. Limite territorial do município de Itajubá, ruas referentes à área urbana e o círculo em vermelho indicando a localização da área do Loteamento Paraíso.

Como se pode observar o Loteamento Paraíso localiza-se na Avenida Wagner Machado, no bairro do Açúde, nas coordenadas 22° 25' 16.72" S e 45° 29' 51.09" O, a oeste da área urbana de Itajubá, na Zona de Expansão Urbana I (ZEU I), classificada dessa maneira pelo Plano Diretor de Itajubá (Itajubá, 2003). Toda a extensão inferior do loteamento se encontra delimitada pela Avenida Wagner Machado, sua lateral direita faz divisa com um pequeno sitio, a lateral

esquerda com casas pertencentes ao bairro do Açúde e a parte superior se encontra delimitada por uma área de pastagem.

A Figura 4. 4 e Figura 4. 5 são imagens obtidas do Loteamento Paraíso, onde a primeira traz uma visão da parte superior do loteamento e a segunda uma visão da parte inferior do loteamento.



Figura 4. 4. Vista da parte superior do Loteamento Paraíso.



Figura 4. 5. Vista da parte inferior do Loteamento Paraíso.

A Figura 4. 6 trata-se de uma imagem de satélite do município, onde, por meio de uma seta vermelha tem-se a indicação da localização do Loteamento Paraíso em Itajubá.

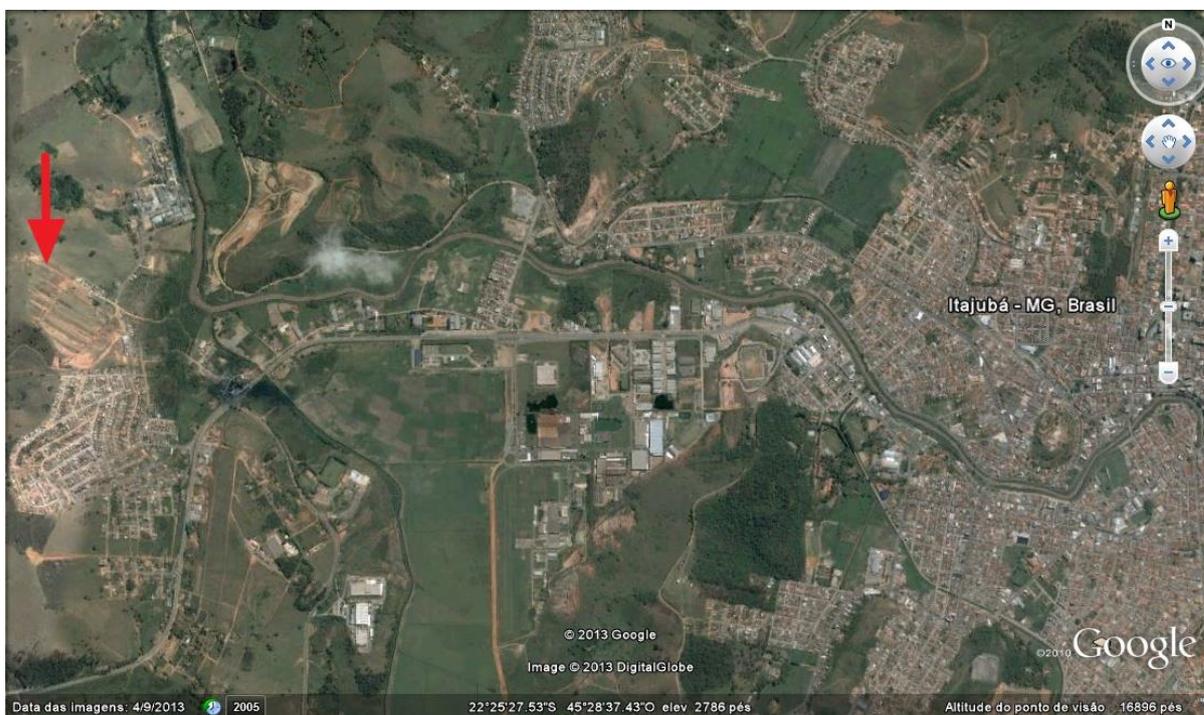


Figura 4. 6. Localização da área de estudo (Loteamento Paraíso) no município de Itajubá – MG, por meio da seta vermelha. (Fonte: GOOGLE EARTH, 2013).

4.1.2. O Loteamento Paraíso

No ano de 1989, a empresa responsável pelo projeto do Loteamento Paraíso requereu, junto a Prefeitura Municipal de Itajubá a aprovação do loteamento localizado no bairro do Açúde, em Itajubá – MG. O projeto do Loteamento Paraíso possuía uma área total de parcelamento de 121.010m², distribuídos em: área de lotes de 76.240m²; área verde de 15.150m²; área institucional de 5000m²; e área de sistema viário de 24.620m².

A Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação Geral – SEPLAC, após avaliação do projeto do Loteamento Paraíso, concedeu à referida empresa, a aprovação do projeto, em 7 de Agosto de 1989. Após a aprovação, a empresa se comprometeu, junto à prefeitura, a registrar o loteamento no Registro Imobiliário, num prazo de 180 dias e a executar as obras constantes no Termo de Compromisso, sendo elas:

- Demarcação dos lotes, quadras e logradouros;
- escoamento das águas pluviais;
- Rede de abastecimento de água potável;
- Rede de esgotamento sanitário;
- Pavimentação das vias e passeios segundo especificações da prefeitura;
- Sistema de iluminação dos logradouros públicos;
- Arborização das vias;
- Preparo básico dos locais reservados às áreas verdes e institucionais;
- Obras de proteção e controle da erosão.

A referida empresa registrou o loteamento, contudo, não implantou toda a infraestrutura necessária para habitação no decorrer dos dois anos seguintes a aprovação, conforme era exigida no Termo de Compromisso.

Na área do loteamento foram encontrados alguns dispositivos referentes ao escoamento de águas pluviais (Figura 4. 7), contudo, moradores informaram que algumas das tubulações foram subtraídas da área.



Figura 4. 7. Tubulações de escoamento pluvial presentes na voçoroca da Rua Oito.

Como o loteador não cumpriu com o Termo de compromisso, segundo o Termo de Caução com Cláusula de Inalienabilidade, Impenhorabilidade e Incomunicabilidade, e então, cabia à prefeitura executar os projetos até o valor dado em garantia pela empresa, na forma de lotes do próprio loteamento. Porém, a prefeitura também não realizou as obras necessárias e, por essa razão, o loteamento apresenta situação irregular, tanto na esfera jurídica, visto que os proprietários dos lotes não possuem registro dos mesmos, quanto para a ocupação, devido à falta da infraestrutura básica no loteamento.

Mesmo com situação irregular, os lotes foram vendidos e alguns moradores começaram a ocupá-los no início dos anos 90. Segundo relatos, em conversa pessoal, o local não possuía infraestrutura adequada, exceto iluminação. A água era obtida por meio de poços abertos pelos proprietários dos lotes e o esgoto captado por pequenas manilhas que conduziam o efluente “in natura” até uma valeta e, em seguida, ao Rio Sapucaí (principal rio que atravessa a cidade).

Atualmente, segundo informações pessoais, somente os primeiros proprietários possuem escrituras além daqueles moradores que entraram com pedido na justiça. Os demais residentes e proprietários dos lotes não possuem escritura, pois o loteamento consta como irregular na prefeitura.

No loteamento, somente a Rua Doutor Laércio Sanches (antiga Rua Um) possui infraestrutura necessária, no entanto, casas foram construídas sem infraestrutura em diferentes pontos do loteamento para posterior solicitação junto a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) e à Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), do pedido de ligação de água e luz.

Na Rua Doutor Laércio Sanches, a água tratada foi ligada em 1995 e o calçamento foi realizado em 2000, por meio de Urbanização Consorciada que corresponde a uma parceria entre o município e a comunidade com a finalidade de instalar infraestrutura básica em uma área particular (Itajubá, 2003). A prefeitura colaborou com a mão-de-obra, valor de R\$ 9.009,00 ou 60% dos custos da pavimentação e os moradores com 40%, cerca de R\$6.006,00 para a compra de sacos de cimento utilizados na obra. Este calçamento abrangeu apenas a parte inferior da rua onde, atualmente, ocorrem processos erosivos na parte superior não calçada (Figura 4. 8), podendo vir a danificar o trecho já pavimentado.



Figura 4. 8. Processo erosivo na parte superior não pavimentada da Rua Dr. Laércio Sanches.

4.1.3. Carta de Declividade e de Suscetibilidade à Erosão da Área de Estudo

Uma análise da ocupação do loteamento foi realizada por meio da carta de declividade e em função das declividades permitidas, conforme o Plano Diretor de Itajubá.

Para a elaboração da carta de declividade do loteamento, utilizou-se a planta do projeto da área de estudo, a qual possui curvas de nível com equidistância de 5 metros. Utilizando-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG) Spring - versão 5.2.7, realizou-se a digitalização das curvas de níveis por meio da ferramenta de edição vetorial.

A partir das curvas de níveis digitalizadas foram gerados a grade triangular e a grade de declividade do Modelo Numérico do Terreno (MNT). Em seguida realizou-se o fatiamento das declividades nos intervalos de 0 – 2%, 2 – 10%, 10 –

20%, 20 – 30% e > 30% que possibilitaram a elaboração da carta de declividade.

Apesar de existir a metodologia de De Biase (1992), onde se estabelece que as classes de declividades sejam divididas em cinco categorias (0-5%; 5-12%; 12-30%; 30-47%; e >47%), conforme o uso, a ocupação urbana ou rural e a legislação florestal, as classes de declividade utilizadas neste trabalho foram outras pelo motivo do Plano Diretor de Itajubá estabelecer a não ocupação de áreas abaixo da cota 845 e acima de 950, além de restringir a ocupação em declividade igual ou superior a 30%. Desse modo, a adoção de classes diferentes se justifica em função de que, tanto as áreas com declividade inferior a 2% podem ocasionar problemas de drenagem e estão relacionados à área de alagamentos, como as áreas com declividades superiores a 30% podem provocar escoamento superficial acelerado, baixa infiltração de água no solo e carreamento de partículas de solo.

Ainda utilizando-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG) Spring - versão 5.2.7, foi elaborada a Carta de suscetibilidade à erosão em função do uso e ocupação da área e a Carta de suscetibilidade à erosão em função da declividade do loteamento. A primeira carta foi elaborada por meio de classificação supervisionada da imagem onde foram identificados três temas: área ocupada; vegetação rasteira e solo exposto. E a segunda carta foi elaborada seguindo os mesmos passos para elaboração da Carta de Declividade, porém considerando as classes de declividade de 0 – 5%, 5 – 12%, 12 – 18% e > 18%.

Em relação à voçoroca presente na Rua Oito, foi realizado um levantamento planialtimétrico, utilizando-se DGPS(Differential Geographic Positioning System) para obtenção de dois pontos, de maneira a permitir sua localização georreferenciada e, após, por meio da Estação Total foram obtidos os demais pontos que possibilitaram uma caracterização mais detalhada, com a obtenção de dimensões da voçoroca como: comprimento, perímetro, profundidade média, área e volume.

4.2. Etapa de Campo

4.2.1. Amostragem da Área de Estudo

As amostras de solo da área de estudo foram retiradas do interior da

voçoroca localizada na Rua Oito, por se tratar da área mais afetada pela erosão e por já possuir um manto de alteração exposto, facilitando a amostragem. Pelas mesmas razões, a realização dos ensaios em campo foram executadas ao longo da Rua Oito. Para isso, foram utilizados os seguintes materiais: sacos plásticos etiquetados, para disposição do material colhido; faca e martelo pedológico, para retirada da amostra do solo; e amostrador trado UHLAND com anéis de alumínio com volume de 270 cm³.

Primeiramente, realizou-se a limpeza da área e retirou-se a camada de matéria orgânica presente. Em seguida, amostraram-se cinco pontos em um manto de alteração (Figura 4. 9), em função da alteração que ocorre do topo para a base.

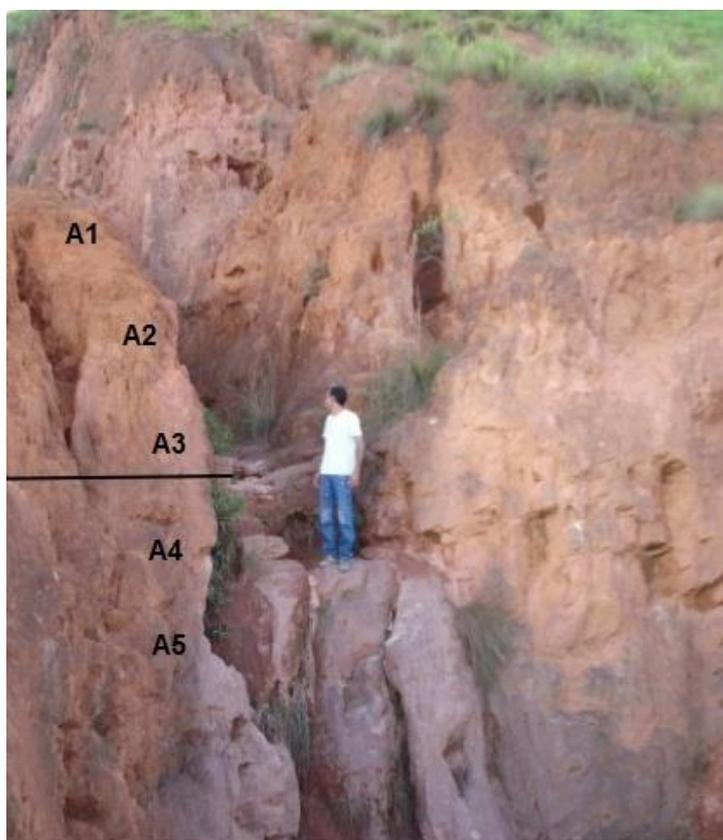


Figura 4. 9. Pontos de coleta de amostras, onde A1 e A2 se encontram na camada com coloração castanho avermelhado, A3 se situa na camada intermediária e A4 e A5 se encontram na camada de coloração rosa claro.

