

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**PROCESSOS EROSIVOS EM SÃO PEDRO (SP): REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
SOBRE OS FATORES CONDICIONANTES E PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO**

Verônica Boniotti Rojo

Prof^ª. Msc. Monique de Paula Neves

Rio Claro (SP)

2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

VERÔNICA BONIOTTI ROJO

PROCESSOS EROSIVOS EM SÃO PEDRO (SP): REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA SOBRE OS FATORES CONDICIONANTES
E PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

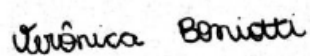
Comissão Examinadora

Prof^ª. Msc. Monique de Paula Neves (orientadora)

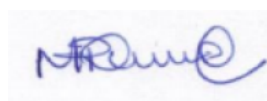
Prof^ª. Dr^ª. Vânia Silvia Rosolen

Prof. Msc. Lucas Moreira Furlan

Rio Claro, 07 de dezembro de 2020.



Assinatura do(a) aluno(a)



Assinatura do(a) orientador(a)

R741p	<p>Rojo, Verônica Boniotti</p> <p>Processos erosivos em São Pedro (SP): Revisão bibliográfica sobre os fatores condicionantes e técnicas de recuperação / Verônica Boniotti Rojo. -- Rio Claro, 2020</p> <p>127 p. : tabs., fotos, mapas</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro</p> <p>Orientadora: Monique de Paula Neves</p> <p>1. Degradação ambiental. 2. Processos erosivos. 3. Técnicas de recuperação. 4. São Pedro. I. Título.</p>
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas,

Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, minha vó e minhas primas por serem minha base. Agradeço aos meus melhores amigos durante a faculdade, Letícia e Daniel, por acreditarem em mim quando nem eu mesma acreditava. Agradeço a todas as meninas que moraram comigo e me ajudaram a crescer durante todos esses anos de graduação. Júlia, Livia e Gabriela, que privilégio gigante compartilhar um universo com vocês. Agradeço a minha orientadora Monique por ser tão competente, prestativa e presente, pois eu não teria conseguido finalizar esse trabalho sem todo seu suporte. Por fim, agradeço por ser tão privilegiada e nunca ter me faltado nada nessa vida.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica dos processos erosivos ocorrentes nas Bacias Hidrográficas do Córrego do Espriado, Ribeirão do Meio e Córrego do Tuncum, no município de São Pedro (SP). A escolha da área deve-se ao fato da disponibilidade de trabalhos na literatura, bem como a criticidade do município quanto a ocorrência de processos erosivos lineares. Nesse sentido, foram analisados os fatores condicionantes do meio físico e antrópico, e as técnicas de recuperação aplicadas, bem como aquelas que foram propostas para a área de estudo. Através da análise, foi possível compreender que o município é muito suscetível a ocorrência da erosão devido as características do meio físico, como solo e relevo, e que as erosões tendem a ocorrer de maneira acelerada devido as ações antrópicas. Nesse sentido, pode-se concluir que as erosões desencadeiam diferentes processos de degradação ambiental nas bacias hidrográficas, e, portanto, é fundamental que sejam elaborados planos de recuperação condizentes com as características da área.

Palavras-chave: Degradação ambiental. Processos erosivos. Técnicas de recuperação. São Pedro.

ABSTRACT

The present study aims to perform a bibliographic review of the erosive processes that occur in Córrego do Espriado, Ribeirão do Meio and Córrego do Tuncum watersheds, in the municipality of São Pedro (SP). The reason of the study is due to the availability of works in the literature as well as the criticality when it comes to soil erosion processes. In order to do so, the conditioning factors of the physical and anthropic environments, the applied the rehabilitation measures as well as the ones presented to the study area were analyzed. Through the analysis, it was possible to understand that the city is very susceptible to erosions due to its physical environment characteristics, such as its soil and relief, and that the erosions tend to occur in an accelerated way due to anthropic activities. For that matter, it can be concluded that erosions trigger different land degradation processes in watersheds, therefore, it is essential that rehabilitation measures in line with the characteristics of the geographical area are elaborated.

Key-words: Land degradation. Soil erosion. Rehabilitation measures. São Pedro.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Efeito da gota de chuva sobre o solo.	16
Figura 2 - Sulcos localizados em São Pedro (SP).	18
Figura 3 - Ravina localizada no município de São Pedro (SP).	19
Figura 4 - Voçoroca localizada no município de São Pedro (SP).	20
Figura 5 - Formas das encostas.....	22
Figura 6 - Degradações geradas por processos erosivos.	25
Figura 7 - Localizações das bacias do Córrego do Ribeirão do Meio, Espraiado e Tuncum dentro do município de São Pedro (SP).	30
Figura 8 - Mapa de elementos de terreno da Bacia do Córrego do Espraiado.	33
Figura 9 - Fotografia aérea de 1995 que demonstra os principais tipos de uso e ocupação do solo. Escala 1:25.000.	35
Figura 10 - Fotografia aérea de 2000 que demonstra os principais tipos de uso e ocupação do solo. Escala: 1:30.000.	35
Figura 11 - Diagrama de materiais inconsolidados residuais.	38
Figura 12 - Diagrama de materiais inconsolidados retrabalhados.....	39
Figura 13 - Mapa de áreas reabilitadas da Bacia do Córrego do Espraiado.....	41
Figura 14 - Fotografia aérea de 2000 evidenciando novos processos erosivos.....	42
Figura 15 - Evolução das feições erosivas na cabeceira do córrego do Espraiado (fotografias aéreas de 1972, 1978, 1995 e 2000).	43
Figura 16 - Feições erosivas delimitadas em fotografia aérea de 2000 (sem escala).	43
Figura 17 - Unidade de terreno do sistema A.	45
Figura 18 - Unidades de terreno do sistema B.....	46
Figura 19 - Mapa de unidades de terreno (landforms) da Bacia do Ribeirão do Meio. .	48
Figura 20 - Mapa de substrato rochoso da Bacia do Ribeirão do Meio.	50
Figura 21 - Mapa de materiais inconsolidados da Bacia do Ribeirão do Meio.....	53
Figura 22 - Feição do tipo ravina encontrada no sistema A.	54
Figura 23 - Voçorocas localizadas próximas às redes de drenagem na unidade de terreno C2.	55
Figura 24 - Voçorocas localizadas na unidade de terreno C1.	56
Figura 25 - Presença de voçoroca com (A) linha de transmissão e (B) tubo de encanamento comprometidos.	57
Figura 26 - Presença de residência e linhas de transmissão em voçorocas.	57

Figura 27 - Carta de suscetibilidade à erosão.	60
Figura 28 - Mapa de unidade de terreno (<i>landforms</i>) da Bacia do Córrego do Tuncum (1:10.000).	62
Figura 29 - Mapa de materiais inconsolidados da Bacia do Córrego do Tuncum (1:10.000).	64
Figura 30 - Legenda do mapa de materiais inconsolidados da Bacia do Córrego do Tucunzinho (1:10.000).	65
Figura 31 - Gráfico de materiais residuais da Bacia do Córrego do Tuncum.	66
Figura 32 - Gráfico de materiais retrabalhados da Bacia do Córrego do Tuncum.	67
Figura 33 - Carta de suscetibilidade da Bacia do Córrego do Tuncum.	69
Figura 34 - A) Feição erosiva B com afloramento de lençol e barragem de contenção; B) Escorregamento de talude na feição B.	71
Figura 35 - A) Feição C estável com retaludamento previamente feito; B) Obras de macrodrenagem danificadas; C) escorregamento de taludes por conta de período chuvoso.	72
Figura 36 - Feição erosiva D no ano de 2002 sendo utilizada como depósito de resíduos.	73
Figura 37 - A) Fotografia área de 1972; B) Fotografia área de 1995; C) Fotografia área de 2000.	73
Figura 38 - Superfície 3D da área 1 com a localização das feições erosivas.	76
Figura 39 - Voçoroca F3.	76
Figura 40 - Voçoroca F5.	77
Figura 41 - Cordão de nível em encosta.	77
Figura 42 - Dique construído a partir de solo movimentado paralelo a rua.	78
Figura 43 - Caixa de passagem próxima a rua.	78
Figura 44 - Blocos de rocha nas saídas das tubulações a fim de evitar o surgimento de novos processos.	79
Figura 45 - Perfil geológico, materiais inconsolidados e classes geomoforológicas das áreas 1, 2, 3 e 4.	80
Figura 46 - Superfície 3D da área 2 com a localização das feições erosivas.	81
Figura 47 - Delimitação das feições erosivas de acordo com fotografia aérea de 1972.	82
Figura 48 - Delimitação das áreas de recuperação a partir de fotografia aérea de 2006.	83
Figura 49 - Direcionamento do escoamento superficial através da inclinação do terreno para canaletas.	84

Figura 50 - Feição erosiva F1 e sua evolução nos anos 1965, 1978 e 2006.....	86
Figura 51 - Esquema 3D das principais feições da área 3.	86
Figura 52 - Barreira de proteção construída com o solo do local ao redor das feições erosivas a fim de conter sua evolução.	87
Figura 53 - Delimitação das feições erosivas de acordo com fotografia aérea de 2000.	88
Figura 54 - Delimitação das feições erosivas de acordo com fotografia aérea de 2011.	89
Figura 55 - Esquema 3D de uma das bacias com as principais feições da área 4.	90
Figura 56 - Esquema 3D da outra bacia da área 4 com sua principal feição.....	90
Figura 57 - Medida de barreira de galhos aplicada entre as fileiras de eucaliptos.	91
Figura 58 - Buracos feitos na lateral da feição F2.....	92
Figura 59 - Localização da Bacia do Córrego Tucunzinho de acordo com o Estado de São Paulo e sua bacia pertencente.	94
Figura 60 - Carta de energia do relevo da Bacia do Córrego Tucunzinho.	95
Figura 61 - Carta de fluxo acumulado da Bacia do Córrego Tucunzinho.	97
Figura 62 - Hidrogramas dos pontos de controle representativos para modelagem da bacia do Córrego Tucunzinho, em condições de pré-ocupação e ocupação em 2011.....	99
Figura 63 - Porcentagens de areia fina e grossa na área inferior da Bacia do Córrego do Tucunzinho.	100
Figura 64 - Bacia de contenção e ocorrência de piping na mesma topografia.	101
Figura 65 - Vetores erosivos ocasionados pelo colapso dos terraços.....	102
Figura 66 - Fotografia aérea da voçoroca adicionada das curvas de nível em 3D.	102
Figura 67 - Croqui da Bacia do Córrego do Tucunzinho.	104
Figura 68 - Hidrogramas do emissário norte nas condições pré-ocupação e na condição da época do estudo.....	105
Figura 69 - Mapeamento das técnicas propostas para a Bacia do Córrego Tucunzinho.	106
Figura 70 - A) Bacia de dissipação do tipo mergulho; B) Bacia de detenção impermeabilizada; C) Canal revestido com colchões de reno e D) Emissário em escada de dissipação de gabiões em caixa.	108
Figura 71 - A) Esquema do sistema de caniçadas vivas; B) Instalação das caniçadas; C) Encosta revestida com geocélulas; D) Biomanta e E) Exemplo de resultado.	109
Figura 72 - A) Empacotamento de ramos; B) Camada de ramos; C) Paliçadas de toras e D) Exemplo de aplicação da técnica de camada de ramos.	110

Figura 73 - A) Esquema de um aterro vivo; B) Dreno de bambu; C) Exemplo de instalação de pacotes de ramos junto das paliçadas e D) Paliçadas de tora em ravina.	111
Figura 74 - Gabiões em caixa dispostos em anfiteatro.	112
Figura 75 - A) Barragem com saco de cimento; B) Exemplo de aplicação de barragem; C) Sistema de caniçadas vivas; D) Exemplo de aplicação do sistema de caniçadas vivas e E) Leito do canal revestido por colchões reno.	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medidas para recuperação, controle ou prevenção de áreas degradadas por processos erosivos.	27
Tabela 2 - Trabalhos desenvolvidos em São Pedro (SP).....	29
Tabela 3 - Unidades de materiais inconsolidados e suas respectivas áreas.....	36
Tabela 4 - Unidades de materiais inconsolidados.	51
Tabela 5 - Características das classes de suscetibilidade de erosão e seus valores percentuais em área.	58
Tabela 6 - Principais feições erosivas da Bacia do Córrego do Tuncum.	70
Tabela 7 - Setorização da bacia do Córrego do Tuncum e parâmetros CN adotados. ...	98

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1. Erosão.....	15
3.1.1. Erosão laminar (intersulcos).....	17
3.1.2. Erosão linear.....	18
3.1.2.1. Sulcos.....	18
3.1.2.2. Ravinas.....	19
3.1.2.3. Voçorocas	19
3.1.3. Fatores condicionantes da erosão	20
3.1.3.1. Chuva	20
3.1.3.2. Relevo	21
3.1.3.3. Cobertura vegetal.....	22
3.1.3.4. Solo	22
3.1.3.5. Ação antrópica	24
3.2. Degradação ambiental e processos erosivos	24
3.3. Recuperação ambiental	25
3.3.1. Restauração.....	26
3.3.2. Reabilitação	26
3.3.3. Remediação	26
3.3.4. Técnicas de recuperação.....	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1.1. Métodos	28
4.1.2. Caracterização geral da área de estudo.....	30
5. ESTUDOS REALIZADOS NO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO (SP)	31

5.1. Processos erosivos na Bacia do Córrego do Espriado (YAMANOUTH, 2003)	31
5.1.1. Elementos de terreno	31
5.1.2. Uso e ocupação do solo	34
5.1.3. Materiais inconsolidados	36
5.1.4. Áreas reabilitadas	39
5.1.5. Análise dos processos erosivos identificados	42
5.2. Processos erosivos na Bacia do Ribeirão do Meio (GOMES, 2002)	44
5.2.1. Sistema de Landforms	45
5.2.2. Substrato Rochoso	49
5.2.3. Materiais Inconsolidados	51
5.2.4. Análise dos processos erosivos identificados	54
5.2.5. Carta de suscetibilidade à erosão	58
5.3. Processos erosivos na Bacia do Córrego do Tuncum (SILVA, 2003)	61
5.3.1. Mapa de unidades de terreno	61
5.3.2. Materiais Inconsolidados	63
5.3.3. Carta de Suscetibilidade à Erosão	67
5.3.4. Evolução dos processos erosivos na bacia	70
5.4. Estudo de técnicas de recuperação aplicadas em feições do município de São Pedro (ROTTA, 2012)	75
5.4.1. Área 1	75
5.4.2. Área 2	80
5.4.3. Área 3	85
5.4.4. Área 4	88
5.5. Propostas de recuperação para feições erosivas na Bacia do Córrego Tucunzinho (MATHIAS, 2011)	93
5.5.1. Parâmetros hidro geomorfológicos	94
5.5.2. Diagnóstico da dinâmica erosiva da voçoroca do Córrego Tucunzinho ..	99

5.5.3. Propostas de recuperação da área	105
6. ANÁLISE GERAL SOBRE OS PROCESSOS EROSIVOS E TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO APLICADAS NO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO (SP).....	115
7. CONCLUSÕES.....	119
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
ANEXO A	125

1. INTRODUÇÃO

A erosão hídrica, para Zuquette et al (2007), é um processo que se origina por conta da ação da chuva, onde as precipitações geram a desagregação e transporte das partículas do solo. No Brasil, um país de clima tropical úmido, a presença das chuvas é o principal fator condicionante dos processos erosivos, que tendem a ocorrer de maneira natural, no entanto, esses processos podem ser acelerados por conta da ação humana, gerando diversas consequências, uma delas, sendo a degradação do solo.

Nesse sentido, ações como desmatamento, uso agrícola intenso, sem práticas de manejo e ocupação urbana desordenada podem desencadear diferentes processos erosivos, como sulcos, ravinas e voçorocas, que por sua vez podem comprometer os recursos naturais como solo e água, e prejudicar a produção econômica e social (GOMES, 2002). Por conta disso, é importante entender as características do meio físico, tanto em relação a erosividade da chuva quanto em relação à erodibilidade do solo, bem como as mudanças do uso do solo.

O município de São Pedro (SP) foi escolhido por conta da alta incidência de processos erosivos e feições de grande porte, como voçorocas, em estado ativo e acelerado. Para Zuquette et al (2007), por se tratar de fenômenos difíceis de serem revertidos, é importante que sejam tomadas ações para que sejam evitados ou minimizados. Além disso, segundo Dantas-Ferreira (2004), a implantação de medidas de recuperação sem mão de obra especializada para concepção e execução dos projetos, favoreceu a reativação de alguns processos ao longo dos anos no município, gerando inúmeras consequências para o município, como o rompimento de estradas e vias públicas na área urbana.

Neste sentido, o presente trabalho realizou uma revisão bibliográfica sobre os processos erosivos e técnicas de recuperação na região de São Pedro. Foram analisados os seguintes trabalhos: Yamanouth (2003) que estudou os processos erosivos ocorrentes na Bacia do Córrego do Espreado; Gomes (2002) que elaborou a carta de suscetibilidade de erosão da Bacia do Ribeirão do Meio; Silva (2003) que analisou os fatores que influenciaram a ocorrência de processos erosivos na Bacia do Córrego do Tuncum; Rotta (2012) que investigou as técnicas de recuperação aplicadas no município de São Pedro, e Mathias (2011), que através dos cálculos de parâmetros hidrológicos e geomorfológicos

da Bacia do Córrego Tucunzinho, foi capaz de compreender os processos ocorrentes e propor medidas de recuperação.

O presente estudo se justifica pois tem como objetivo compreender os fatores condicionantes dos processos erosivos no município de São Pedro (SP), analisar a efetividade das técnicas de recuperação já aplicadas e quais serviriam como uma boa solução para contenção e recuperação dos processos. A correlação entre as características físico-ambientais das diferentes bacias é de suma importância para o desenvolvimento de planos de recuperação para o município.

2. OBJETIVOS

Compreender os fatores condicionantes que levaram a ocorrência de processos erosivos nas diferentes bacias do município de São Pedro (SP) com base nos trabalhos de Yamanouth (2003), Gomes (2002) e Silva (2003). Além disso, buscou-se analisar a efetividade das técnicas de recuperação já aplicadas com base no trabalho de Rotta (2012) e quais técnicas poderiam ser aplicadas para contenção dos processos, levando em consideração o trabalho de Mathias (2011).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Erosão

De acordo com Galetti (1979), a erosão pode ser definida como um processo de desagregação, transporte e deposição de partículas de solo ou rocha, podendo surgir nas camadas superficiais e mais profundas. Para Vilar e Prandi (1993), a erosão caracteriza-se como um processo em que os materiais da crosta terrestre são desagregados e transportados de um lugar para outro por meio da ação da chuva, mares, ventos, rios ou geleiras.

Segundo Guerra (1998), as etapas do processo erosivo consistem na remoção do material, seguida pelo seu transporte e deposição, a qual ocorre quando não existe mais energia para dar continuidade ao processo.

Vilar e Prandi (1993) explicam que a remoção acontece quando a gota da chuva cai sobre solo com energia suficiente para destacar e movimentar as partículas. O impacto da gota também pode provocar compactação e selamento do solo. Para Bertoni e Lombardi Neto (2008), as gotas de chuva contribuem para erosão da seguinte forma:

- a) Desprendem as partículas do solo onde há impacto;
- b) Transportam por salpicamento as partículas retiradas;
- c) Geram energia a água em forma de turbulência.

Zuquette (2015) afirma que a gota de chuva atinge a superfície do solo exposto, levando ao rompimento do solo agregado devido ao impacto, liberando partículas (Figura 1).

Figura 1 - Efeito da gota de chuva sobre o solo.



Fonte: Araújo (2011).

A água ao atingir o solo começa a infiltrar-se e, superada sua capacidade de infiltração, inicia-se o processo de escoamento superficial, afirmam Vilar e Prandi, (1993). Os autores também afirmam que as partículas do solo que foram desagregadas e transportadas, podem se depositar em outros locais gerando assoreamento de cursos d'água e reservatórios.

Conforme Almeida Filho (2000), a erosão é um processo natural no desenvolvimento de uma paisagem, sendo um fenômeno contínuo que modifica a forma do relevo após longos períodos. No entanto, quando há interferência antrópica, esse

processo pode ser acelerado, aumentando sua intensidade. Dessa forma, Salomão e Isawa (1995) dividem a erosão em dois tipos, erosão “natural” ou “geológica” na qual entende-se que este tipo de processo está inserido em uma dinâmica natural; e erosão “acelerada” ou “antrópica”, na qual ela ocorre em taxas superiores a formação da solo, sendo maiores que sua capacidade de resiliência.

Da mesma forma, Santoro (2009) define que a causa da erosão acelerada são as atividades antrópicas tais como desmatamento e atividades agrícolas, as quais fazem com que o solo fique desprotegido sem cobertura vegetal, fazendo com que a incidência direta da chuva sobre o solo acelere os processos erosivos.

De acordo com Zuquette (2015), os dois tipos de erosão que ocorrem em vertentes são as chamadas erosão intersulcos e erosão linear. O autor aponta que a erosão intersulcos é o estágio inicial do processo erosivo e acontece quando a ação do escoamento superficial não é tão acentuada. Já quando o processo se intensifica, ocorre a formação de fluxos em canal, os quais podem evoluir para feições de maior porte.

3.1.1. Erosão laminar (intersulcos)

A erosão laminar acontece devido a ação do escoamento difuso, que ocasiona uma remoção das partículas de solo de forma relativamente uniforme. De acordo com Guerra (1998), esse tipo de erosão está associado à ocorrência de chuvas prolongadas, que fazem com que a capacidade de infiltração do solo seja ultrapassada.

Zuquette (2015) aponta que a ideia de que a erosão ocorre de maneira uniforme em toda área é equivocada, pois esse conceito inibe a influência do impacto da gota de chuva e considera que o escoamento superficial ocorre em lâmina uniforme, o que não acontece de fato nas superfícies das vertentes.

Para o autor citado, o processo descrito acima denomina-se erosão intersulcos, o qual consiste no estágio inicial do processo erosivo, onde a ação do escoamento superficial não é tão acentuada. Nesse processo, o transporte de sedimentos se dá pela ação conjunta do salpicamento das partículas pelo impacto da gota e do escoamento superficial, já que as gotas de chuva conferem aumento da turbulência ao fluxo.

3.1.2. Erosão linear

A erosão linear ocorre quando há uma concentração do escoamento superficial, gerando incisões no solo de diferentes proporções, denominados sulcos, ravinas e voçorocas.

3.1.2.1. Sulcos

Zuquete (2015) define os sulcos como pequenos canais bem definidos resultantes do escoamento concentrado em vertentes. Considera-se que sua profundidade e largura não ultrapassem 50 centímetros, mas podem se estender em comprimento por dezenas de metros. Para Bertoni e Lombardi Neto (2008), os sulcos resultam de pequenas irregularidades no terreno, que fazem com que a água das enxurradas se concentre em alguns pontos, atingindo volume e velocidade para formar incisões mais ou menos profundas. A Figura 2 representa um exemplo de sulco localizado em São Pedro (SP).

Figura 2 - Sulcos localizados em São Pedro (SP).



Fonte: Araújo (2008).

3.1.2.2. Ravinas

Conforme Zuquette (2015), as ravinas são geradas pela ação do escoamento superficial concentrado, sendo um estágio mais avançado da erosão em sulcos e nunca apresentam conexão com a rede de drenagem. Elas possuem largura superior a 1 metro, profundidades superiores a 50 centímetros e menores que 1 metro.

Para Weill e Pires Neto (2007), a água escoada concentrada em canais bem definidos que apesar ainda serem bem pequenos, possuem um elevado grau de fluxo. Com a continuidade do processo, a evolução de ravinas prossegue com a formação de cabeceiras, coincidindo com um segundo pico na produção de sedimentos. Em um segundo momento, podem se desenvolver bifurcações nos pontos de ruptura. A Figura 3 apresenta um exemplo de ravina.

Figura 3 - Ravina localizada no município de São Pedro (SP).



Fonte: Araújo (2008).

3.1.2.3. Voçorocas

Zuquette (2015) afirma que a evolução das ravinas gera uma feição com alto nível de degradação ambiental, as boçorocas ou voçorocas, as quais atingem níveis freáticos, ocasionando o afloramento no fundo do canal. Como uma das consequências decorrentes da presença das voçorocas cita-se: perda de produtividade do solo, e destruição de estradas e construções

Este tipo de erosão surge devido a ação conjunta entre o escoamento superficial e subsuperficial, explicam Tominaga, Santoro e Amaral (2009). Da mesma forma, Salomão e Isawa (1995), afirmam que quando coexistem escoamento superficial e subsuperficial, as voçorocas podem evoluir para um processo de erosão interna ou tubular que originam o *piping*. Esse, por sua vez, ocasiona a remoção de partículas do interior do solo gerando colapsos. A Figura 4 ilustra um exemplo de voçoroca.

Figura 4 - Voçoroca localizada no município de São Pedro (SP).



Fonte: Araújo (2008).

3.1.3. Fatores condicionantes da erosão

Os fatores condicionantes da erosão podem ser divididos em dois grupos principais: fatores naturais e fatores antrópicos. Entre os fatores naturais, Giangiulio (2009) cita que a movimentação das partículas de solo é um processo influenciado pela chuva, cobertura vegetal, tipo de solo e topografia da região.

3.1.3.1. Chuva

De acordo com Zuquette (2015), a erosão hídrica pode surgir pela incidência das gotas de chuva no solo, e/ou devido a ação do escoamento superficial ao longo das vertentes. O impacto das gotas da chuva no solo é considerado como a primeira etapa da erosão hídrica, pois acontece quando a gota entra em contato com o solo exposto causando

o efeito “*splash*” e, conseqüentemente a desagregação das partículas. Aspectos como a declividade da encosta, seu formato e comprimento influenciam o processo de deslocamento e deposição das partículas do solo para outros locais.

O autor também explica que o processo de desagregação e transporte depende da duração e intensidade da chuva, pois quanto maior a intensidade da chuva maior será a intensidade do processo erosivo. Da mesma forma, Bertoni e Lombardi Neto (2008) consideram a intensidade como o fator mais importante na caracterização das taxas de perda de solo.

Rodrigues (1982) descreve o escoamento superficial como sendo a ocorrência de transporte de água na superfície do terreno, subdividindo-o em três tipos: escoamento em filetes; escoamento laminar e escoamento concentrado. O escoamento em filetes, acontece quando a parcela de água da chuva não infiltra no solo e se acumula em terrenos planos, tendendo a escoar pelas encostas; escoamento laminar, ocorre quando há um aumento na precipitação e transporte da carga sólida e o escoamento concentrado, acontece quando o fluxo de água se concentra em canais, aumentando a capacidade de transporte de materiais.

Segundo Giangiulio (2000), o índice que demonstra a capacidade que a chuva tem de gerar a erosão é chamado de erosividade, sendo um parâmetro muito relevante para avaliação das perdas do solo.

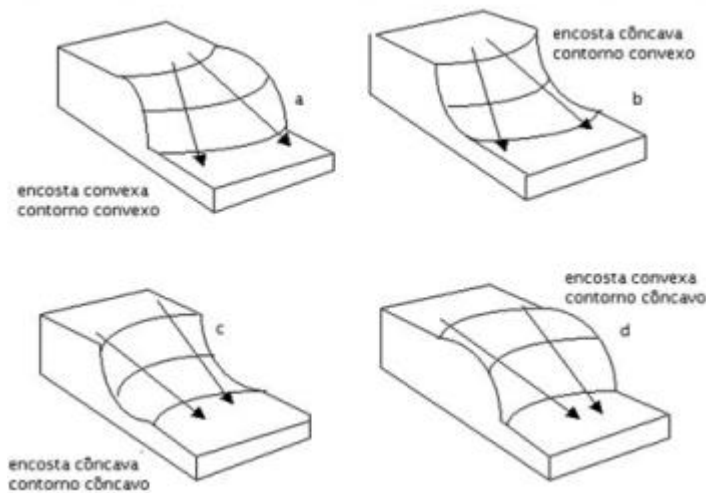
3.1.3.2. *Relevo*

Vilar e Prandi (1993) citam que entre os fatores topográficos, os mais importantes são a declividade, o comprimento e o formato da encosta.

Bertoni e Lombardi Neto (2008) afirmam que o comprimento de rampa é o fator que influencia diretamente na velocidade e volume do escoamento superficial, o que pode levar a uma maior ou menor ocorrência de processos erosivos.

Weill e Pires Neto (2007) sinalizam que com relação à forma da encosta, as vertentes podem ter a forma convexa, côncava ou retilínea. Essas formas definem o tipo de escoamento superficial, sendo as encostas convexas distribuidoras de água e as côncavas, coletoras de água (Figura 5). As formas côncavas, justamente por concentrarem um maior fluxo de água, são os locais onde mais ocorrem a formação de voçorocas.

Figura 5 - Formas das encostas.



Fonte: Weill e Pires Neto (2007).

3.1.3.3. Cobertura vegetal

A presença de cobertura vegetal é a principal proteção do solo contra a ocorrência da erosão. De acordo com Sena (2008), a presença de vegetação favorece a infiltração e evapotranspiração, reduzindo a velocidade do escoamento superficial e consequentemente, a erosividade. Para Bertoni e Lombardi Neto (2008) a cobertura vegetal é a proteção direta do solo contra o impacto das gotas de chuva. Os autores explicam que quando a gota cai sob um solo coberto com densa vegetação, subdivide-se em infinitas gotículas, o que diminui a força de impacto. Já em um terreno com solo exposto, esta força faz com que ocorra o desprendimento das partículas de solo, as quais são facilmente transportadas pela água.

Além disso, segundo Guerra (1998) a cobertura vegetal também atua na produção direta de matéria orgânica, que, consequentemente, atua na agregação das partículas do solo. Além disso, as raízes podem ramificar-se no solo e contribuir para a formação de agregados, e aumentam a capacidade de infiltração da água no solo.

3.1.3.4. Solo

De acordo com Salomão e Isawa (1995), as propriedades físicas do solo que podem influenciar ou não na ocorrência da erosão são textura, estrutura, permeabilidade e

densidade. Além dessas, também é possível citar as características químicas, mineralógicas e biológicas.

A textura representa o tamanho das partículas e é responsável pela capacidade do solo de absorção de água da chuva. Infanti e Fornasari Filho (1998) afirmam que solos arenosos são porosos, gerando uma maior infiltração de água no solo e dificultando o escoamento superficial. No entanto, por possuírem poucas partículas argilosas, apresentam maior probabilidade à formação de erosão.

Salomão e Isawa (1995) definem a estrutura como a forma que as partículas se arranjam no solo, os autores afirmam que ela impacta diretamente na capacidade de infiltração e absorção de água no solo, e na capacidade de arraste de partículas pela ação da água da chuva.

Lal (1990) define que solos com permeabilidade muito baixa ou moderada geram um maior escoamento superficial.

Para Bitar (1995), a densidade do solo é uma propriedade inversamente proporcional à permeabilidade do solo. O aumento da densidade resulta na redução dos macroporos e, conseqüentemente, gera um aumento na compactação dos solos e no escoamento superficial. O autor também afirma que as propriedades químicas, biológicas e mineralógicas do solo estão relacionadas com o estado de agregação do solo, fazendo com que ele seja mais ou menos resistente à erosão.

Salomão e Isawa (1995) determinam que a presença de matéria orgânica no solo favorece a agregação das partículas e influencia na coesão do solo, além de o tornar mais estável na presença de água, aumentando sua capacidade de infiltração.

Segundo Weill e Pires Neto (2007), a espessura dos solos é uma propriedade que interfere nos processos erosivos de forma que os solos mais rasos são saturados mais rapidamente, o que favorece a ocorrência de enxurradas e, conseqüentemente, obtendo um maior escoamento superficial. Solos mais profundos permitem maior taxa de infiltração de água no solo, porém podem apresentar afloramento do lençol freático e dificuldade das raízes se fixarem no solo.

Existe ainda um parâmetro relevante para avaliação das erosões, denominado erodibilidade. Villar e Prandi (1993) afirmam que “a erodibilidade é a aptidão de um determinado solo para resistir aos esforços devidos aos agentes erosivos”.

3.1.3.5. *Ação antrópica*

Segundo Sena (2008), a ação antrópica é o principal desencadeador do processo erosivo acelerado, em área urbana ou rural. As atividades humanas geram interferências, as quais se refletem em desequilíbrios nos processos naturais, potencializando os processos já existentes ou ocasionando o início de novas feições

O autor afirma também que as ações que podem contribuir para a ocorrência da erosão são: construção de barragens; modificações no solo e no aterro através de obras de corte e aterro; alterações na cobertura vegetal por conta do desmatamento, entre outras.

Para Fendrich et al. (1997) as principais agressões ao meio que o homem pode gerar são:

- Retirada da cobertura vegetal;
- Agricultura sem uso de práticas conservacionistas;
- Pastos com elevado número de animais;
- Abertura de valetas que são perpendiculares às curvas de nível;
- Abertura de estradas sem as obras de drenagem necessárias;
- Execução de loteamentos sem medidas estruturais adequadas.

3.2. *Degradação ambiental e processos erosivos*

A degradação ambiental pode ser definida de acordo com o Decreto Federal nº 97.632/1989 como “os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais.”

Pejon, Rodrigues e Zuquette (2013) elencam que o processo de degradação ambiental ocorre quando um ou mais componentes do meio ambiente afetados por alterações antrópicas ultrapassam a capacidade de resiliência. Assim, gerando redução da capacidade produtiva por conta da perda de funções ambientais da área, perda de elementos do meio, alteração da paisagem natural e riscos à saúde e à segurança das pessoas.

Os autores sinalizam que as causas das degradações podem ser desastres naturais, problemas econômicos e sociais, agricultura feita de maneira incorreta, mudanças populacionais, entre outros. As áreas degradadas podem surgir também por conta de processos naturais acelerados ou induzidos. As perdas pela degradação ambiental ocorrem em cadeia de maneira que um fator sempre interfere em outro, gerando um conjunto de alterações que modificam os componentes ambientais. Como exemplo disso, o esquema observado na Figura 6 demonstra os efeitos dos processos erosivos interligados com os efeitos da degradação ambiental.

Figura 6 - Degradações geradas por processos erosivos.



Fonte: Pejon, Rodrigues e Zuquette (2013).

3.3. Recuperação ambiental

De acordo com Pejon, Rodrigues e Zuquette (2013), a recuperação de áreas degradadas pode ser definida como uma reconstituição no equilíbrio de processos físicos, químicos ou biológicos, possibilitando uma nova utilização para a área previamente degradada, a partir da eliminação ou interrupção dos elementos que levaram a sua degradação. Também segundo os autores, a estabilidade do meio ambiente é dada através da aplicação de técnicas visando o equilíbrio físico e/ou químico do meio degradado. Dessa forma, existem três níveis de recuperação: a restauração, reabilitação e remediação.

3.3.1. Restauração

Segundo Sánchez (2008), a restauração é definida como a volta de um ambiente previamente degradado às suas condições originais. Da mesma forma, a Lei Federal nº 99.885/2000 discorre que a restauração se trata do regresso de um ecossistema ou de uma população silvestre às condições mais próximas do meio antes da degradação. Portanto, entende-se que a restauração está associada a uma tentativa de restaurar as condições encontradas no meio ambiente antes das atividades que causaram a degradação dele.

3.3.2. Reabilitação

Segundo Bitar (1995), o termo reabilitação está associado ao reaproveitamento da área degradada para determinado uso de solo, ou seja, reutilizar a área degradada para outra finalidade. Sendo assim, Pejon, Rodrigues e Zuquette (2013), definem que a reabilitação está ligada a um uso futuro da área de acordo com um projeto prévio, sendo que o novo uso pode ter características distintas do uso anterior (pré-degradação).

3.3.3. Remediação

De acordo com Pejon, Rodrigues e Zuquette (2013), a remediação consiste na “eliminação ou minimização da concentração de elementos contaminantes/poluentes”, garantindo uma nova utilização para a área degradada. Segundo a CETESB (2001), a aplicação de técnicas em uma área contaminada busca a remoção ou contenção dos contaminantes, assegurando uma nova utilização para área onde os limites de riscos são aceitáveis.

3.3.4. Técnicas de recuperação

Segundo Pejon, Rodrigues e Zuquette (2013), para a recuperação de áreas degradadas por processos erosivos é imprescindível que seja feito um estudo geológico técnico previamente, envolvendo análises mineralógicas, granulométricas, grau de erodibilidade, determinação de porosidade e permeabilidade, entre outros aspectos. As medidas de recuperação para esse tipo de degradação envolvem medidas ecológicas, agrícolas, mecânicas, estruturais e de bioengenharia, e se diferem de acordo o objetivo (recuperação, mitigação e prevenção), como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Medidas para recuperação, controle ou prevenção de áreas degradadas por processos erosivos.

Técnicas para áreas degradadas por processos erosivos		Objetivo das medidas		
Caráter da medida	Medidas	R	M	P
Ecológico	Revegetação	X	X	X
	Faixa ripária	X	X	X
	Zonas de <i>buffer</i>	X	X	X
	Barreira de galhos (<i>brush barrier</i>)	X	X	X
Agrícola	Plantas de cobertura		X	X
	Culturas em faixa	X	X	X
	Cordões de vegetação permanente		X	X
	Faixas de bordadura			X
	Alternância de capinas			X
	Ceifa do mato		X	X
	Cobertura morta	X		X
	Controle do fogo			X
	Adubação (verde, química e orgânica)		X	X
	Plantio direto		X	X
	Rotação de culturas		X	X
	Calagem		X	X
Mecânico	Plantio em contorno	X	X	X
	Terraceamento	X	X	X
	Sulcos e camalhões em contorno	X		X
	Canais escoadouros	X	X	X
	Baragens	X	X	X
	Adequação e conservação de estradas vicinais e carreadores	X	X	X
	Caixas de sedimentação	X		
	Aterramento	X	X	
	<i>Rip rap</i>	X	X	
	Muro de contenção		X	X
	Dique de proteção		X	X

	Cordões ou curva de nível		X	X
Estrutural Obras de microdrenagem	Meio-fios/Guias	X	X	X
	Sarjetas	X	X	X
	Bocas de lobo/Bocas coletoras	X	X	X
	Galerias	X	X	X
	Poços de visita	X	X	X
	Tubos de ligações	X	X	X
	Caixas de ligação	X		
Estrutural Obras de macrodrenagem	Canais naturais ou artificiais	X	X	X
	Dissipadores de energia	X	X	X
	Ressalto hidráulico: canais abertos	X	X	
	Barragens	X	X	
	Vertedores: queda, calha e degrau “cacimbo”	X	X	
	Bacia de acumulação	X	X	
	Bacia dissipadora	X	X	
	Proteção de taludes	X	X	
	Aterramento	X	X	X
	Obras de pavimentação	X		
Drenos			X	
Bioengenharia	Gabião vegetado	X	X	X
	Geogrelha vegetada	X	X	X
	Manta de gramíneas	X	X	X
	Sistemas de celas de confinamento	X	X	X
	Tapete biodegradável		X	X

Fonte: Adaptado de Rotta & Zuquette (2012).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1.1. Métodos

Diversos estudos foram realizados na área de São Pedro devido à grande presença de processos erosivos. Os trabalhos que serão abordados encontram-se na Tabela 2 e

foram escolhidos com o objetivo de realizar uma correlação das características físico-ambientais nas diferentes bacias. Acredita-se que os trabalhos escolhidos são estudos-chave na obtenção dos objetivos da presente pesquisa.

A análise foi feita de acordo com sua localização, ou seja, em relação a bacia hidrográfica que pertencem. Em cada trabalho, foram analisadas as principais causas que condicionaram os processos erosivos, como atributos do meio físico e antrópico. Alguns destes trabalhos propuseram técnicas de recuperação para os processos erosivos ou analisaram a eficiência das técnicas de recuperação aplicadas na área.

Tabela 2 - Trabalhos desenvolvidos em São Pedro (SP).

Autor	Tipo	Título	Ano
Yamanouth	Mestrado	Avaliação dos processos erosivos e das técnicas de controle e reabilitação – Bacia do Córrego do Espraiado (São Pedro - SP)	2003
Gomes	Mestrado	Mapeamento geotécnico para análise de feições erosivas concentradas na bacia do Ribeirão do Meio, São Pedro/SP, na escala 1:20.000.	2002
Silva	Mestrado	Mapeamento geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do Córrego do Tuncum, São Pedro-SP, escala 1:10.000	2003
Rotta	Mestrado	Estudo da recuperação de áreas degradadas por processos erosivos: Procedimentos e eficiência dos métodos	2012
Mathias	Mestrado	Propostas de recuperação de áreas peri-urbanas erodidas com base em parâmetros hidrológicos e geomorfológicos: Córrego Tucunzinho (São Pedro/SP)	2011

Fonte: O autor (2020).

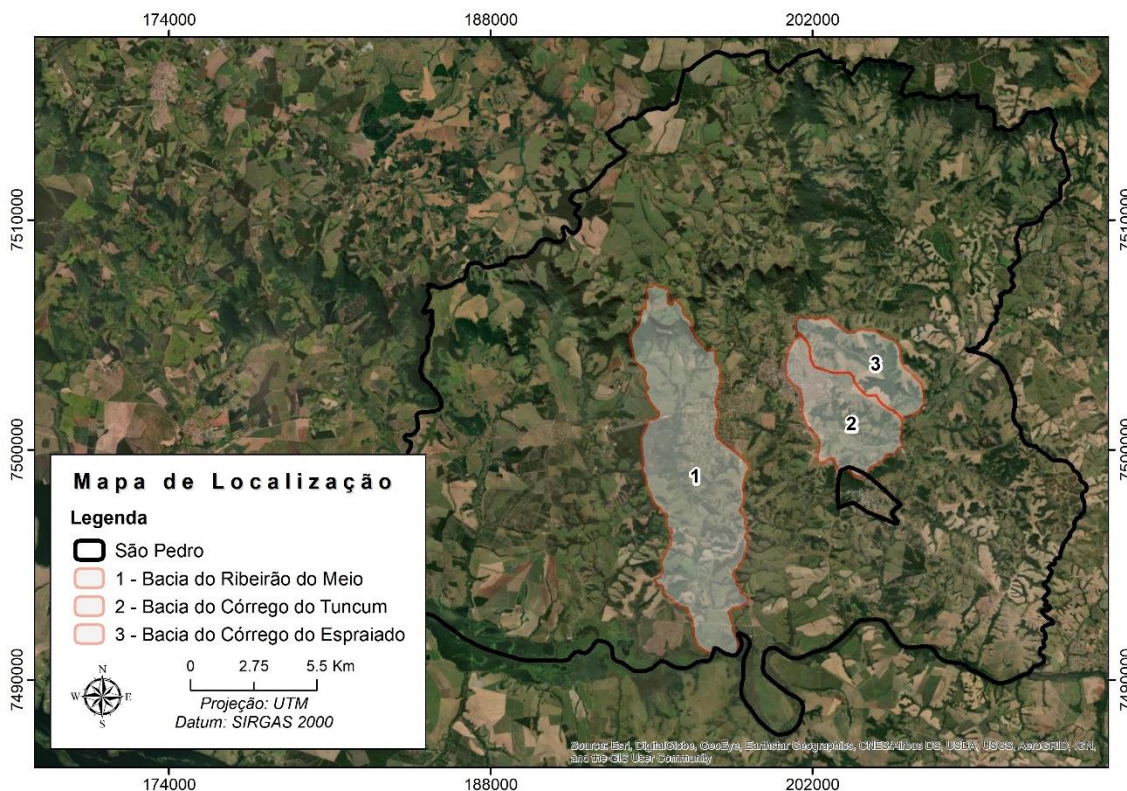
Neste contexto, os trabalhos desenvolvidos na região foram analisados quanto aos fatores condicionantes dos processos erosivos e técnicas de recuperação. A partir da análise desenvolvida, realizou-se uma síntese dos principais atributos que desencadearam as erosões em diferentes bacias hidrográficas, o que possibilitou uma visão global sobre a dinâmica dos processos erosivos no município de São Pedro (SP). Em relação as técnicas de recuperação, buscou-se analisar o sucesso e adequabilidade daquelas que foram implementadas, bem como as medidas de controle e recuperação que poderão ser adotadas no município para conter o avanço das erosões ativas.

4.1.2. Caracterização geral da área de estudo

De acordo com o IBGE (2020), a população estimada de São Pedro é de 35.980 habitantes, com densidade demográfica de 51,98 hab/km². O município ocupa uma área de 611,28 km², possui Índice de Desenvolvimento Humano (IDHM) de 0,755 e PIB per capita de 21.245,90 reais.

Sua localização dista aproximadamente 190 km de São Paulo, sendo suas principais vias de acesso: Rodovia Anhanguera, SP-330; Rodovia dos Bandeirantes, SP-348 e Rodovia Presidente Castelo Branco, SP-280. Os municípios limítrofes são ao norte Itirapina e Torrinha; ao leste Charqueada; a oeste Santa Maria da Guerra e ao sul, Piracicaba. As bacias do Córrego do Ribeirão do Meio, Espraiado e Tuncum possuem 48,06 km², 11,97 km² e 13,5 km², respectivamente. As localizações das três bacias dentro do município são indicadas na Figura 7.

Figura 7 - Localizações das bacias do Córrego do Ribeirão do Meio, Espraiado e Tuncum dentro do município de São Pedro (SP).



Fonte: O autor (2020).

Com relação aos dados climáticos da região, de acordo com o a classificação de Köppen, o município apresenta pertence à classe Aw e apresenta clima tropical chuvoso com estação seca de inverno. Segundo o CAPAGRI (2018), (CEPAGRI) (2018), a temperatura mínima média é de 11°C, a máxima média é de 30,4°C e a temperatura média anual gira em torno de 21,9°C. A cidade possui precipitação anual de 1307,5 mm.

Sobre a vegetação do município, o bioma predominante é o Cerrado, que representa uma formação vegetal do tipo savana tropical (IBGE, 2004). Além disso, segundo o PMSB (2013), o município possui apenas 6,9% de vegetação natural remanescente e os principais tipos de vegetação encontrados são: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional em áreas de de Floresta Estacional, cada uma com suas respectivas formações de vegetação secundária.

5. ESTUDOS REALIZADOS NO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO (SP)

5.1. Processos erosivos na Bacia do Córrego do Espraiado (YAMANOUTH, 2003)

O trabalho de Yamanouth (2003) permitiu a caracterização e identificação dos aspectos de terreno da bacia; materiais inconsolidados; uso e ocupação do solo; evolução espacial e temporal das feições erosivas a partir de fotografias áreas de 1972, 1978, 1995 (1: 10.000). Também foi realizado a caracterização das feições de 2002 através de trabalhos em campo, na qual foram avaliadas as técnicas de controle e reabilitação já empregadas na área.

5.1.1. Elementos de terreno

Foi realizada a identificação dos elementos de acordo com a sistemática proposta por Lollo (1996 apud YAMANOUTH, 2003), a qual tem como base a aplicação de uma técnica que subdivide o terreno em unidades, de acordo com a uniformidade de feições encontradas nesse terreno. A divisão da área foi feita em níveis hierárquicos, sendo eles: sistema de terreno, unidade de terreno e elemento de terreno.

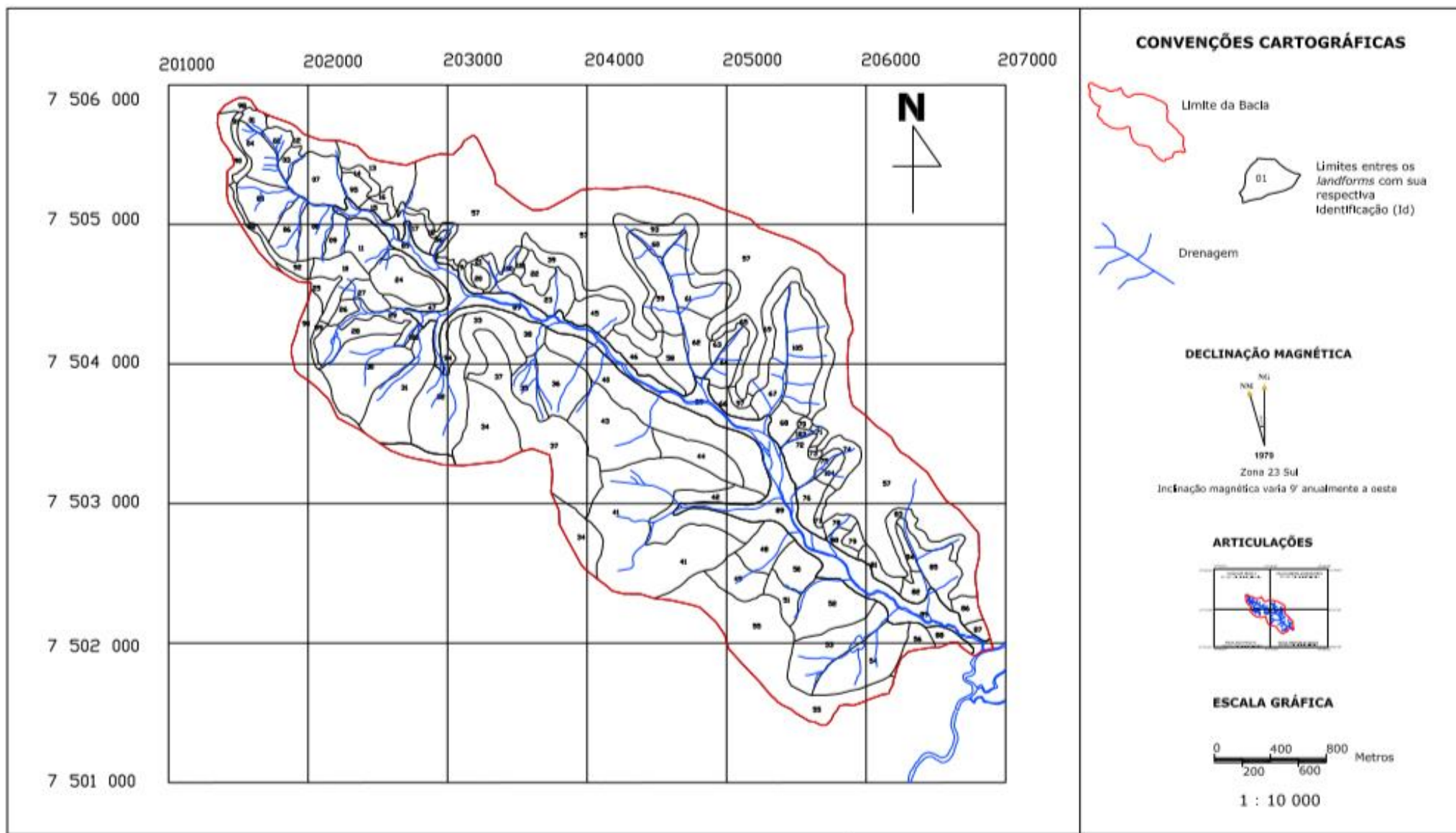
No estudo, foi utilizado apenas o nível de terreno chamado elemento de terreno por conta de a escala do trabalho ser 1: 10.000 e devido ao nível de detalhe necessário para um estudo criterioso sobre os processos erosivos da área.

Os elementos caracterizados foram planície aluvionar, plator, formas de encosta e escarpas. As escarpas foram caracterizadas quanto a frequência de sulcos e sua localização topográfica. Já as encostas foram classificadas de acordo com sua seção (longitudinal e transversal), tipo (convergente ou divergente), frequência de canais e declividade. Dessa forma, os resultados dos elementos de terreno observados pela autora encontram-se na Tabela que consta no anexo A.

As áreas mais críticas constatadas pela autora são as encostas retilíneas íngremes côncavas convergentes, nos pontos 30, 31, 32 e 41. Nos pontos 32 e 41 percebe-se a presença de voçorocas com maiores profundidades por conta de as declividades predominantes serem de 50%. O fato de a declividade ser alta, das encostas serem convergentes e do comprimento de encosta ser maior contribuem para que o escoamento superficial se concentre em uma mesma direção, atingindo velocidade e ocasionando a formação de feições erosivas.

Também foram consideradas áreas críticas pontos localizados na cabeceira do córrego, são eles: 01, 02 e 04 (encostas retilíneas íngremes retilíneas); 05, 06 e 09 (encostas côncavas, côncavas); 38 (retilínea côncava) e 29 (retilínea íngreme). O mapa com a identificação dos elementos de terreno encontra-se na Figura 8.

Figura 8 - Mapa de elementos de terreno da Bacia do Córrego do Espriado.



Fonte: Yamanouth (2003).

5.1.2. *Uso e ocupação do solo*

As diversas formas de uso e ocupação do solo identificadas no estudo foram delimitadas através de fotografias aéreas dos anos de 1972, 1978, 1995 e 2000. Foram combinados os tipos de uso e ocupação com cada elemento de terreno identificado no mapa de *landforms*. As principais formas encontradas, de acordo com a classificação de Almeida & Freitas (1996 apud YAMANOUTH, 2003), foram:

- Cobertura vegetal natural;
- Reflorestamento;
- Campo antrópico/pastagem;
- Áreas agrícolas;
- Área urbana em consolidação;
- Área urbana parcelada;
- Mineração;
- Sistema viário.

Yamanouth (2003) comparou as fotografias aéreas de 1972 com 1978 e concluiu que não houve muitas alterações no uso e ocupação entre os dois períodos analisados. A expansão urbana ocorria de forma lenta e as principais formas de uso eram de áreas agrícolas, campos antrópico/pastagem e cobertura vegetal natural. Um ponto de mudança foi a presença de portos de extração de areia em 1978, tanto na margem do córrego Espriado quanto em seu leito.

Já comparando as fotografias do ano de 1995 e 2000 com as fotografias dos anos de 1972 e 1978, é possível observar um aumento da expansão urbana principalmente do lado direito do córrego.

Os elementos de terreno que mais sofreram alteração foram as encostas retilíneas íngreme côncava (30 e 31), encosta retilínea côncava (28) e encosta convexa (24), pois nessas áreas aconteceram o aterramento das feições e canalização da drenagem para construção dos loteamentos. Além disso, também ocorreram alterações na configuração do relevo para construção de áreas residenciais nos elementos 32 e 90. As principais alterações de expansão urbana são percebidas comparando as fotografias de 1995 e 2000 (Figuras 9 e 10).

Figura 9 - Fotografia aérea de 1995 que demonstra os principais tipos de uso e ocupação do solo. Escala 1:25.000.



Fonte: Yamanouth (2003).

Figura 10 - Fotografia aérea de 2000 que demonstra os principais tipos de uso e ocupação do solo. Escala: 1:30.000.



Fonte: Yamanouth (2003).

5.1.3. Materiais inconsolidados

Yamanouth classificou os materiais inconsolidados em 21 unidades, conforme demonstrado na Tabela 3, onde também é possível a observação da área que cada unidade ocupa. Os materiais residuais foram divididos em: solo residual (*Rs01 a Rs06*), solo saprolítico (*Rsp01*), rocha muito alterada (*Ram01 a Ram03*) e rocha pouco alterada (*Rap01*). Foram caracterizados também os materiais retrabalhados (*Rt01 a Rt08*), os aluvionares (*Al*) e os materiais de aterro utilizados na reabilitação da área Ar Rb 3-3.

Tabela 3 - Unidades de materiais inconsolidados e suas respectivas áreas.

Unidades	Área (m²)	Área (%)
Rs01	45808,98	0,37
Rs02 + Rt02	1969437,32	15,82
Rs03 + Ram03 + Rsp01	730625,49	5,87
Rs04 + Rt07	655131,35	5,26
Rs04	69858,28	0,56
Rs05 + Rt04	343403,29	2,76
Ram02	545588,54	4,38
Rt03 + Ram03	278247,38	2,23
Rap01 + Ram01	151861,59	1,22
Rap02	274311,16	2,20
Rsa	4157372,38	33,39
Rt01	453644,07	3,64
Rt05	1431152,63	11,50
Rt06	228227,62	1,83
Rt08	168524,35	1,35
Al	946979,22	7,61
Total	12450173,66	100,00

Fonte: Yamanouth (2003).

O substrato rochoso da Bacia do Espriado é constituído por rochas associadas a Formação Pirambóia, que possui arenitos de granulação média a fina, de cores vermelha, branca e amarela. As principais estruturas encontradas são estratificações cruzadas de pequeno a médio porte e estratificações plano paralelas.

A unidade *Rs02* é formada por material arenoso de granulação fina a média e apresenta espessura de aproximadamente 3 metros. Em termos de erodibilidade, o material é considerado erodível. Já a unidade *Rt02* é constituída de material arenoso, com areia fina a média e presença de até 15% de argila. A espessura varia de 0,5 a 2 metros e em relação à erodibilidade, duas amostras apresentaram solo erodível enquanto uma não. As duas amostras que apresentaram o solo como sendo de baixa resistência a erosão condizem mais com a realidade, considerando que na área há a presença de feições erosivas.

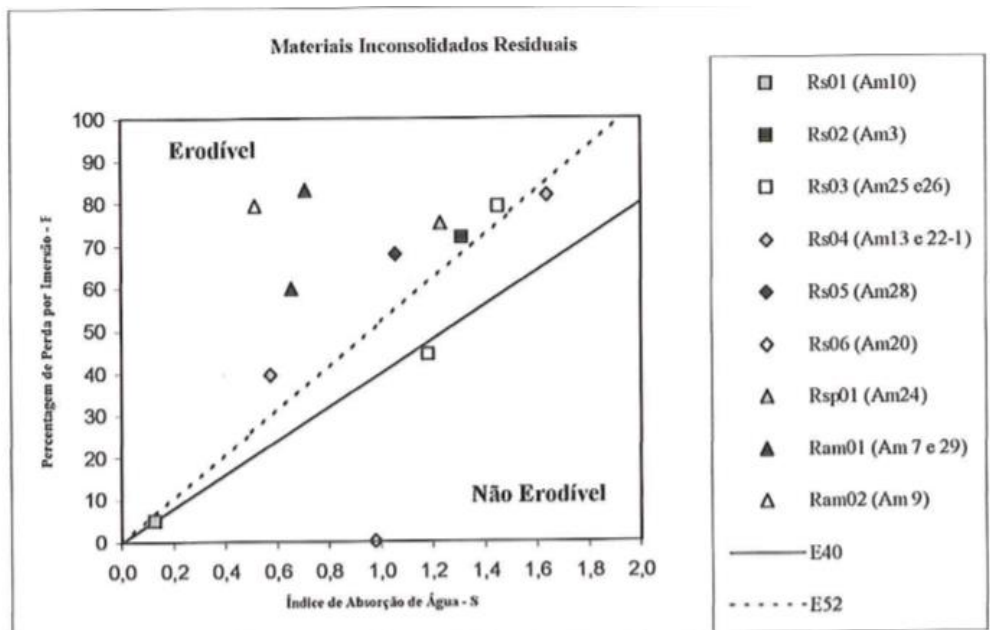
A unidade *Rt05* é formada também por material arenoso, com presença de argila variando de 11,7% até 15% e possui espessura de 1 a 5 metros. Essa unidade também pode ser considerada como solo arenoso de baixa resistência a erosão.

A partir dos ensaios de erodibilidade de absorção de água e perda de massa por imersão, a autora elaborou um diagrama de índice de absorção de água (S) pela porcentagem de perda de massa por imersão (P), demonstrado na Figura 11. O diagrama também demonstra as amostras que foram utilizadas em cada unidade. É possível notar que a maior parte das unidades possuem solos erodíveis, com exceção das unidades *Rs01*, *Rs06* e uma amostra de *Rs03* (amostra 25).

As retas E40 e E52 representam o cálculo de índice de erodibilidade pelas propostas de Nogami & Villibor (1979) e Pejon (1992). As equações utilizadas foram:

- $E = 52S/P$ (Nogami & Villibor, 1979)
- $E = 40S/P$ (Pejon, 1992)

Figura 11 - Diagrama de materiais inconsolidados residuais.



Fonte: Yamanouth (2003).

Com relação aos materiais retrabalhados, a autora elaborou o mesmo diagrama de porcentagem de perda por imersão (P) versus índice de absorção de água (S) (Figura 12). Nele, é possível observar que houve amostras das unidades *Rt02*, *Rt03*, *Rt04* e *Rt07* que se enquadram como solo não erodível, possuindo índice de erodibilidade menor que 1.

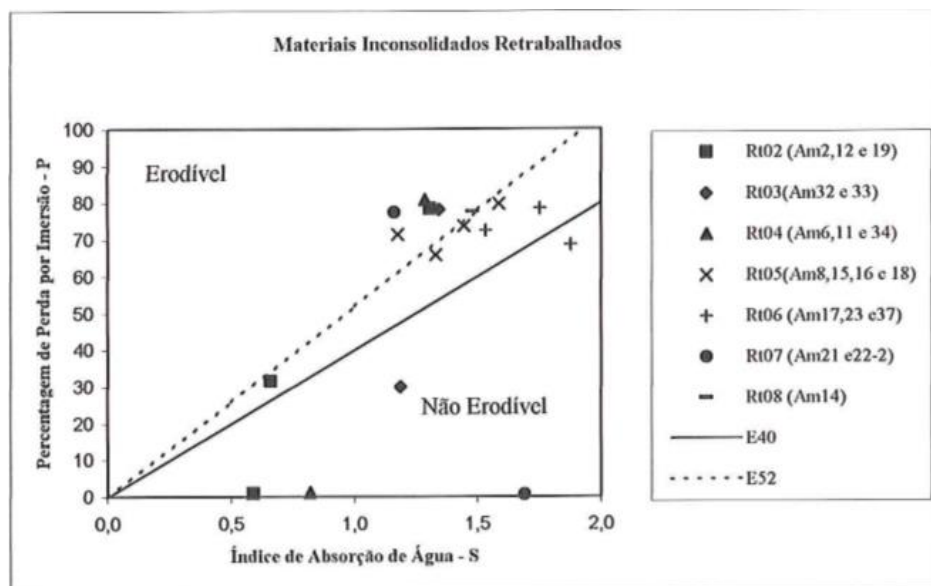
Com relação à unidade *Rt02*, é a que possui maior extensão territorial dentro da bacia, ocupando 15,82% de sua área. Apesar de uma amostra (Am 2) ter resultado em índice de erodibilidade maior que 1, Yamanouth (2003) afirma que esse valor é contraditório às condições encontradas em campo, considerando que a amostragem foi realizada dentro de uma feição erosiva, além de existirem outras feições em seu entorno. Esse resultado também se opõe aos valores encontrados nas outras duas amostras (Am 12 e Am 19).

Na unidade *Rt03*, a Am 33 apresentou índice de erodibilidade maior que 1, o que não condiz com as observações feitas em campo, considerando que o solo é arenoso com baixa resistência à erosão. Esse resultado se deu provavelmente pela amostragem ter sido feita no talude da feição erosiva que mais estava exposta à luz do sol.

As unidades *Rt04* e *Rt07* apresentaram o mesmo problema descrito anteriormente com a unidade *Rt03*, o índice de erodibilidade não foi condizente nas amostras 6 e 34 para

Rt04 e na amostra 22-2 para Rt07. Estas duas unidades apresentem feições erosivas de pequeno porte (sulcos e pequenas ravinas).

Figura 12 - Diagrama de materiais inconsolidados retrabalhados.



Fonte: Yamanouth (2003).

Com relação aos materiais inconsolidados utilizados para aterramento de feições erosivas, foram realizados dois pontos de amostragem (Am 4 e Am 5) a fim de caracterizar esses tipos de material. Um ponto relevante foi que a amostra 4 apresentou índice erodibilidade menor que 1, o que indica que o material possui baixa resistência à erosão.

5.1.4. Áreas reabilitadas

Com relação às áreas reabilitadas, a autora mapeou as doze áreas que tiveram aplicação de técnicas de recuperação (Figura 13). Entre as áreas recuperadas, destacam-se as áreas Rb3-3; Rb 5-2; Rb 5-6, que possuem maior extensão.

A área Ar Rb 3-3 é a maior área reabilitada em termos de extensão, com área de 345.356,11 m². Ela foi reabilitada através do terraceamento do tipo *Nichols* e canalização da drenagem subsuperficial por drenos, com o objetivo de construir lotes residenciais.

A área Ar Rb 5-2 encontra-se em uma fazenda de plantação de eucaliptos e pinhos. A técnica aplicada na área foi o terraceamento do tipo *Nichols*, plantação de eucaliptos e

pinhos em curvas de nível, alteração nas estradas vicinais e aterro nas feições erosivas de pequeno e médio porte.

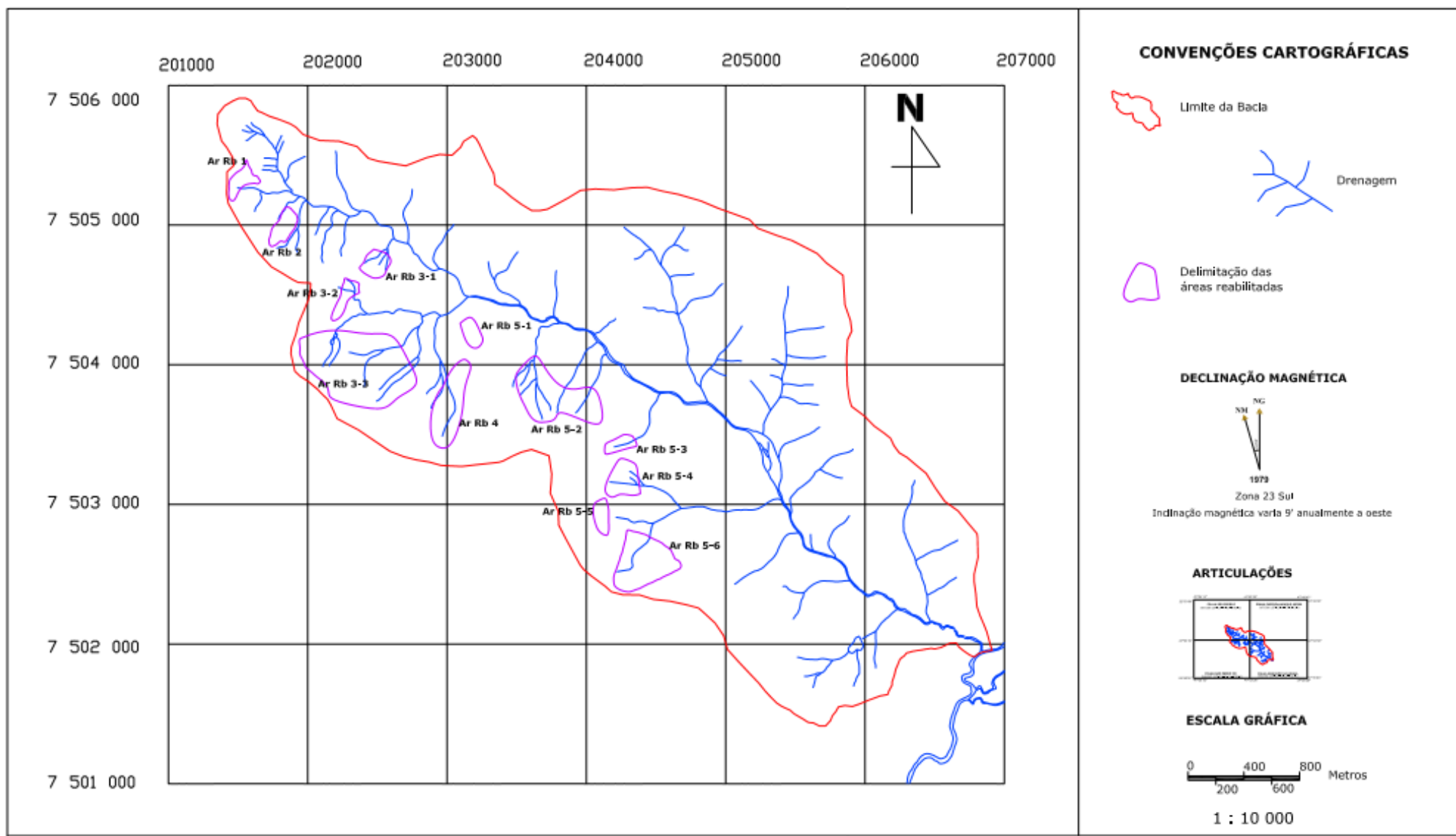
Por último, na área Ar Rb 5-6 foi feita a canalização superficial da drenagem e o aterramento das feições erosivas.