Na camada superior de coloração castanho avermelhado, com cerca de 2m, encontram-se solos residuais maduros, laterizados, onde foram retiradas duas amostras indeformadas e duas deformadas, pontos A1 e A2. Na camada intermediária (A3), ou camada de transição entre o solo residual maduro e o solo

residual jovem, também conhecido como solo saprolítico, coletou-se uma amostra indeformada e uma deformada. Na camada inferior, de coloração rosa claro, foi coletada somente as duas amostras deformadas para A4 e A5, pois em função do tipo de solo presente nesses pontos, solo residual jovem ou solo saprolítico, não foi possível a retirada de amostras indeformadas.

Após a coleta, o material foi encaminhado aos laboratórios, onde foram armazenados para realização dos ensaios.

4.2.2. Permeabilidade na Área de Estudo

Para a determinação da permeabilidade na área de estudo e, conseqüentemente, da sua resistência ao processo erosivo foram realizados três ensaios com o Permeâmetro de Guelph em diferentes pontos ao longo da voçoroca da Rua Oito, como se pode observar na Figura 4. 10.



Figura 4. 10. Localização dos pontos onde foram realizados os Ensaios com o Permeâmetro de Guelph ao longo da voçoroca da Rua Oito.
(Fonte: GOOGLE EARTH, 2013).

O ensaio consistiu dos seguintes passos:

- Com um trado realizou-se um furo até a profundidade de 30cm;
- Substituiu-se o trado por uma escova e realizou-se a limpeza e a regularização da base e das paredes do furo;

- Montou-se o Permeâmetro de Guelph, ligando o tubo de acrílico à garrafa de Mariotte por mangueiras plásticas;
- Encheu-se o tubo com água e colocou-se o permeâmetro no furo;
- Realizou-se a primeira leitura do nível d'água após fixar a pressão (5 cm);
- Finalmente, realizaram-se várias leituras em intervalos constantes de 1 minuto, até que a razão, diferença de nível d'água entre as leituras e o intervalo de tempo se tornou constante em três leituras consecutivas.

A partir dos dados obtidos no ensaio, calculou-se a permeabilidade do solo por meio da Equação 4.1:

$$Kfs = (C_i Q_1) / [2\pi H_1^2 + \pi a^2 C_i + 2\pi(H_1/\alpha^*)] \text{ (Equação 4.1)}$$

Onde:

α^* = valor tabelado em função do tipo de solo:

- 0,01 (materiais argilosos compactados e estruturados);
- 0,04 (materiais com grãos finos (argilosos) e não estruturados) – utilizado neste trabalho;
- 0,12 (argilas até areias finas com alta a moderada quantidade de macroporos e fissuras);
- 0,36 (areia grossa inclui solos estruturados com fissuras e macroporos);

Q_1 = vazão calculada em cm^3/s por meio da constante obtida no ensaio com o permeâmetro multiplicado pela área do tubo onde foram feitas as leituras ($35,22\text{cm}^2$);

H_1 = carga inicial do permeâmetro (5 cm);

a = raio do furo feito com o trado (2,5 cm);

C_i = obtido através de um gráfico com três curvas em função do α^* e da razão H_1/a , ou por meio das equações 4.2, 4.3 ou 4.4, conforme o α^* adotado:

$$C_1 = \{ (H/a) / [2,074 + 0,093 (H/a)] \}^{0,754} \text{ para } \alpha^* \geq 0,12 \text{ (Equação 4.2)}$$

$$C_2 = \{ (H/a) / [1,992 + 0,091 (H/a)] \}^{0,683} \text{ para } \alpha^* \geq 0,04 \text{ (Equação 4.3)}$$

$$C_3 = \{ (H/a) / [2,081 + 0,121 (H/a)] \}^{0,672} \text{ para } \alpha^* \geq 0,01 \text{ (Equação 4.4)}$$

Para a realização dos cálculos da permeabilidade do solo nos pontos amostrados, foi utilizada a equação para C_2 , em função do $\alpha^* = 0,04$ utilizado no ensaio.

4.3. Etapa de Laboratório

4.3.1. Ensaio Geotécnicos

Os sete ensaios geotécnicos foram realizados nos Laboratórios de Solos e no de Geotecnia da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Para a determinação dos índices físicos da área de estudo foram utilizadas cinco amostras deformadas, as quais não mantêm o arranjo do solo, e três indeformadas que trazem a estrutura original do solo. As amostras indeformadas foram utilizadas nos ensaios para a determinação da densidade do solo pelo Método do anel volumétrico e para os demais ensaios foram empregadas as amostras deformadas.

Após a coleta, o material foi encaminhado aos laboratórios, onde foram armazenados para realização dos seguintes ensaios:

1. Densidade de partículas por meio do Método do balão volumétrico, conforme EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997), utilizando-se a Equação 4.5 e 4.6.

$$V_a = 25 + V_{a1} \text{ (Equação 4.5)}$$

$$D_p = (P_{TFSE}) / (50 - V_a) \text{ (Equação 4.6)}$$

Onde: D_p = densidade de partículas (g/cm^3);

P_{TFSE} = peso da amostra seca em estufa = 20 g;

V_a = volume total de álcool etílico (ml);

V_{a1} = volume de álcool etílico utilizado para completar o balão volumétrico após o acréscimo de 25 ml.

A densidade de partículas foi importante na sugestão da composição mineralógica dos pontos analisados.

2. Análise Granulométrica de Solos determinada por meio de peneiramento seguindo as orientações da norma NBR 7181/1984. A análise granulométrica possibilitou identificar as dimensões das partículas do solo e as proporções relativas em que elas se encontram.
3. Determinação da textura por meio do Método da pipeta, segundo EMBRAPA

(1997), empregando-se a Equação 4.7, 4.8 e 4.9.

% de argila = $1000 * (\text{peso da argila} - 0,004)$ (Equação 4.7)

% de areia = $10 * (\text{peso da areia})$ (Equação 4.8)

% de silte = $100 - (\% \text{ de areia} + \% \text{ de argila})$ (Equação 4.9)

A partir dos valores obtidos de textura foi possível realizar a classificação segundo a EMBRAPA (1979) e segundo a proposta de Araujo e Campos (2013). Para a classificação segundo a EMBRAPA pode-se ter solos: muito argilosos, argilosos, arenosos, médios e siltosos e na classificação proposta por Araujo e Campos tem-se solos pouco erodíveis e solos muito erodíveis.

4. Determinação do Limite de Liquidez dos Solos (LL) conforme a metodologia estabelecida na norma NBR 6459/1984. O LL foi empregado na obtenção do IP (Índice de Plasticidade), que possui classificação desde solos não plásticos a solos com plasticidade muito alta.
5. Determinação do Limite de Plasticidade dos Solos (LP) sem secagem prévia e o cálculo do Índice de Plasticidade por meio da metodologia contida na norma NBR 7180/1984. Assim como o LL, o LP também foi empregado para a determinação do IP, por meio da Equação 4.10.

$IP = LL - LP$ (Equação 4.10)

6. Ensaio de compactação (Ensaio de Proctor Normal), segundo a NBR 7182/1986. O Ensaio de Proctor Normal identificou qual dos solos é o mais adequado para ser utilizado na recuperação da voçoroca. Para a determinação da massa específica aparente seca, utilizou-se a Equação 4.11.

$Y_s = (P_h * 100) / [V * (100+h)]$ (Equação 4.11)

Onde: Y_s = massa específica aparente seca (g/cm^3);

P_h = peso úmido do solo compactado(g);

V = volume útil do molde do cilindro (cm^3);

h = teor de umidade do solo compactado (%).

7. Densidade do solo por meio do método do anel volumétrico, conforme EMBRAPA (1997), utilizando-se a Equação 4.12.

$D_s = M_s / V_{ts}$ (Equação 4.12)

Onde: D_s = Densidade do solo (g/cm^3);

P_s = peso da amostra seca em estufa + peso da cápsula metálica (g);

T = peso da cápsula metálica (g);

M_s = massa do solo seco ($P_s - T$);

V_{ts} = volume total do solo (cm^3) = $(\pi d^2 h)/4$;

d = diâmetro do cilindro de alumínio (cm);

h = altura do cilindro de alumínio (cm).

A densidade do solo auxiliou na análise do solo em termos de drenagem, permeabilidade do ar e água, condutividade hidráulica, etc.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. O Loteamento Paraíso

O Loteamento Paraíso é classificado como de pequeno porte, segundo a Deliberação Normativa COPAM 58/2002 sendo necessário a entrega do Relatório de Controle Ambiental (RCA) simplificado. Contudo, a aprovação e implantação do loteamento ocorreu em 1989, antes da referida norma. Com isso, não há Relatório de Controle Ambiental, e, nenhuma das diretrizes estabelecidas no Plano Diretor de Itajubá de 2003 e na Resolução 412/2009 foram atendidas.

Além disso, a área é considerada apropriada a ocupação urbana e outros fins compatíveis com o uso residencial, como comércio, serviços e indústrias não poluentes, por se localizar na Zona de Expansão Urbana I (ZEU I), área de expansão, com lotes de, no mínimo, 200m², próximo ao acesso à cidade, no bairro Açúde. O Plano Diretor ainda estabelece que a ocupação dessa Zona deva ocorrer entre as cotas 845 e 950, para que várzeas e topos de morros possam ser preservados (Itajubá, 2003).

Na Figura 5. 1, os pontos P1 e P2 de coordenadas 22° 25' 27.16" S e 45° 29' 45.27" O e 22° 25' 18.11" S e 45° 29' 47.83" O, correspondem a Avenida Wagner Machado, os quais delimitam o loteamento em sua parte inferior, sendo identificada em amarelo a área total do Loteamento Paraíso. Os retângulos pretos identificam a presença de residências, azul a quadra de esportes coberta situada no local reservado à área institucional e o lilás galpões ocupados por uma empresa de usinagem. Os retângulos vermelhos correspondem aos locais do loteamento onde há processos erosivos com diferentes dimensões (Figura 5. 1).

Dentre os pontos do loteamento onde há erosão, a Rua Oito se destaca pelas maiores dimensões quando comparado às demais ruas do loteamento.

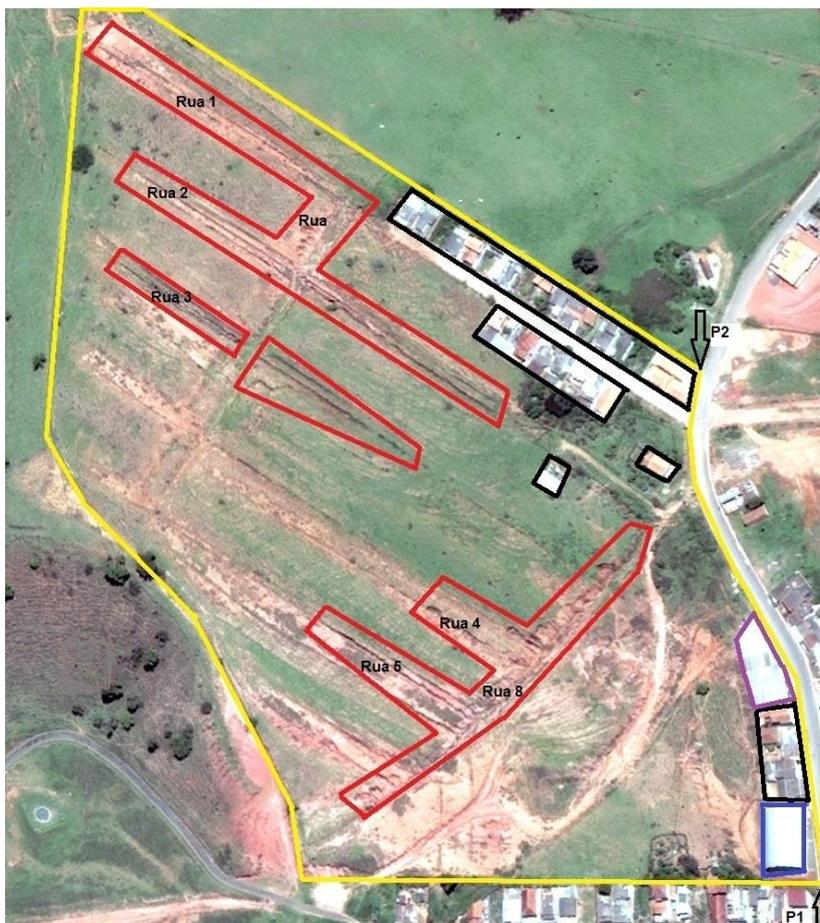


Figura 5. 1. Área total do Loteamento Paraíso em Itajubá – MG representado pela linha amarela, quadra esportiva coberta em azul, residências em preto, fábrica de usinagem em lilás e locais com presença de processos erosivos em vermelho. P1 e P2 correspondem aos limites do loteamento em sua parte inferior.
(FONTE: Imagem do satélite World View, 10/10/2012).

A Figura 5. 2 compara o processo erosivo na Rua Oito, entre Março de 2012 e Abril de 2013, as dimensões da voçoroca são ainda maiores após um ano. É possível classificar a voçoroca como ativa, pois ainda há desprendimento e carregamento de sedimentos. Desse modo, devem ser realizadas obras de recuperação e/ou contenção, pois o processo erosivo pode persistir, podendo atingir ruas e residências próximas tornando qualquer tipo de procedimento futuro muito mais oneroso e de difícil execução.



Figura 5. 2. Evolução do processo erosivo com aprofundamento significativo da voçoroca na Rua Oito entre os anos de 2012 e 2013.

5.2. Caracterização Fisiográfica do Loteamento Paraíso

5.2.1. Ensaios Geotécnicos

Os ensaios geotécnicos realizados dos pontos amostrados (A1, A2, A3, A4 e A5) (Figura 4. 9) apresentaram os valores apresentados na Tabela 5. 1.

Observando-se os valores obtidos de argila, silte e areia no ensaio de textura verificaram-se nos pontos A1, A2 e A3 a maior presença de silte, sendo o maior valor encontrado em A3 (57,96%). Levando-se em consideração que a fração silte tem importante função na formação de selo superficial que reduz a infiltração de água no solo, aumenta o escoamento superficial e intensifica a erodibilidade, o ponto A3 seria mais sujeito a ocorrência de erosão entre os três pontos superiores.

Nos pontos A4 e A5 identificou-se maior concentração de areia, sendo o ponto A5 o de maior porcentagem 71,57%. Considerando-se que solos muito arenosos apresentam baixa coesão e adesão que favorece a ocorrência da erosão, dessa maneira, o ponto A5 seria mais sujeito ao processo erosivo do que o A4.

A partir dos valores obtidos das frações constituintes do solo para cada um dos pontos coletados foi realizada uma classificação, segundo EMBRAPA (1979) (ANEXO I) e conforme a proposta de Araujo e Campos (2013) (ANEXO II).

Pela classificação da EMBRAPA (1979) observou-se que: o ponto A1 é considerado como argiloso, os pontos A2, A3 e A4 são classificados como médio e o ponto mais inferior (A5) como arenoso.

Pela classificação proposta por Araujo e Campos (2013), os pontos A1 e A2 são classificados como solos poucos erodíveis e os pontos A3, A4 e A5 como solos muito erodíveis.

Analisando-se os valores obtidos de frações para cada um dos pontos amostrados e as duas classificações consideradas, verificou-se que o ponto A5 é o mais susceptível a erosão, visto que todas as análises o enquadram como um solo propício ao processo erosivo. Para os pontos A1 e A2, percebeu-se coerência entre os resultados do ensaio de textura (maior presença de silte) e a proposta de Araujo e Campos (solos pouco erodíveis), pois solos com maior presença silte são menos susceptíveis a processos erosivos do que aqueles com maior concentração de areia.

Em relação ao ensaio de densidade do solo, não há valores para os pontos A4 e A5, pois não foi possível a retirada de amostras indeformadas devido à predominância da fração areia encontrada nesses pontos. Com relação aos valores obtidos nos demais pontos, não houve grande variação entre eles, sendo que A1 apresentou o maior valor de densidade do solo de $1,35 \text{ g/cm}^3$ e A2 o menor valor, de $1,25 \text{ g/cm}^3$. Normalmente para solos minerais a densidade do solo varia entre 1,1 a $1,6 \text{ g/cm}^3$.

O valor de densidade de partículas obtido nos cinco pontos de coleta não apresentou variação significativa entre eles. A diferença entre o maior valor encontrado ($2,66 \text{ g/cm}^3$ no ponto A1) e o menor valor ($2,56 \text{ g/cm}^3$ no ponto A4) equivale a aproximadamente 4%. Tem-se que o valor de densidade de partículas normalmente encontrado para solos minerais, em função da composição por quartzo, feldspato e micas, deve ser de 2,5 a $2,7 \text{ g/cm}^3$, o que foi obtido, em todos os pontos.

Tabela 5. 1. Atributos físicos dos pontos amostrados no Loteamento Paraíso.

Ponto	% de Argila	% de Areia	% de Silte	Classificação EMBRAPA (1979)	Classificação Araujo e Campos (2013)	Ds (g/cm ³)	Dp (g/cm ³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Sistema Unificado de Classificação dos Solos (Das, 2007)
A1	38,60	13,47	47,93	Argilosa	Pouco erodível	1,35	2,66	6,35	2,02	4,33	CL – ML
A2	24,93	26,37	48,69	Média	Pouco erodível	1,25	2,65	13,16	1,66	11,50	CL
A3	18,97	23,07	57,96	Média	Muito erodível	1,31	2,62	13,91	1,34	12,57	CL
A4	1,90	62,25	35,85	Média	Muito erodível	-	2,56	7,01	1,86	5,15	CL – ML
A5	1,30	71,57	27,13	Arenosa	Muito erodível	-	2,58	-	-	-	-

Ds (Densidade do solo); Dp (Densidade de partículas); LL (Limite de liquidez); LP (Limite de plasticidade); IP (Índice de plasticidade); CL (C representa argila inorgânica e L corresponde à baixa plasticidade); ML (M representa silte inorgânico e L corresponde à baixa plasticidade).

Para os ensaios de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), devido à maior proporção da fração areia encontrada no ponto A5, não foi possível a realização dos ensaios para obtenção dos índices nesse ponto. Os maiores valores de LL foram encontrados para os pontos A2 e A3 (aproximadamente 13%), enquanto em A1 e A4, o LL foi de cerca de 7%, ou seja, o solo dos pontos A2 e A3 necessitam de uma quantidade de água maior para passar do estado plástico para o líquido.

Para os valores de LP obtidos nos pontos amostrados, a variação foi pequena, sendo que o menor valor encontrado refere-se ao ponto A3 (1,34%) e o maior valor ao ponto A1 (2,02%). Dessa maneira, pode-se afirmar que a umidade necessária para que o solo de A3 se plastifique é o menor e para A1 o maior, dentre os pontos analisados.

A partir dos dados de LL e LP foram calculados os Índices de Plasticidade (IP), sendo os maiores valores obtidos para os pontos A2 e A3 e os menores para A1 e A4. Utilizando-se esses dados, realizou-se uma classificação segundo Burmister (1949 *apud* DAS, 2007) (ANEXO III). O ponto A1 foi considerado como ligeiramente plástico; A2 e A3 como plasticidade média; e A4 como plasticidade baixa.

Ainda, por meio dos valores obtidos na granulometria e limites, realizou-se uma classificação baseada no Sistema Unificado de Classificação do Solo (Das, 2007) (ANEXO IV). As classificações obtidas foram: A1 e A4 pertencente ao grupo CL – ML, visto que apresentam $LL < 50$ e $4 \leq IP \leq 7$; A2 e A3 são classificados como grupo CL, por apresentarem $LL < 50$ e $IP > 7$.

CL representa argila inorgânica de baixa plasticidade e ML refere-se a silte inorgânico de baixa plasticidade (LL inferior a 50). Segundo Gray e Leiser (1989 *apud* ARAUJO e CAMPOS, 2013), a erodibilidade seria maior em ML do que em CL. Dessa maneira, os solos dos pontos A1 e A4, classificados como CL – ML, são mais sujeitos à erosão do que os pontos A2 e A3, pertencentes somente ao grupo CL.

Para o ensaio de análise granulométrica, os valores obtidos para todos os pontos amostrados são apresentados na Tabela 5. 2 e na Figura 5. 3 para uma melhor observação da distribuição dos agregados.

Para todos os pontos, mais de 95% dos agregados passaram pela peneira de diâmetro maior (2mm); na peneira de 1,2mm, a porcentagem de material passante

variou entre 90 a 99%, dependendo do ponto; e a peneira de 0,075mm foi a que apresentou o menor valor de agregados passantes, com valores entre 79% pra o ponto A1 e cerca de 23% para o ponto A5. Os gráficos da Figura 5. 3, indicam que o ponto A4 apresenta distribuição mais homogênea dos agregados quando comparado aos demais pontos.

Tabela 5. 2. Distribuição granulométrica do peneiramento fino dos pontos amostrados.

Porcentagem passante	Malha da peneira (mm)						
	2	1,2	0,6	0,427	0,3	0,15	0,075
Ponto A1	99,72	99,11	97,81	96,53	94,51	86,87	79,38
Ponto A2	98,79	97,96	95,19	92,33	88,47	78,60	69,88
Ponto A3	97,02	94,64	90,15	87,33	83,95	76,11	68,07
Ponto A4	95,00	90,15	78,68	69,78	60,99	46,17	35,55
Ponto A5	99,36	97,38	90,93	83,51	71,65	42,82	23,95

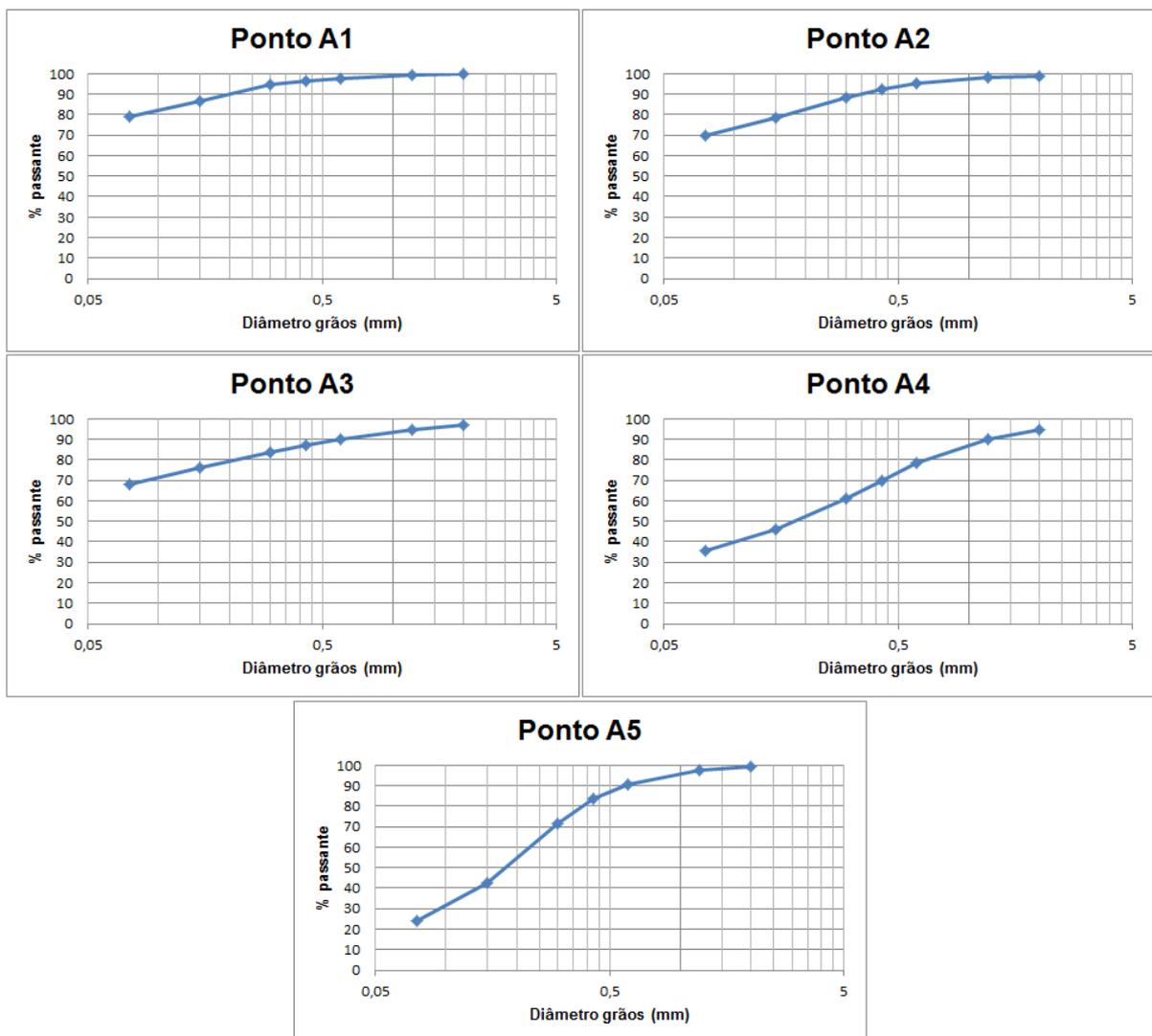


Figura 5. 3. Distribuição granulométrica do peneiramento fino dos pontos amostrados (A1, A2, A3, A4 e A5).

Para o Ensaio do Proctor, os valores obtidos de peso específico aparente seco máximo e umidade ótima, para cada ponto amostrado, são apresentados na Tabela 5. 3. Na Figura 5. 4 são apresentadas as curvas de compactação do solo para cada um dos pontos coletados de modo a permitir uma melhor visualização dos dados obtidos.

O maior valor de peso específico aparente seco máximo foi identificado no ponto A4 (4,64 g/cm³) e o menor valor no ponto A1 (4,04 g/cm³). Observando-se os valores obtidos, conclui-se que pode ser utilizado o solo encontrado em quaisquer dos pontos para recuperação da voçoroca presente na Rua Oito, pois eles não apresentaram diferença de peso específico aparente seco máximo significado entre eles. Contudo, os solos A1 e A2 são solos residuais maduros, mais laterizados e com argilas menos expansivas, ou seja, predominam argilas do tipo caulinita, mais resistentes. Estas camadas seriam naturalmente melhores para serem utilizadas para aterro da voçoroca, sendo que A1 seria o mais indicado, visto que se encontra em camada de mais fácil acesso para sua retirada.

Tabela 5. 3. Valores de peso específico aparente seco máximo e umidade ótima obtidos no Ensaio do Proctor para os pontos amostrados.

Ponto amostrado	Umidade ótima (%)	Peso específico aparente seco máximo (g/cm³)
A1	14,32	4,04
A2	13,68	4,20
A3	16,02	4,15
A4	8,93	4,64
A5	9,54	4,48

Com relação ao ensaio de permeabilidade do solo, os valores obtidos em cada um dos pontos escolhidos (P1, P2 e P3) para análise são apresentados na Tabela 5. 4. Segundo Lambe e Whitman (1969) (ANEXO V), os valores obtidos classificam os pontos como solos com grau de permeabilidade baixa.