Com relação à análise das técnicas de recuperação aplicadas nas áreas, Yamanouth (2003) aponta que as técnicas das áreas Ar Rb 3-1, Ar Rb 3-2 e Ar Rb 3-3 foram eficientes, considerando que entre 1995 e 2000 não surgiram novas feições. Lembrando que na área Ar Rb 3-3 houve implantação do terraceamento do tipo *Nichols* nas áreas adjacentes as drenagens, tornando-as áreas de preservação permanente (APP). Também houve canalização da drenagem subsuperficial através de drenos.

Na área Ar Rb 4 houve a canalização da drenagem superficial e águas residuais, através de tubos de concreto e caixas adutoras. O objetivo da reabilitação nessa área foi a construção e loteamentos residenciais. Em 1995 iniciaram-se as obras e em 2000 a recuperação da área já estava concluída, no entanto, não houve nenhum tipo de manutenção nas obras realizadas nas feições e nos loteamentos, ocorrendo a reativação dos processos erosivos.

Na área Ar Rb 5-2, onde houve o terraceamento do tipo *Nichols* e plantação de pinhos e plantação de pinhos em curva de nível sobre os terraços, surgiram novos processos erosivos devido ao espaçamento entre os terraços estar exposto a ação da chuva, o que fez com que o solo se acumulasse atrás do terraço consecutivo (Figura 14).

Figura 13 - Mapa de áreas reabilitadas da Bacia do Córrego do Espreado.



Fonte: Yamanouth (2003).

Figura 14 - Fotografia aérea de 2000 evidenciando novos processos erosivos.



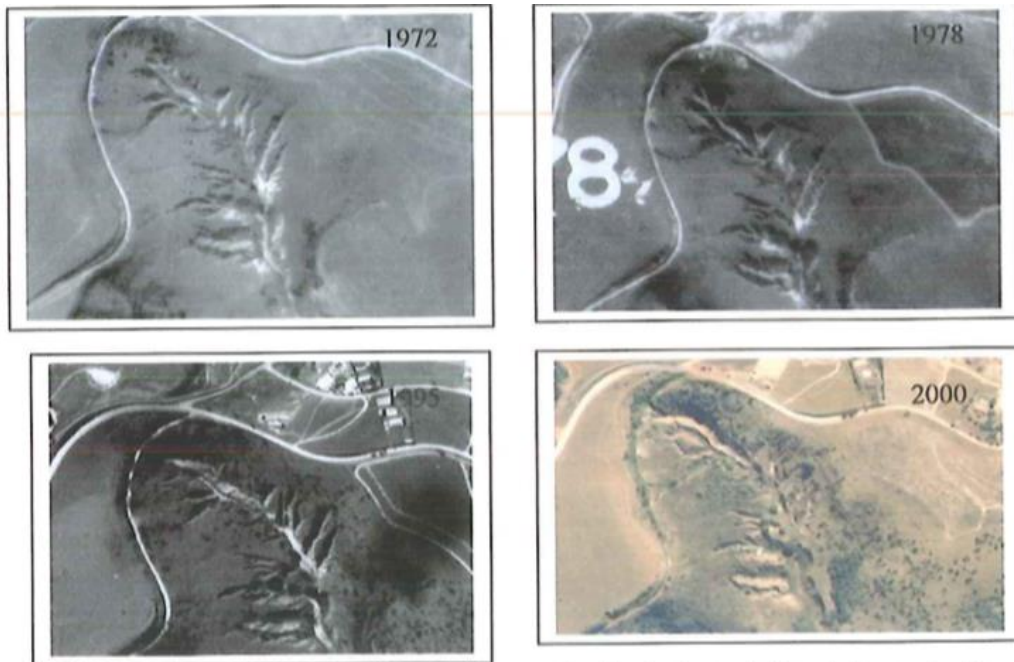
Fonte: Yamanouth (2003).

5.1.5. Análise dos processos erosivos identificados

Yamanouth (2003) aponta que a região de São Pedro apresenta clima sub-tropical com chuvas durante o verão. Nesse período, ocorrem chuvas torrenciais ou chuvas intensas de curta duração, que condiciona a erosividade da chuva, em altos níveis. Essa erosividade combinada a erodibilidade do solo, juntamente dos elementos de terreno e formas de uso e ocupação do solo são os principais fatores responsáveis pelo desencadeamento de feições na bacia do córrego do Espriado. Através do cadastramento de feições, a autora atribuiu que em 1972 existiam 17 voçorocas na bacia, enquanto em 2002 foram observadas 30, além de mais 5 áreas que contam com a presença de voçorocas e ravinas.

Na cabeceira da voçoroca ocorrem processos erosivos do tipo voçoroca, devido à combinação relevo e caracterização do solo. As encostas são retilíneas íngremes retilíneas com declividade de 50% e o solo é pouco espesso, o que gera uma maior saturação e, portanto, maior escoamento superficial. A evolução das feições na cabeceira do córrego pode ser observada na Figura 15.

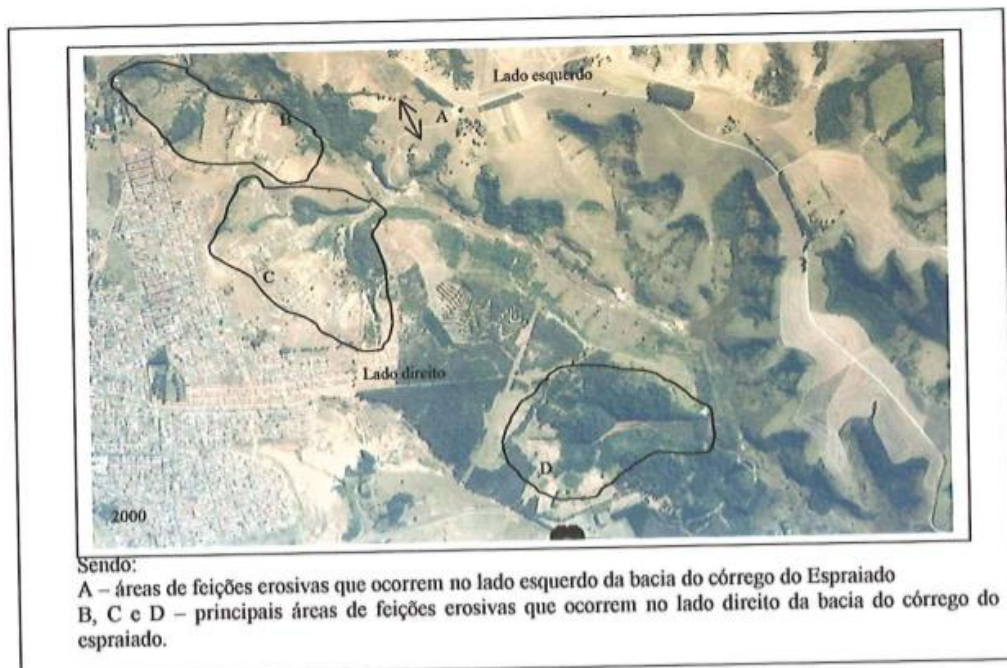
Figura 15 - Evolução das feições erosivas na cabeceira do córrego do Espriado (fotografias áreas de 1972, 1978, 1995 e 2000).



Fonte: Yamanouth (2003).

Os lados leste e oeste do córrego também apresentaram uma evolução na ocorrência de processos erosivos, quando comparadas as imagens de 1972, 1978, 1995 e 2000 (Figura 16).

Figura 16 - Feições erosivas delimitadas em fotografia aérea de 2000 (sem escala).



Fonte: Yamanouth (2003).

No lado oeste do córrego ocorrem erosões nos limites das encostas retilínea suave (57) e encosta retilínea moderada (18); retilínea suave (57) e retilínea íngreme (100). Estes locais também apresentam maior espessura de materiais inconsolidados, nas unidades *Rt02+Rs02*.

O lado leste apresenta três regiões que contam com a presença de feições erosivas, são elas as regiões B, C e D. A área B é formada por encostas côncavas convexas (8 e 11) e côncavas, côncavas (5, 6 e 9), além de possuir materiais inconsolidados arenosos e com baixa resistência a erosão. Essas características, juntamente do uso e ocupação do solo favoreceram a ocorrência de processos erosivos na área.

De acordo com Yamanouth (2003), as áreas C e D possuem encostas retilíneas íngremes côncavas convergentes, fator que contribui para evolução da erosão por se caracterizarem como encostas do tipo coletoras. A região C, em 1972 e 1978, era ocupada por pastagens e a partir de 1995, foi aterrada para implantação de lotes residenciais. Já a área D, em 1972, era ocupada por pastagens, mas em 1978 passou a ser utilizada para plantação de eucaliptos. Sendo assim, tanto a configuração quanto o uso e ocupação do solo contribuíram para o surgimento de feições.

Um último ponto colocado pela autora é que a extração de areia ao longo do córrego juntamente dos sedimentos advindos das voçorocas, podem ter contribuído para o assoreamento da drenagem, considerando que em 1978 existiam dois portos de extração e em 1995 passaram a ser três.

5.2. Processos erosivos na Bacia do Ribeirão do Meio (GOMES, 2002)

Gomes (2002) elaborou a Carta de suscetibilidade à erosão (1: 20.000) da Bacia do Ribeirão do Meio, considerando os seguintes atributos: declividade; unidades de terreno, substrato rochoso e materiais inconsolidados. As principais propriedades analisadas dos materiais inconsolidados foram índice de erodibilidade, espessura, textura, grau de consistência e condutividade hidráulica. Para elaborar a carta foram aplicadas técnicas de mapeamento geológico-geotécnico (levantamento de campo, ensaios de campo e laboratório) e geoprocessamento.

5.2.1. Sistema de Landforms

A identificação dos sistemas de unidades de terreno (*landforms*) foi realizada a partir da técnica de sensoriamento remoto combinada com observações de campo, para confirmação e caracterização das unidades de terreno. Foi utilizada a proposta de Lollo (1996 apud GOMES, 2002) para divisão do terreno em unidades, no entanto função da escala de trabalho (1:20.000) foram definidos os sistemas e unidades do terreno. Os sistemas de terreno propostos pela autora foram: A) sistema de planalto; B) sistema de escarpa e C) sistema de depressão periférica.

O sistema A ocupa a porção norte da bacia e, a partir das fotografias aéreas, a autora identificou apenas uma unidade de terreno dentro desse sistema. Essa unidade é caracterizada por encostas suavemente onduladas e extensas com topos planos (Figura 17). Nessa unidade foram observadas a presença de sulcos e ravinas, as quais podem estar associadas a ação das águas pluviais e trilhas de gado, já que se trata de uma área rural ocupada por fazendas.

Figura 17 - Unidade de terreno do sistema A.



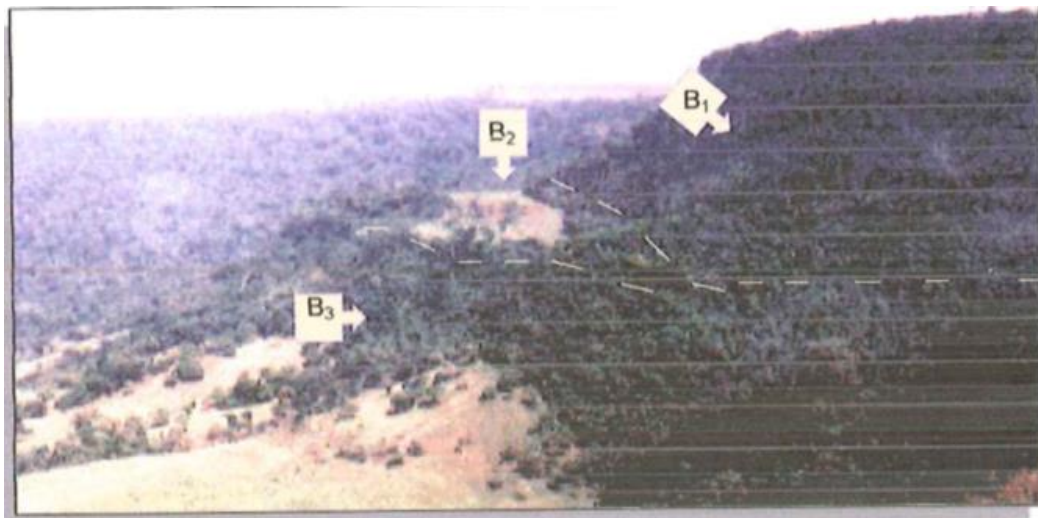
Fonte: Gomes (2002).

O sistema B é caracterizado pela presença de *cuestas basálticas*, as quais apresentam feições de escarpas com topos irregulares e extensas longitudinalmente, com presença de materiais coluvionares. A autora dividiu o sistema em três unidades de terreno (B1, B2 e B3), sendo a unidade B3 a que ocupa a maior parte da área do sistema (Figura 18). A unidade B1 apresenta encostas íngremes que, devido à alta declividade, possuem paredões com presença de queda de blocos de rocha. As encostas são tanto convexas quanto retilíneas e estão ligadas à topos irregulares.

A unidade B2 é uma sequência da escarpa, localizada justamente entre as unidades B2 e B3, é marcada pela quase inexistente cobertura vegetal e textura de relevo.

A unidade B3 apresenta declividade de moderada a suave; localizada em áreas baixas das serras com materiais arenosos de textura grossa.

Figura 18 - Unidades de terreno do sistema B.



Fonte: Gomes (2002).

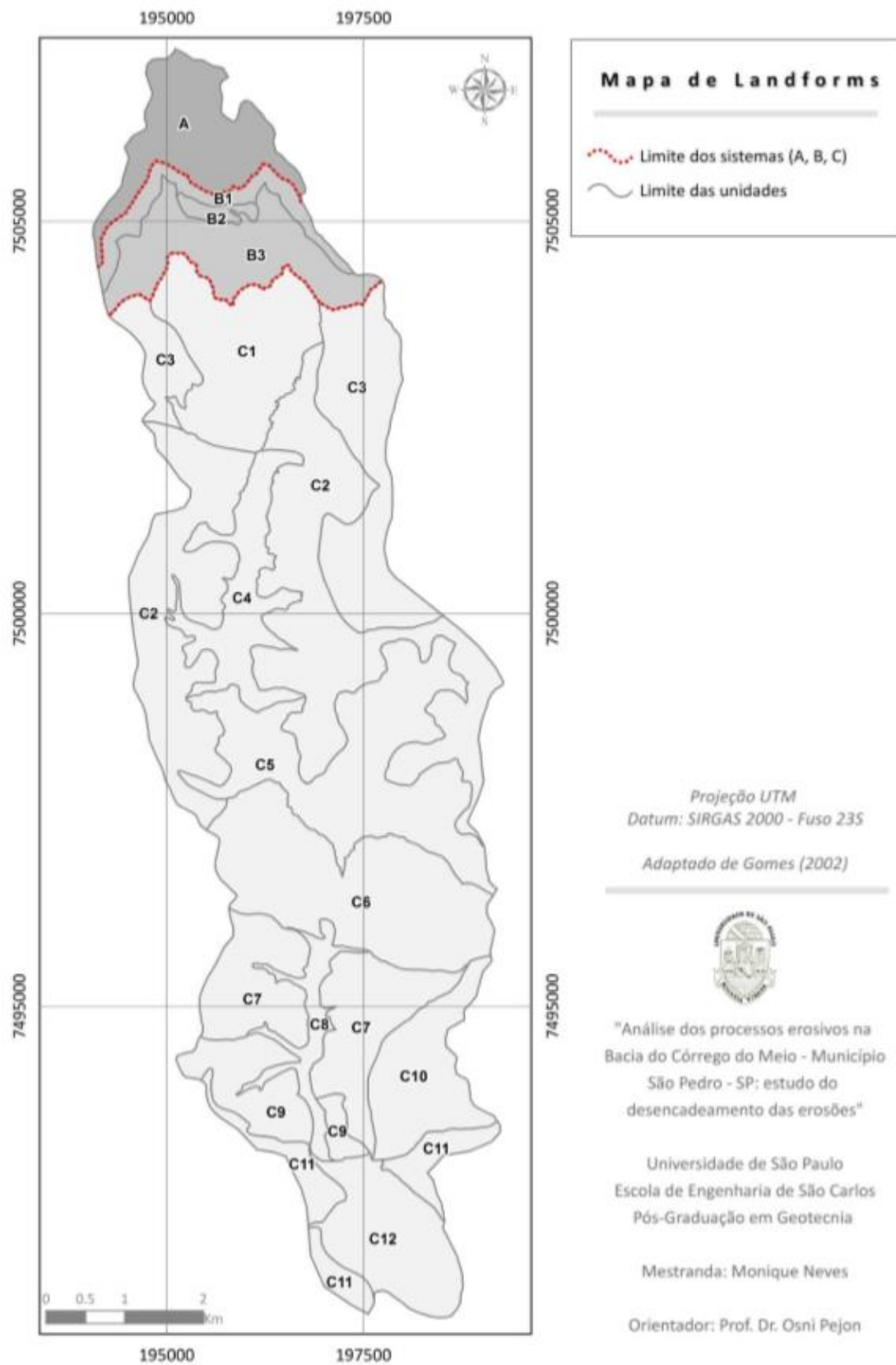
Por último o sistema C ocupa aproximadamente 80% da bacia, sendo o sistema de maior área de extensão. Esse sistema maioria é composto por colinas médias e amplas, morrotes alongados e planícies aluviais, sendo dividido em 12 unidades:

- C1: Baixa declividade, encostas retilíneas e côncavo-convexas com topo suavemente arredondado;
- C2: Colinas amplas de topos suavemente ondulados, com vertentes de perfis retilíneos a convexos;
- C3: Colinas amplas de topos aplainados, vertentes com perfis retilíneos, declividade muito baixa;
- C4: Terrenos planos, encontrados às margens de rios e sujeitos às inundações intermitentes;
- C5: Vales fechados com encostas retilíneas e convexas associadas às planícies fluviais;
- C6: Morrotes com vertentes convexas de topos arredondados a angulosos, com declividade de relevo moderada;
- C7: Colinas pequenas relacionadas às encostas convexas de topos suavemente arredondados;
- C8: Planície aluvial presente às margens de rios e submetida a inundações intermitentes;

- C9: Colinas pequenas;
- C10: Colinas de topos levemente ondulados, pequenas, com vertentes côncavo-convexas;
- C11: Colinas com topos levemente ondulados, de tamanho médio a grandes e vertentes com perfis retilíneos a convexos;
- C12: Superfície de relevo relativamente plana.

Para fins de qualidade de imagem, o mapa de unidade de terreno foi retirado do trabalho de Neves (2017), sendo ele exatamente igual ao elaborado pela autora Gomes (2002), indicado na Figura 19.

Figura 19 - Mapa de unidades de terreno (landforms) da Bacia do Ribeirão do Meio.



Fonte: Neves (2017).

5.2.2. *Substrato Rochoso*

O mapa de substrato rochoso, representando na Figura 20, foi elaborado por meio de análise de dados obtidos pelo trabalho em campo, fotointerpretação e informações bibliográficas. Na Bacia do Ribeirão do Meio foram identificadas quatro unidades geológicas: Formação Itaqueri, Formação Serra Geral, Formação Botucatu e Formação Pirambóia.

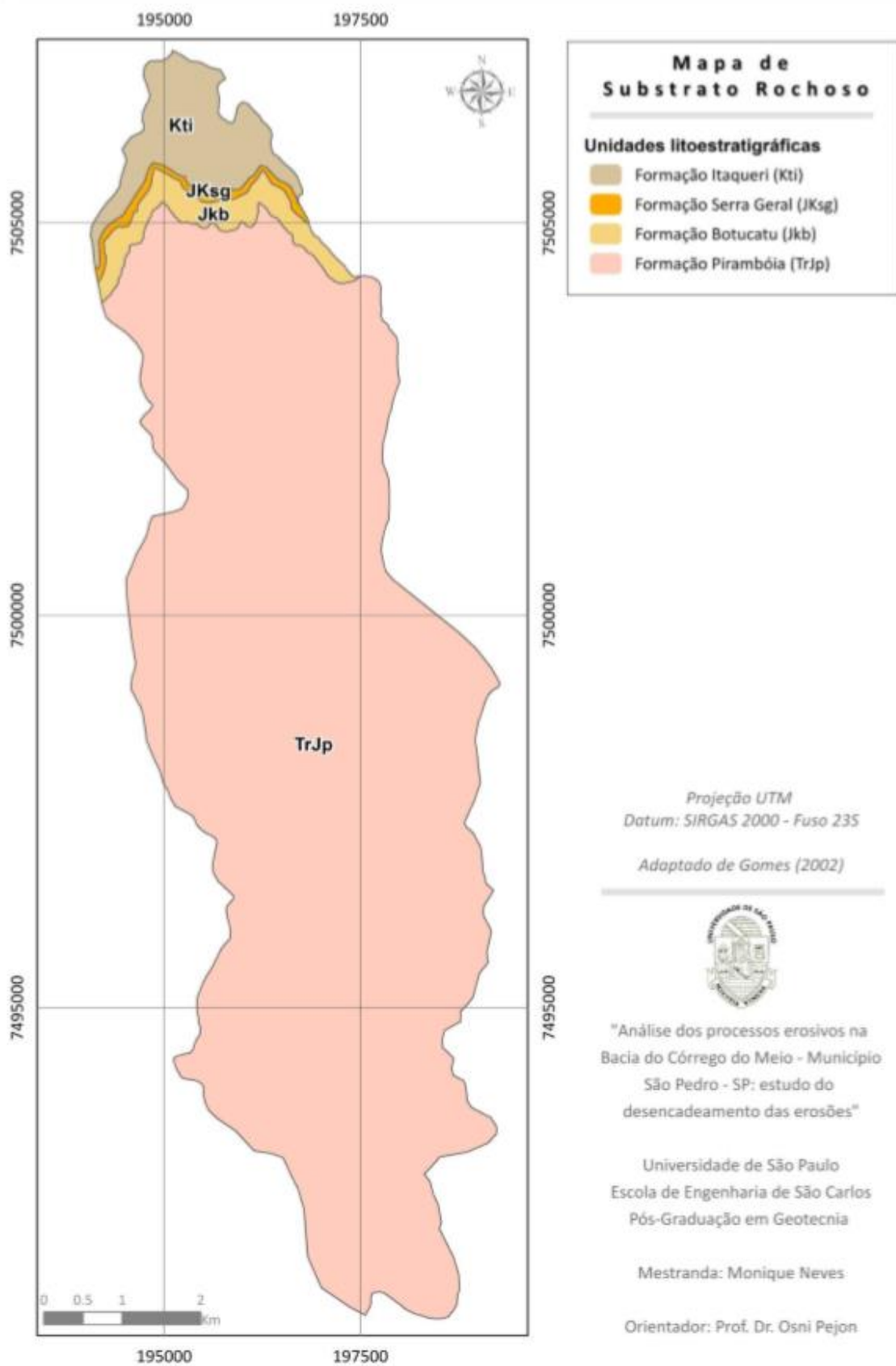
A Formação Pirambóia ocupa a maior parte da bacia (91.4%) e é constituída por arenitos finos a médios com coloração vermelha, rosa, branca e amarela. Possui estruturas do tipo plano-paralelas, estratificações cruzadas de médio porte e a presença de fraturas subverticais.

A Formação Botucatu ocorre unicamente nas áreas de *cuestras*, possui arenitos de granulometria fina a média de coloração amarelada. Em alguns pontos no alto da Serra Geral, a autora observou a presença de estruturas plano-paralelas com estratificações cruzadas de médio e grande porte.

A Formação Serra Geral também ocorre somente nos altos de Serra, há a presença de derrames basálticos e diques de diabásio que se sobrepõe aos arenitos da Formação Botucatu.

A Formação Itaqueri corresponde ao sistema A e é caracterizada pela presença de arenitos imaturos com seixos de quartzitos de diferentes tamanhos e seixos laterizados.

Figura 20 - Mapa de substrato rochoso da Bacia do Ribeirão do Meio.



Fonte: Neves (2017).

5.2.3. Materiais Inconsolidados

Por meio da caracterização geotécnica, Gomes (2002) mapeou 11 unidades de materiais inconsolidados sendo eles: solo residual da Formação Itaqueri; solo residual da Formação Serra Geral com espessura maior que 1 m; solo residual da Formação Serra Geral com espessura menor que 0,5 m; solo residual da Formação Botucatu; sedimentos coluvionares; solo transportado da Formação Pirambóia com espessura entre 5 e 10 m; solo transportado da Formação Pirambóia com espessura entre 2 e 5 m; solo transportado da Formação Pirambóia com espessura maior que 10 m; sedimentos aluvionares; solo transportado da Formação Pirambóia com espessura menor que 2 m e solo residual da Formação Pirambóia (Tabela 4).

Tabela 4 - Unidades de materiais inconsolidados.

Classe	Símbolo	Área (km²)	Área (%)
Residual da Formação Botucatu	RFB	0.79	1.64
Residual da Formação Itaqueri	RFI	1.92	3.99
Residual da Formação Pirambóia	RFP	9.76	20.31
Residual da Formação Serra Geral (e >1m)	RFSF (e>1)	0.55	1.14
Residual da Formação Serra Geral (e <1/2m)	RFSG (e<1/2)	0.36	0.75
Sedimentos Aluvionares	AS	5.70	11.87
Sedimentos Coluvionares	SC	2.63	5.47
Transp. Assoc. à Formação Piramboia (2m<e<5m)	TFP (2<e<5)	8.57	17.82
Transp. Assoc. à Formação Pirambóia (5m<e<10m)	TFP (5<e<10)	11.44	23.80
Transp. Assoc. à Formação Pirambóia (e>10m)	TFP (e>10)	2.68	5.57
Transportado da Formação Pirambóia	TFP	3.67	7.64

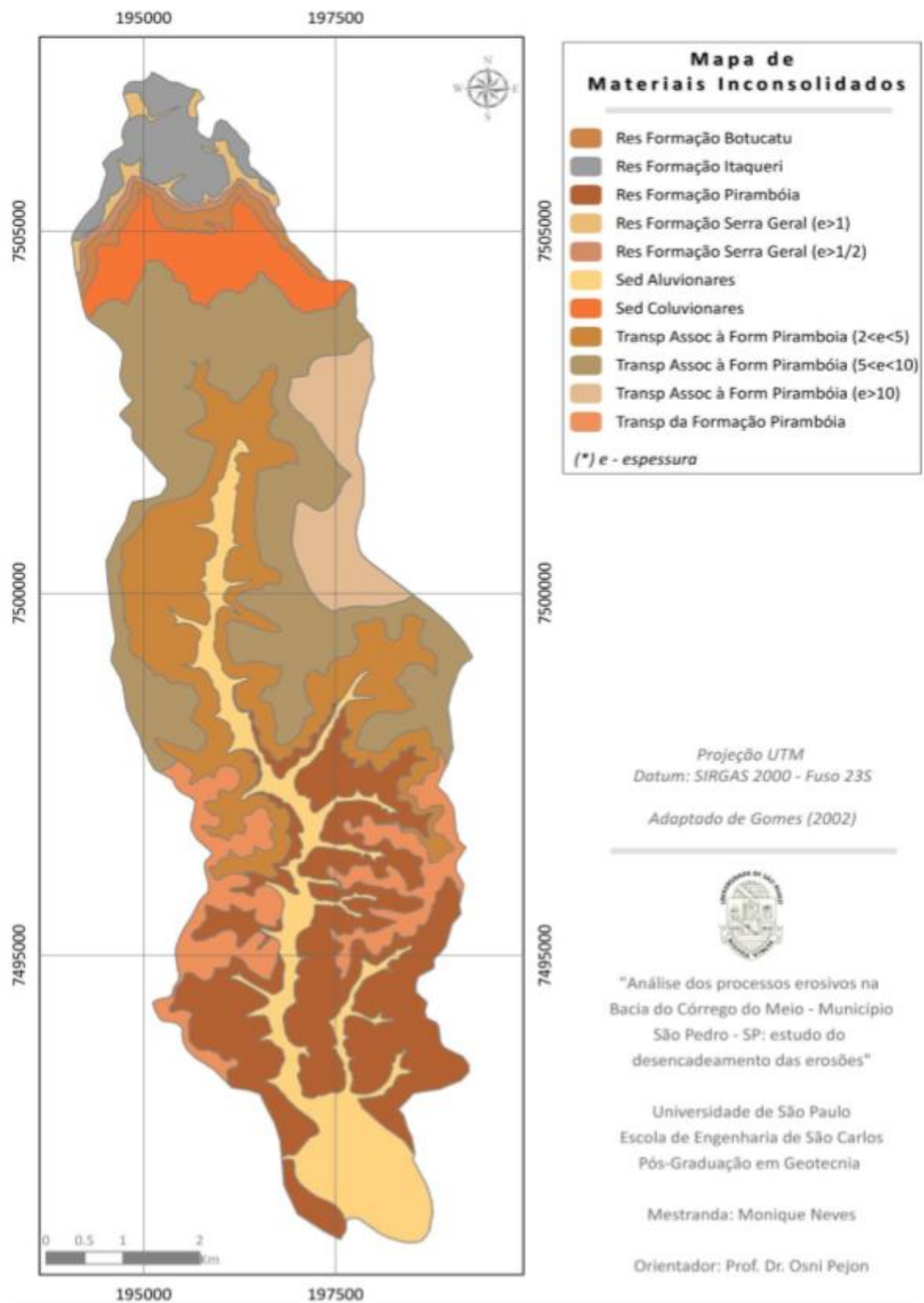
Fonte: Gomes (2002).

O solo transportado associado à Formação Pirambóia ocupa (47.19%), de norte ao sul da bacia. São materiais arenosos de cor marrom avermelhada, textura fina à média e presença de argilominerais baixa atividade. Com relação à erodibilidade, trata-se de um material com alto potencial de erosão.

O solo residual da Formação Pirambóia foi diferenciado da base para o topo em solo residual jovem (saprólito) e solo residual maduro (saprolítico). O solo residual jovem possui coloração esbranquiçada, textura arenosa fina (porcentagem de areia variando de 49% a 75%), espessura superior a 2 metros e alta resistência à erosão. Já o solo residual

maduro apresenta espessuras que variam entre 0,5m e 2m, coloração vermelha amarronzada, textura areno-argilosa (porcentagem de areia variando entre 66,9% e 85%) e erodibilidade baixa próxima ao solo residual jovem, no entanto, vai aumentando sua erodibilidade à medida que fica mais próxima do topo da camada, conforme ocorre na Figura 21.

Figura 21 - Mapa de materiais inconsolidados da Bacia do Ribeirão do Meio.



Fonte: Neves (2017).

5.2.4. Análise dos processos erosivos identificados

A identificação dos processos erosivos na Bacia do Ribeirão do Meio foi realizada com base no sistema de unidades de terreno, descrito no item 4.2.1.

No sistema A, ilustrado na Figura 22, a autora verificou baixa presença de feições, na forma de sulcos e ravinas, próximas às cabeceiras de drenagem. Devido à cobertura vegetal e baixa atividade antrópica no local, a maioria das feições encontram-se estabilizadas.

Figura 22 - Feição do tipo ravina encontrada no sistema A.



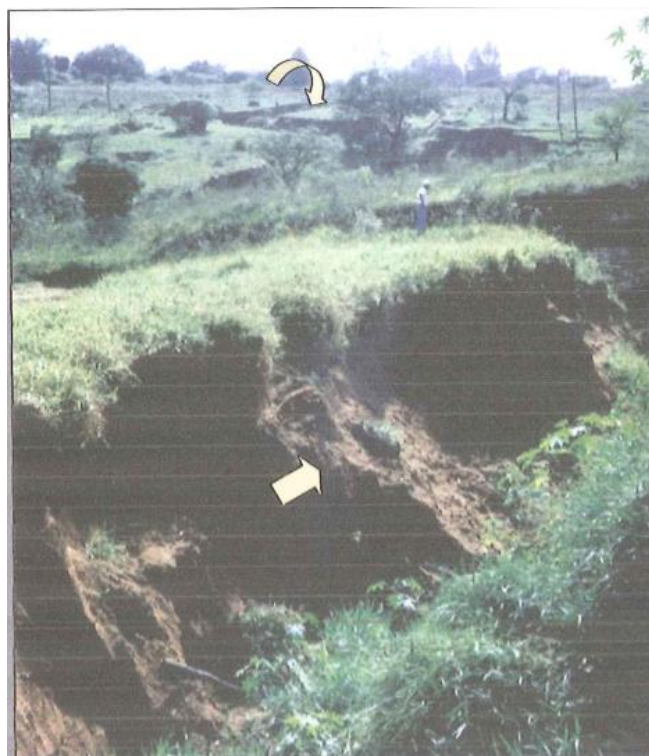
Fonte: Gomes (2002).

Já no sistema B, identificado como sistema de *cuevas basálticas*, a autora descreveu a presença de erosões em queda de bloco e em movimento de massa na parte inferior das encostas. Isso se deu devido aos padrões geológicos estruturais da área, declividade elevada e estreita espessura de materiais inconsolidados associados a Formação Serra Geral.

Com relação ao sistema C, responsável por ocupar a maior parte da Bacia do Ribeirão do Meio e subdividido em 12 unidades de terreno, a autora classificou a ocorrência de processos erosivos em: ativos com ação significativa de águas subsuperficiais e/ou superficiais; ativos em estágio inicial por conta de características do terreno e estabilizados pela presença de cobertura vegetal.

Os processos erosivos ativos com ação significativa de águas superficiais e/ou subsuperficiais são encontrados na porção central e mais ao norte da bacia, sendo do tipo voçorocas. Esses processos localizam-se perto das redes de drenagem, em áreas com declividade maiores que 5% e com a presença de material inconsolidado transportado associado à Formação Pirambóia (Figura 23).

Figura 23 - Voçorocas localizadas próximas às redes de drenagem na unidade de terreno C2.



Fonte: Gomes (2002).