Pela profundidade adotada para realização do ensaio, pode-se relacionar a condutividade hidráulica dos pontos amostrados com os dados obtidos para o ponto de coleta A1. Pelo que se pode verificar, a baixa permeabilidade obtida no ensaio se deve à presença de frações de silte no ponto A1, que promovem a ocorrência de selo superficial, diminuem a infiltração e aumentam o escoamento superficial, levando a erodibilidade. Dessa maneira, observa-se que a classificação proposta por Araujo e Campos (2013) para o ponto A1 (solo pouco erodível) apresenta coerência

com os dados e conclusões obtidas no ensaio de permeabilidade do solo, pois solos com maior presença silte são menos suscetíveis a processos erosivos do que aqueles com maior concentração de areia.

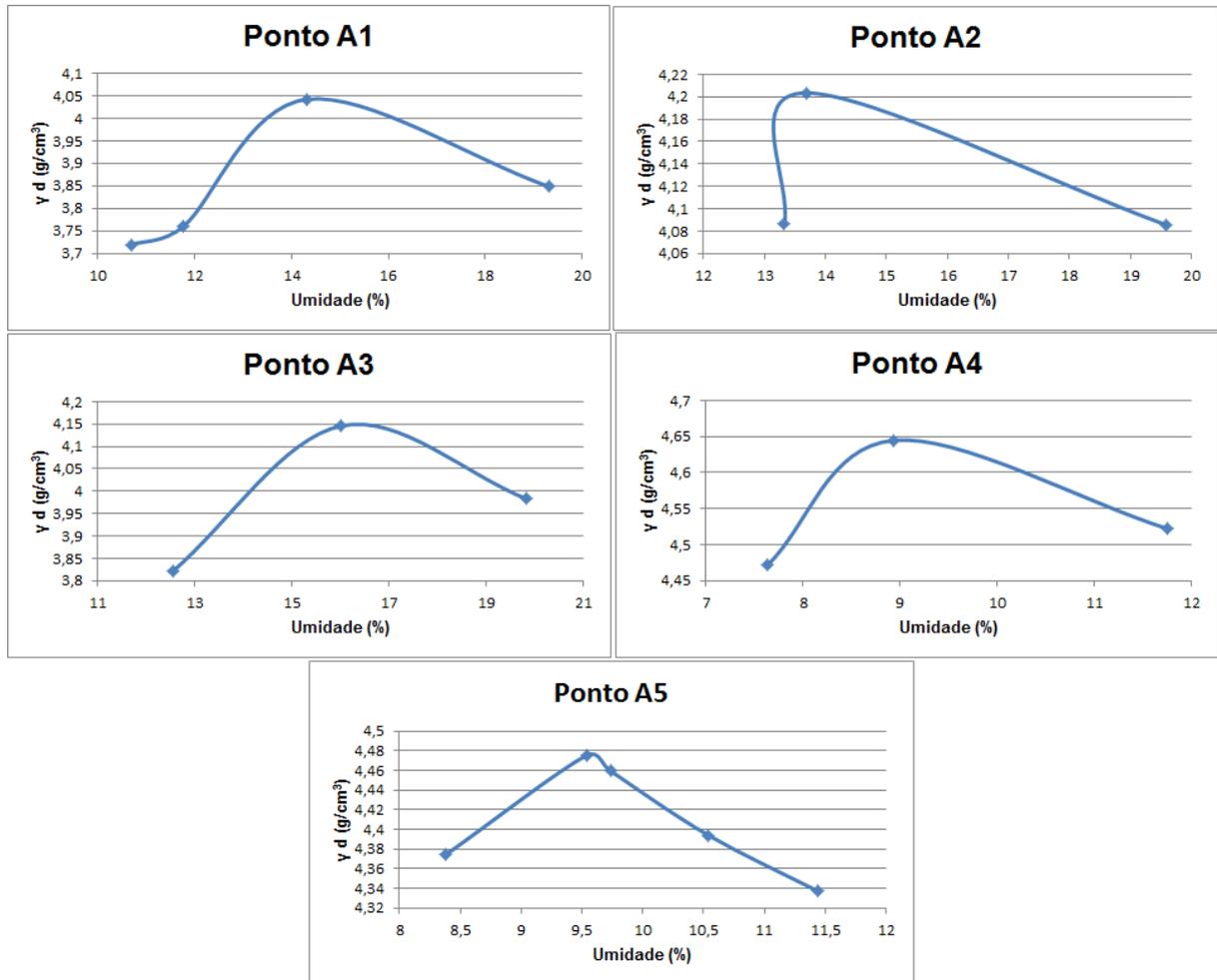


Figura 5. 4. Ensaio de Proctor para os pontos amostrados (A1, A2, A3, A4 e A5), onde γ_d corresponde ao peso específico aparente seco do solo amostrado.

Tabela 5. 4. Valores obtidos no ensaio de permeabilidade do solo, utilizando o Permeômetro de Guelph e sua classificação.

Ponto	Localização	Permeabilidade (cm/s)	Classificação Lambe e Whitman (1969)
P1	Início da voçoroca, parte superior da Rua Oito.	7×10^{-4}	Permeabilidade baixa
P2	Parte central da voçoroca, ponto lateral ao local de amostragem na Rua Oito.	9×10^{-4}	Permeabilidade baixa
P3	Fim da voçoroca, parte inferior da Rua Oito.	1×10^{-4}	Permeabilidade baixa

Observando-se os resultados obtidos das análises físicas da área do Loteamento Paraíso observa-se que o local apresenta condições favoráveis a ocorrência de processos erosivos, contudo eles podem ser evitados, exemplo, outra área recentemente loteada no mesmo bairro, onde realizou-se a implantação do loteamento de maneira adequada levando em consideração medidas para prevenir os processos erosivos.

5.2.2. Levantamento Planialtimétrico

Por meio da Planta do Loteamento Paraíso pode-se verificar que a área apresenta altitudes entre 835m e 930m (Figura 5. 5).

Segundo o Plano Diretor de Itajubá, a altitude máxima permitida para ocupação na Zona de Expansão Urbana I (ZEUI) é 950m e a mínima é de 845m. Assim, a máxima altitude encontrada no loteamento não inviabiliza sua implantação, mas poderia apresentar certa restrição, devido à altitude mínima que está abaixo do estabelecido de 845m. As altitudes máximas e mínimas estabelecidas pelo Plano Diretor deveriam ser respeitadas para evitar impactos sobre os topos de morros e áreas de várzeas. Contudo, não houve impedimento para a implantação do loteamento em razão da altitude mínima presente na época da implantação do loteamento não existia o Plano Diretor de Itajubá (Itajubá, 2003).

O Plano Diretor de Itajubá ainda estabelece que o parcelamento do solo não seja permitido em áreas cuja declividade seja igual ou superior a 30%. Dessa maneira, a partir das curvas de nível da planta do loteamento obteve-se a carta de declividade da área (Figura 5. 6).

Observando a carta de declividade, é possível verificar a presença de áreas com declividade de:

- 0 – 10%, que podem ocasionar problemas nas tubulações em função da baixa declividade que dificulta o escoamento;
- >30%, áreas não permitidas para ocupação em função da sua inclinação, pois promovem uma menor infiltração de água no solo, provocam maior fluxo de água em velocidade, formando enxurradas e, conseqüentemente, causam danos ao solo como a erosão;
- 10 – 20% e 20 – 30%, que correspondem aos demais intervalos de declividade, contudo essas declividades não geram problemas tão graves

quanto às baixas declividades e aquelas mais acentuadas;

Planta Planialtimétrica do Loteamento Paraíso - Itajubá/MG

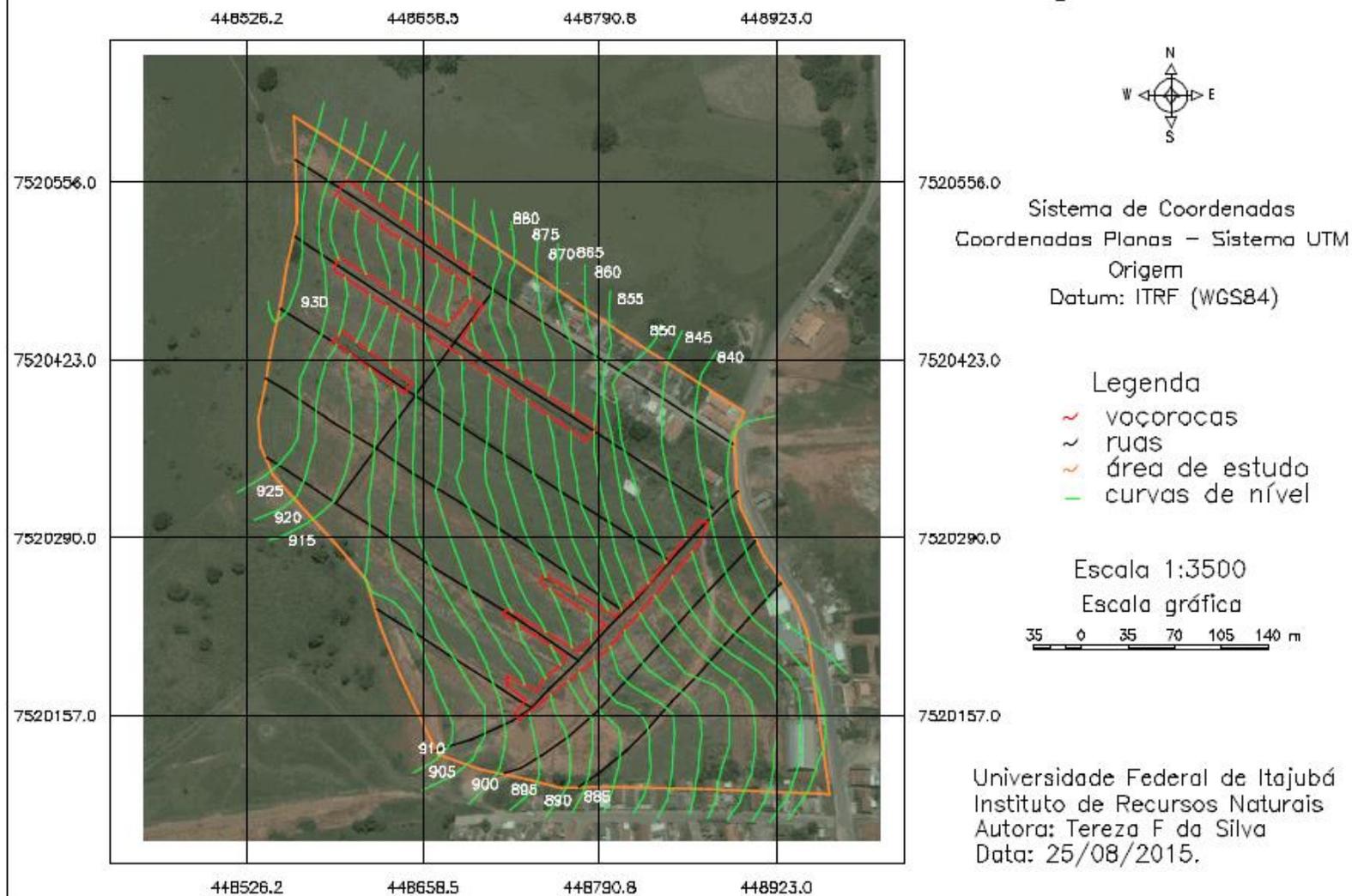


Figura 5. 5. Planta Planialtimétrica do Loteamento Paraíso, onde o traçado laranja delimita a área do loteamento, a área em vermelho identifica os pontos onde há erosão, as linhas em preto representam o traçado das ruas e as linhas verdes são as curvas de níveis da área.

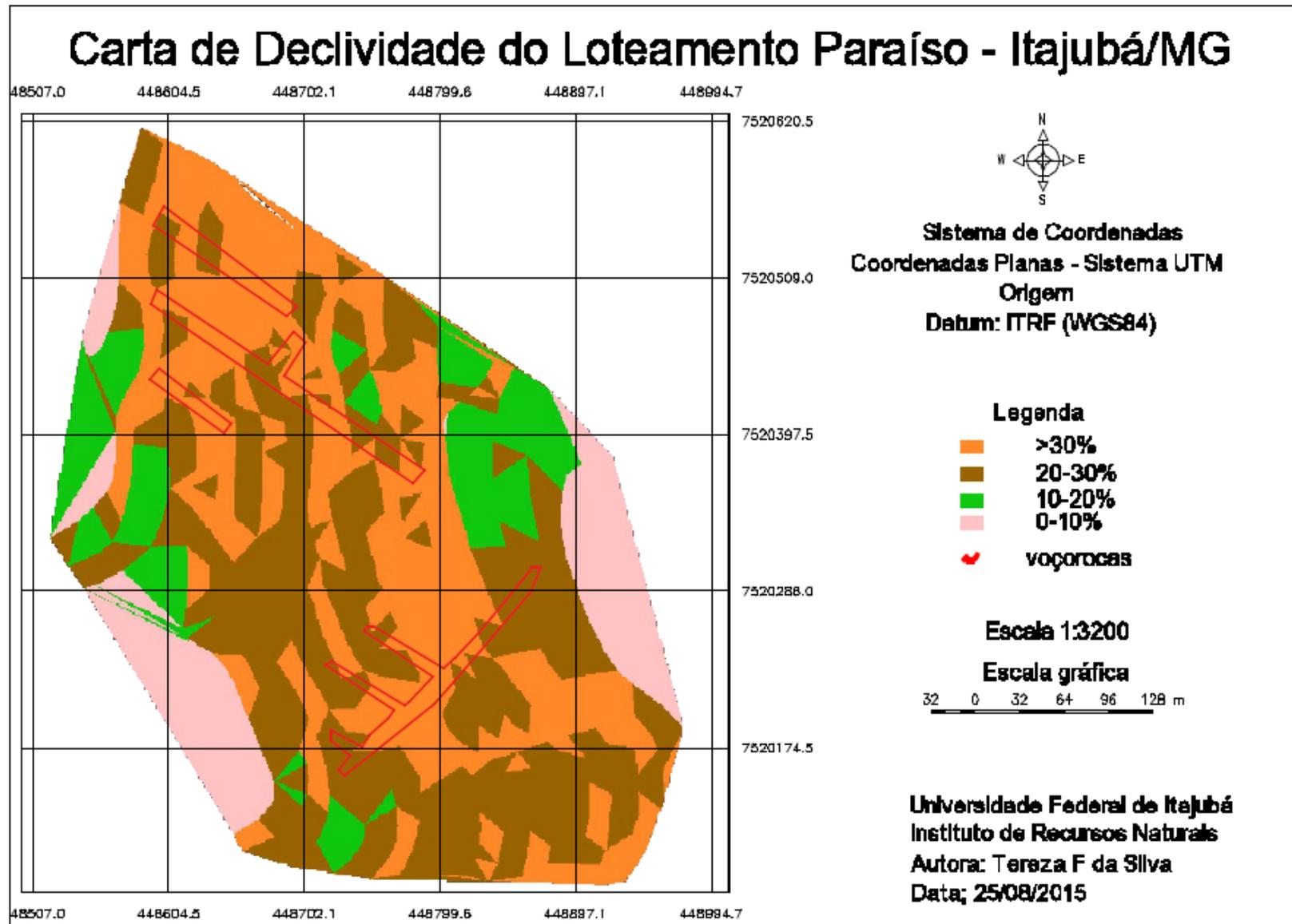


Figura 5. 6. Carta de Declividade do Loteamento Paraíso.

A partir da elaboração da carta de declividade, obtiveram-se também os valores de áreas em m² para cada um dos intervalos de declividade estabelecido (Tabela 5. 5). Por meio da tabela, é possível observar que nos intervalos de declividades de 20 – 30% e >30% estão concentradas as maiores áreas, 64684 m² e 58384 m², respectivamente, que equivalem a, aproximadamente 40% e 36% da área total do loteamento. Grande parte da área está situada em declividade superior a 30%, declividade não permitida para implantação, segundo o Plano Diretor.

Tabela 5. 5. Área dos intervalos de declividade do Loteamento Paraíso.

Declividade (%)	Área (m²)
0 – 10	19.661
10 – 20	19.331
20 – 30	64.684
> 30	58.384

Verificou-se também pela sobreposição da imagem do loteamento, mais precisamente do local onde se encontra a voçoroca da Rua Oito, com a carta de declividade, que a rua mencionada apresenta declividades entre 20 – 30% e >30%. A declividade >30% pode indicar existência significativa de processo erosivo, bem como a ausência de dispositivos de escoamento pluvial, falta de pavimentação das vias e passeios e a inexistência das obras responsáveis pela proteção e controle da erosão.

Em relação ao escoamento pluvial do loteamento, este segue para cotas inferiores, se deslocando primeiramente até a Avenida Wagner Machado, em seguida para uma área desprovida de vegetação, a frente do loteamento e, por fim, para o Rio Sapucaí, a alguns metros do local. Na Figura 5. 7 observa-se na parte inferior do Loteamento Paraíso, à Avenida Wagner Machado, a área sem vegetação, o Rio Sapucaí e as setas azuis indicando a direção do escoamento superficial da chuva. Dependendo da intensidade da chuva e considerando os processos erosivos existentes na área que possibilitam a perda de solo problemas como a deposição de lama na avenida e nas galerias de água pluvial na parte inferior do loteamento, na área sem vegetação e, ainda, o deslocamento desse sedimento para o Rio Sapucaí, ocasionando, conseqüentemente, o assoreamento do rio.

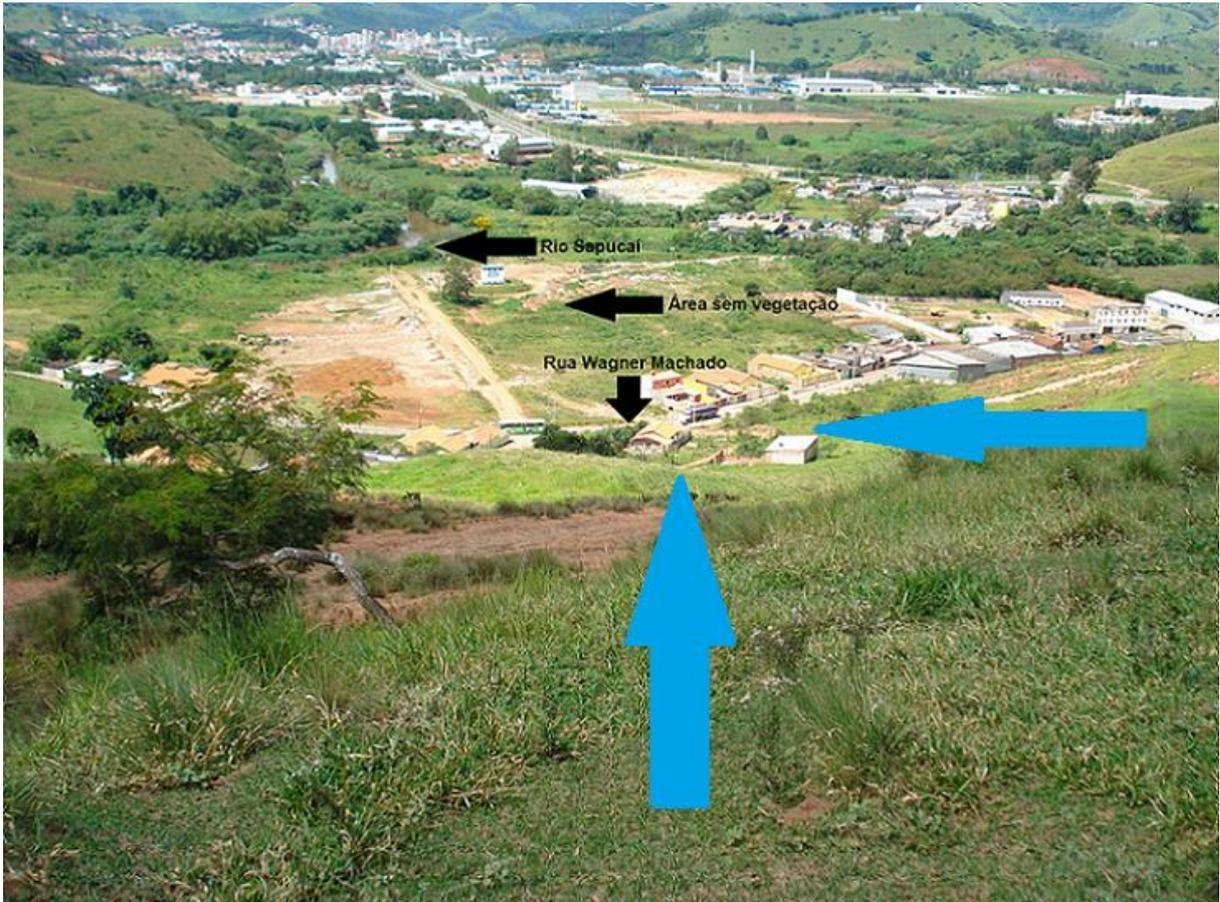


Figura 5. 7. Locais afetados pelo escoamento pluvial do Loteamento Paraíso: Avenida Wagner Machado, na parte inferior do loteamento; área sem vegetação, situada em frente ao loteamento; e Rio Sapucaí, próximo ao loteamento. Setas azuis indicando a direção do escoamento.

5.2.2.1. Levantamento Planialtimétrico da Voçoroca da Rua Oito

Por meio do levantamento planialtimétrico, onde utilizou-se uma estação total, obteve-se o detalhamento da voçoroca localizada na Rua Oito (Figura 5. 8). O levantamento planialtimétrico foi realizado somente para essa voçoroca, por ser o local com maior impacto provocado pela erosão em todo o loteamento e por se tratar do local escolhido para coleta das amostras, devido à presença de um manto de alteração exposto e, conseqüentemente, pela facilidade para realização das amostragens.

Utilizando o detalhamento planialtimétrico da voçoroca e o SIG Spring, foram obtidas algumas dimensões da mesma, apresentadas na Tabela 5. 6.

Tabela 5. 6. Dimensões da voçoroca localizada na Rua Oito.

Parâmetro	Dimensão
Comprimento	219,05 m
Perímetro	578,40 m
Profundidade média	4,94 m
Área	2.945,42 m ²
Volume	14.550,37 m ³

Segundo Rezende et al. (2011), em Mineiros (GO) encontra-se uma das maiores voçorocas do país, com dimensões de 3,8Km de comprimento, mais de dezessete vezes o comprimento da voçoroca da Rua Oito; cerca de 80m de altura, o equivalente a um prédio de 26 andares, enquanto a voçoroca deste estudo apresenta altura superior a uma residência; e volume de solo perdido de aproximadamente 5.700.000m³, correspondente a 570.000 caminhões de aterro de 10m³, ou aproximadamente 400 vezes o solo perdido pela erosão da Rua Oito.

A área total da voçoroca da Rua Oito corresponde a mais de 14 lotes de 200m² ou cerca de 12% da área destinada ao sistema viário do loteamento. Pelo valor obtido de volume de solo perdido na área da voçoroca, seriam necessários mais de 2.910 caminhões de 5m³ de material para recompor somente esta área, a um custo de aproximadamente R\$203.700,00, considerando-se R\$70,00/caminhão, segundo informação da Draga Trans areia em Setembro de 2015.

Para se elaborar o projeto de recuperação de toda a área do loteamento, considerando-se manter o mesmo uso do solo, será necessário realizar o levantamento planialtimétrico, a fim de se obter o volume total de solo perdido e, com isso, determinar as altitudes a serem mantidas ou alteradas e declividades a serem suavizadas.

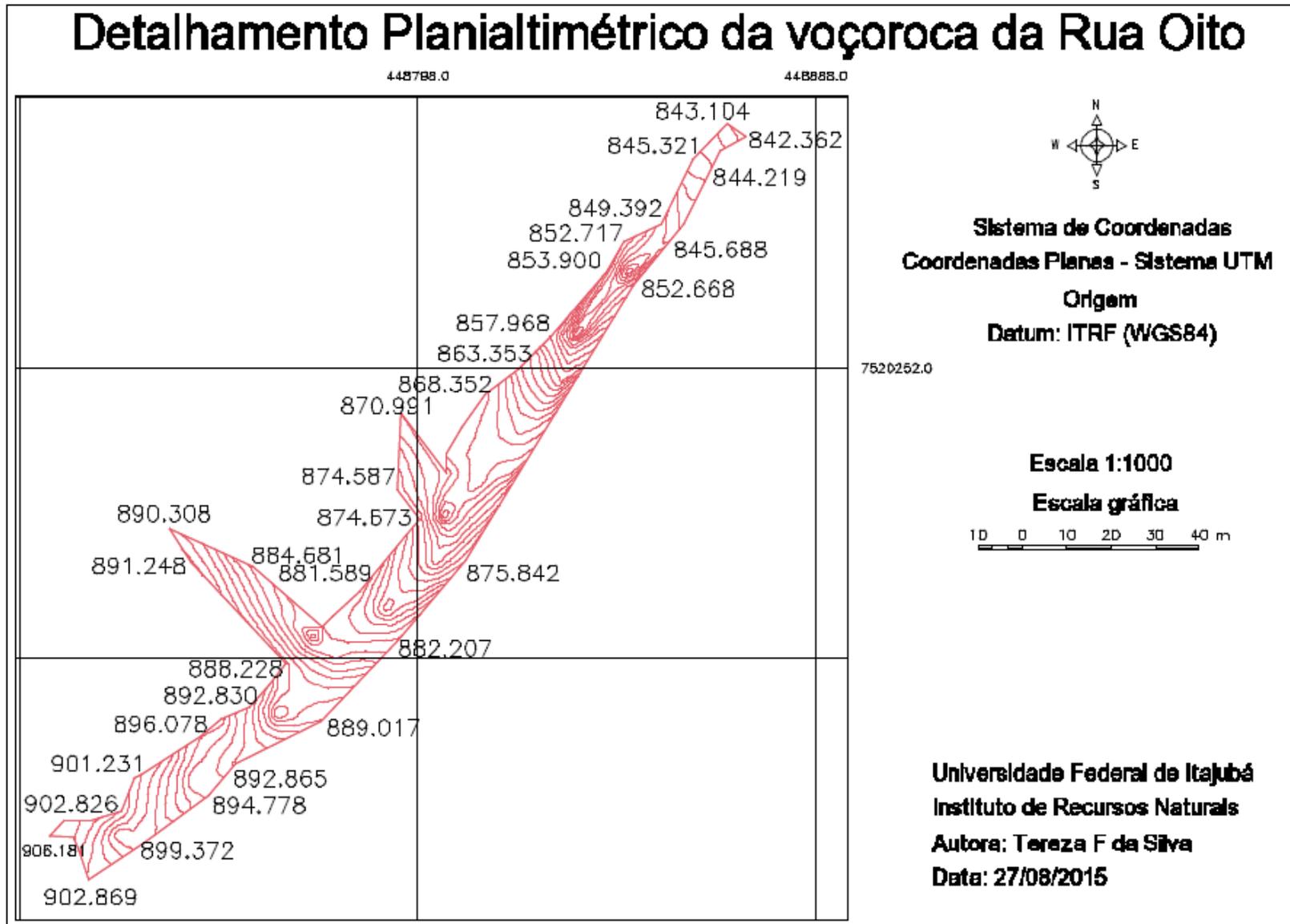


Figura 5. 8. Detalhamento planialtimétrico da voçoroca localizada na Rua Oito.