Já as feições em estágio inicial derivadas de características do terreno estão localizadas próximas as redes de drenagem, corte de estradas e na parte superior de encostas. No topo das encostas, a autora relatou a presença de sulcos formados por conta da presença de trilhas de gado. Nestas áreas, a ocorrência dos processos é moderada devido à presença de cobertura vegetal, baixo uso e ocupação e espessuras menores de materiais inconsolidados transportados, pertencentes à Formação Pirambóia. Locais onde a espessura desses materiais estão entre 2 e 5 metros, foram identificadas presença de ravina.

Já nas formas erosivas estabilizadas com presença de cobertura vegetal foram encontradas feições erosivas avançadas por conta da alta declividade do terreno e espessura de material inconsolidado associado à Formação Pirambóia maior que 10 m,

no entanto, estão estabilizadas por conta da presença de cobertura vegetal e pequena atividade antrópica (Figura 24).

Figura 24 - Voçorocas localizadas na unidade de terreno C1.

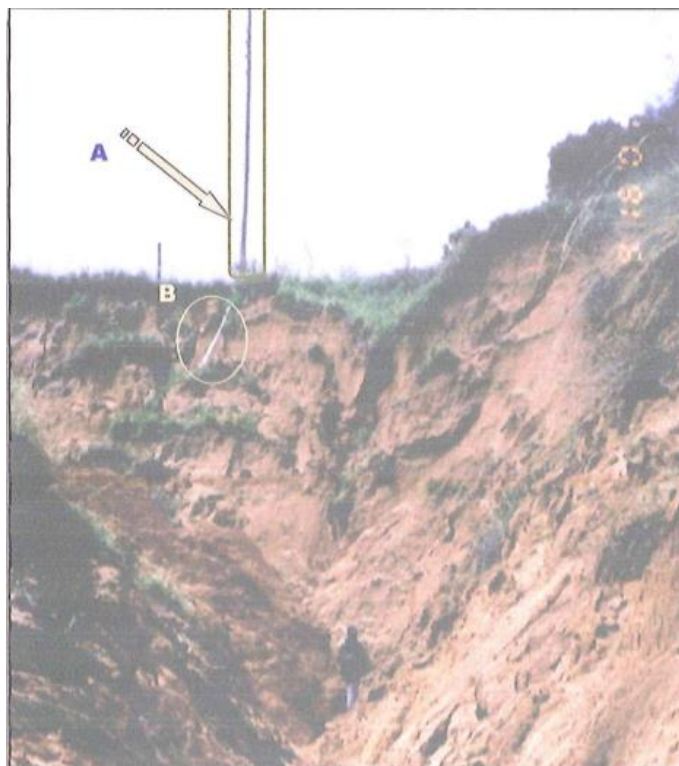


Fonte: Gomes (2002).

Para relacionar as feições erosivas com o perfil de alteração, a autora uniu as observações realizadas em campo com os ensaios de laboratório e/ou *in situ* dos materiais onde essas feições foram encontradas.

Em campo, a autora destacou que as áreas de material inconsolidado transportado associado à Formação Pirambóia ocorrem processos erosivos em estágios mais avançados. Nos locais onde a espessura dos materiais é superior a 10 metros são encontradas voçorocas, principalmente onde há a presença de atividade antrópica (corte de estradas e áreas de loteamento). Além disso, constatou-se que nos locais onde há presença humana ocorre o despejo de resíduos dentro das voçorocas, comprometendo ainda mais o nível de degradação da área. Outro grave problema encontrado foi o avanço dos processos erosivos ter atingido linhas de transmissão, encanamentos e residências, como pode ser observado nas Figuras 25 e 26.

Figura 25 - Presença de voçoroca com (A) linha de transmissão e (B) tubo de encanamento comprometidos.



Fonte: Gomes (2002).

Figura 26 - Presença de residência e linhas de transmissão em voçorocas.



Fonte: Gomes (2002).

5.2.5. Carta de suscetibilidade à erosão

Com base na descrição das unidades de landforms, substrato rochoso e materiais inconsolidados, Gomes (2002) elaborou a carta de suscetibilidade, na escala 1:20.000 que representa as características naturais da área em cinco classes potenciais de erosão (Tabela 5). As principais características consideradas na elaboração da carta foram: perfil de alteração, cobertura vegetal, propriedades físicas e química dos materiais inconsolidados, declividade do terreno, uso e ocupação da área, propriedades do solo relacionadas com a infiltração e erodibilidade. Para cada atributo do meio físico (declividade, unidades de terreno, substrato rochoso e materiais inconsolidados) a autora atribuiu pesos para cada uma das unidades conforme sua maior ou menor influência no processo erosivo. A integração dos atributos foi realizada por meio de ferramentas de geoprocessamento, utilizado AUTOCAD14 para criação das unidades e IDRISI32 para geração da carta.

Tabela 5 - Características das classes de suscetibilidade de erosão e seus valores percentuais em área.

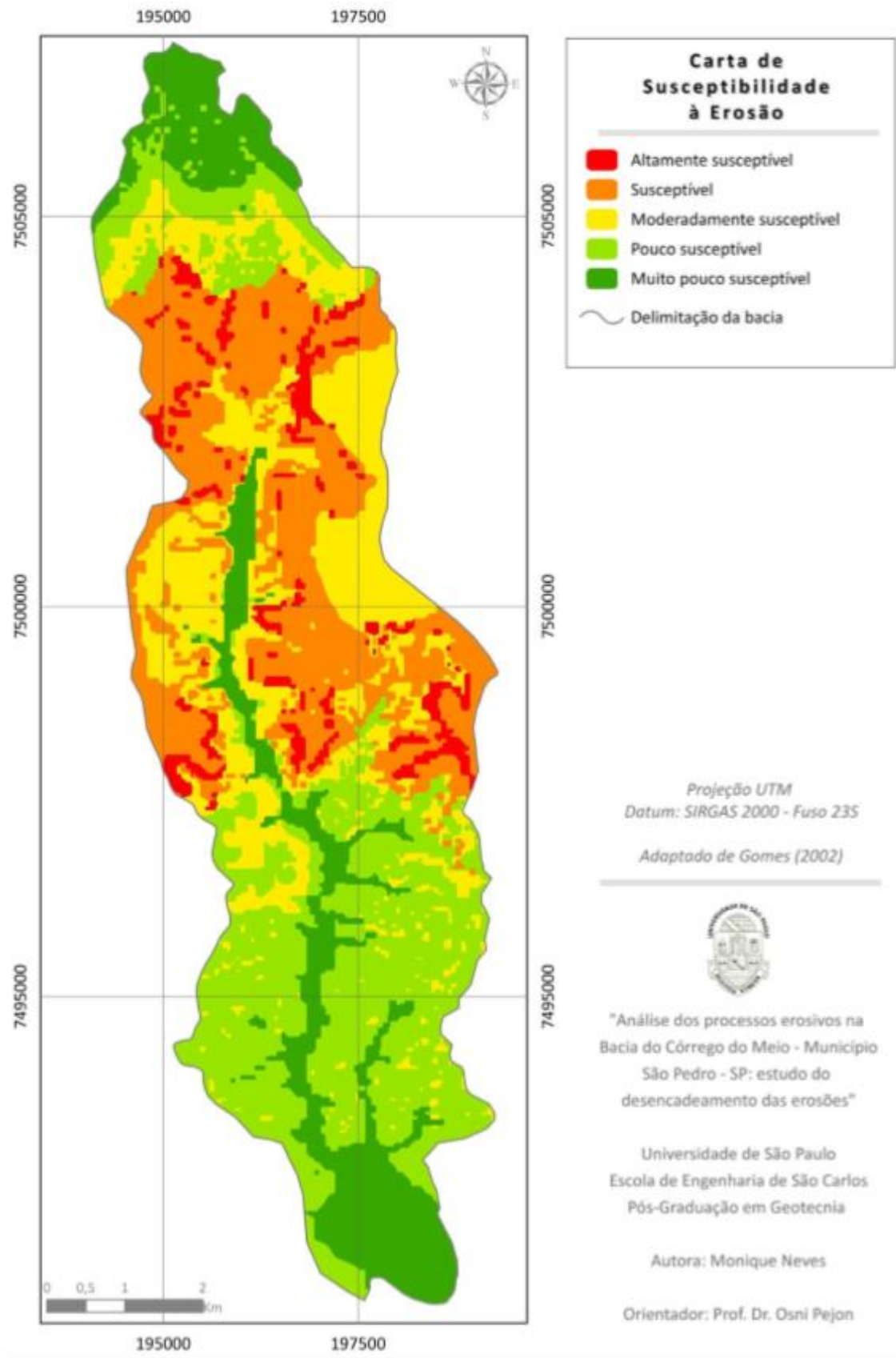
Classes		Valores percentuais	Características
1	Muito pouco suscetível à erosão	18,21%	Terrenos planos e extensos, que correspondem às unidades A1, C3, C8 e C12. Nestas áreas há presença de cobertura vegetal, que protegem o solo e reduzem o gradiente do escoamento superficial.
2	Pouco suscetível à erosão	29,42%	Terrenos com baixa declividade e compostos por materiais de baixo índice de erodibilidade. As feições erosivas, do tipo sulcos, surgem devido ao escoamento superficial concentrado nas trilhas de animais.
3	Moderadamente suscetível à erosão	20,24%	Ocorrem em terrenos com declividade superior a 5% e materiais com baixa coesão, de textura arenosa. Correspondem à porção intermediária da Bacia do Córrego do Meio, e as feições erosivas do tipo, sulcos e ravinas surgem devido às condições de relevo que favorecem o escoamento superficial concentrado.
4	Suscetível à erosão	27,47%	Incidem em áreas próximas as drenagens, em terrenos com inclinação superior a 10% e com forte interferência antrópica, que aceleraram os processos erosivos. Nestas áreas há ocorrência de feições desde sulcos a voçorocas, devido à ação combinada do escoamento superficial e subsuperficial
5	Muito suscetível à erosão	4,66%	Ocorrem em terrenos muito inclinado, localizados próximos as redes de drenagem.

Fonte: Adaptado de Gomes (2002).

A partir da Figura 27, conclui-se que as áreas de maior representatividade são as de classes 2 e 4, sendo elas pouco suscetíveis à erosão e suscetíveis, respectivamente. As áreas pouco suscetíveis à erosão estão localizadas ao centro-sul da bacia, ocupando uma área representativa de 29,42%, e apresentam feições erosivas do tipo sulcos associados às trilhas de animais que são pouco ativas devido a presença de materiais com pequeno índice de erodibilidade e baixa inclinação do terreno. Já as áreas suscetíveis à erosão ocorrem geralmente próximas às drenagens em áreas com elevada declividade (acima de 10%) e com a presença de atividades antrópicas, as feições presentes são de sulcos até voçorocas e em alguns locais, são resultado da atuação conjunta de escoamentos superficiais e subsuperficiais.

A autora também identificou áreas suscetíveis localizadas em terrenos arenosos com elevada declividade e espessuras maiores que 10 metros, que juntamente da ocupação urbana, tornam-nas de elevada criticidade com relação aos processos erosivos. Estão presentes nos limites das unidades C2 e C4, mas, principalmente, na unidade C2, com a presença de materiais inconsolidados transportados provenientes da Formação Pirambóia.

Figura 27 - Carta de suscetibilidade à erosão.



Fonte: Neves (2017).

5.3. *Processos erosivos na Bacia do Córrego do Tuncum (SILVA, 2003)*

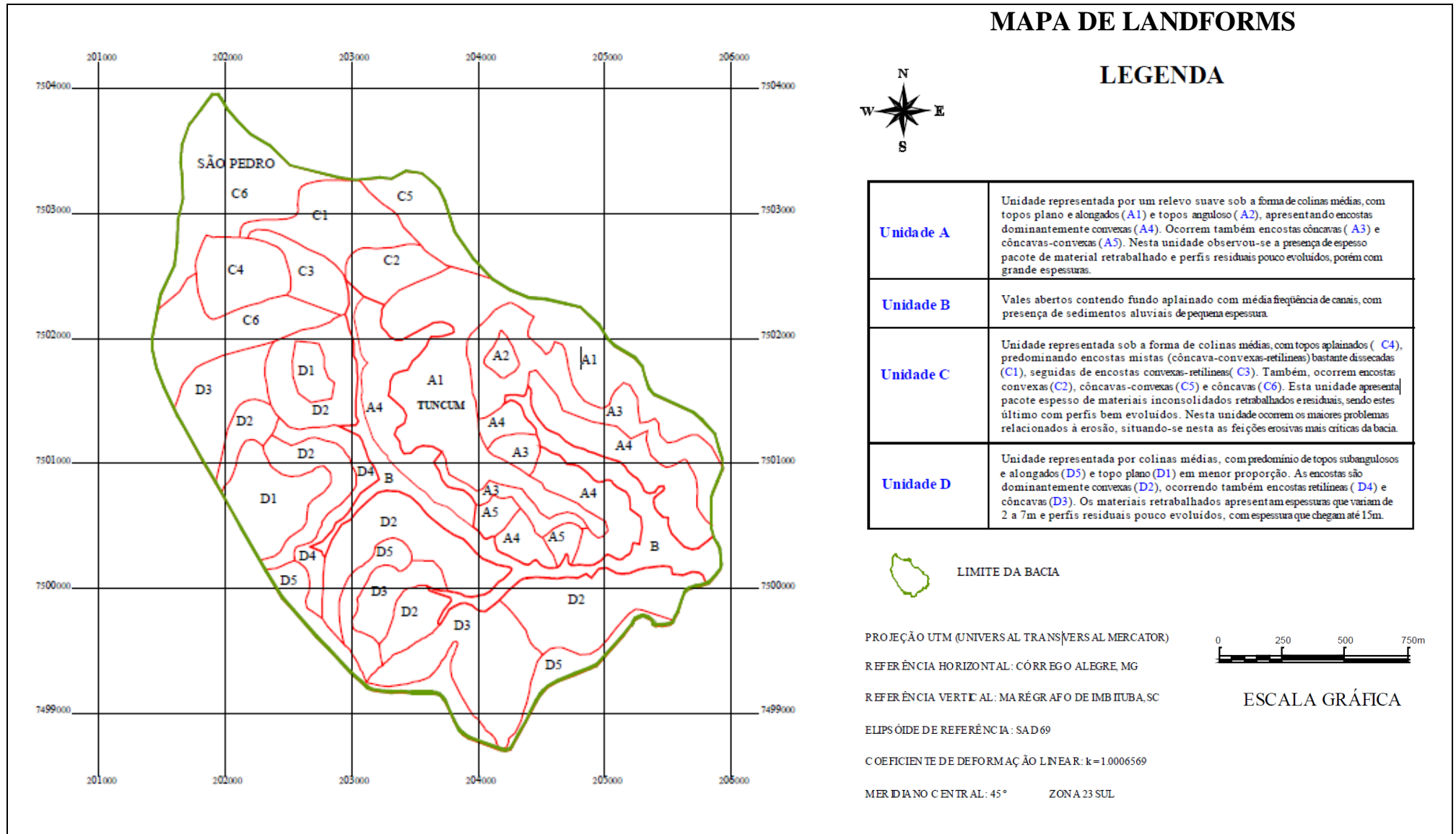
Silva (2003) estudou os fatores que influenciaram a ocorrência de processos erosivos na Bacia do Córrego do Tuncum, tanto através de ensaios laboratoriais como visitas ao campo. Através de fotografias aéreas de 1972, 1995 e 2000 juntamente com o uso de técnicas de geoprocessamento foi possível mapear as erosões e analisar a susceptibilidade da bacia.

5.3.1. *Mapa de unidades de terreno*

O mapa foi realizado com base na técnica proposta por Lollo (1996 apud SILVA, 2003) e por conta da escala de trabalho (1:10.000), a área de estudo foi subdividida em unidade e elementos de terreno. Sendo assim, a Bacia do Córrego do Tuncum foi dividida em 4 unidades e 16 elementos de terreno (Figura 28).

- Unidade A: Formada por colinas médias com topos planos (A1) e subangulosos (A2), com a presença de encostas côncavas (A3), convexas (A4) e côncavas-convexas (A5);
- Unidade B: Formada por vales abertos com fundos planos e média frequência de canais;
- Unidade C: Formada por colinas médias com encostas côncavas-convexas-retilíneas (C1), encostas convexas (C2), convexas-retilíneas (C3), topos aplainados (C4), encostas côncavas-convexas (C5) e côncavas (C6). Nesta unidade estão presentes as feições erosivas mais agravadas da bacia;
- Unidade D: Formada por colinas médias de topos planos (D1) com encostas convexas (D2), côncavas (D3) e retilíneas (D4). Também são encontradas colinas com topos subangulosos e alongados (D5) em maior quantidade que de topos planos;

Figura 28 - Mapa de unidade de terreno (*landforms*) da Bacia do Córrego do Tuncum (1:10.000).



Fonte: Silva (2003).

5.3.2. *Materiais Inconsolidados*

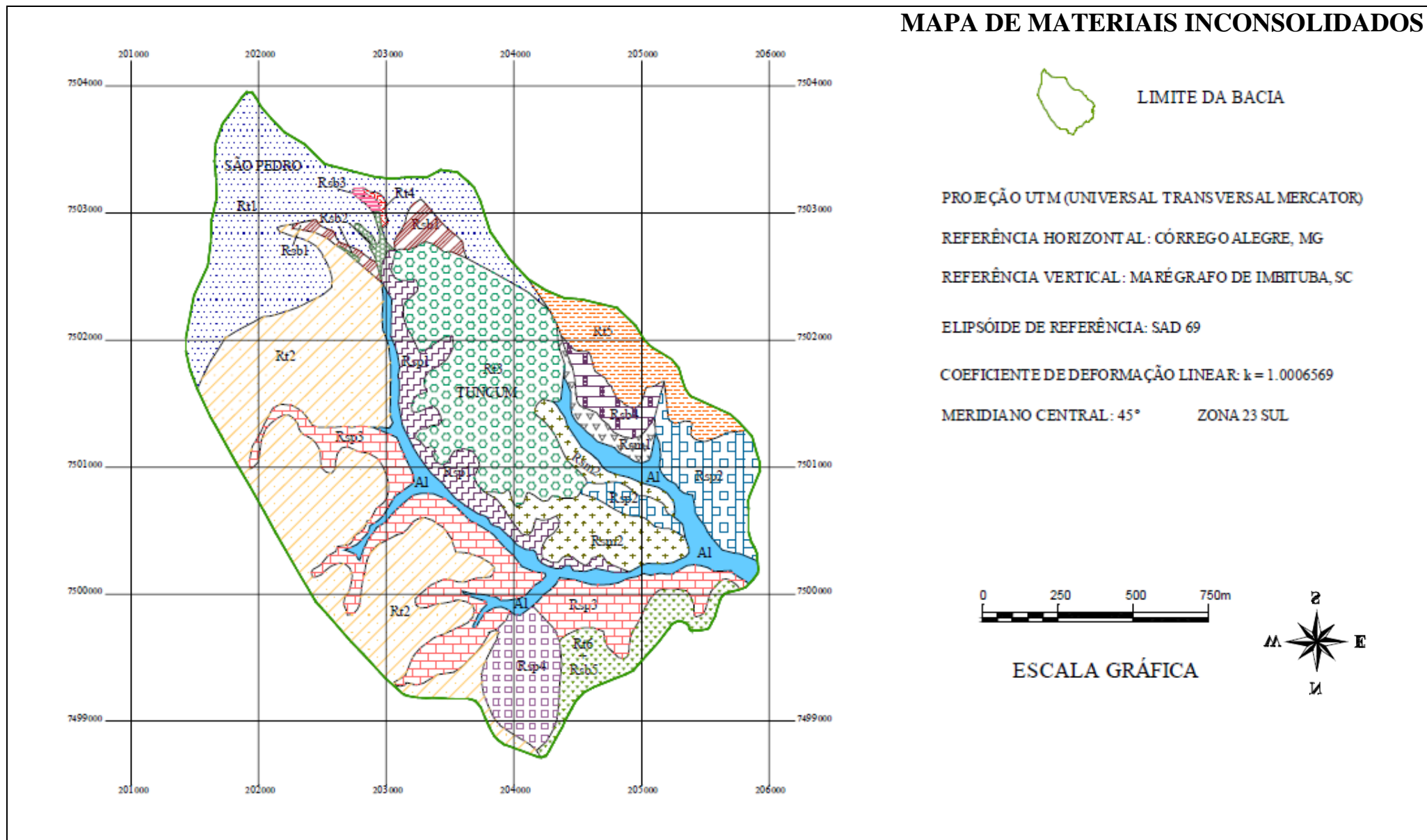
Os materiais inconsolidados da Bacia do Córrego do Tucum foram divididos em residuais e retrabalhados, sendo onze unidades de material residuais e sete retrabalhados (Figuras 29 e 30). Os materiais residuais foram divididos em pouco evoluídos (Rsp), medianamente evoluídos (Rsm) e bem evoluídos (Rsb). As unidades Rt1, Rt2 e Rt3 são as mais expressivas da bacia, ocupando 15%, 25% e 13% da área total respectivamente.

A unidade Rt1 recobre as unidades Rsb1, Rsb2 e Rsb3, é constituída por material arenoso, com coloração amarronzada e espessura entre 2 e 10m. Com relação à sua granulometria, é constituída em maior parte por areia média, e aproximadamente 20% de argila e silte.

A unidade Rt2 apresenta textura arenosa, coloração avermelhada, espessura entre 0,8 e 7m e, em sua grande parte, é formada por areia fina com porcentagem de argila e silte menor que 20%. Ela recobre as unidades Rsp4 e Rsp5.


















Por último, a unidade Rt3 possui coloração amarronzada, espessura entre 0,5 e 5m, recobrando as unidades Rsp1, Rsp2 e Rsp3. Além disso, é formada por areia média predominantemente e em torno de 10% de argila e silte.

Figura 29 - Mapa de materiais inconsolidados da Bacia do Córrego do Tuncum (1:10.000).



Fonte: Silva (2003).

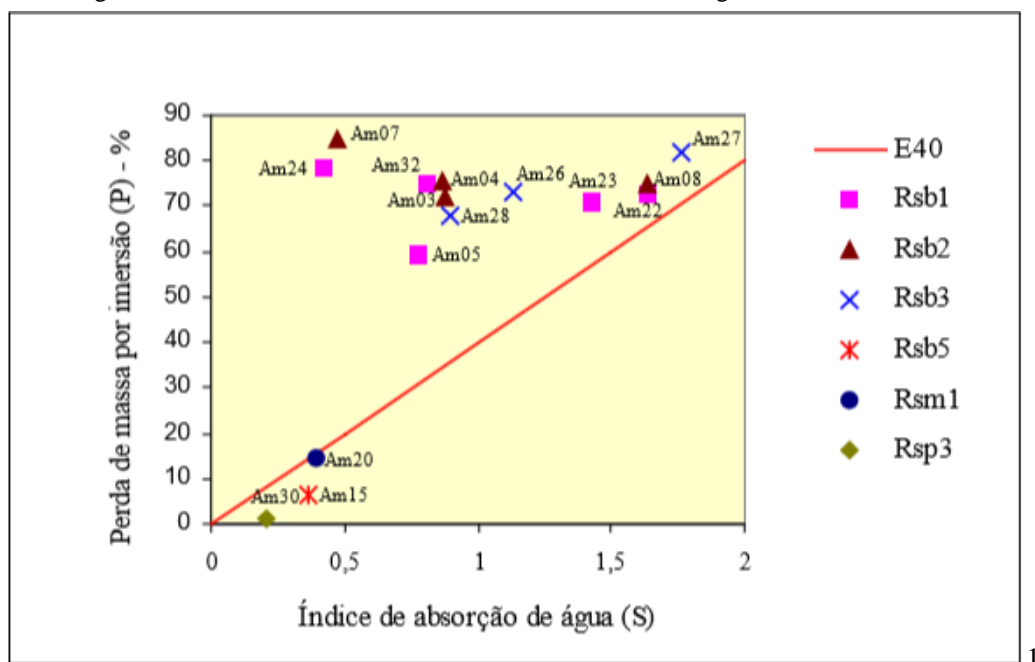
Figura 30 - Legenda do mapa de materiais inconsolidados da Bacia do Córrego do Tucunzinho (1:10.000).

	Material residual de textura arenosa, com predomínio da fração areia média, com menos de 20 % de finos, de coloração variando de róseo esbranquiçado a amarronzada e espessuras entre 5 a maiores que 20m. Materiais altamente susceptíveis à erosão e instalados nas feições erosivas B e D.
	Material residual de textura arenosa, com predomínio da fração areia média, com pouca expressão de finos, de coloração amarelo esbranquiçado e espessuras variando de 1,5 a 3m. Materiais altamente susceptíveis à erosão e instalados numa pequena porção lateral da feição erosiva B e dentro da feição erosiva C.
	Unidade presente à montante da feição erosiva C e constituída por material residual de textura arenosa (areia média predominante), com percentagem de finos menor que 20 %, de coloração róseo esbranquiçado à amarronzado e espessura aproximada de 20m.
	Unidade presente na porção leste da bacia, constituída de material residual de textura arenosa, com predomínio de areia média, pouca expressão de finos, de coloração roxo acinzentado e espessura menor que 5,5m.
	Unidade constituída por saprólito, com textura arenosa (predomínio de areia fina) e teor de argila em torno de 18 %, de coloração acinzentada e espessura entre 2 e 7m.
	Unidade constituída por arenito fino, bastante alterado, com variações de coloração entre róseo esbranquiçado e amarelo e espessura menor que 2m.
	Unidade constituída por arenito fino, pouco alterado, de coloração alaranjada, com espessuras que variam de 2 a 3m. Corresponde a uma das fácies do arenito Pirambóia, sendo possivelmente fator de estagnação da feição erosiva B.
	Unidade constituída por arenito fino e pouco alterado, apresentando estratificação plano paralela, de coloração avermelhada e espessura entre 2 e 10m.
	Unidade constituída por arenito fino e moderadamente alterado, de coloração variando de vermelha a róseo esbranquiçado e espessuras entre 0,5 e 1,5m.
	Unidade constituída pelo mesmo arenito da unidade Rsp3, porém com espessura de aproximadamente 15m.
	Material retrabalhado de textura arenosa, com predomínio da fração areia média e percentagem de finos ao redor de 20 %, de coloração avermelhada e espessura variando de 2 a 10m. Material altamente susceptível à erosão, recobrimo as unidades Rsb1, Rsb2 e Rsb3.
	Material retrabalhado de textura arenosa, com predomínio da fração areia fina e percentagem de finos menor que 20 %, de coloração avermelhada e espessura variando de 0,8 a 7m. Material susceptível à erosão, recobrimo as unidades Rsp4 e Rsp5.
	Material retrabalhado de textura arenosa, com predomínio da fração areia média e percentagem de finos ao redor de 10 %, de coloração amarronzada e espessura variando de 0,5 a 5m. Material susceptível à erosão, recobrimo as unidades Rsp1, Rsp2 e Rsp3.
	Unidade de material retrabalhado instalada na feição erosiva C, apresentando textura arenosa, com predomínio da fração areia média e percentagem de finos menor que 10 %, contendo pequenos pedaços de argilitos e siltitos. Apresenta coloração róseo esbranquiçada e espessura variando de 3 a 5m. Material susceptível à erosão e recobrimo a unidades Rsb2.
	Material retrabalhado de textura arenosa, com predomínio da fração areia fina e percentagem de finos inferiores a 10 %, possui coloração avermelhada e espessuras em torno de 5m.
	Unidade constituída por material residual muito arenoso, com fração areia fina predominante e teor de finos maior que 20 %, de coloração avermelhada e espessuras entre 1,5 e 5m. É recoberto por um material retrabalhado de textura arenosa (fração areia fina predominando) e teor de finos também maior que 20 %. Sua coloração é avermelhada e espessuras variando 0,5 a 2m.
	Trata-se de materiais aluvionares muito arenosos, de coloração amarelo esbranquiçada a cinza esbranquiçada e espessuras com máxima espessura em torno de 2m.

Fonte: Silva (2003).

Com base na metodologia proposta por Pejon (1992), a autora classificou a erodibilidade do solo. Com relação aos materiais residuais, as unidades Rsb1, Rsb2 e Rsb3 apresentaram índice de erodibilidade menor que 1, ou seja, são susceptíveis a erosão, fato confirmado pelas observações de campo de Silva (2003), presente na figura 31. Os materiais dessas unidades são arenosos com predominância de areia média e porcentagem de argila menor que 15%. O gráfico da Figura 31 relaciona o índice de absorção de água (S) e porcentagem de perda de massa por imersão (P), sendo que as amostras que estão acima da reta E40 apresentam caráter erodível, enquanto as abaixo, apresenta baixa suscetibilidade.

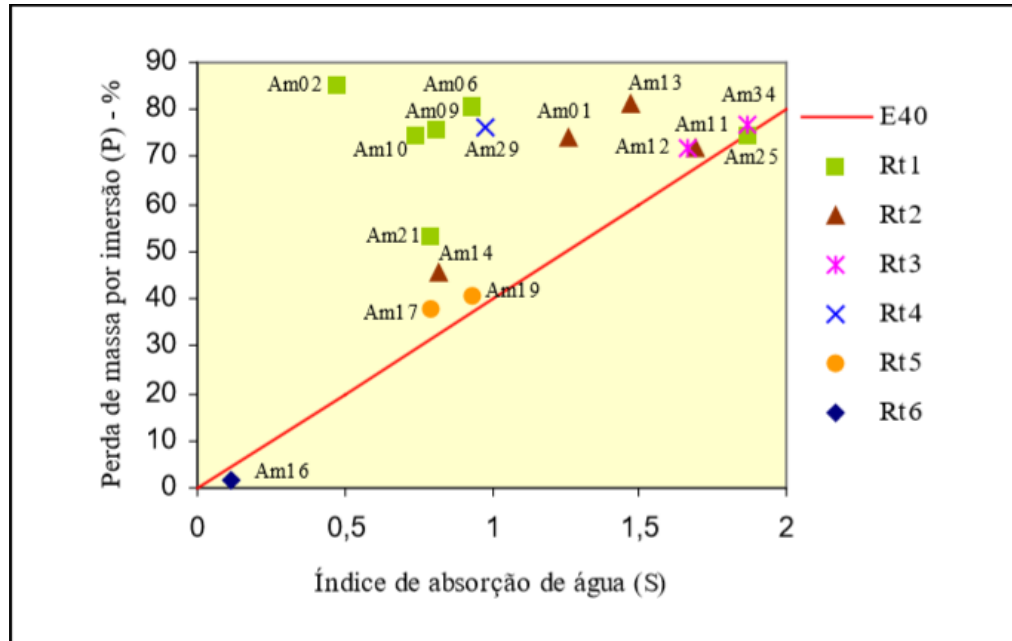
Figura 31 - Gráfico de materiais residuais da Bacia do Córrego do Tuncum.



Fonte: Silva (2003).

Já as amostras de materiais retrabalhados das unidades Rt1, Rt2, Rt3, Rt4 e Rt5 apresentaram índice de erodibilidade menor que 1, e como confirmado em campo, são susceptíveis a erosão, cita Silva (2003). Esses materiais são arenosos, constituídos predominantemente por areia média e teor de argila menor que 15%. A Figura 32 apresenta os índices de erodibilidade das amostras, com maior ou menor probabilidade de desenvolvimento de processos erosivos.

Figura 32 - Gráfico de materiais retrabalhados da Bacia do Córrego do Tuncum.



Fonte: Silva (2003).

5.3.3. Carta de Suscetibilidade à Erosão

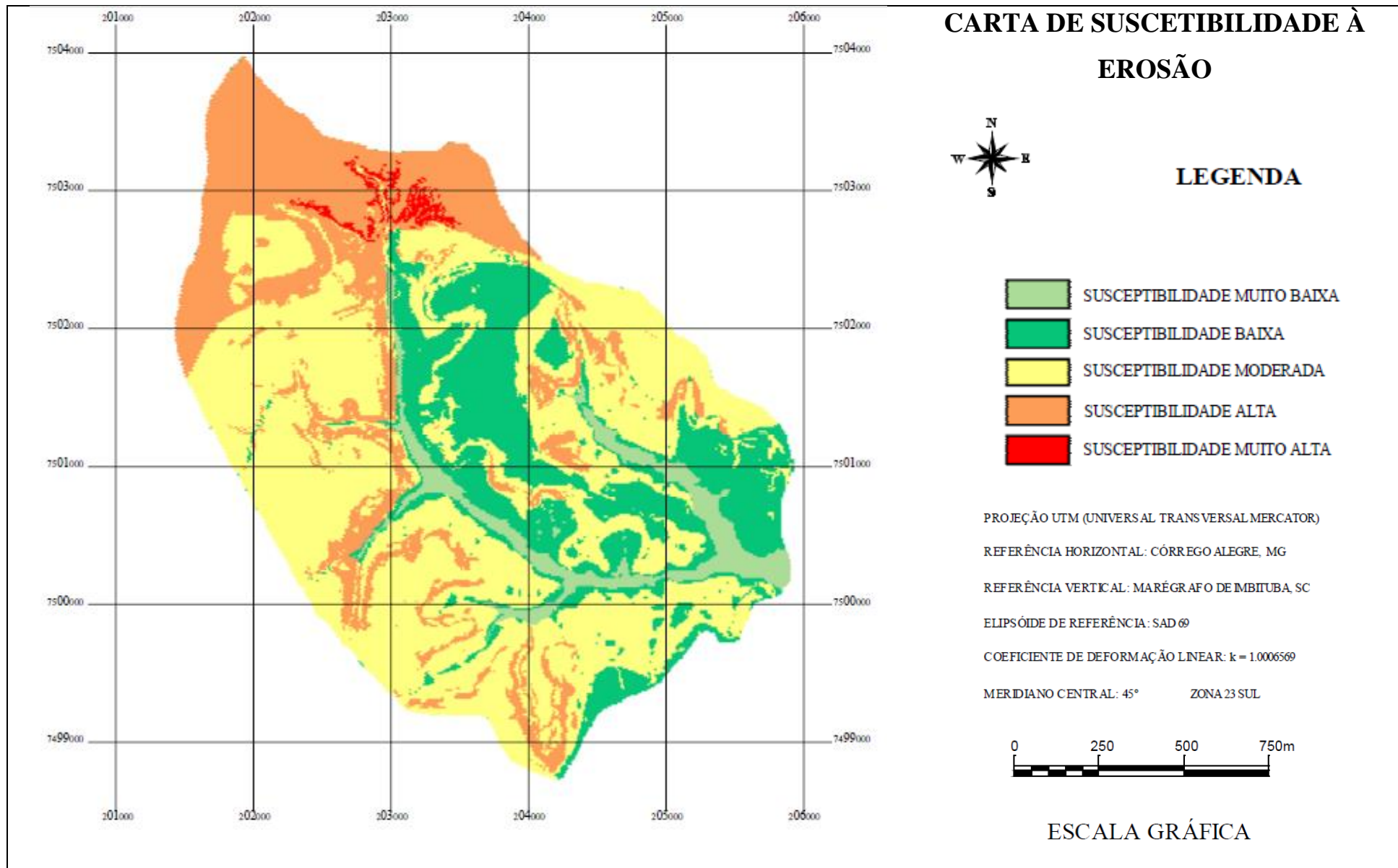
Silva (2003) elaborou a carta de suscetibilidade na escala 1:10.000, a partir dos atributos *landforms*, materiais inconsolidados e declividade. Os pesos para cada atributo foram atribuídos considerando a maior ou menor potencialidade frente a ocorrência de processos erosivos. A carta foi gerada a partir das ferramentas de geoprocessamento, e utilizando os softwares AUTOCAD e IDRISI32.