5.3. Carta de suscetibilidade à erosão do Loteamento Paraíso

Para uma análise dos pontos do Loteamento Paraíso com maior risco à erosão foi elaborada a carta de suscetibilidade à erosão em função do uso e ocupação da área (Figura 5. 12) e outra carta de suscetibilidade à erosão em função da declividade do loteamento (Figura 5. 13).

Na carta de suscetibilidade à erosão em função do uso e ocupação do solo, considerou-se que as áreas ocupadas possuem menor possibilidade de ocorrência de processos erosivos devido à proteção existente sobre o solo, seja por calçamento ou por estruturas edificadas no local, como se observa na Figura 5. 9, assim essas áreas foram classificadas como de baixa suscetibilidade. As áreas identificadas com vegetação rasteira (Figura 5. 10) foram consideradas como de média suscetibilidade, pois apresentam uma fina camada de vegetação como proteção do solo. E áreas com solo exposto (Figura 5. 11) foram consideradas de alta suscetibilidade, pois não estão providas de qualquer mecanismo que impeça a ocorrência de erosão naquele local pela energia cinética da água da chuva.



Figura 5. 9. Área do loteamento com presença de calçamento e edificações.



Figura 5. 10. Área do loteamento com ocupação por vegetação rasteira.



Figura 5. 11. Área do loteamento com solo exposto.

O loteamento apresenta maiores áreas classificadas como de média suscetibilidade à erosão (áreas com vegetação rasteira) e alta suscetibilidade (áreas de solo exposto). Assim, para futura adequação da implantação do loteamento seriam necessárias ações rápidas de proteção do solo para que os processos erosivos não se agravem.

Para a elaboração da carta de suscetibilidade à erosão em função da declividade do loteamento consideraram-se os intervalos de declividade e o nível de suscetibilidade à erosão conforme Tabela 5. 7.

Tabela 5. 7. Matriz de decisão para determinação da suscetibilidade à erosão.
(FONTE: Ranieri, 1996 (modificado) *apud* GASPAR (2000)).

Tipos de Solos	Intervalos de Declividades					
	0 – 3%	3 – 5%	5 – 8%	8 – 12%	12 – 18%	>18%
LR/LE/LV/TE	Baixa	Baixa	Média	Média	Alta	Muito alta
Li	Média	Alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta	Muito alta
AQ	Média	Média	Alta	Alta	Muito alta	Muito alta

LR – Latossolo Roxo; LE – Latossolo Vermelho Escuro; LV – Latossolo Vermelho Amarelo; TE – Terra Roxa Estruturada; AQ – Areia Quartzosa; Li – Solos Litólicos.

Segundo EMBRAPA (2015) o município de Itajubá possui solo do tipo Argissolo Vermelho Eutrófico, como não há essa classificação na Tabela 5. 7, foi empregada a classificação para solos do tipo LR, LE, LV e TE para a elaboração da carta de suscetibilidade à erosão em função da declividade do loteamento.

Observou-se por meio desta carta que a área do loteamento apresenta suscetibilidade à erosão muito alta em aproximadamente 80% da área total, conforme se verifica na Tabela 5. 8.

Tabela 5. 8. Valores de áreas conforme a suscetibilidade à erosão em função da declividade do Loteamento Paraíso.

Classe de declividade	Suscetibilidade á erosão	Área (m ²)	%
0 – 5%	Baixa	13.516	8,34
5 – 12%	Média	10.040	6,20
12 – 18%	Alta	7.097	4,38
>18%	Muito alta	131.407	81,09

Dessa maneira, numa futura adequação da implantação do loteamento seriam necessários estudos mais detalhados em relação à declividade da área relacionada com as curvas de nível, para que sejam realizadas obras e mudanças no projeto original do loteamento buscando a proteção do solo, visto que a possibilidade de ocorrência de processos erosivos no loteamento é muito alta levando-se em consideração a declividade da área.

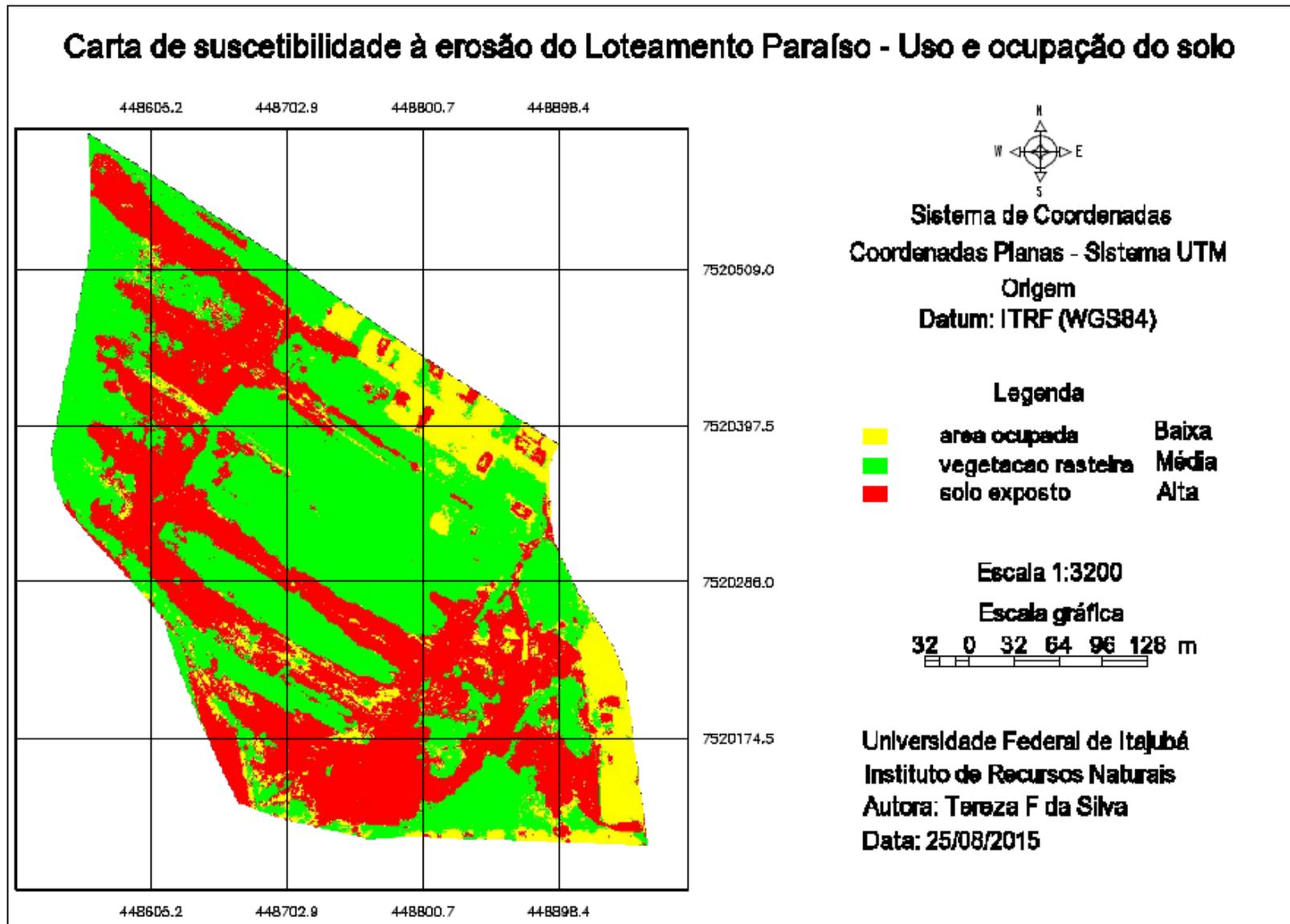


Figura 5. 12. Carta de suscetibilidade à erosão em função do uso e ocupação do Loteamento Paraíso.

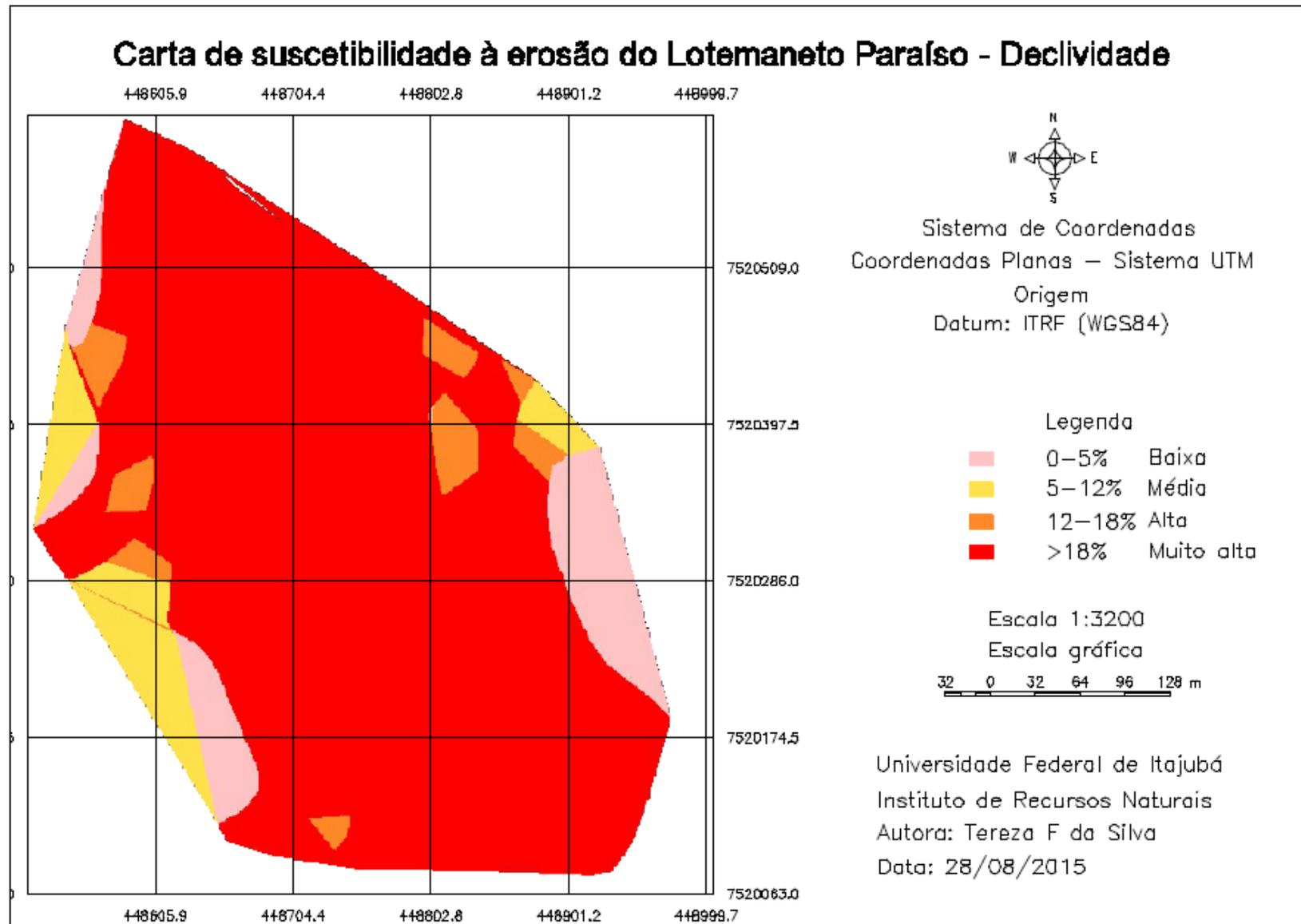


Figura 5. 13. Carta de suscetibilidade à erosão em função da declividade do Loteamento Paraíso.

5.4. Medidas para a Minimização dos Impactos Erosivos

A utilização de medidas para a minimização dos impactos erosivos é de grande importância, visto que sua finalidade é interromper a evolução da erosão e, em alguns casos, até mesmo, restabelecer as condições próximas a original.

Essas ações para a minimização dos impactos tem resultado na valorização imobiliária da área impactada e na melhoria da qualidade de vida de seus moradores e circunvizinhos. Essas medidas agem de maneira a tornar o local adequado para sua ocupação, evitando assim, acidentes no local, a intensificação do processo erosivo e transformando o visual da área antes impactada.

Dentre as alternativas possíveis de material para recuperação das voçorocas do Loteamento Paraíso, tem-se:

- Solo proveniente de uma área de empréstimo;
- Solo proveniente da camada do ponto A1 do próprio loteamento, o qual foi verificado como o mais adequado para esse fim, dentre os pontos analisados por meio do Ensaio do Proctor;
- Entulho obtido em construções ou em empresas que atuam com serviço de aluguel de caçamba.

O entulho representa uma ótima alternativa para recuperação de voçorocas, pois, conforme mencionado por Careli (2008), o resíduo produzido nas construções, reformas e ampliações das mais variadas edificações correspondem a 60% do total de resíduos gerados em algumas cidades. Além disso, alguns trabalhos como o realizado por Santos e Magalhães Júnior (2007), em que se utilizaram entulhos na contenção do impacto ambiental da erosão em Cianorte – PR, mostraram que o uso desse material é bastante eficiente para contenção e recuperação dos processos erosivos.

Antes de se iniciar a recomposição da voçoroca com solo, seria necessário, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999):

1. Conter a água que corre na direção da voçoroca por meio de canais, tubulações, terraços em desnível e trincheiras na parte alta, etc.;
2. Isolar o local com o simples uso de cercas, para que a circulação de animais seja evitada e também para que não ocorram acidentes;

3. Plantar gramíneas ou espécies arbóreas ou ainda, empregar dispositivos apropriados para reter o fluxo de água na área ao redor da voçoroca;
4. Conter os barrancos com vegetação ou se possível, suavizá-los;
5. Reduzir a velocidade da água e reter o solo que corre no interior da voçoroca, por meio de barreiras, caixas de dispersão de energia ou quaisquer obstáculos.