Conforme a Figura 33, a bacia foi dividida em 5 classes de acordo com seu potencial de erosão, as quais serão descritas a seguir.

- Suscetibilidade muito baixa: corresponde a unidade B de *landforms* e a unidade de materiais aluvionares, presentes ao longo das margens dos rios.
- Suscetibilidade baixa: corresponde às unidades de materiais inconsolidados Rt3, Rsb5+Rt6 e partes da unidade Rsp2 com declividades menores que 10%.
- Suscetibilidade moderada: possui declividades de 2% até 30%. A autora relatou a presença de feições erosivas associadas à presença de material transportado ao norte e leste da bacia.

- Suscetibilidade alta: corresponde a parte das unidades de materiais inconsolidados Rt1, Rt2 e Rt3, com declividade de 30% e encostas convexas ou côncava-convexas-retilíneas.
- Suscetibilidade muito alta: possui declividades maiores que 30%, com a presença das erosões mais críticas da bacia. As encostas são côncavas-convexas-retilíneas e as unidades de materiais presentes são Rsb1, Rsb2, Rsb3 e Rt4.

Figura 33 - Carta de suscetibilidade da Bacia do Córrego do Tuncum.



Fonte: Silva (2003).

5.3.4. Evolução dos processos erosivos na bacia

A partir do mapeamento das feições erosivas em campo, ocupação urbana, e fotografias áreas de 1972 (1:25.000), 1975 (1:25.000) e 2000 (1:30.000), a autora analisou a evolução dos processos erosivos na Bacia do Córrego do Tuncum.

Na região norte da bacia encontram-se as erosões em estágio mais crítico, sendo delimitadas cinco feições (A, B, C, D e E). A Tabela 6 apresenta as características destas feições para diferentes períodos.

Tabela 6 - Principais feições erosivas da Bacia do Córrego do Tuncum.

Feição	1972	1995	2000	% (1972-1995)	% (1995-2000)	
A	Largura (m)	-	28,8	-	5,8% (+)	
	Extensão (m)	-	1470,0	-	28,2% (-)	
	Área (m ²)	-	17976,6	14649,5	-	22% (-)
B	Largura (m)	24,2	70,3	57,2	65,6% (+)	18,6% (-)
	Extensão (m)	622,0	1671,9	612,5	62% (+)	63,4% (-)
	Área (m ²)	23633,6	49583,6	29357,7	52% (+)	40% (-)
C	Largura (m)	55,5	62,1	44,9	10,6% (+)	27,6% (-)
	Extensão (m)	520,1	370,3	252,1	28,8% (-)	31,9% (-)
	Área (m ²)	34034,0	23390,2	11324,0	31,3% (-)	51,6% (-)
D	Largura (m)	71,9	24,3	25,7	66,3%(-)	5,6% (+)
	Extensão (m)	669,4	616,9	513,9	7,8% (-)	16,7% (-)
	Área (m ²)	46834,7	32082,2	16834,5	31,5% (-)	47,5%(-)
E	Largura (m)	22,8	36,1	-	36,6% (+)	-
	Extensão (m)	187,2	309,0	-	39,4% (+)	-
	Área (m ²)	3712,7	9972,6	-	62,7% (+)	-

(-) Redução; (+) Aumento; - Feição erosiva não existente no período.

Fonte: Silva (2003).

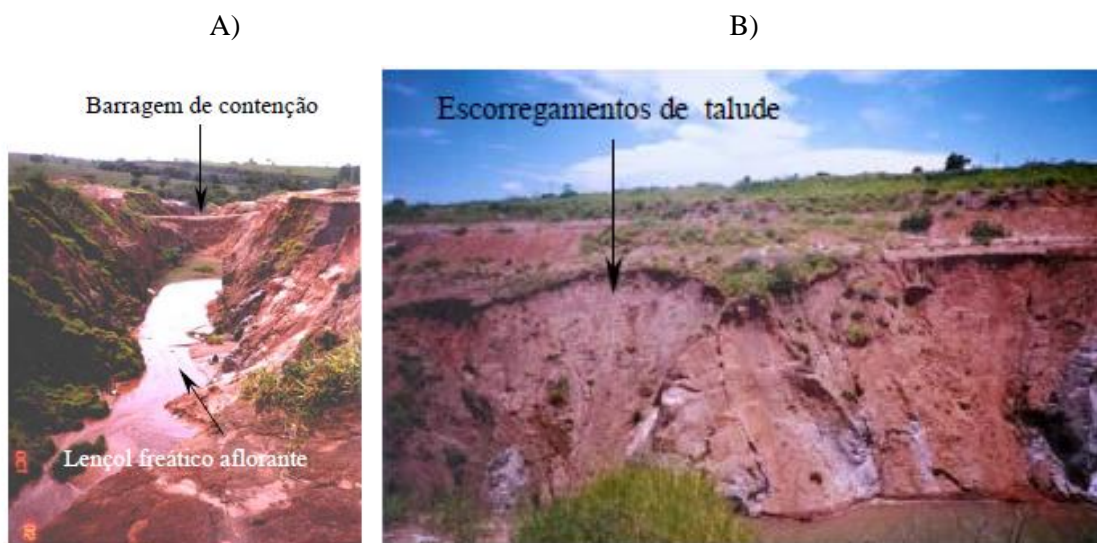
Em 1972, a ocupação urbana era pequena, no entanto já havia o desenvolvimento de processos erosivos na área principalmente devido aos fatores condicionantes geologia e relevo, juntamente dos fatores climáticos da região. A feição erosiva B e D já eram bastante desenvolvidas, com profundidades de 60 e 72 m respectivamente. A feição erosiva B estava localizada em encostas combinadas, enquanto a feição erosiva D, em encostas côncavas-convexas, ambas com alta declividade. Um problema já presente nessa época era o assoreamento do córrego Tuncum, devido à presença de mineradores de extração de areia.

Em 1995, a aceleração dos processos erosivos foi muito grande devido ao aumento de 80% da ocupação urbana em comparação 1972, fatores climáticos e materiais inconsolidados da região propícios ao desenvolvimento da erosão. As feições erosivas A

e E apresentaram maiores modificações em comparação ao período de 1972, tanto de largura quanto extensão e surgimento de novo ramos. Com relação à feição A, Santoro (1991 apud SILVA, 2003), cita que o aumento dessa feição se deu principalmente por conta de obras de drenagem mal executadas, loteamentos sem infraestrutura e a decorrente concentração de escoamento superficial em direção a essa feição.

Em 2000, foi observado em campo que a feição A se encontrava controlada devido ao crescimento de vegetação em torno do canal. Já a feição erosiva B ainda estava em estado crítico, apresentando afloramento do lençol freático, escorregamento de taludes e a presença do fenômeno *piping* (Figuras 34a e 34b). Foram aplicadas medidas de controle como retaludamento, drenos, tubos galvanizados para escoamento supsuperficial, caixas dissipadoras, canaletas e barragens de terra, no entanto, por conta do período chuvoso no ano do estudo, ocorreram escorregamentos nas paredes laterais, que por sua vez favoreceram o alargamento da feição.

Figura 34 - A) Feição erosiva B com afloramento de lençol e barragem de contenção; B) Escorregamento de talude na feição B.

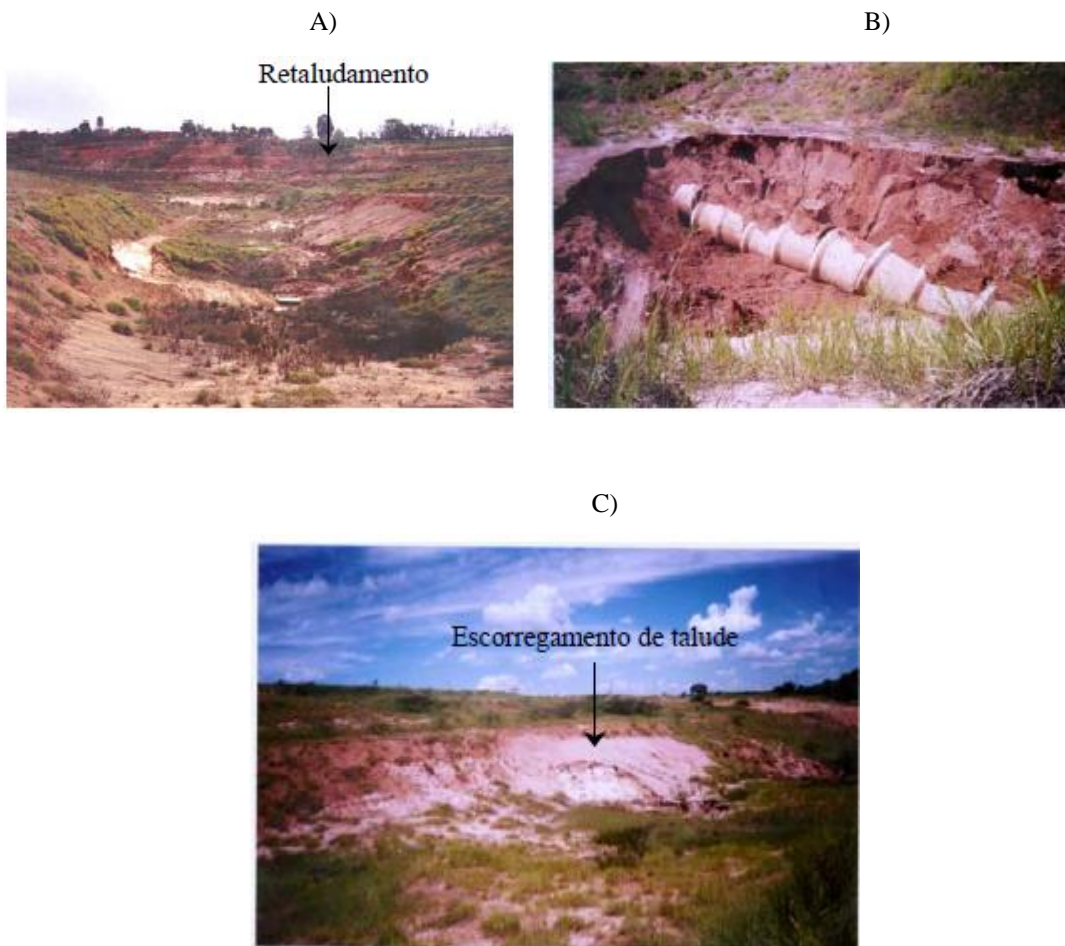


Fonte: Silva (2003).

Com relação a feição C, a fotografia do ano de 2000 demonstra que as medidas de recuperação aplicadas em anos anteriores fizeram com que a mesma se mantivesse estável, apresentando redução em largura e extensão e mesma profundidade de 10 m. A autora constatou que entre o período de agosto de 2001 até dezembro de 2002 a feição se encontrava controlada por conta da vegetação em seu canal e encostas mas devido a elevada ocorrência de chuva no período de janeiro de 2003, houve escorregamento de

talude, aniquilando as obras de micro e macro drenagem previamente implantadas (Figuras 35a, 35b e 35c).

Figura 35 - A) Feição C estável com retaludamento previamente feito; B) Obras de macrodrenagem danificadas; C) escorregamento de taludes por conta de período chuvoso.



Fonte: Silva (2003).

Já a feição D apresentou um pequeno aumento em sua largura e redução de extensão por conta de seus ramos que não foram observados na fotografia de 2000, provavelmente devem ter sido aterrados. Essa feição até o ano de 2002 era utilizada como depósito de lixo, fato que pode intensificar ainda mais a degradação da área (Figura 36).

Figura 36 - Feição erosiva D no ano de 2002 sendo utilizada como depósito de resíduos.



Fonte: Silva (2003).

Em 2002, o canal do Córrego Tuncum estava muito mais assoreado do que no ano de 1995. À montante, o córrego estava assoreado e com a presença de tubos e drenos advindos da tentativa inadequada de recuperação da feição B. À jusante, o córrego se apresentava mais meandrante e com ocorrência de solapamentos nas suas margens.

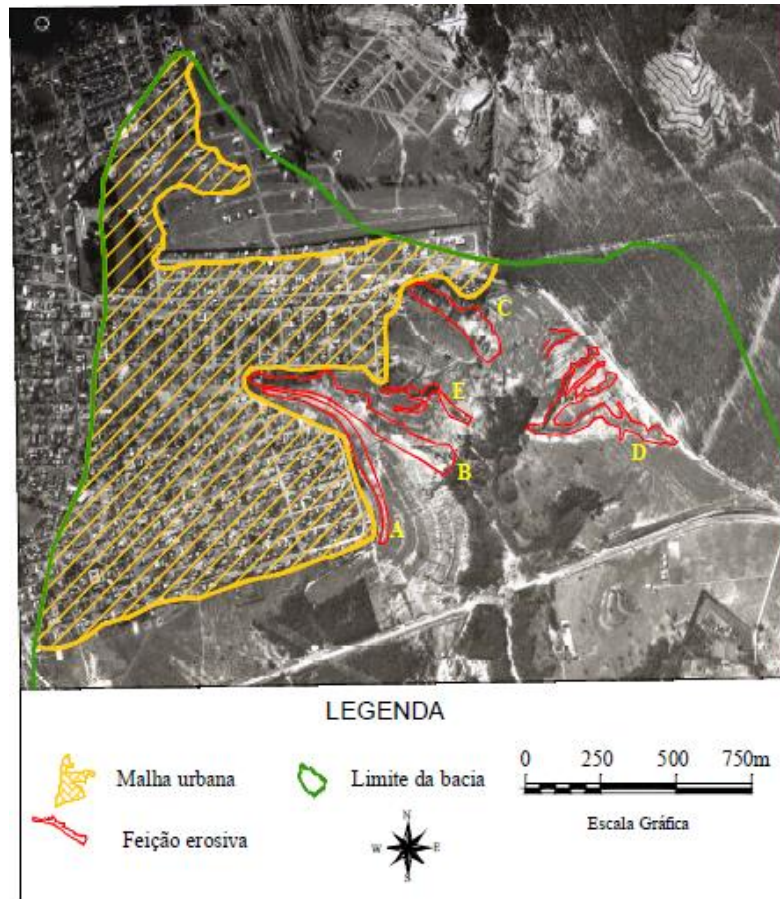
São demonstradas nas Figuras 37a, 37b e 37c as fotografias áreas de 1972, 1995 e 2000 respectivamente, as quais demonstram a evolução da expansão urbana na Bacia do Córrego do Tuncum e as feições erosivas presentes na área.

Figura 37 - A) Fotografia área de 1972; B) Fotografia área de 1995; C) Fotografia área de 2000.



Fonte: Silva (2003).

B)



Fonte: Silva (2003).

C)



Fonte: Silva (2003).

5.4. Estudo de técnicas de recuperação aplicadas em feições do município de São Pedro (ROTTA, 2012)

Rotta (2012) estudou quatro áreas com processos erosivos na região do município de São Pedro. A autora também analisou as diferentes técnicas de recuperação aplicadas nesses locais. Para isso, foram realizadas a caracterização geológica-geotécnica das áreas e estudos de campo, a fim de medir a eficiência das técnicas.

Segundo a autora, a caracterização geológico-geotécnica foi realizada com o objetivo de compreender a distribuição espacial e evolução temporal das feições. Dessa forma, foi avaliada a erodibilidade do solo e características morfométricas de cada área.

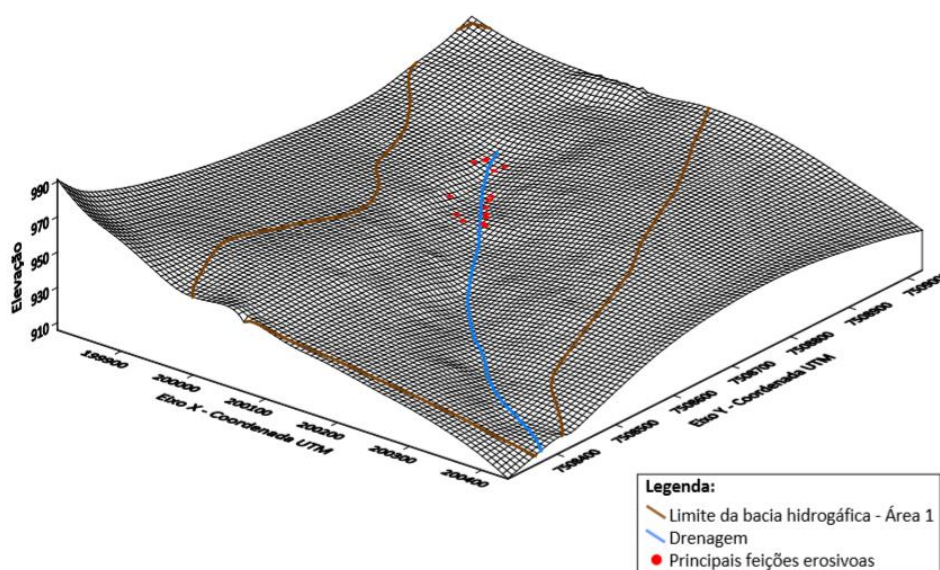
Com base em todas as informações levantadas, as áreas estudadas foram avaliadas considerando alguns critérios, como: objetivo das técnicas aplicadas (prevenção, controle, mitigação ou recuperação); compatibilidade das técnicas em relação ao cenário erosivo e uso do solo; e aspectos geológico-geotécnico do projeto; execução das obras; problemas ocorridos; abrangência das medidas (pontual ou se atuavam em toda a área), de acordo com Rotta (2012).

5.4.1. Área 1

A área 1 é constituída por materiais residuais da Formação Itaqueri sobrepostos por materiais retrabalhados areno-siltosos. Os materiais residuais da Formação Itaqueri possuem espessura menor que 5 m e sua constituição é arenosa e silto-argilosa. De acordo com o índice de erodibilidade calculado por Fernandes (2003 apud ROTTA, 2012), os materiais retrabalhados areno-siltosos possuem alta resistência à erosão.

A autora mapeou nessa área 15 feições erosivas (Figura 38), as quais ocorrem próximas à drenagem. As feições surgiram devido à retirada de cobertura vegetal da área para ocupação de pastagens e implantação de obras de infraestrutura para um loteamento no local. No entanto, a execução do loteamento foi paralisada, fazendo com que as obras de infraestrutura instaladas no local contribuíssem para o surgimento de processos erosivos.

Figura 38 - Superfície 3D da área 1 com a localização das feições erosivas.



Fonte: Rotta (2012).

Neste local, foram mapeadas duas voçorocas (3 e 5), as quais apresentam afloramento do lençol freático, e cabeceira e paredes íngremes. A feição 3 está localizada à leste da margem do córrego, possui comprimento de 15 m, largura de 10 a 15 m e profundidade de 4 a 5 m (Figura 39). Já a feição 5 também está localizada à leste da margem do córrego, com comprimento de 20 m, largura de 15 m e profundidade de 8 a 10 m (Figura 40). Também foram identificados sulcos e ravinas nas encostas, e em traçados de rua, principalmente devido a presença de trilhas de gado.

Figura 39 - Voçoroca F3.



Fonte: Rotta (2012).

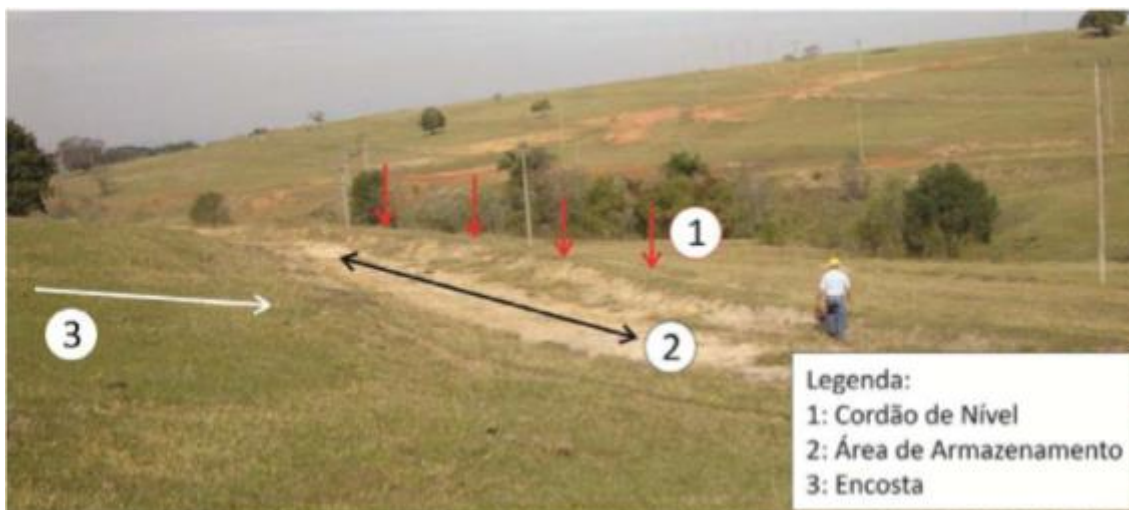
Figura 40 - Voçoroca F5.



Fonte: Rotta (2012).

Com relação às medidas de recuperação implantadas na área, foram identificados a cobertura da área com pastagem e construção de cordão em níveis com o objetivo de proteger as encostas com relação ao escoamento superficial acelerado (Figura 41). Além disso, identificou-se a criação de uma espécie de dique de proteção, ao lado de uma rua paralela ao córrego. O objetivo da construção do dique foi evitar que o escoamento superficial concentrado no traçado da rua chegasse às feições de grande porte (Figura 42).

Figura 41 - Cordão de nível em encosta.



Fonte: Rotta (2012).

Figura 42 - Dique construído a partir de solo movimentado paralelo a rua.



Fonte: Rotta (2012).

Também foram criadas caixas de passagem (Figura 43) próximas a uma das ruas com o objetivo de redirecionar as águas de escoamento superficial, no entanto, essa ação acabou por favorecer o surgimento de processos erosivos devido a velocidade do escoamento. A fim de minimizar esses novos focos de erosão foram implantados blocos de rochas, cordão em níveis e muros de contenção nas saídas dessas tubulações (Figura 44). A área próxima ao córrego onde ocorrem as voçorocas foi cercada com o objetivo de impedir a circulação de gado.

Figura 43 - Caixa de passagem próxima a rua.



Fonte: Rotta (2012).

Figura 44 - Blocos de rocha nas saídas das tubulações a fim de evitar o surgimento de novos processos.



Fonte: Rotta (2012).

Segundo Rotta (2012), o uso de pastagens em área com processos erosivos não é adequado, visto que também ocorria a criação de gado. Além do mais, não houve nenhum tipo de acompanhamento na área (monitoramento), o que deveria ser feito tendo em vista que a vegetação aplicada não era nativa.

Com relação a medida de cordão de nível, o erro de projeto segundo a autora, foi o distanciamento adotado entre as estruturas, que deveriam ser entre 10 m a 20 metros e não de 30 metros, como constatado em alguns pontos.

O desvio do escoamento superficial através da medida de caixa de passagem também não foi totalmente eficaz pois as tubulações direcionadas às margens do córrego acabaram por favorecer a evolução das voçorocas que lá se encontram. Visando minimizar o impacto das obras de micro drenagem, foram aplicados muros de contenção, cordão de nível e blocos de rochas, os quais também tiveram aplicação inadequada. De acordo com Rotta (2012), o correto seria o aperfeiçoamento das obras de micro drenagem, estudando seu dimensionamento e disposição no terreno.

Os diques construídos ao lado do córrego com o objetivo de conter o escoamento superficial concentrado nas voçorocas ali localizadas também foi ineficiente, pois as feições continuaram ativas e a própria barreira estava prejudicada. A autora constatou que uma medida mais eficiente seria a aplicação de obras de micro drenagem, como canaletas.

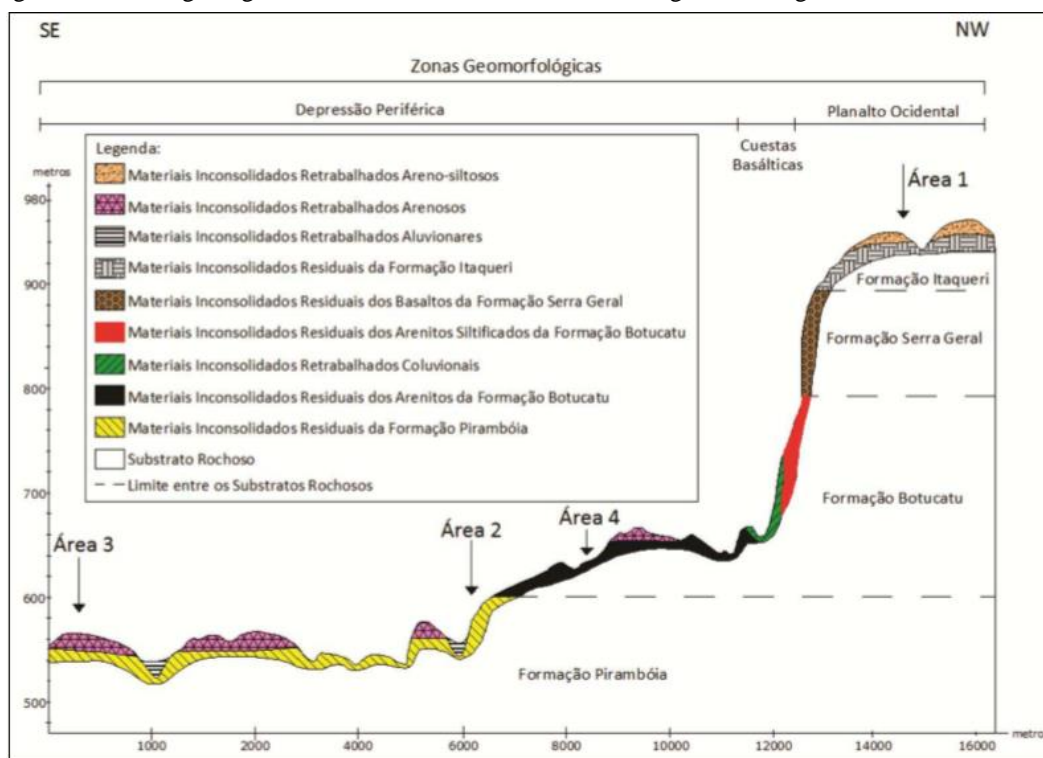
De forma geral, Rotta (2012) afirma que para conter os processos erosivos existentes na área, as melhores soluções em termos de técnicas de recuperação seriam

obras de retaludamento, aterramento das feições e construção de obras de drenagem. No entanto, considerando o custo elevado destas técnicas, poderiam ter sido feitos o reflorestamento das áreas próximas ao córrego e construção de obras de drenagem mais simplificadas.

5.4.2. Área 2

A área 2 é formada por materiais inconsolidados residuais da Formação Pirambóia sobrepostos por materiais retrabalhados arenosos (Figura 45). De acordo com o estudo de Yamanouth (2003), Rotta (2012) aponta que a partir do índice de erodibilidade, os materiais residuais maduros da Formação Pirambóia apresentam baixa resistência à erosão. Com relação aos materiais retrabalhados arenosos de topo, os resultados do índice de erodibilidade apresentaram valores variados, mas que a autora explica que, de acordo com as observações feitas em campo, as amostras com índice de erodibilidade menor que 1 são as mais representativas, devido a presença de processos erosivos no local. Os valores variados se devem provavelmente pela amostragem ter sido feita no talude da feição erosiva que mais estava exposta à luz do sol.

Figura 45 - Perfil geológico, materiais inconsolidados e classes geomorfológicas das áreas 1, 2, 3 e 4.

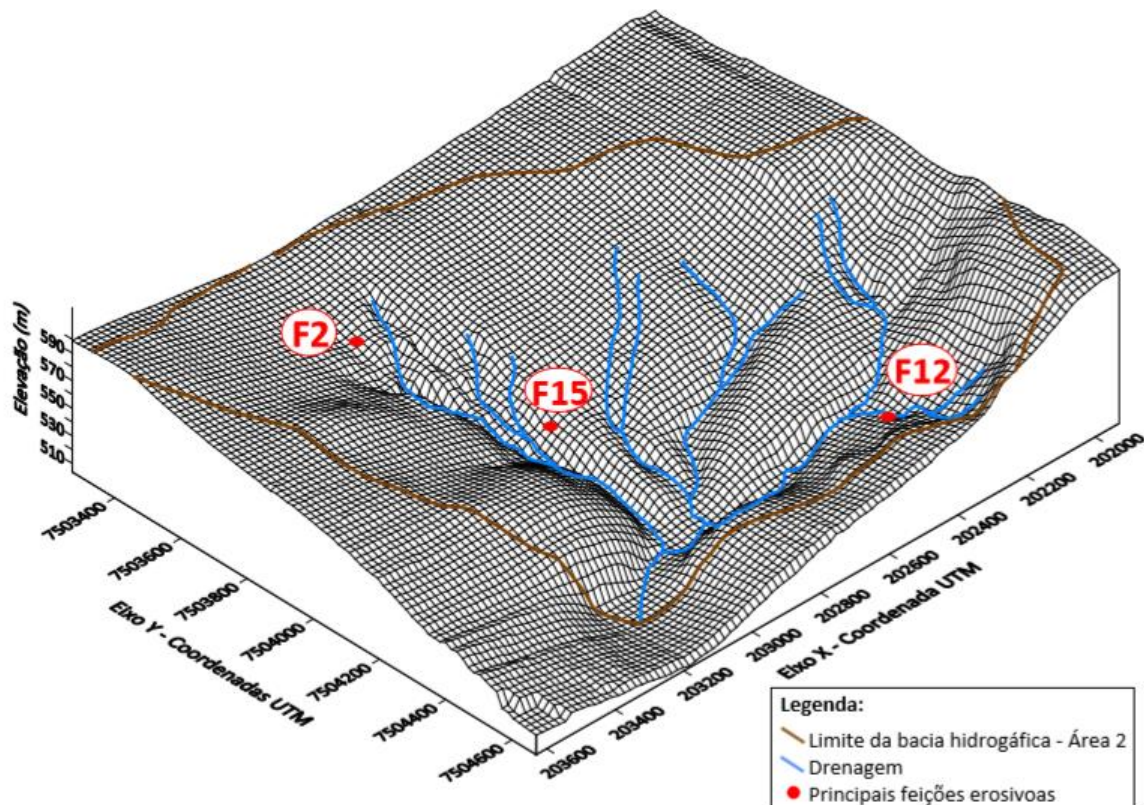


Fonte: Rotta (2012).

A autora identificou a presença de 14 feições erosivas considerando uma fotografia aérea de 1972. Em relação ao uso e ocupação da área, inicialmente era coberta por pastagens, posteriormente, com o desmatamento da área e a presença de criação de gado, os processos erosivos se intensificaram. Em 1995, a área passou por uma expansão urbana e no ano de 2000, já se encontrava com loteamentos, vias de acesso e obras de infraestrutura. Em 2006, através de fotografia aérea, Rotta (2012) constatou que a maioria das feições foram recuperadas.

A Figura 46 demonstra duas feições (F2 e F12) que foram reativadas e uma nova feição (F15). A feição F2 apresentava 400 m de comprimento, 80 m de largura e 20 a 60 m de profundidade. O trecho inicial dessa feição encontrava-se estável e próximo à cabeceira de drenagem, onde localizava-se uma barragem para contenção de sedimentos. A jusante da barragem, a feição estava com instabilidade nas paredes e afloramento de lençol freático. A feição F12 apresentava 100 m de comprimento, 5 a 15 m de largura e 4 m de profundidade. A feição foi reativada pelo escoamento superficial concentrado advindo de uma das vias de acesso do bairro. Por último, a feição F15 era recente e ativa, com afloramento do lençol freático e a presença do fenômeno *piping*.

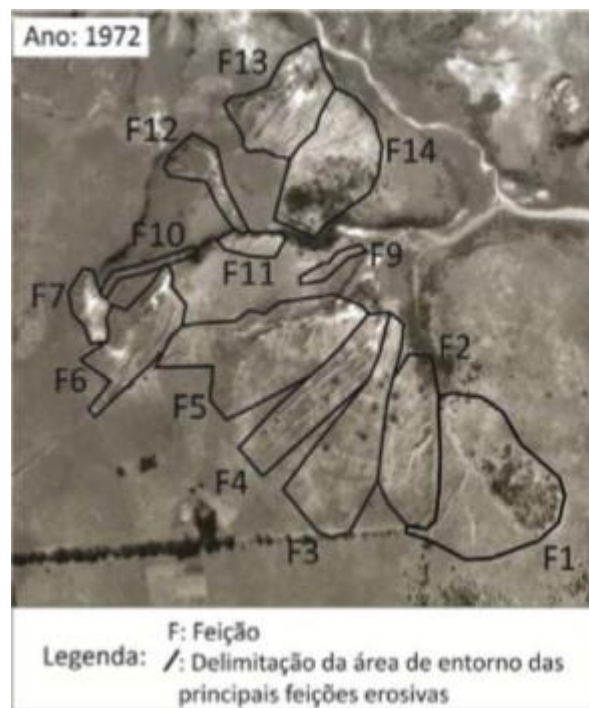
Figura 46 - Superfície 3D da área 2 com a localização das feições erosivas.



Fonte: Rotta (2012).

Com relação as técnicas de recuperação aplicadas na área, através de fotografias aéreas de 1962, 1972, 1988, 1995, 2000 e 2006, a autora constatou que ocorreram alterações nas atividades de recuperação utilizadas na área. Entre 1962 e 1972, foram utilizados cordões de nível ao longo das encostas. Entre 1972 e 1988, a área ocupada pela feição erosiva F1, que era coberta por pastagens, foi substituída pela presença de *pinus*. Além disso, houve reflorestamento na feição F6 e aterramento, reflorestamento e implantação de cordões de nível na feição F3. A Figura 47 demonstra a localização das feições no ano de 1972.

Figura 47 - Delimitação das feições erosivas de acordo com fotografia aérea de 1972.



Fonte: Rotta (2012).

Entre os anos de 1988 e 1995, com a ocorrência da ocupação urbana, as feições F1, F3, F4, F5, F6, F7, F10, F13, F14 e parte da feição F12 foram aterradas. Para proteger o aterramento, foram feitos cordões de nível apenas nas feições F3, F4, F5, F6, F7, F13 e F14. Na feição F2, foi identificado a presença de esgoto e água pluvial, o qual foi canalizado havendo, posteriormente, aterramento da feição. Entre 1995 e 2000, nas feições F3, F4 e F5, ocorreu a construção de algumas casas e implantação de vias de acesso. A feição F2 foi reativada e o sistema de canalização no seu interior foi danificado. A fim de conter a evolução do processo, foram construídos cordões de nível no entorno da feição juntamente da plantação de *pinus*. Nesse período, também foi construída a barragem de contenção de sedimentos próxima a cabeceira da feição e parte da feição F12

foi reativada devido ao escoamento superficial concentrado advindo das vias de acesso próximas.

A autora delimitou através da fotografia aérea da área de 2006, oito regiões que ocorreram medidas de recuperação (Figura 48).

Figura 48 - Delimitação das áreas de recuperação a partir de fotografia aérea de 2006.



Fonte: Rotta (2012).

Em 2012, a partir de visitas ao campo, a autora constatou que, em comparação com 2006, as áreas R4 e R5 permaneceram as mesmas, ou seja, com a presença de pastagens e cordões de nível. Na área R2, onde estava localizada a feição F2, observou-se a continuidade da barragem, plantação de pinus e cordões de nível em seu entorno. Porém, a feição F2 passou a ser um depósito de entulho e resíduos, o que prejudica ainda mais a degradação do local.

Em 2006, houve recuperação da mata ciliar por parte dos moradores na área R8 e, em 2012, houve a tentativa de plantação de mudas. No entanto, algumas mudas não se adaptaram as características locais. Também em comparação entre os anos de 2006 e 2012, inicialmente, as áreas R3, R6 e R7 tiveram um aumento na ocupação urbana. Em 2012, foi observado que algumas vias foram implementadas perpendicularmente às curvas de nível, direcionando o escoamento superficial para uma área sem ocupação próxima a drenagem, como mostra a Figura 49.

Figura 49 - Direcionamento do escoamento superficial através da inclinação do terreno para canaletas.



Fonte: Rotta (2012).

Analisando as medidas de recuperação aplicadas, Rotta (2012) apontou que as primeiras medidas – cobertura por pastagem e cordões de nível – não foram eficientes por conta do pisoteamento do gado e pelo fato de os cordões de nível serem insuficientes para contenção da evolução dos processos erosivos, considerando que já existiam feições de grande porte naquela época.

Já entre os anos de 1972 e 1988, quando houve a plantação de *pinus*, essa medida também foi insuficiente pois visava apenas a contenção do processo e não sua recuperação. Na feição F3 onde houve aterramento, reflorestamento e implantação de cordões de nível, a autora concluiu que as medidas foram efetivas pois o aterramento suprimiu a presença do processo erosivo.

Entre 1988 e 1995 houve o aterramento de diversas feições com o solo do próprio local, o que não é recomendado pois o material a ser aplicado deve ser analisado previamente, caso contrário pode comprometer a efetividade da técnica. Além disso, o aterramento de regiões com presença de escoamento superficial e subsuperficial deveria ser feito simultaneamente à construção de obras de macrodrenagem ou drenos.

Entre 1995 e 2000, a feição F2 foi reativada e foram plantados *pinus* em seu entorno. Essa medida foi considerada pela autora ineficiente pois não impede totalmente que o escoamento superficial chegasse à feição. Também nesse período notou-se que a feição F12 foi reativada por conta do escoamento advindo de uma via de acesso.

No ano de 2006 observou-se que a medida de reflorestamento aplicada na área R8 foi eficiente e que os cordões de nível aplicados nas regiões R4 e R5 necessitam de

manutenção para uma melhor eficiência, já que as regiões apresentavam sulcos e afloramento do substrato rochoso.

Em 2012, Rotta (2012) verificou que a plantação de mudas na região R8 foi ineficaz pois não levou em consideração as características do local para escolha das espécies. Além disso, havia uma defasagem nas obras de microdrenagem do bairro pois nas áreas R3, R6 e R7 onde ocorreu a ocupação urbana, o traçado das vias foi feito de forma inadequada. Isso se deu, pois, a inclinação do terreno favorecia o escoamento superficial e as canaletas foram construídas apenas no trecho final. E, ainda, as canaletas direcionavam as águas superficiais para áreas não ocupadas, como a feição F12, o que contribuiu ainda mais para sua evolução. A autora sugeriu que fossem criadas estruturas coletoras ao longo de toda via e que houvesse estruturas de dissipação de energia a jusante das canaletas.

5.4.3. Área 3

A área 3, da mesma forma que a área 2, é formada por materiais inconsolidados residuais da Formação Pirambóia sobrepostos por materiais retrabalhados arenosos (Figura 45).

De acordo com a fotografia aérea de 1965, a autora constatou a presença da primeira grande feição erosiva na área, chamada de F1 (Figura 50A), a qual teve seu surgimento em função do desmatamento da área para criação de gado e pastagens.

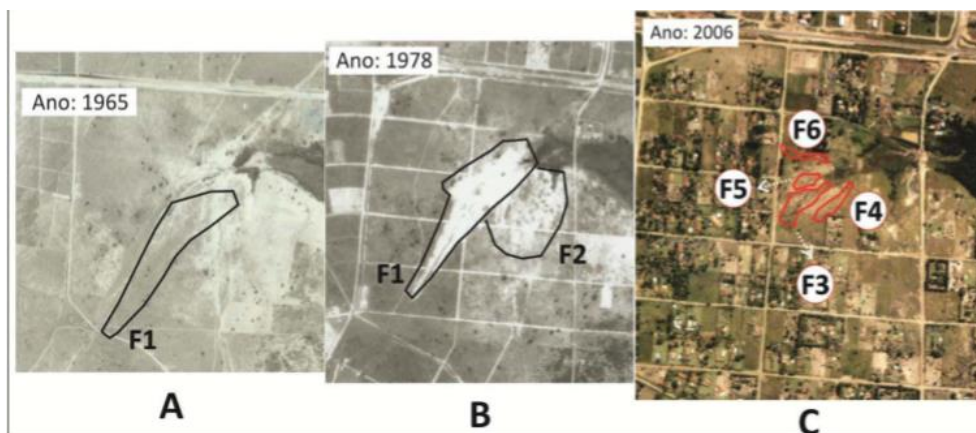
Já no ano de 1970, a feição F1 foi aterrada com o objetivo de utilizar a área para construção de pousadas e vias de acesso. A partir da movimentação do solo para aterramento da feição F1 surgiu uma nova feição (F2) com o solo exposto (Figura 50B).

Em 2006, Rotta (2012) observou o aumento da expansão urbana, através da construção de casas. Neste período, foram identificadas quatro novas feições, F3, F4, F5 e F6 (Figura 50C) que possuem as seguintes características:

- F3: comprimento de 150 m, largura de 10 m e profundidade entre 1 e 2 m. Considerada descontínua de encosta, fundo estável e alguns pontos de instabilidade nas paredes, sem conexão com a drenagem;

- F4: comprimento de 150 m, largura de até 40 m, profundidade menor que 1 m. Considerada bastante estável, em formato de “U”, sem conexão com a drenagem e com fundo vegetado;
- F5: comprimento de 50 m, largura de até 10 m, profundidade de 1 a 2 m. Também não apresenta conexão com a drenagem;
- F6: comprimento de 70 m, largura de 10 m, profundidade de até 4 m. Possui conexão com a drenagem e é a feição mais evoluída de todas, apresentando sulcos nas paredes.

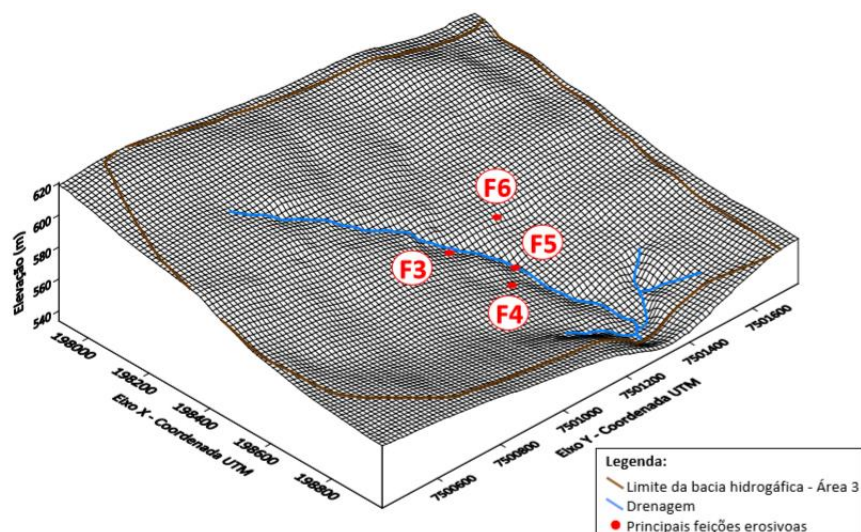
Figura 50 - Feição erosiva F1 e sua evolução nos anos 1965, 1978 e 2006.



Fonte: Rotta (2012).

A Figura 51 apresenta o esquema 3D das principais feições erosivas encontradas na área 3.

Figura 51 - Esquema 3D das principais feições da área 3.



Fonte: Rotta (2012).

Com relação as medidas de recuperação aplicadas na área, como dito anteriormente, a principal medida foi o aterramento da feição F1. Posteriormente, com o surgimento das quatro novas feições reativadas após o aterramento da feição F1, foi implantada a cobertura vegetal por gramíneas nas quadras onde estão localizadas as novas feições. Além disso, ao redor dessas quadras, a autora observou a presença de barreiras de proteção construídas com o solo do local a fim de reduzir a quantidade de escoamento superficial que chegava a essas feições (Figura 52).

Sobre a efetividade dessas medidas aplicadas, a autora considerou o aterramento da feição F1 efetivo para a ocupação urbana, já que das oito quadras onde a feição F1 se localizava, seis não apresentaram a presença de processos erosivos. Porém não foi efetivo totalmente, já que quatro feições foram reativadas. Além disso, não houve nenhum tipo de estudo para saber qual tipo de material deveria ser aplicado no aterramento. Rotta (2012) também apontou a necessidade de construção de drenos ou obras de macrodrenagem simultaneamente ao aterramento da feição.

Em relação a cobertura vegetal por gramíneas e a construção das barreiras de proteção, mostraram-se ineficientes para contenção dos processos. A barreira não se mostrou uma medida razoável para refrear o escoamento superficial que chegava as feições e a cobertura por gramíneas não teve nenhum tipo de manutenção.

Figura 52 - Barreira de proteção construída com o solo do local ao redor das feições erosivas a fim de conter sua evolução.



Fonte: Rotta (2012).

5.4.4. Área 4

A área 4 é constituída pelos materiais inconsolidados residuais da Formação Botucatu em sua maioria, também ocorrendo a presença dos materiais retrabalhados arenosos, presentes nas áreas 2 e 3. De acordo com Fernandes (2003 apud ROTTA, 2012), os materiais residuais da Formação Botucatu são arenosos e apresentam alta resistência à erosão.

As primeiras feições de grande porte surgiram nessa área por conta do desmatamento, feito com a finalidade de implantação de pastagens. Posteriormente, surgiu a plantação de eucaliptos para fins comerciais. Nas figuras 53 e 54 são apresentadas as feições identificadas nas fotografias aéreas de 2000 e 2011, segundo Rotta (2012).

Figura 53 - Delimitação das feições erosivas de acordo com fotografia aérea de 2000.



Fonte: Rotta (2012).

Figura 54 - Delimitação das feições erosivas de acordo com fotografia aérea de 2011.

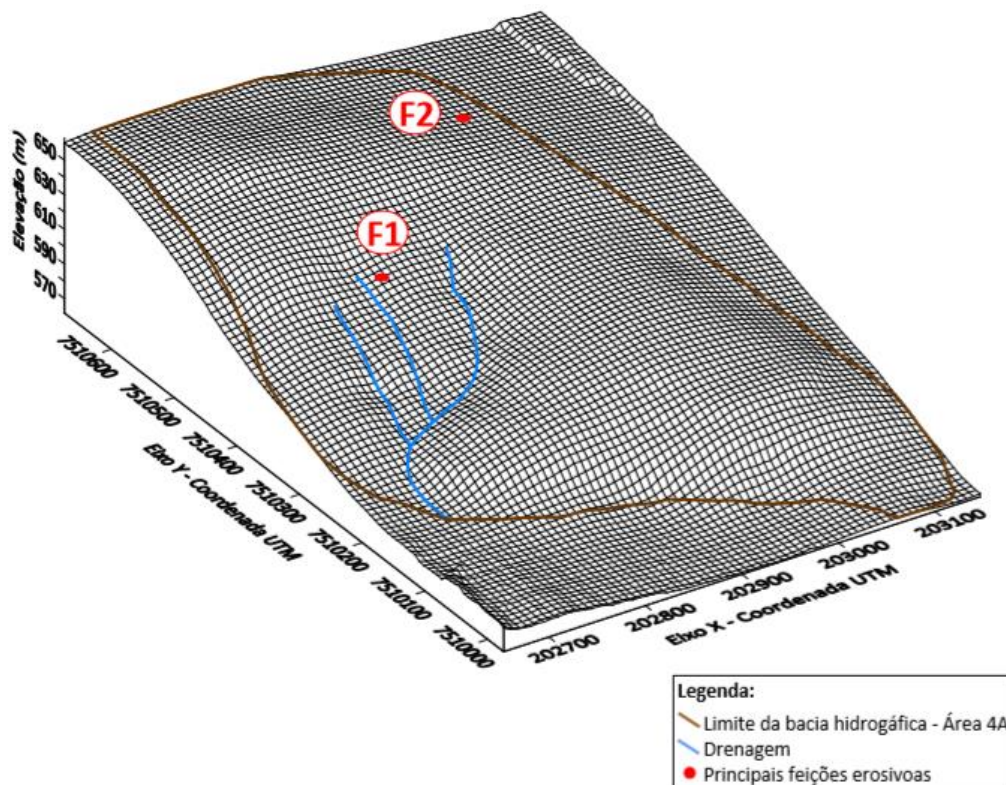


Fonte: Rotta (2012).

O esquema 3D (Figuras 55 e 56) apresenta as três principais feições e as bacias hidrográficas localizadas na área 4. Segundo Rotta (2012), as características destas feições são:

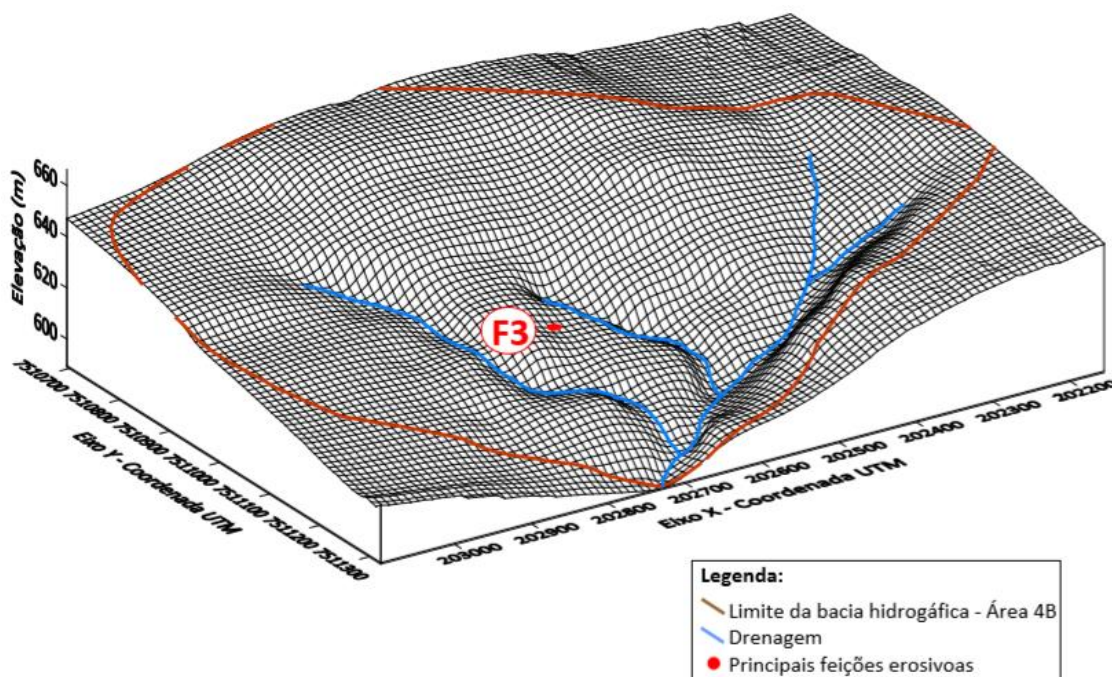
- F1: comprimento de 100 m, largura de 100 m e profundidade de 50 m. Feição em formato de “V” com água em seu interior, ramificada, contínua de cabeceira e com sulcos desmoronamentos em suas paredes;
- F2: comprimento de 150 m, largura de 30 m e profundidade de 50 m. Feição sem conexão com a drenagem e sem água no interior;
- F3: comprimento de 200 m, largura de 200 m e profundidade entre 40 e 50 m. Feição com conexão a drenagem, ramificada, em formato de “V” com vegetação de pequeno porte e sem água em seu interior.

Figura 55 - Esquema 3D de uma das bacias com as principais feições da área 4.



Fonte: Rotta (2012).

Figura 56 - Esquema 3D da outra bacia da área 4 com sua principal feição.



Fonte: Rotta (2012).

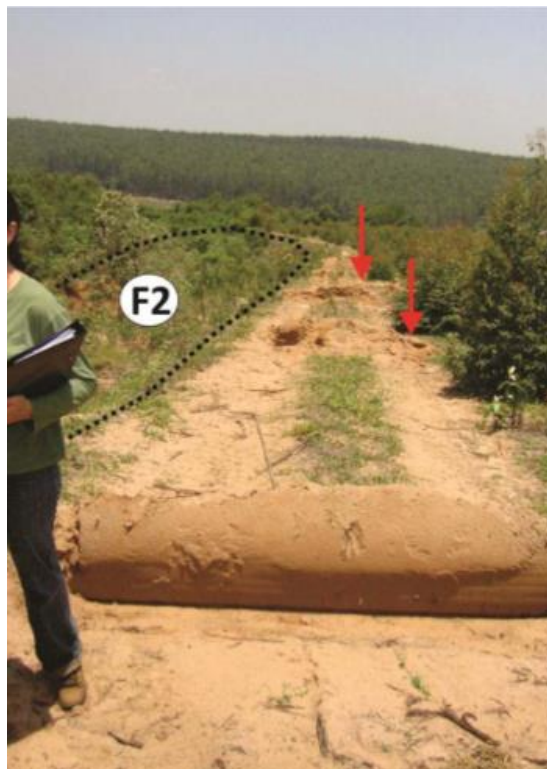
Com relação as medidas de recuperação adotadas na área, no ano de 2000, observou-se que no entorno das feições erosivas havia a presença de alguns cordões de nível. Em 2005, com a substituição das pastagens por plantações de eucalipto, foi implantada uma medida chamada de barreira de galhos (*brush barrier*). Essa medida baseia-se na aplicação de ramos secos ou galhos entre as fileiras de eucalipto, a fim de reduzir o escoamento superficial (Figura 57). Outra medida aplicada foi ao redor da feição F2, onde foram feitos buracos por máquinas agrícolas. Dessa forma, há um aumento da infiltração e conseqüentemente, reduzindo o escoamento superficial que chega à feição. (Figura 58).

Figura 57 - Medida de barreira de galhos aplicada entre as fileiras de eucaliptos.



Fonte: Rotta (2012).

Figura 58 - Buracos feitos na lateral da feição F2.



Fonte: Rotta (2012).

De acordo com a análise sobre as medidas de recuperação aplicadas, a autora considerou que os cordões de nível aplicados no entorno das feições no ano de 2000 não foram eficientes para o controle dos processos, indicando que não houve um estudo para que o espaçamento entre os cordões fosse regular.

Já com relação a medida de barreira de galhos, segundo Rotta (2002), a técnica foi eficiente para proteção das encostas, porém ineficiente na contenção da evolução dos processos, já que as feições se encontravam com grande atividade ao fundo e instabilidade nas paredes. Rotta (2012) constatou que as dimensões das barreiras estavam menores que as recomendadas, portanto, a autora sugeriu que se houvesse material disponível, elas fossem aumentadas.

A medida de implantação de depressões ao redor da feição F2 foi considerada ineficiente pois a feição apresentava atividade em seu fundo e paredes instáveis. A autora observou que não houve planejamento na aplicação dessa medida pois as depressões não foram muito profundas, ou seja, poderia ocorrer transbordamento, favorecendo o escoamento superficial. Rotta (2012), concluiu que para total eficiência da medida, deveriam ser feitos cálculos de determinação de vazão e área de captação de cada uma

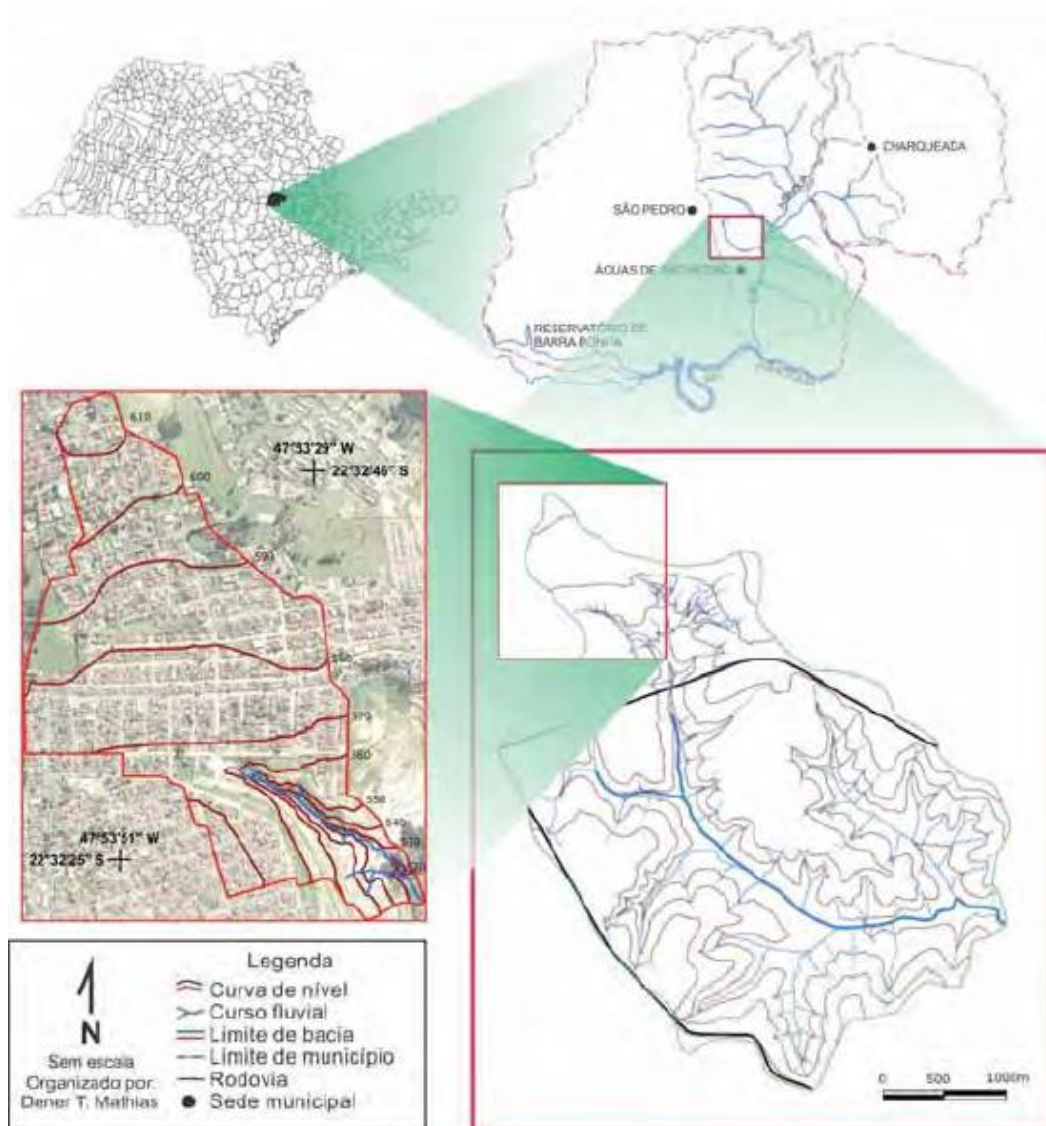
das depressões, a fim de se obter o dimensionamento correto deles. Além da manutenção, pois pode haver assoreamento das depressões prejudicando a eficiência da medida.

Com relação a plantação de eucalipto para fins comerciais, a autora apontou que deveria ser feita uma manutenção nos primeiros estágios de crescimento e aplicação de técnicas complementares para proteção de solo, já que a floresta é incessantemente derrubada e replantada.

5.5. Propostas de recuperação para feições erosivas na Bacia do Córrego Tucunzinho (MATHIAS, 2011)

Com base em uma metodologia chamada Teoria Geral dos Sistemas aplicados à Geografia e a partir do cálculo dos parâmetros hidrológicos e geomorfológicos da área, Mathias (2011) foi capaz de compreender os processos erosivos na Bacia Hidrográfica do Córrego Tucunzinho e propor técnicas de recuperação para as feições erosivas. A Bacia do Córrego Tucunzinho pertence à Bacia do Córrego Tuncum e está localizada na porção central do Estado de São Paulo (Figura 59).

Figura 59 - Localização da Bacia do Córrego Tucunzinho de acordo com o Estado de São Paulo e sua bacia pertencente.



Fonte: Mathias (2011).

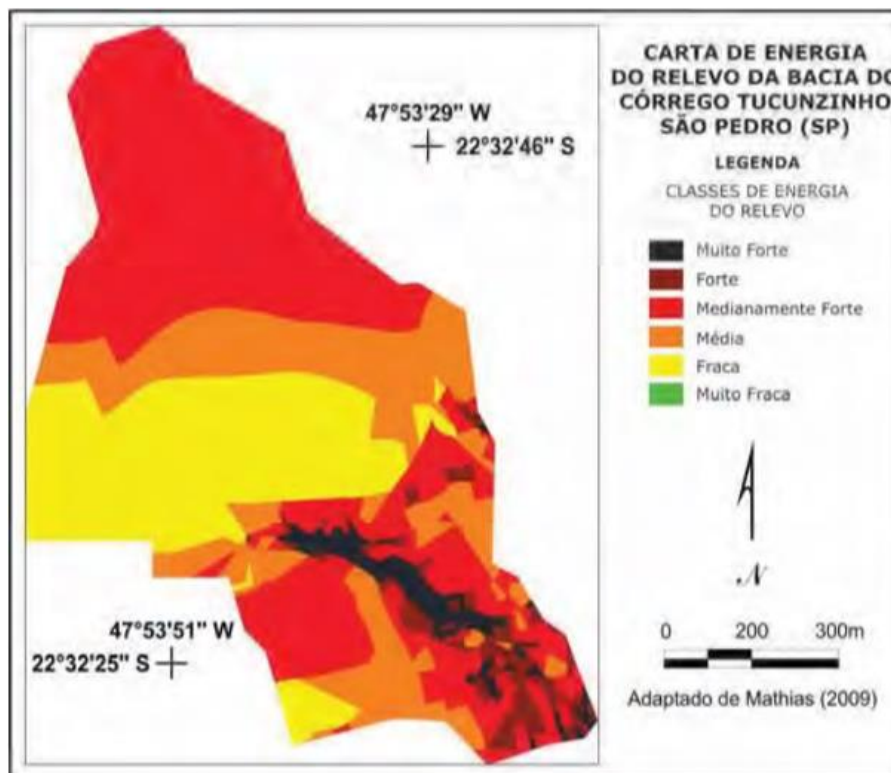
5.5.1. Parâmetros hidro geomorfológicos

Mathias (2011), analisou a carta topográfica da bacia e, a partir dela, verificou que os traçados das ruas favorecem o escoamento superficial pois estão posicionados a favor da declividade do terreno. A única obra de microdrenagem implantada na bacia são as galerias pluviais, as quais possuem seu emissário posicionado à jusante do córrego e, como elas representam o acúmulo das vazões de grande porte da área urbana, atingem a área baixa da bacia com um grande potencial erosivo. Além disso, as formas de vertente são côncavo-retilíneo no topo e convexo nas porções do relevo próximo a foz, favorecendo a o surgimento de processos erosivos.

O autor elaborou a carta de declividade na escala 1:2.000 e verificou que a maior parte da bacia é ocupada por vertentes de gradientes que variam entre 5% e 15%. Na parte inferior da bacia há uma ruptura topográfica onde o declive atinge gradientes de 30% a 45%. Essa ruptura é responsável pela área de maior susceptibilidade da bacia, ou seja, nessa área há um aumento da linha do rebordo erosivo, tanto por conta da suscetibilidade a erosão quanto pela ocorrência do fenômeno de *piping*.

Com relação ao potencial de desencadeamento de processos morfogenéticos, ao analisar o mapa de Mathias (2009) (Figura 60), observa-se que a maior parte da bacia está localizada sob classe medianamente forte, que de forma geral, estão localizados nos gradientes de declividade de 15% a 30%. Sob a classe muito forte está a maior incidência de processos erosivos.

Figura 60 - Carta de energia do relevo da Bacia do Córrego Tucunzinho.



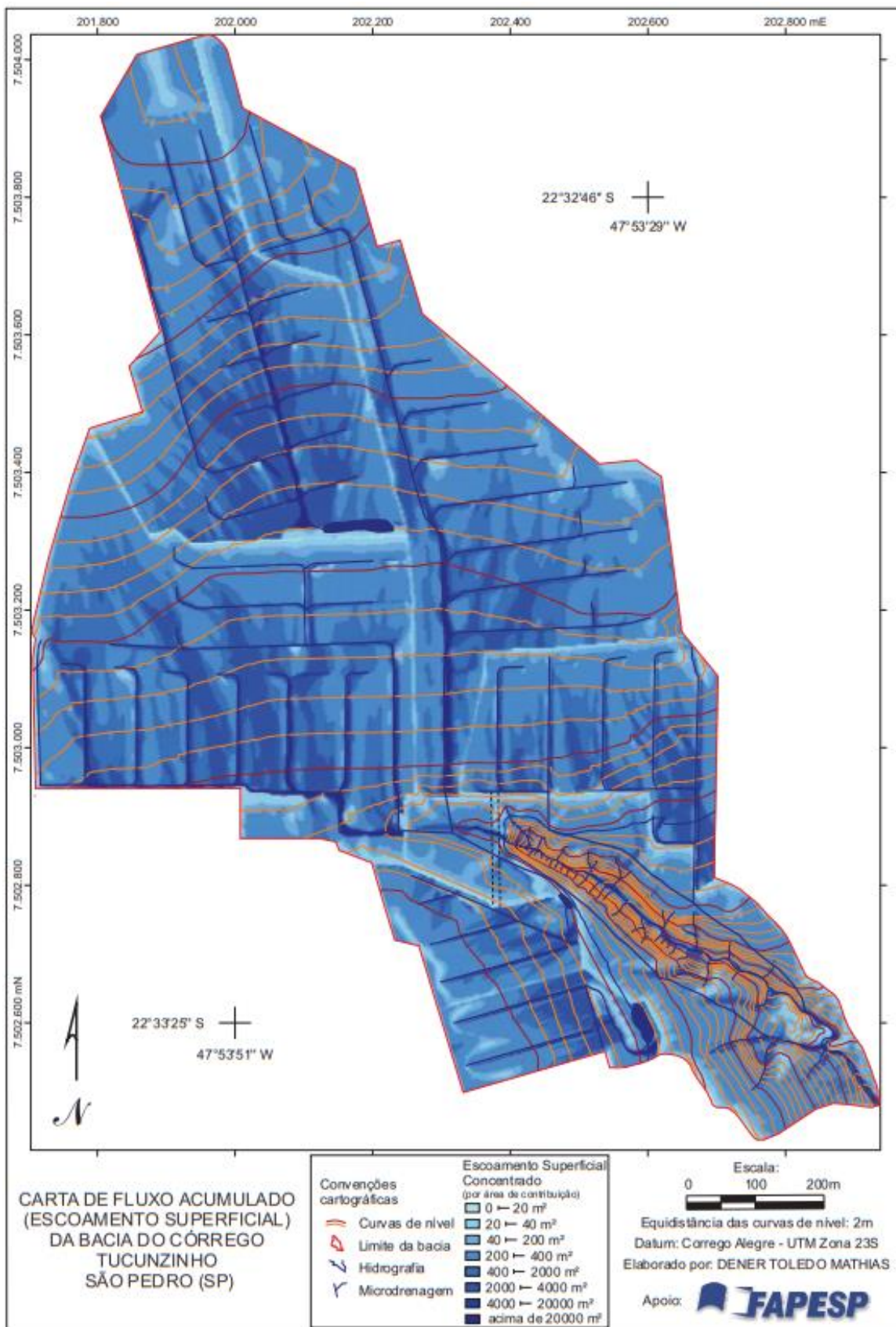
Fonte: Mathias (2011).