Segundo Martins e Bahia (1998 *apud* GUIMARÃES et al., 2012) dentre as opções de materiais que podem ser empregados para realizar o passo 1, cita-se: concreto armado/ alvenaria; gabiões; barragem de pedra/ arame/ tocos de árvores, bambus; canais no solo com vegetação ou tubulações de concreto ou aço. Os gabiões são um tipo de caixa ou gaiola de arame galvanizado, composta de pedra, amarradas umas as outras por meio de arame, que produzem muros de inúmeras formas (Onodera, 2005).

Contudo, além do que foi mencionado anteriormente para recomposição de uma voçoroca, para Silva e Curi (2001 *apud* GUIMARÃES et al., 2012) uma medida deve ser tomada de forma a complementar todas as demais, sendo ela de grande importância. Essa medida refere-se a orientar ambientalmente a comunidade para que possa agir de maneira a evitar incêndios e demais contribuições para a formação ou intensificação desses processos erosivos por meio de ações humanas. Outra ação importante para minimizar ou evitar esses impactos está relacionada à fiscalização eficiente por parte dos órgãos competentes sobre loteamentos existentes e aqueles a serem implantados.

6. CONCLUSÕES

A partir das análises físicas realizadas foi possível verificar que o solo encontrado na área do loteamento é susceptível a ocorrência de erosão, visto que a composição textural das partes mais superficiais correspondeu, em grande parte, à fração silte nos pontos A1 (47,93%), A2 (48,69%) e A3 (57,96%), o qual é sujeito à formação de selo superficial, que provoca menor infiltração, maior escoamento superficial e aumenta a erodibilidade; e à fração areia nos pontos mais profundos A4 (62,25%) e A5 (71,57%), que apresenta baixa coesão e adesão que também favorece os processos erosivos.

Em relação às análises físicas e às classificações obtidas por meio delas, foi verificado que o ponto A5 apresentou uma homogeneidade em seus resultados, visto que A5 apresentou grande concentração de fração areia, foi classificado pela EMBRAPA (1979) como solo arenoso e considerado por Araujo e Campos (2013) como muito erodível.

Apesar de terem sido analisados cinco pontos em um manto de alteração de solo, o ponto A1 foi o único avaliado com relação ao ensaio do Permeâmetro de Guelph, o qual permitiu identificar que há baixa permeabilidade no solo, menor infiltração de água, maior escoamento superficial e, conseqüentemente, condição favorável para ocorrência de erosão na área. Por meio desse resultado, foi possível verificar que mesmo sem interferência em função da ocupação no loteamento, a área seria susceptível a erosão.

Comparando-se os resultados obtidos para o ponto A1 em relação ao ensaio com o Permeâmetro de Guelph, como solo com baixa permeabilidade; pela análise textural, como solo com maior concentração de silte que aumenta a formação de selo superficial e conseqüentemente o escoamento superficial; e pela classificação proposta por Araújo e Campos (2013), como solo pouco erodível, tem-se uma coerência entre os resultados, pois solos com maior presença silte são menos suscetíveis a processos erosivos do que aqueles com maior concentração de areia.

Com relação ao levantamento planialtimétrico da voçoroca localizada na Rua Oito, quantificou-se em 140.000 m³ de volume de solo perdido, o qual para sua recomposição necessitaria de 2.910 caminhões de 5m³ de solo a um custo de

aproximadamente R\$203.700,00, considerando-se R\$70,00/caminhão, além da implantação de outras medidas para sua contenção.

Em relação ao escoamento pluvial proveniente do loteamento, ações devem ser tomadas para minimizar a intensidade no deslocamento das águas, em razão da declividade do terreno, e medidas de controle e combate a erosão devem ser implantadas para se evitar os problemas causados com o depósito de sedimentos na Avenida Wagner Machado, nas tubulações de captação de água pluvial na parte inferior do loteamento, na área sem vegetação e no Rio Sapucaí, podendo até causar o assoreamento desse corpo d'água.

Com relação ao levantamento de informações do loteamento, verificou-se que sua implantação não ocorreu de maneira correta, visto que somente parte da infraestrutura básica foi implantada na época e, ainda assim, parte das tubulações foram subtraídas da área. Além disso, parte da área apresenta pontos de declividade acentuada não adequadas à ocupação. Desse modo, a retirada da vegetação presente na área para realização dos traçados das ruas, a ausência de tubulações para conter e direcionar as águas pluviais, a falta de pavimentação das vias de circulação, entre outras medidas necessárias para evitar os processos erosivos não foram implantadas, o que também contribuiu para o surgimento e agravamento do processo erosivo no loteamento.

O processo erosivo no loteamento não ocorreu somente devido às características físicas da área, pois, além das características físicas da área, a ocupação do loteamento de maneira incorreta, também colaborou para que o processo se instalasse e progredisse com o passar do tempo.

A partir das informações presentes neste trabalho deve ser elaborado um projeto de recuperação da voçoroca da Rua Oito com a utilização de materiais alternativos e mais acessíveis financeiramente.

Também deve ser elaborado um projeto mais amplo visando a recuperação de todas as erosões presentes no loteamento com a conclusão da implantação do mesmo, contemplando o uso de SIG, para definição mais adequada do traçado das ruas, levando-se em consideração as curvas de nível e a declividade da área, evitando-se problemas relacionados ao escoamento pluvial, como o entupimento de galerias e a deposição de lama nas ruas e no rio que se encontram na parte inferior do loteamento e a finalização do projeto com a implantação dos dispositivos de

infraestrutura (água, iluminação, esgoto, calçamento, etc.), de modo a permitir, futuramente, a ocupação ordenada pelos seus proprietários.

O caso estudado demonstra a falta de ação do Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente (CODEMA) e da administração pública quanto ao cumprimento das diretrizes para a expansão urbana sabendo que a implantação do loteamento ocorreu anteriormente à elaboração e aprovação do Plano Diretor e demais leis relacionadas ao parcelamento do solo, seria necessário considerar a regularização da área por meio do Termo de compromisso firmado pelo loteador junto à prefeitura para a aprovação do loteamento. Porém, observa-se que existe um descaso no que diz respeito à área, apesar da sua localização ser na entrada da cidade, e também à população que comprou os lotes e não teve condições técnicas de construí-lo.

O que se percebe na cidade de Itajubá e em vários outros municípios brasileiros, é que as áreas mais afastadas dos centros urbanos e áreas que não sejam de interesse para a administração pública recebem uma atenção diferenciada e, assim, acabam por sofrer com problemas de infraestrutura, entre outros que geram danos, tanto ao meio ambiente, quanto a própria população envolvida com a área, seja de maneira direta, como proprietário de um lote ou de forma indireta, como circunvizinhos desses empreendimentos mal sucedidos.

Assim verificou-se a necessidade de que bairros mal implantados no passado sejam monitorados quanto ao aspecto da erosão, de maneira que, ao primeiro sinal de ocorrência de processo erosivo, deve ser feita uma intervenção corretiva.

Também sugerem-se que sejam elaborados mapas geotécnicos e estudos geológicos nas áreas de expansão da cidade e que todos os dados sejam disponibilizados/atualizados pela prefeitura, de forma a subsidiar futuras implantações. E, por fim, que o Plano Diretor de Itajubá seja atualizado e tenha uma participação mais efetiva da comunidade, conforme o estabelecido pelo Estatuto da Cidade, em função de mudanças que venham a ocorrer no município.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V. de. Estimativa da erosividade das chuvas na bacia do riacho Namorado, no município de São João do Cariri (PB). *Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, v.9, nº 1, p. 13 – 23, Jan. / Abr. 2013.

ARAUJO, R. da C. de; CAMPOS, T. M. P. Uso dos ensaios de penetração de cone, desagregação, sucção e resistência à tração para avaliar a erodibilidade. *Revista Luso-Brasileira de Geotecnia*, nº 128, pp.67-85, jul 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182 – Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 1986.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Erosão. In: BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. 4ª. ed. São Paulo: Ícone, p. 68-80, 1999.

BEZERRA, J. F. R.; ROGRIGUES, S. C. Estudo do potencial matricial e geotêxteis aplicado à recuperação de um solo degradado, Uberlândia (MG). *Caminhos da Geografia (Uberlândia)*, v.6, nº 19, p.160-174, out. 2006.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 1988. *Lex: Constituição Federal - Coletânea de Legislação de Direito Ambiental*. 5 ed. rev., atual. e ampl. São Paulo: RT, p. 726-740, 2006.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Lex: Constituição Federal - Coletânea de Legislação de Direito Ambiental. 5 ed. rev., atual. e ampl. São Paulo: RT, p. 126, 2006.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=322>>. Acesso em 19 ago. 2015.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Lex: Constituição Federal - Coletânea de Legislação de Direito Ambiental. 5 ed. rev., atual. e ampl. São Paulo: RT, p. 515-526, 2006.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 1, de 23 de Janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Lex: Constituição Federal - Coletânea de Legislação de Direito Ambiental. 5 ed. rev., atual. e ampl. São Paulo: RT, p. 631-634, 2006.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 19 ago. 2015.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 412, de 13 de Maio de 2009. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à construção de habitações de Interesse Social. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9154>>. Acesso em 15 ago. 2012.

CALHEIROS, S. Q. C.; SILVA, P. R. de F.; FERREIRA NETO, J. V. Identificação de conflitos espaciais do uso e ocupação do solo no Litoral Sul Meridional de Alagoas – Brasil. Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS), Sobral – CE, v. 15, nº 2, p. 12 – 31, 2013.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Geoprocessamento para Projetos Ambientais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Capítulo 1, 2009.

CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações, volume 1: fundamentos. 6.ed., ver. e ampl., [Reimpr.]. p. 37 – 39. Rio de Janeiro: LTC, 1988

CARELI, E. D. A Resolução CONAMA nº307/2002 e as novas condições para gestão dos resíduos de construção e demolição. 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.centropaulasouza.sp.gov.br/pos-graduacao/trabalhos-academicos/dissertacoes/tecnologias-ambientais/2008/elcio-duduchi-careli.pdf>>. Acesso em 20 dez. 2014.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de voçorocas urbanas. São Paulo: DAEE/IPT, 1989.

DAS, B. M. Fundamentos de engenharia geotécnica. Tradução All Tasks; revisão técnica Pérsio Leister de Almeida Barros. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DE BIASE, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. Revista do departamento de Geografia. USP, 1992, p. 45 – 60.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2015. Disponível em: <mapoteca.cnps.embrapa.br/download/obj/ok793.pdf>. Acesso em 25 jul. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2ª. ed. Rio de Janeiro: [s.nº], 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro. Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

ESDRAS, M. Geotecnologias aplicadas ao estudo de formação e de risco ambiental das favelas de Montes Claros/MG. Revista RA'E GA, nº 24, pp.176-198, Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR, 2012.

GASPAR, W. J. Análise do processo erosivo do loteamento social Antenor Garcia. Proposta para expansão do bairro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). São Carlos, 2000. Universidade Federal de São Carlos.

GOOGLE EARTH, 2013. Disponível em: <earth.google.com.br/>. Acesso em 15 mai. 2013.

GUIMARÃES, J. C. C.; ALMEIDA, W. F. de; PAIS, P. S. M.; ANDRADE, M. L. de C. Abordagem de práticas conservacionistas na recuperação de voçorocas. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 8, nº 14; p. 977, 2012.

IBGE, Censo Demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de: Estatísticas do século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil, 1981, vol. 42, 1979. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>>. Acesso em 05 nov. 2014.

IBGE: Censo Demográfico 1991, Contagem Populacional 1996, Censo Demográfico 2000, Contagem Populacional 2007 e Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/populacao.php?lang=&codmun=313240&search=minas-gerais|itajuba|infogr%E1ficos:-evolu%E7%E3o-populacional-e-pir%E2mide-et%E1ria>. Acesso em 05 nov. 2014.

IBGE, Cidades. Disponível em:
<[http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=313240&search=||in
fogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas](http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=313240&search=||in
fogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas)>. Acesso em 05 nov. 2014.
Imagem do satélite WorldView, 10 out. 2012.

LAMBE, T. W.; WHITMAN, R. V. Soil Mechanics. New York, Ed. Wiley, 1969, 553p.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S.; CAITANO, R. F.; CHAVES, L. C. G. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. Revista Agro@mbiente On-line, v.5, nº 2, pp.88-96, mai/ago 2011.

MATHIAS, D. T. Propostas de recuperação de áreas peri-urbanas erodidas com base em parâmetros hidrológicos e geomorfológicos: Córrego Tucunzinho (São Pedro / SP). 2011. Tese (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/95640>>. Acesso em 19 ago. 2015.

MESQUITA, M. V.; SAAD, A. R.; OLIVEIRA, A. M. dos S. Degradação do meio físico em loteamentos nos bairros Invernada, Fortaleza e Água Azul, como estudos de caso da expansão urbana do município de Guarulhos (SP). 2011. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 2011. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/handle/11449/102944>>. Acesso em 10 dez. 2014.

MINAKI, C.; AMORIM, M. C. DE C. T. A qualidade ambiental urbana na legislação municipal: exemplo do Plano Diretor de Araçatuba – SP. Revista RA'E GA, nº 25, pp.218-251, Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR, 2012.

MINAS GERAIS (Estado). Deliberação Normativa COPAM nº 58, de 28 de Novembro de 2002. Estabelece normas para o licenciamento ambiental de loteamentos do solo urbano para fins exclusiva ou predominante residenciais, e dá outras providências. Diário Oficial do Executivo [do] Estado de Minas Gerais, Minas

Gerais, MG, 4 dez. 2002. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5532>>. Acesso em 15 ago. 2012.