Com relação ao uso e ocupação do solo, Mathias (2011) aponta que o avanço da urbanização tem se dado sob áreas que antigamente eram ocupadas por pastagens, comparando os anos de 1962 e 2000. Além disso, ao analisar a carta de uso e ocupação, concluiu-se que 64% da área pode ser considerada impermeável por conta da expansão urbana. O autor constatou a presença de bacias de retenção, uma localizada na porção

norte e duas localizadas na porção sudoeste. A bacia de retenção localizada na porção norte possui exutório conectado à rede de galerias pluviais, já as duas bacias da região sudoeste são responsáveis pela retenção do escoamento, pois nessa área não há a presença de galerias pluviais. Ambas estão situadas nas proximidades da voçoroca do Córrego do Tucunzinho, e como não há nenhuma medida de disciplinamento do escoamento superficial, as águas pluviais acabam gerando sulcos e outras formas erosivas.

Mathias (2011) elaborou a carta de fluxo acumulado da bacia do Córrego Tucunzinho (Figura 61), e constatou que o escoamento segue o curso natural da topografia, mas esse fluxo pode ser alterado por conta das modificações de estruturas de microdrenagem. Dessa forma, para melhor analisar a bacia, o autor a subdividiu em setores. São nove setores, sendo que a maioria deles representa a área das águas coletadas pelas galerias pluviais, que seguem até emissários localizados na parte baixa da bacia. A partir do *software* IPHS2, o autor realizou a modelagem hidrológica, obtendo os dados de vazão de cada um dos setores, considerando uma precipitação de 60 minutos. Para as operações hidrológicas foram simulados dois cenários, o de pré-ocupação da área e o cenário atual da época. Para tanto, o autor utilizou o parâmetro CN, que é definido com base no uso e ocupação da área e sua classe hidrológica. Com relação à situação de pré-ocupação, o autor escolheu o CN da classe de pastagens normais (Tabela 7).

Figura 61 - Carta de fluxo acumulado da Bacia do Córrego Tucunzinho.



Fonte: Mathias (2011).

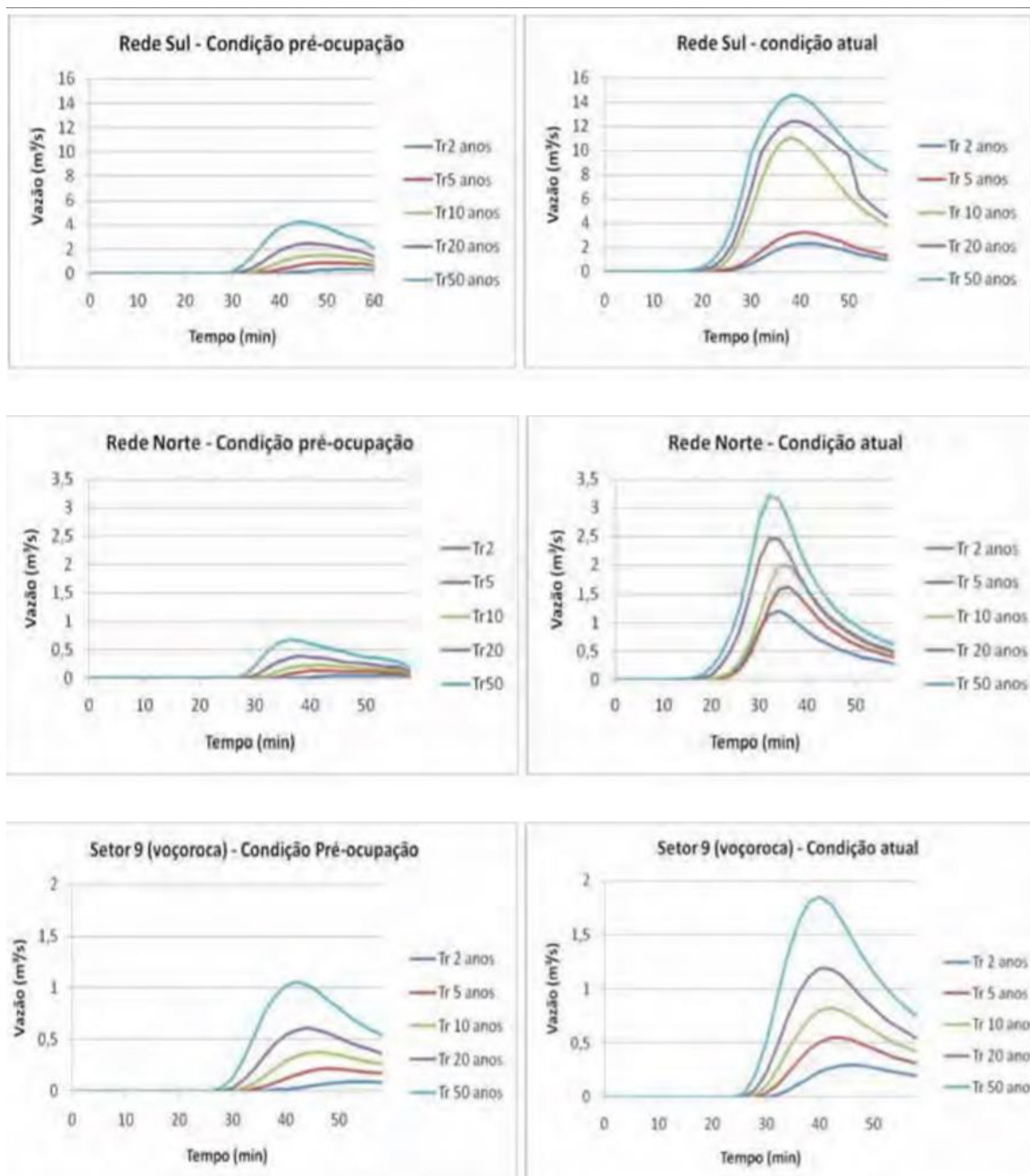
Tabela 7 - Setorização da bacia do Córrego do Tuncum e parâmetros CN adotados.

Projeto	Setor	CN médio - Condição	
		Atual	Pré ocupação
Rede Sul	1	81	59
	2	80	59
	3	81	59
	4	86	59
	5	85	59
Rede Norte	6	84	59
	7	82	59
	8	87	59
Voçoroca	9	66	59

Fonte: Mathias (2011).

Sendo assim, Mathias (2011) aponta que dentre os hidrogramas escolhidos para representação (Figura 62) para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 50 anos, houve um aumento relevante da vazão de pico que chega ao curso da água. Isso se deve principalmente pelas obras de galerias pluviais e a inexistência de dissipadores de energia, aumentando a velocidade do escoamento superficial. Além disso, o autor verificou que, com exceção à voçoroca por não se tratar de uma área urbanizada, as vazões aumentaram no cenário atual em até dez vezes em um curto espaço de tempo, o que favorece o potencial erosivo.

Figura 62 - Hidrogramas dos pontos de controle representativos para modelagem da bacia do Córrego Tucunzinho, em condições de pré-ocupação e ocupação em 2011.



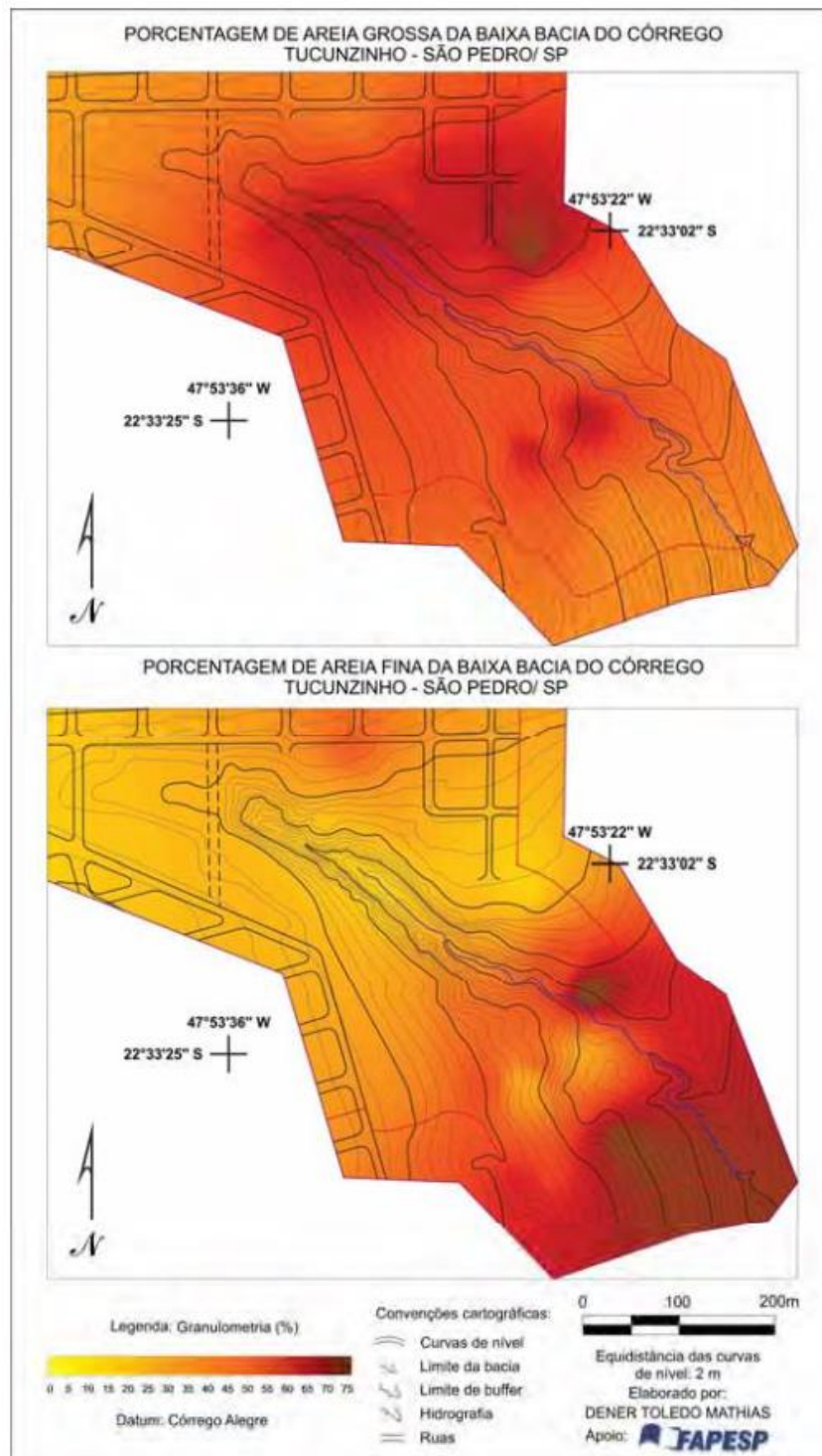
Fonte: Mathias (2011).

5.5.2. Diagnóstico da dinâmica erosiva da voçoroca do Córrego Tucunzinho

De acordo com a análise granulométrica feita pelo autor, ele constatou que na região próxima do exutório há uma predominância de areia fina que pode estar associada à litologia presente da área, ou seja, aos arenitos quartzosos de granulação fina a média que compõe a Formação Botucatu. Já na parte média e alta da bacia, observou-se a presença de fração areia grossa, advindos provavelmente do terracamento de feições

erosivas, de outras regiões. As porcentagens de areia fina e grossa da parte inferior da bacia é demonstrada na Figura 63.

Figura 63 - Porcentagens de areia fina e grossa na área inferior da Bacia do Córrego do Tucunzinho.



Fonte: Mathias (2011).

Já com relação as taxas de infiltração, foi constatado pelo autor que comparando as taxas entre o período úmido e seco na bacia, a diferença das taxas se deu principalmente

por conta da cobertura vegetal da área. Na região sul da bacia, o autor verificou que as taxas da infiltração tanto no período úmido quanto seco são muito baixas, principalmente devido a presença de areia fina. Por conta da menor porosidade desses materiais e da menor profundidade do lençol freático nessa área, o autor sugere que o nível de saturação do solo se mantém estável. Na porção sudoeste, o solo encontra-se altamente compactado por conta de obras de terraplanagem sem a presença de cobertura vegetal, fato que também diminui as taxas de infiltração.

Com relação a movimentação de água subterrânea, o autor observou que a presença de dutos (*pipes*) são responsáveis pelas maiores movimentações de água. Ele observou que em um dos ramos da voçoroca há a presença de um duto que se encontra, topograficamente, alinhado com um setor da vertente onde está localizada uma bacia de contenção. Sendo assim, a água que se infiltra nessa bacia pode encontrar uma linha preferencial de infiltração, onde sua saída coincide com o duto (Figura 64). Além disso, o autor verificou que um fator contribuinte para a evolução do processo erosivo é a presença de afloramento do lençol, observado em vários pontos ao longo da voçoroca.

Figura 64 - Bacia de contenção e ocorrência de piping na mesma topografia.



Fonte: Mathias (2011).

O autor apontou que além dos fatores cobertura vegetal e textura dos materiais inconsolidados, outro fator que corrobora para a evolução da voçoroca é a presença de terraços ao longo das vertentes nas bordas da voçoroca. Seu objetivo de estabilização de taludes é comprometido pela falta de vegetação e pelo fato de os terraços terem colapsado por conta do avanço do processo erosivo. Dessa forma, o dique que antecede os terraços

acaba por funcionar como um caminho preferencial para o escoamento superficial (Figura 65). É possível visualizar como essas obras influenciaram para formação de vetores erosivos e evolução da voçoroca na Figura 66.

Figura 65 - Vetores erosivos ocasionados pelo colapso dos terraços.



Fonte: Mathias (2011).

Figura 66 - Fotografia aérea da voçoroca adicionada das curvas de nível em 3D.



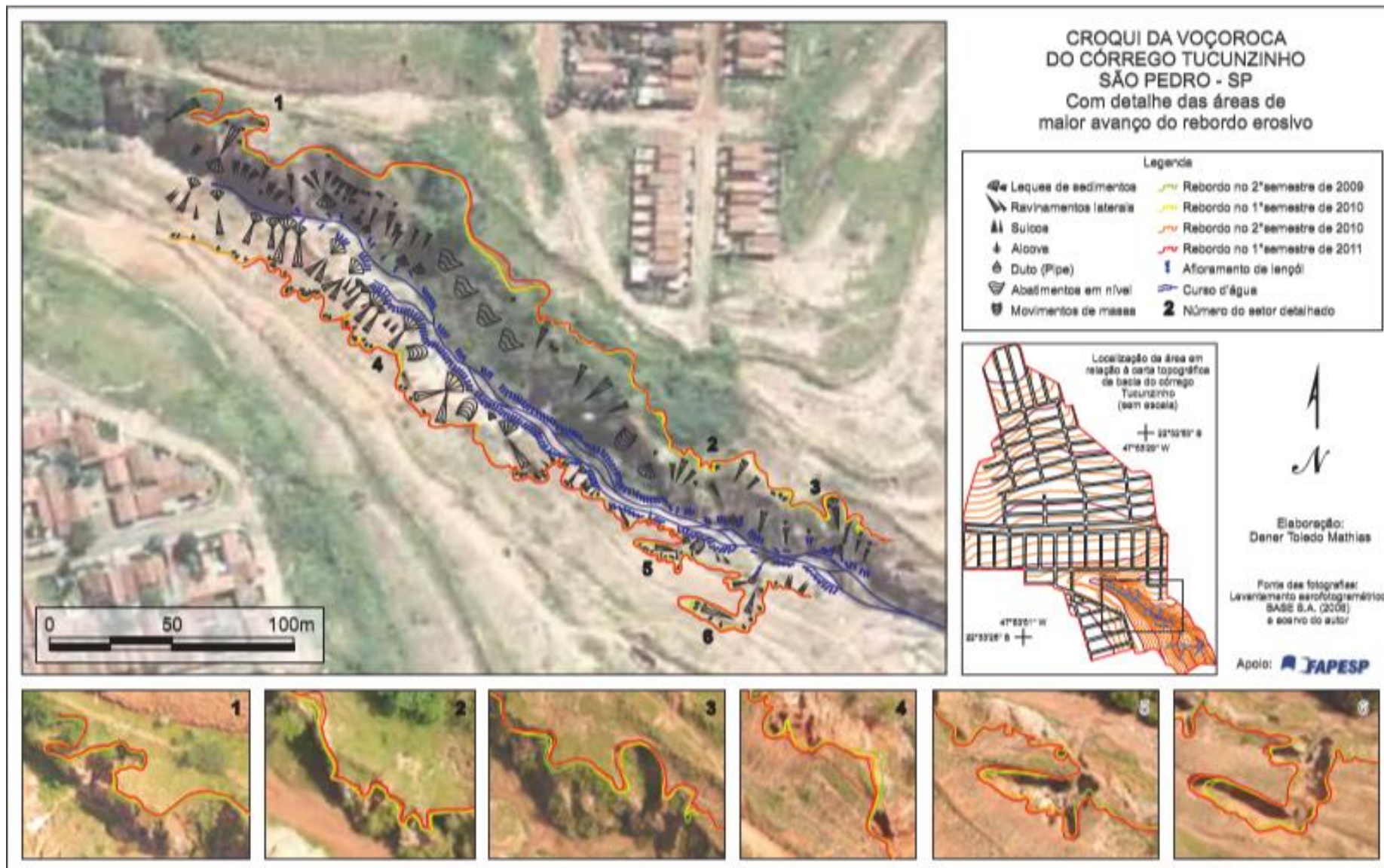
Fonte: Mathias (2011).

Mathias (2011) mapeou os ramos laterais da voçoroca e, para tanto, foi monitorado o avanço do rebordo erosivo ao longo de 24 meses a partir de quatro medições semestrais, sendo os resultados demonstrados na Figura 67. Verificou-se que alguns pontos tiveram maior propensão ao avanço, e podem estar relacionados com a

concentração de escoamento superficial por conta do colapso dos terraços e a dinâmica de subsuperfície, detectada pela presença dos dutos.

O autor apontou que a voçoroca se encontrava completamente ativa e, portanto, as medidas de terraceamento em torno da feição e de entulhamento com materiais inconsolidados foram inadequadas, contribuindo para a evolução do processo. Além disso, soma-se a ausência de um plano de revegetação da área. Outra medida implantada a fim de reduzir o escoamento superficial que chegava à área de fragilidade foram as obras de microdrenagem que visavam redirecionar o fluxo do escoamento advindo da área urbana para uma área distante dos processos erosivos. No entanto, como não foram combinadas com a construção de estruturas de dissipação de energia, os pontos de saída no córrego geram escavação do leito por conta do impacto do fluxo e solapamento das margens.

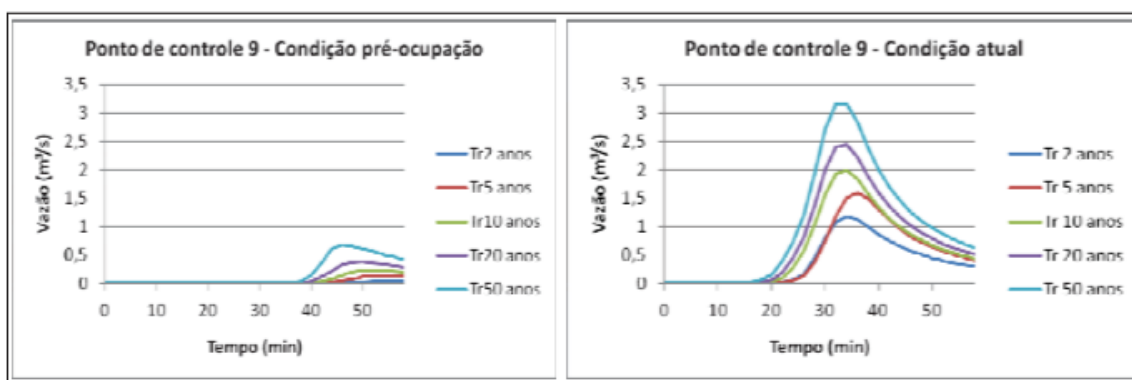
Figura 67 - Croqui da Bacia do Córrego do Tucunzinho.



Fonte: Mathias (2011).

Além disso, Mathias (2011) sugere que duas galerias pluviais que seguem paralelamente à voçoroca foram subdimensionadas, considerando que há presença de processos erosivos na borda das estruturas por conta de transbordamento. Essa suposição é validada pela demonstração de dois hidrogramas do emissário da rede norte, para as condições pré e pós ocupação. Os hidrogramas demonstram que para um período de retorno de dois anos, na condição atual da época, a vazão de pico era mais de 10 vezes maior que na condição pré-ocupação e o pico de vazão também ocorria muito antes (Figura 68).

Figura 68 - Hidrogramas do emissário norte nas condições pré-ocupação e na condição da época do estudo.

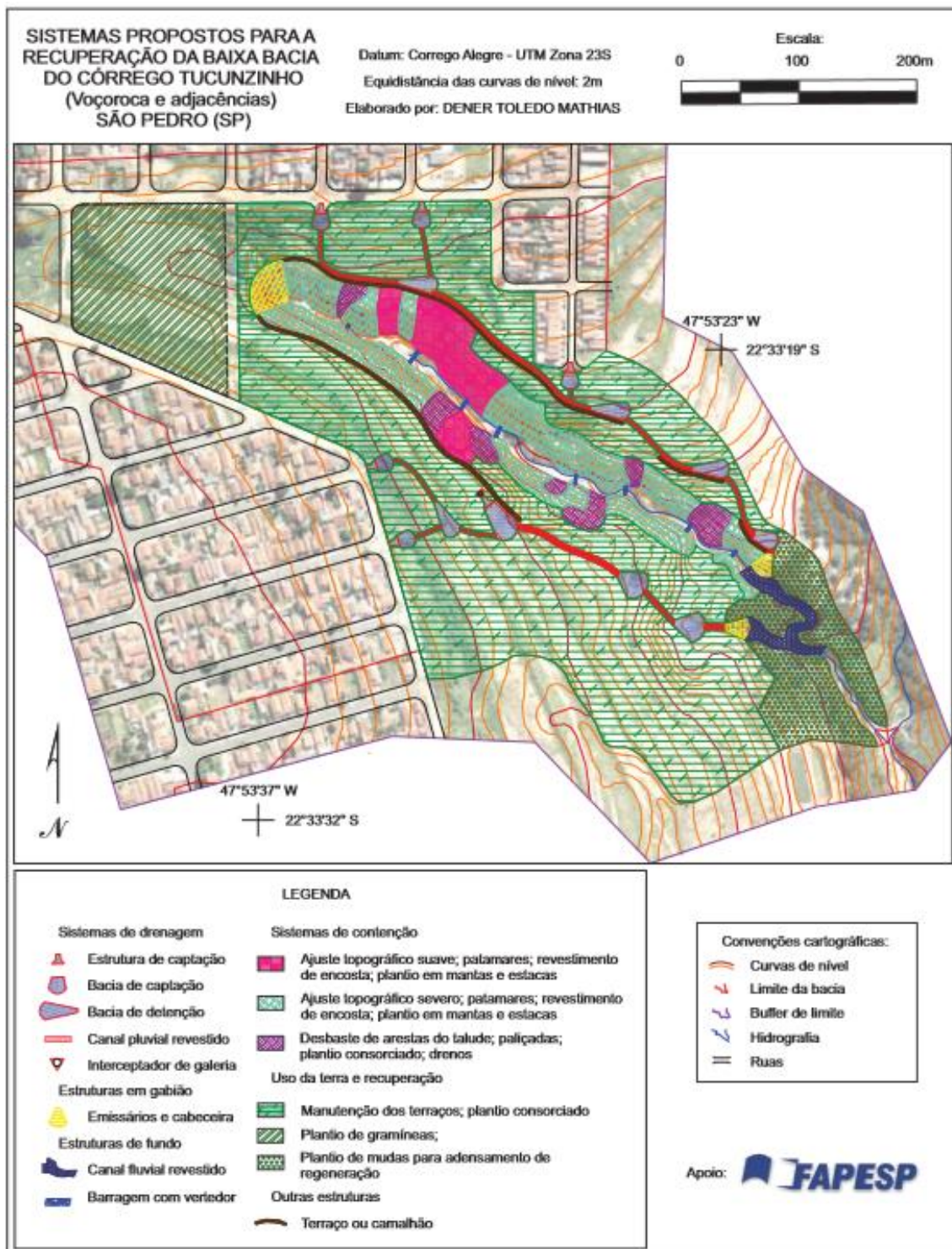


Fonte: Mathias (2011).

5.5.3. Propostas de recuperação da área

Para propor a recuperação da Bacia Hidrográfica do Córrego do Tucunzinho, o autor estudou os melhores equipamentos a serem aplicados para recuperação e controle erosivo, na qual as técnicas selecionadas estão apresentadas sob a carta topográfica da área (Figura 69). É importante destacar que as técnicas foram propostas com base no levantamento de campo e outros trabalhos (FRIENDICH, 1997; BAPTISTA, 2005; CUNHA, 1991, ARAUJO ET AL, 2008; GRAY & SOTIR, 1996; CARVALHO, 2006; PEREIRA, 2008; FACINCANI, 1995; MATHIAS, 2009).

Figura 69 - Mapeamento das técnicas propostas para a Bacia do Córrego Tucunzinho.



Fonte: Mathias (2011).

Com relação aos sistemas de captação, condução e descarga da água pluvial advindos da área urbana, o autor verificou que o fluxo de água advindo do meio urbano acaba sendo direcionado para o interior da voçoroca, e na porção nordeste da bacia ocorre um problema de transbordamento nas galerias pluviais, bem como falta de manutenção.

Além disso, tubulações construídas com concreto, favorecem o aumento da velocidade do escoamento superficial.

Dessa forma, Mathias (2011) sugere que na região noroeste sejam instaladas estruturas de captação do fluxo pluvial nas áreas adjacentes à área urbana. Deve-se criar uma “bacia de dissipação tipo mergulho” revestida com uma manta geossintética impermeável e gabiões reno, com solo compactado nas bordas da estrutura. Outra medida sugerida pelo autor é que as águas sigam através de canais abertos também revestidos por manta geossintética e colchões reno. Os canais devem ter seção transversal trapezoidal, recomendadas para vazões de projeto não suportadas por condutos circulares. O autor sugere que haja degraus de dissipação nos locais com maior declividade e que o traçado seja feito no mesmo sentido das curvas de nível.

Outra estrutura sugerida pelo autor são as bacias de detenção que funcionam como um reservatório, reduzindo o fluxo do deságue. Devem ser feitas em formato de “U”, com o revestimento por manta geossintética e colchões reno. Como é possível na visualização da Figura 60, foi proposto para a chamada rede norte a implantação de três bacias de captação e quatro bacias de detenção ao longo da rede principal.

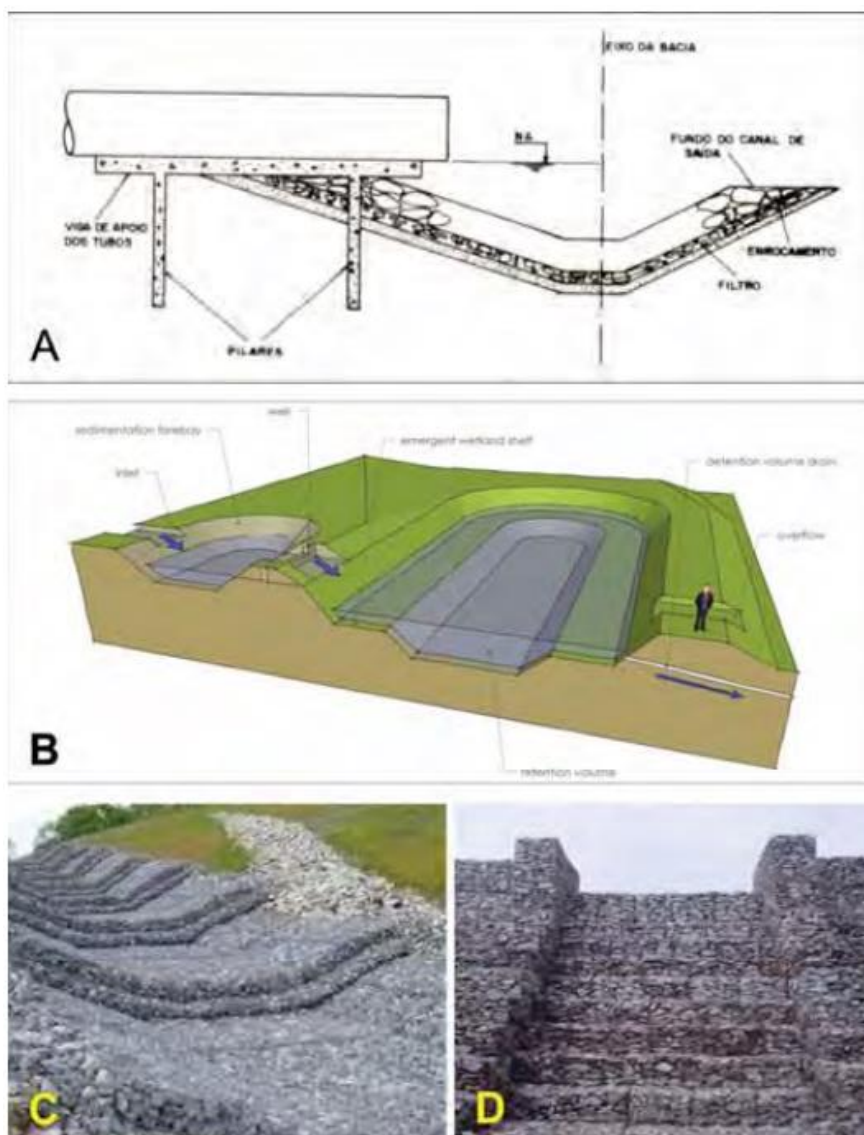
Com relação ao escoamento que segue a partir da rede norte, Mathias (2011) sugere que sejam reaproveitadas parte das galerias pluviais já existentes, considerando que estão relativamente estáveis. Deve ser feita a manutenção, e por conta da tubulação de concreto favorecer o aumento da velocidade do escoamento superficial, sugeriu-se que fosse implantado um interceptador de galeria, onde deve ser construída uma bacia de detenção impermeabilizada, que deverão conter o fluxo pluvial dirigido até esse local. A partir desse ponto, o fluxo será guiado por canais abertos conforme os descritos anteriormente, substituindo um trecho de 180 m de tubulações.

Já na porção sudoeste da bacia, o autor sugere que sejam substituídas as duas bacias de contenção existentes por uma bacia de detenção também impermeabilizada. O fluxo de água deverá ser dirigido também por canais em aberto até a bacia de detenção que possui o interceptador de galeria. Portanto, na chamada rede sul, sugeriu-se a construção de duas bacias de captação, um interceptador de galeria e quatro bacias de detenção, além dos canais em aberto que terão 340 m de comprimento.

Por último, com relação aos emissários, Mathias (2011) propôs escadarias de dissipação feitas de gabião caixa. O autor também orientou que o leito do córrego fosse

revestido por gabiões reno e gabiões saco posicionados transversalmente ao leito, com o objetivo de reter sedimentos e aumentar a rugosidade dele. São demonstradas algumas das técnicas para os sistemas de captação, condução e descarga da água pluvial advindos da área urbana na Figura 70.

Figura 70 - A) Bacia de dissipação do tipo mergulho; B) Bacia de detenção impermeabilizada; C) Canal revestido com colchões de reno e D) Emissário em escada de dissipação de gabiões em caixa.

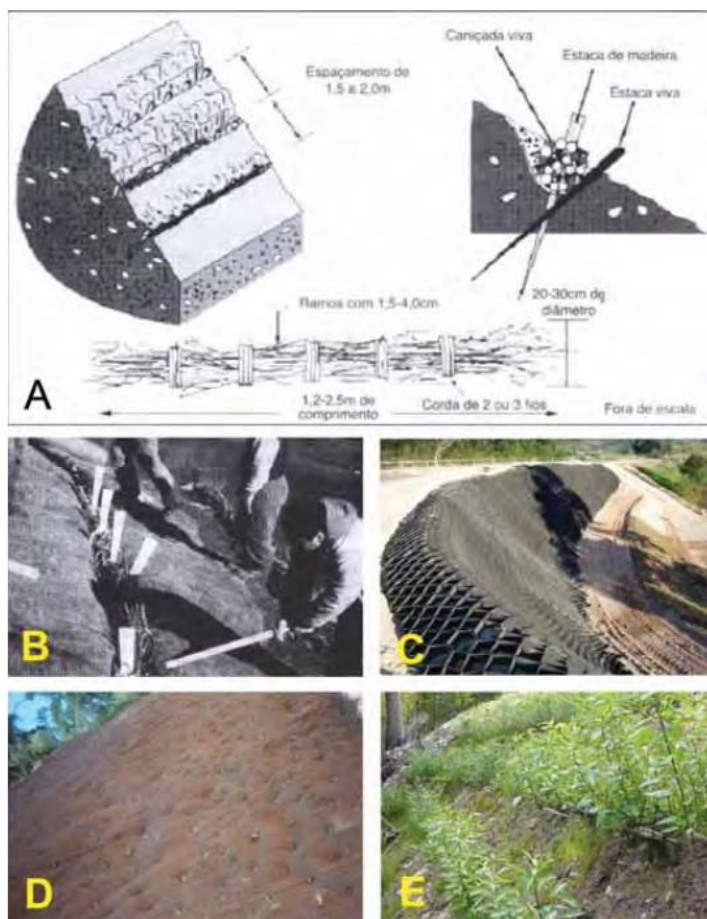


Fonte: Mathias (2011).