MINAS GERAIS (Estado). Lei Estadual nº 10.793, de 2 de Julho de 1992. Dispõe sobre a proteção de mananciais destinados ao abastecimento público no estado. Disponível em: <<http://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?num=10793&ano=1992&tipo=LEI>>. Acesso em 19 ago. 2015.

MOREIRA JUNIOR, O. O social e o ambiental nas cidades contemporâneas: embates, desafios e incertezas. Geografia (Londrina), v.19, nº 1, 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

MOTA, M. S. Análise temporal de uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente do município de Itajubá – MG. Trabalho Final de Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Itajubá. 2010.

NARDIN, C. F.; SILVA, A. H. da; Pereira Júnior, R. A.; RODRIGUES, S. C. Uso de medida física para recuperação de áreas degradadas em ambiente de cerrado. Resultado para o uso de barreiras com material de baixo custo na recuperação de voçorocas. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, nº 2, Set. 2010.

ONODERA, L. T. O uso de gabiões como estrutura de contenção. 2005. Tese (Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil com ênfase Ambiental) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-05/civil-16.pdf>>. Acesso em 18 dez. 2014

PEREIRA, J. H. Análise de impactos ambientais gerados pela implantação de loteamentos fechados de alto padrão. 2015. 131 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia,

2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/124503>>. Acesso em 22 ago. 2015.

PLANO DIRETOR DE ITAJUBÁ, 2003. Disponível em: <http://www.itajuba.mg.gov.br/plano_diretor/plano_diretor.pdf>. Acesso em 04 jul. 2012.

PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas / 3ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, p. 43. 2006.

PORTO ALEGRE. Lei Complementar nº 434, de 1 de dezembro de 1999. Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Porto Alegre, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.portoalegre.rs.gov.br/planeja/download/download.htm>>. Acesso em 18 ago. 2015.

REZENDE, W. S.; GOBBI, C. N.; SILVA, C. E.; ALMEIDA, J. R. Recuperação de voçorocas na zona rural do município de Mineiros (GO): financeiramente viável e ambientalmente sustentável. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v.2, nº 2, pp.64-81, 2011.

SALOMÃO, F. X. T.; CANIL, K.; RODRIGUES, S. P. Exemplo de aplicação da geologia de engenharia no controle preventivo e corretivo dos processos erosivos. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v.2, nº 2, pp. 39-56, 2012.

SANTOS, R. dos; MAGALHÃES JÚNIOR, C. A. de O. Estudo da utilização de entulhos na contenção do impacto ambiental da erosão “Mãe Biela” do município de Cianorte – PR. Akropolis, Umuarama, v. 15, nº 1 e 2, p. 3 – 9, jan. / jun. 2007.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; GONZÁLEZ, A. P. Erodibilidade de um cambissolo húmico sob chuva natural. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, p. 1906 – 1917, 2014.

SERATO, D. S.; RODRIGUES, S. C. Avaliação e recuperação da área degradada (voçoroca) no interior da Fazenda Experimental do Glória no município de Uberlândia (MG). Revista B. goiano geogr. Goiânia, v.30, nº 2, p.29-42, jul/dez. 2010.

SILVA, R. A.; GIACHETI, H. L.; IDE, D. M. Caracterização geotécnica e avaliação da evolução de um processo erosivo em Bauru – SP. Disponível em: <http://prope.unesp.br/xxi_cic/27_36490974860.pdf>. Acesso em 15 mar. 2013.

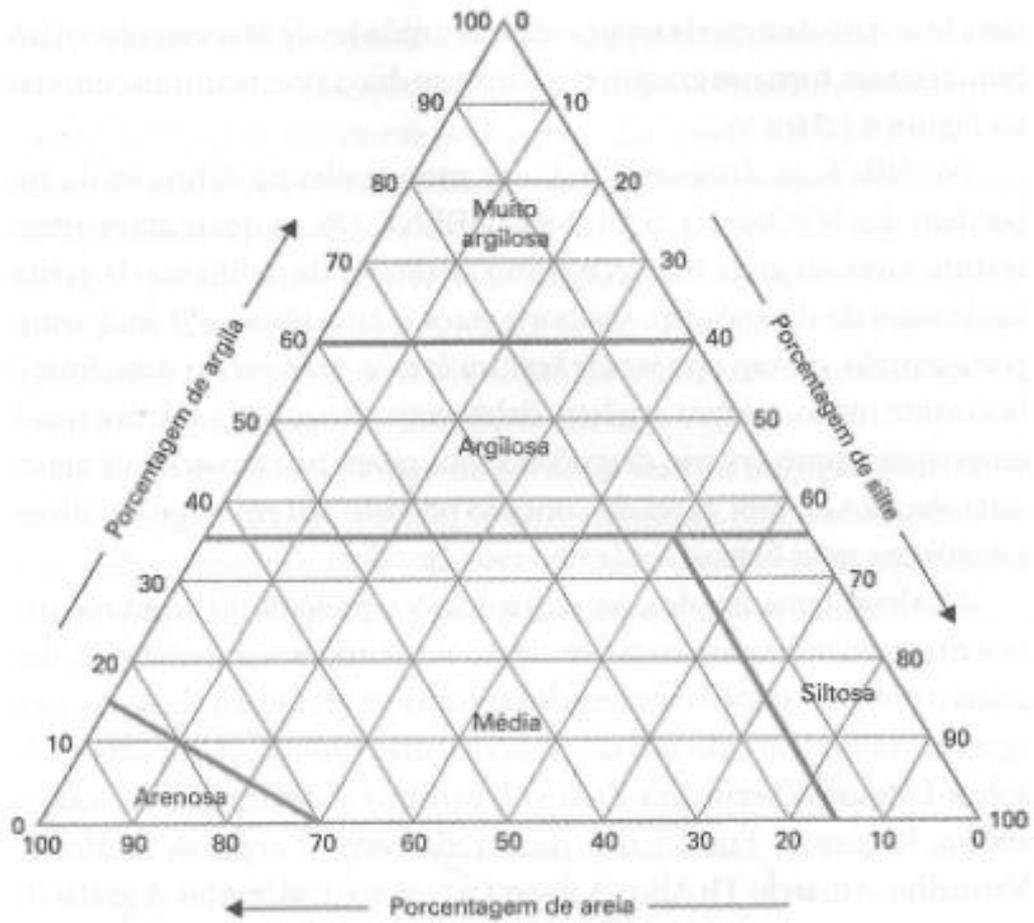
SPRING, versão 5.2.7. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/>>. Acesso em 08 abr. 2015

THOMAS, B. L. Proposta de zoneamento ambiental para o município de Arroio do Meio – RS. Revista RA'E GA, nº 24, pp.199-226, Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR, 2012.

WERNECK, B. R.; SILVA, J. A. F. da; Avaliação da susceptibilidade à degradação ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé – RJ com apoio do Geoprocessamento. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes / RJ: Essentia Editora, v. 4, nº 2, p. 155 – 171, jul. / dez. 2010.

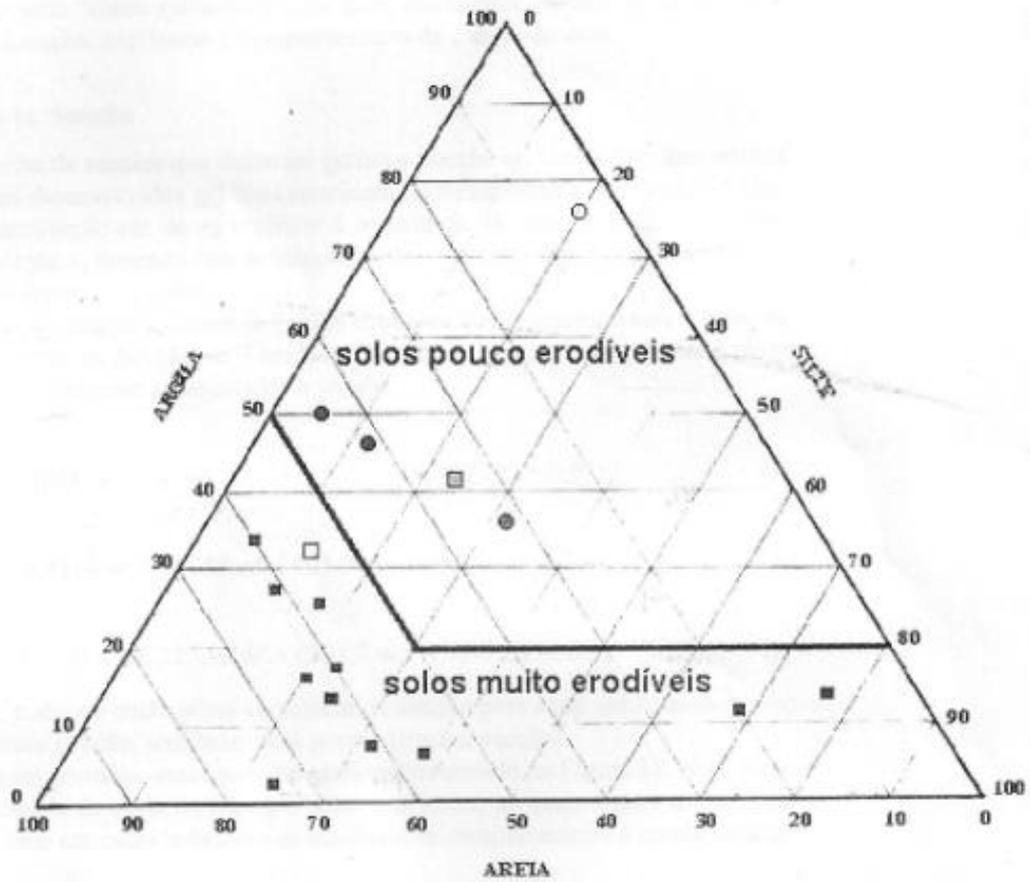
ANEXO I

Diagrama de repartição de classes generalizadas de textura segundo EMBRAPA (1979).



ANEXO II

Triângulo de textura com proposta de separação de faixas indicativas de susceptibilidade à erosão ARAUJO e CAMPOS (2013).



- Solos muito erodíveis (Fonseca e Ferreira,1981; Fácio,1991; Santos,1997; Lima,1999)
- Solos pouco erodíveis (Fonseca e Ferreira,1981; Fácio,1991; Santos,1997; Lima,1999)
- Solo verde
- Solo roxo
- Solo branco

ANEXO III

Classificação do Índice de Plasticidade de forma qualitativa segundo Burmister (1949 *apud* DAS,2007).

Índice de Plasticidade (IP)	Descrição
0	Não-plástico
1 – 5	Ligeiramente plástico
5 – 10	Plasticidade baixa
10 – 20	Plasticidade média
20 – 40	Plasticidade alta
>40	Plasticidade muito alta

ANEXO IV

Sistema Unificado de Classificação do Solo (Das, 2007).

Critérios para atribuição dos símbolos de grupo				Símbolo de grupo	
Solos grossos Mais de 50% de material retido na peneira N ^o 200	Pedregulhos Mais de 50% da fração grossa retida na peneira N ^o 4	Pedregulhos Puros	$C_u \geq 4$ e $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW	
		Menos de 5% de grãos finos ^a	$C_u < 4$ e/ou $1 > C_c > 3^c$	GP	
		Pedregulhos com Finos	$IP < 4$ ou representado abaixo da linha "A" (Figura 4.2)	GM	
		Mais de 12% de grãos finos ^{a,d}	$IP > 7$ e representado na ou acima da linha "A" (Figura 4.2)	GC	
	Areias 50% ou mais da fração grossa passam na peneira N ^o 4	Areias Puras	$C_u \geq 6$ e $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW	
		Menos de 5% de finos ^b	$C_u < 6$ e/ou $1 > C_c > 3^c$	SP	
Areias com Finos		$IP < 4$ ou representado abaixo da linha "A" (Figura 4.2)	SM		
Mais de 12% de finos ^{b,d}		$IP > 7$ e representado na ou acima da linha "A" (Figura 4.2)	SC		
Solos finos 50% ou mais passam na peneira N ^o 200	Siltes e argilas Limite de Liquidez inferior a 50	Inorgânico	$IP > 7$ e representado na ou acima da linha "A" (Figura 4.2) ^e	CL	
		Orgânico	$IP < 4$ ou representado abaixo da linha "A" (Figura 4.2) ^e	ML	
	Siltes e argilas Limite de liquidez 50 ou superior	Inorgânico	Limite de liquidez – seco em estufa	$< 0,75$; veja a Figura 4.2; zona OL	OL
			Limite de liquidez – não seco		
		Orgânico	IP representado na ou acima da linha "A" (Figura 4.2)		CH
			IP representado abaixo da linha "A" (Figura 4.2)		MH
		Limite de liquidez – seco em estufa	$< 0,75$; veja Figura 4.2; zona OH	OH	
		Limite de liquidez – não seco			
Solos Altamente Orgânicos	Matéria primariamente orgânica, de cor escura e odor orgânico			Pt	

^a Pedregulhos com 5 a 12% de finos requerem os símbolos duplos: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

^b Areias com 5 a 12% de finos requerem os símbolos duplos: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

^c $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$

^d Se $4 \leq IP \leq 7$ e é representado na área hachurada na Figura 4.2, use o símbolo duplo GC-GM ou SC-SM.

^e Se $4 \leq IP \leq 7$ e é representado na área hachurada na Figura 4.2, use o símbolo duplo CL-ML.

ANEXO V

Grau de permeabilidade do solo segundo valores de coeficiente de permeabilidade K (LAMBE e WHITMAN, 1969).

Grau de permeabilidade	Valor de K (cm.s⁻¹)
Elevado	$>10^{-1}$
Médio	10^{-1} a 10^{-3}
Baixo	10^{-3} a 10^{-5}
Muito baixo	10^{-5} a 10^{-7}
Praticamente impermeável	$<10^{-7}$