As técnicas de recuperação para contenção de encostas e estabilização de taludes propostas pelo autor envolvem três tipos de sistemas que visam a correção topográfica da área. O primeiro sistema, como demonstrado na Figura 69, é apresentado como ajuste topográfico suave e referem-se aos taludes com menor declividade. A encosta deve ser ajustada através de patamares a fim de quebrar a energia do escoamento superficial por

meio de terraços ou diques, os quais acompanham as curvas de nível. Recomenda-se que dentro dos diques haja terra adubada e que sejam colocadas caniçadas vivas, feitas de ramos de espécies enraizáveis organizadas em fardos e posicionadas por meio de estacas vivas. Para as rampas com solo exposto, o Mathias (2011), propõe que sejam revestidas de geocélulas, compostas por solo adubado, mix de sementes de espécies pioneiras – de preferência gramíneas – e que o solo seja corrigido de acordo sua necessidade de acidez. A seguir, essa camada superficial deve ser recoberta com biomanta ou malha geossintética, sendo fixadas com estacas vivas. As técnicas para o primeiro sistema são demonstradas na Figura 71.

Figura 71 - A) Esquema do sistema de caniçadas vivas; B) Instalação das caniçadas; C) Encosta revestida com geocélulas; D) Biomanta e E) Exemplo de resultado.

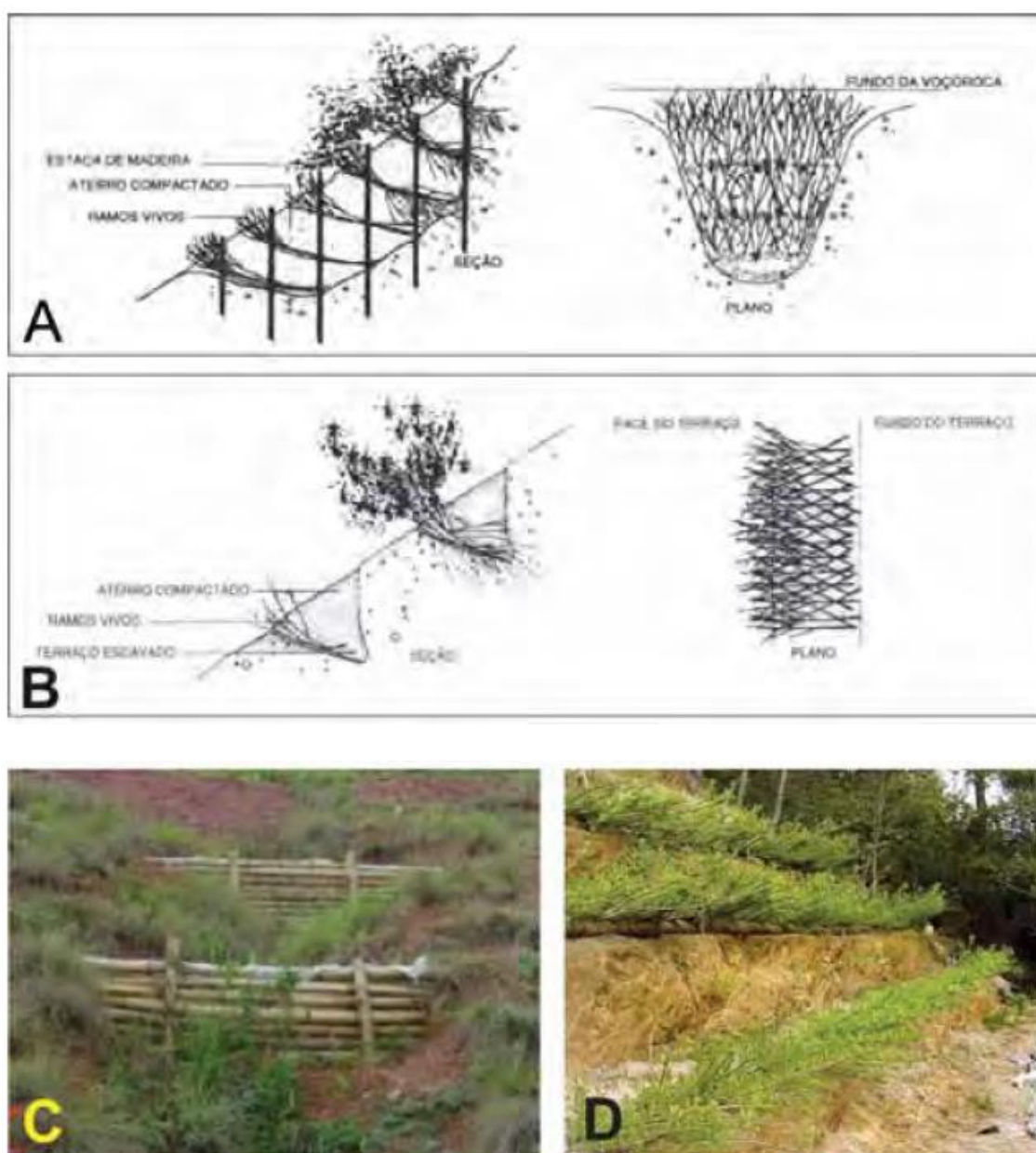


Fonte: Mathias (2011).

Para o segundo sistema proposto, o autor sugere ajuste topográfico com base na NBR 11682. Além disso, propõe-se que seja realizado o método de empacotamento de ramos, o qual se baseia na aplicação de fardos de ramos vivos dentro dos sulcos, juntamente do solo corrigido e adubado para crescimento dos mesmos. Os fardos devem

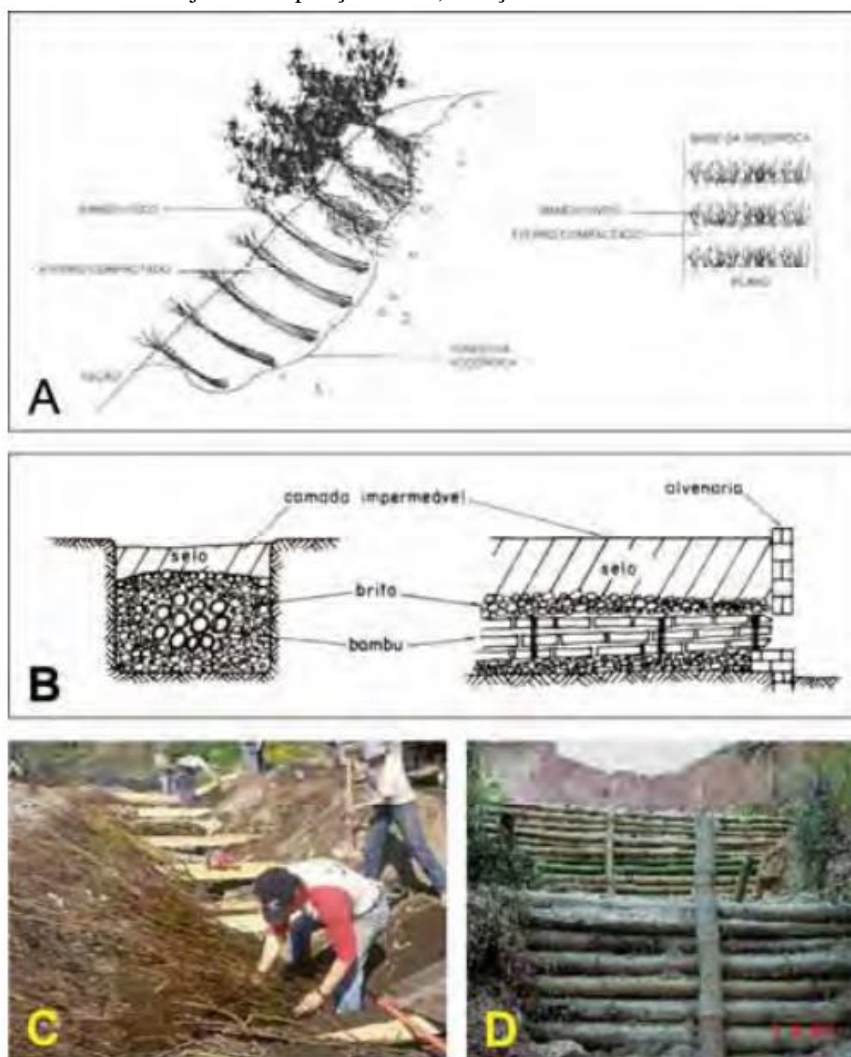
ser fixados com estacas e para os sulcos mais acentuados, sugere-se a aplicação de paliçadas de toras de eucalipto. Antes do revestimento dos sulcos, devem ser instalados drenos de acordo com o manual DAEE/IPT (1989). Nas encostas, sugere-se a aplicação da técnica denominada camadas de ramos, a qual se baseia na inserção de linhas de ramos vivos intercalados com camadas de terra. Com relação a terraplanagem da encosta, propõe que seja feito um nivelamento natural, ou seja, levando em consideração as características das encostas de acordo com sua convexidade ou concavidade. Na Figura 72 constam exemplos das técnicas citadas para o segundo sistema.

Figura 72 - A) Empacotamento de ramos; B) Camada de ramos; C) Paliçadas de toras e D) Exemplo de aplicação da técnica de camada de ramos.



O terceiro sistema foi proposto para as formas erosivas mais acentuadas, onde o processo erosivo encontra-se com processos ativos nas ramificações da voçoroca. De acordo com o autor, deve ser feita a aplicação de drenos para direcionamento do fluxo subterrâneo juntamente do entulhamento do leito da voçoroca. Os drenos devem ser feitos de porções de bambu revestidos com filme de propileno e nas ramificações, devem ser aplicadas transversalmente paliçadas de toras de eucalipto revestidas com manta geotêxtil em seu interior. Para revegetação, Mathias (2011) propõe a técnica de Araújo et al (2008) de aterro vivo, a qual baseia-se na aplicação de solo adubado e corrigido dentro das seções das paliçadas e posterior inserção de ramos vivos. Na Figura 73 estão exemplos das técnicas propostas pelo autor.

Figura 73 - A) Esquema de um aterro vivo; B) Dreno de bambu; C) Exemplo de instalação de pacotes de ramos junto das paliçadas e D) Paliçadas de tora em ravina.



Fonte: Mathias (2011).

Na cabeceira da voçoroca, o autor propõe que seja implementado outro tipo de estrutura por conta da fragilidade dessa área, considerando a presença de entulho e lixo. Apesar do custo oneroso, sugere-se a técnica de estrutura em anfiteatro, a qual é formada por gabiões em caixa colocados nos taludes marginais da voçoroca (Figura 74).

Figura 74 - Gabiões em caixa dispostos em anfiteatro.

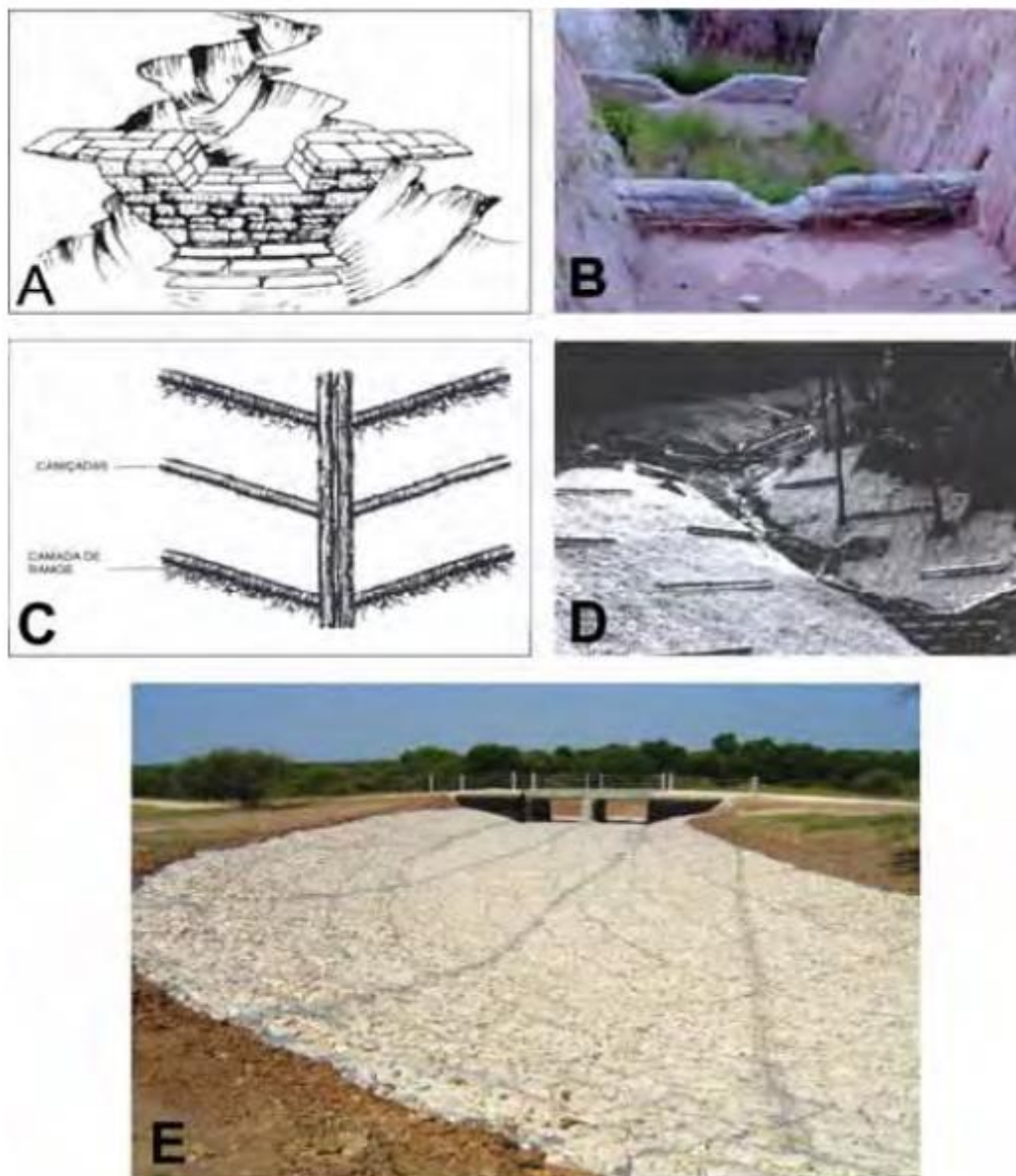


Fonte: Mathias (2011).

A fim de reduzir a quantidade de sedimentos transportados no leito da voçoroca, foi proposto a instalação de barreiras do tipo sacos de ráfia. De acordo com o autor, a estrutura em sacos de ráfia é a que melhor se aplica a esse caso e deve ser construída com um vertedor em seu centro, conforme as recomendações no Manual de Controle de Erosão (DAEE/IPT, 1989). Também se propõe o revestimento do leito e do fundo de cada uma das barragens com colchões reno.

Em relação ao afloramento do lençol freático no interior da voçoroca, Mathias (2011) sugere a instalação de drenos de caniçadas vivas. Essa medida é utilizada para direcionamento do fluxo subterrâneo ao pé dos taludes. São demonstradas da Figura 75 exemplos de técnicas para os sistemas de controle de dinâmica de leito.

Figura 75 - A) Barragem com saco de cimento; B) Exemplo de aplicação de barragem; C) Sistema de caniçadas vivas; D) Exemplo de aplicação do sistema de caniçadas vivas e E) Leito do canal revestido por colchões reno.



Fonte: Mathias (2011).

Sobre o uso e manejo das áreas ao redor das feições erosivas, o autor propôs medidas diferentes para três áreas diferentes, sendo elas: a área ao redor da voçoroca do córrego Tucunzinho; de expansão urbana e ocorrência de formações florestais. Para a primeira, o autor sugere que onde existem terraços parcialmente colapsados ou danificados, que haja a recuperação dos mesmos. Para os diques que se encontram depois dos terraços, devem ser adicionados camalhões transversais a cada 10 m como espécie de barreira para o escoamento superficial. Para a proteção das obras nos taludes da voçoroca, sugere-se a implantação de um terraço de base larga contornando todo o rebordo erosivo.

Com relação à revegetação da área, propõe-se que sejam implantadas espécies que aumente a infiltração na região dos diques e que os terraços sejam cobertos por espécies de malha radicular densa.

Na área de expansão urbana localizada na cabeceira do córrego Tucunzinho, o autor propõe que sejam implantadas técnicas para evitar o acúmulo de água no local e efeitos do escoamento superficial, como a plantação de gramíneas de porte médio e reflorestamento com espécies arbóreo-arbustivas para aumento da infiltração.

Na porção sul da bacia onde ocorrem mata de galeria, que por sua vez encontram-se degradadas por conta da ação humana, Mathias (2011) indica como medida o plantio de mudas para regeneração e adensamento dessas formações florestais, dando prioridade para as espécies nativas e que tenham afinidade com as espécies locais.

Para as medidas de revegetação o autor analisou as informações disponíveis na bibliografia, e concluiu que as espécies recomendadas são: em relação às gramíneas: *Brachiaria Bisantha* e *Brachiaria decumbens Stapf*. Para as leguminosas, a espécie *Leucaena leucocephala* e a *Mucuna*, (*Mucuna aferrima* e *Stizolobium sp*).

Além disso, é sinalizada a importância da escolha das espécies *Leucaena leucocephala*, *Eritrina (Erithrina sp)* e o bambu (*Bambusa sp*) na concepção dos dispositivos de bioengenharia citados anteriormente. Também é imprescindível a correção do solo por conta de seu elevado nível de acidez e baixo acúmulo de nutrientes. Devem ser considerados os seguintes critérios no plantio: espécies nativas com ocorrência em florestas da mesma microbacia ou região; maior número de espécies para aumentar a diversidade; mudas advindas de sementes obtidas em várias matrizes de diferentes remanescentes florestais, afim de garantir diversidade genética; espécies atrativas de fauna e combinações de espécies pioneiras de rápido crescimento com espécies não pioneiras (secundárias tardias e clímax).

Por fim, atenta-se que somente é possível a eficiência de todas as técnicas de recuperação citadas quando há um monitoramento e manutenção. Também deve ser feita a proteção dos terrenos contra invasão de animais e conscientização da população, para que não haja despejo de resíduos nas áreas erosivas.

Para as obras de contenção de encostas citados deve ser feito um estudo geotécnico e para as obras de microdrenagem, devem ser feitos os cálculos hidráulicos de projeto.

Além disso, deve ser barrada a expansão urbana frente as áreas degradadas, pois a ocupação humana só intensifica os problemas encontrados na área. Também devem ser freadas as atividades de extração de areia nos setores à jusante da bacia, tanto ao longo do córrego do Tucum quanto no Ribeirão Araquá.

6. ANÁLISE GERAL SOBRE OS PROCESSOS EROSIVOS E TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO APLICADAS NO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO (SP)

Na Bacia do Córrego do Espriado ocorrem as feições erosivas do tipo voçorocas e ravinas. Nessa área, os principais atributos que contribuíram para a evolução dos processos erosivos foram a combinação entre uso e ocupação do solo (atividades antrópicas), unidades de terreno e materiais inconsolidados arenosos.

Com relação a cabeceira do córrego do Espriado, é notável que as voçorocas ocorrem por conta das encostas retilíneas íngremes, solo pouco espesso e declividade > 50%. Os lados leste e oeste do córrego também apresentaram evolução nos processos erosivos durante o período 1972 e 2002.

No lado oeste, ocorrem erosões nos limites das encostas retilínea suave e moderada; retilínea suave e íngreme. Nesta região, também são encontrados os materiais inconsolidados residuais e retrabalhados da Formação Pirambóia, os quais apresentam material arenoso de granulação fina a média com espessura de 3 metros e material arenoso, com areia fina a média e espessura entre 0,5 e 2 metros, respectivamente. Ambos são considerados erodíveis.

Já no lado leste do córrego, três áreas apresentaram processos erosivos. Uma das áreas é constituída por encostas côncavas convexas e côncavas-côncavas, com a presença de material arenoso e com baixa resistência a erosão. Além disso, o uso e ocupação contribuiu para a evolução dos processos, pois as encostas a partir de 1995 foram ocupadas por reflorestamento de eucaliptos, aterramento e revegetação de espécies nativas e exóticas. Nas outras duas áreas discorrem a presença de encostas retilíneas íngremes côncavas, e o uso e ocupação também contribui para maior degradação da área pois as áreas que antes eram ocupadas por pastagens foram reabilitadas para implantação de loteamentos e plantação de eucaliptos.

Por fim, as técnicas de reabilitação de canalização de drenagem superficial e águas residuais através de tubos concreto e caixas adutoras se mostrou ineficiente. O objetivo era a construção de lotes residenciais, todavia, as medidas se mostraram ineficazes pela falta de manutenção e retomada dos processos. Também houve a técnica de terraçamento do tipo *Nichols*, onde surgiram novas feições devido ao espaçamento entre os terraços estar exposto a ação da chuva, fato que fez com que o solo se acumulasse atrás do terraço subsequente.

Já na Bacia do Ribeirão do Meio, são encontradas feições do tipo sulcos, ravinas voçorocas, e movimento de massa ao norte da bacia. Esse último processo ocorre por conta dos padrões geológicos estruturais da área, declividade elevada e estreita espessura de materiais inconsolidados associados a Formação Serra Geral.

As feições do tipo voçoroca se devem aos terrenos inclinados a muito íngremes, juntamente da presença de material inconsolidado transportado associado a Formação Pirambóia. Esse material possui espessura superior a 5 metros, textura de areia média a fina, consistência baixa e é considerado altamente erodível. Além disso, as voçorocas ocorrem principalmente onde as ações antrópicas se encontram ativas e por conta da expansão urbana, havendo despejo de resíduos dentro das mesmas, o que compromete ainda mais o nível de degradação da área.

De acordo com Gomes (2002), grande parte da bacia (27,47%) é considerada suscetível à erosão, principalmente devido à forte interferência antrópica, declividade das encostas, presença de solo transportado da Formação Pirambóia altamente erodível, e em alguns pontos, devido a ação conjunta do escoamento superficial e subsuperficial.

Na Bacia do Córrego do Tuncum foram mapeadas feições do tipo voçorocas, as quais encontram-se principalmente na região norte. Os materiais inconsolidados responsáveis pela evolução crítica dos processos são constituídos por material arenoso, granulometria de areia média e teor de argila menor que 15%.

Os outros fatores associados à erosão, são: expansão urbana, na qual comparando os anos de 1972 e 1995, aumentou em cerca de 80%. Além disso, as obras realizadas para controle da drenagem foram mal executadas e os loteamentos não possuíam infraestrutura necessária para disciplinar o escoamento superficial. Com relação às unidades de terreno da área, nas áreas mais susceptíveis, ocorrem encostas combinadas, ou seja, côncavas convexas retilíneas, com declividades variando entre 10% e maiores que 50%.

Analisando as medidas de recuperação implantadas no município de São Pedro, percebeu-se que nenhuma delas levou em consideração as características geotécnicas e aspectos climáticos da área, como ocorrência de chuvas intensas. Sendo assim, foram ineficientes para prevenção e controle dos processos erosivos. De acordo Rotta (2012), percebe-se que as medidas aplicadas visavam apenas a proteção das encostas para ocupação por loteamentos. Para estes locais, a autora sugere a correção dos cordões de nível, reconstrução do sistema de microdrenagem, reflorestamento da área com espécies nativas e obras de macrodrenagem nos canais de drenagem.

Analisando o histórico da região, desde 1962, Rotta (2012), verificou que em 2012, a área possuía intensa ocupação urbana, sendo sua principal defasagem a falta de uma rede de macro e microdrenagem devidamente dimensionadas. Conclui-se que a melhoria destas técnicas é decisiva para controlar os processos erosivos próximos da área urbana. Entretanto, também é fundamental implementar técnicas de revegetação para estabilizar as paredes das feições ativas.

Em relação ao aterramento realizado em uma das feições, considera-se que esta medida foi parcialmente eficiente pois algumas áreas não apresentaram mais processos erosivos, no entanto, houve reativação de algumas feições. Além disso, a ausência de drenos ou obras de macrodrenagem comprometeu a eficiência desta medida. As técnicas de cobertura vegetal por gramíneas e construção de barreiras de proteção nas feições reativadas também foram consideradas ineficientes na contenção dos processos.

Por fim, as medidas de cordões em nível, implantação de depressões ao redor de uma das feições e plantação de eucaliptos foram ineficientes. Contudo, a medida de barreira de galhos foi eficiente para proteção das encostas. Dessa forma, as técnicas não priorizaram a recuperação das feições erosivas e, sugere-se que sejam aplicadas medidas que conter a ação do escoamento superficial nas erosões para conter a evolução do processo, e possível reativação de feições estáveis.

Mathias (2011), propôs medidas de recuperação para os processos erosivos pertencentes a Bacia do Córrego Tucunzinho, focando principalmente em medidas de bioengenharia por conta dos atributos físicos da área, e maior visibilidade técnica e de custos para administração pública. É importante destacar que o autor não realizou estudos geotécnicos e não dimensionou as medidas de recuperação, sendo esses necessários para idealização das obras.

As técnicas de recuperação sugeridas pelo autor foram as seguintes:

- Sistemas de captação, condução e descarga da água pluvial advindos da área urbana: sugere-se a aplicação de bacia de dissipação do tipo mergulho, bacia de detenção impermeabilizada, canal revestido com colchões de reno e emissário em escada de dissipação de gabiões em caixa;
- Contenção de encostas e estabilização de taludes: para os ajustes topográficos suaves, sugere-se ajuste a construção de terraços ou diques; aplicação nos diques do sistema de caniçadas vivas, revestimento de solo exposto com geocélulas e recobrimento com biomanta ou malha geossintética. Para terrenos íngremes sugere-se o ajuste topográfico com base na NBR 11682; técnica de empacotamento de ramos onde os fardos são fixados com estacas ou paliçadas de toras de eucalipto, aplicação de drenos e técnica camada de ramos nas encostas. Para as formas erosivas acentuadas onde os processos se encontram ativos, propõe-se a aplicação de drenos de bambu no leito da voçoroca, nas ramificações devem ser aplicadas paliçadas de toras de eucalipto revestidas com manta geotêxtil, técnica de aterro vivo para revegetação e estrutura em anfiteatro na cabeceira da voçoroca;
- Sistemas de controle da dinâmica de leito: instalação de barreiras do tipo sacos de ráfia, revestimento do leito e do fundo de cada uma das barragens com colchões reno e aplicação de drenos de caniçadas vivas para o afloramento do lençol no interior da voçoroca;
- Uso e manejo das áreas no entorno das formas erosivas: para a área ao redor da voçoroca do córrego Tucunzinho sugere-se recuperação de terraços danificados, adição de camalhões transversais a cada 10 m nos diques posteriores aos terraços, implantação de um terraço de base larga contornando todo o rebordo erosivo para as obras e revegetação da área. Para área de expansão urbana localizada na cabeceira do córrego Tucunzinho sugere-se a plantação de gramíneas de porte médio e reflorestamento com espécies arbóreo-arbustivas. Para as áreas de ocorrência de formações florestais onde a mata encontra-se degradada, propõe-se o plantio de mudas para regeneração e adensamento dessas formações;
- Sistemas de revegetação: correção do solo, plantação das espécies gramíneas *Brachiaria Bizantha* e *Brachiaria decumbens Stapf* e leguminosas *Leucaena leucocephala* e a *Mucuna*, (*Mucuna aferrima* e *Stizolobium sp*). Para concepção

das estruturas de bioengenharia citadas anteriormente, utilização das espécies *Leucena* (*Leucaena leucocephala*), *Eritrina* (*Erithrina sp*) e o bambu (*Bambusa sp*).

7. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre os processos erosivos e técnicas de recuperação nas Bacias do Córrego Espreado, Ribeirão do Meio e Córrego do Tuncum localizadas no município de São Pedro (SP).

De forma geral, os fatores condicionantes que mais contribuíram para a evolução dos processos nas bacias foram características do solo, relevo e ação antrópica. Com relação aos materiais inconsolidados presentes no município, percebe-se que todas as áreas com feições de grande porte possuem materiais arenosos com baixa resistência a erosão, associados principalmente a Formação Pirambóia. Além disso, nessas áreas, a declividade combinada com elementos de terreno também favoreceu à ocorrência de processos. O avanço da expansão urbana também se deu como importante fator para aceleração da degradação ambiental.

Sobre as técnicas de recuperação aplicadas, nota-se que foram implementadas sem levar em consideração as particularidades do meio físico e que, juntamente da falta de mão de obra especializada, acabaram comprometendo a efetividade das técnicas e intensificando os problemas sócio-econômicos. Já as técnicas propostas para contenção e recuperação dos processos, apresentaram-se como uma boa solução para projetos futuros, tanto para a Bacia Hidrográfica do Córrego Tucunzinho quanto para as demais bacias hidrográficas, visto que apresentam condições semelhantes do meio físico, e, portanto, uma mesma dinâmica para o desencadeamento das erosões.

Por fim, conclui-se que a partir da análise da revisão bibliográfica foi possível compreender a dinâmica dos processos erosivos na região de São Pedro, o que favoreceu o desenvolvimento de uma visão holística sobre a degradação ambiental e a necessidade de implementação de técnicas de recuperação, condizentes com as características do meio físico, a fim de conter o avanço dos processos ativos e evitar o desencadeamento de novas erosões.

Nesse sentido, deve-se destacar que as pesquisas desenvolvidas auxiliam o entendimento dos atributos do meio físico e antrópico que condicionam os processos de degradação, e das medidas de recuperação adequadas. Portanto, são de suma importância para a tomada de decisão, e podem subsidiar a elaboração de planos de recuperação eficazes em conformidade com a características físico-ambientais das bacias hidrográficas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, G. S. **Em Foco: Controles de erosão**. Revista Fundações & Obras Geotécnicas, p.79- 83, 2000.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 6ª edição. São Paulo: Editora Ícone, 2008.

BITAR, O. Y. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia, São Paulo, 247 p. 1995.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos Municípios Paulistas**. 2018. Disponível em: <https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_566.html>. Acesso em: 02 dez. 2020.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia para avaliação do potencial de contaminação em imóveis**. São Paulo: CETESB, 2001.

DANTAS-FERREIRA, M. **Análise da evolução dos processos erosivos acelerados em áreas urbanas e das técnicas de controle e recuperação – Córrego do Tucum (São Pedro/SP)**. 2004. 171 f. Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos, , Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSÉ, M. M.; GARCÍAS, C. M. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. 4ª edição. Curitiba: Champagnat, 1997.

GALETI, P. A. **Conservação do solo: reflorestamento e clima**. 2. ed. Campinas: Instituto campineiro de Ensino Agrícola, 1979.

GIANGIULIO, A. R. **Gestão ambiental aplicada a prevenção, controle e recuperação de erosão linear acelerada no município de Ipeúna – SP**. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

GOMES, D. M. **Mapeamento geológico-geotécnico para análise de feições erosivas concentradas na Bacia do Córrego Ribeirão do Meio, região de São Pedro/SP, na**

escala 1:20.000. 2002. 242 s. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

GUERRA, A. J. T. **Processos erosivos nas encostas.** In: GUERRA; A. J. T.; CUNHA, S.B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, 9. 149-199.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas do Brasil – 1:500:000.** IBGE/MMA: 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatística Populacional São Pedro.** 2020. Disponível em: <https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2020/estimativa_dou_2020.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2020.

INFANTI JUNIOR N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de engenharia.** São Paulo: ABGE, p. 131-152, 1998.

LAL, R. **Soll Erosion in the Tropics: Principles and Management.** New York: McGraw-Hill, 1990.

MATHIAS, D. T. **Propostas de recuperação de áreas peri-urbanas erodidas com base em parâmetros hidrológicos e geomorfológicos: Córrego Tucunzinho (São Pedro/SP).** 2011. 128 f. Dissertação - (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2011.

NEVES, M. P. **Análise dos processos erosivos na bacia do Córrego do Meio – Município de São Pedro (SP): Estudo do desencadeamento das erosões.** 2017. 179 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

PMSB – **Plano Municipal de Saneamento Básico.** Prefeitura Municipal de São Pedro (SP). 2013. Disponível em: <<https://www.saopedro.sp.gov.br/>>. Acesso em: 02 dez. 2020.

RODRIGUES, J.E. **Estudo de Fenômenos Erosivos Acelerado: Boçorocas.** (Tese de Doutorado), EESC – USP, São Carlos, 1982.

ROTTA, C. M. S. **Estudo de recuperação de áreas degradadas por processos erosivos: procedimentos e eficiência dos métodos.** 2012. 168 f. Dissertação – Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

ROTTA, C. M. S.; ZUQUETTE, L. V. **Estudo da recuperação de áreas degradadas por erosão no Município de Franca, São Paulo, Brasil.** Revista de Geologia Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. Buenos Aires, n. 29, p. 41-58, 2012.

SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O. Y. **Erosão e a ocupação rural e urbana.** In: BITAR, O. Y (Coord.) Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: ABGE IPT. p. 5-148, 1995.

SÁNCHEZ. L. E. **Avaliação de impacto ambiental: Conceitos e métodos.** São Paulo: Oficina de Textos, 495 p. 2008.

SANTORO, J. Erosão Continental. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J., AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico. p. 53-70, 2009.

SENA, J. N. **O uso de sistema de informação geográfica na avaliação de diferentes alternativas de geração de cartas de suscetibilidade à erosão.** 2008. Dissertação, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

SILVA, A. F. **Mapeamento geotécnico e análise dos processos erosivos na Bacia do Córrego do Tuncum, São Pedro – SP, Escala 1:10.000.** 2003. 131 f. Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

VILAR, O. M; PRANDI, E. C. Erosão dos Solos. In: CINTRA, J. C. A; ALBIEIRO, J.H. (Org.). **Solos do interior de São Paulo.** São Paulo: ABMS, 1993, V.1.3. P. 177-206.

WEILL, M.A.M; PIRES NETO, A.G. **Erosão e Assoreamento.** In: SANTO, R. F. (Org.). **Invulnerabilidade Ambiental: Desastres Naturais ou Induzidos?** Brasília: MMA, 2007.

YAMANOUTH, Gisele Ribeiro de Barros. **Avaliação dos processos erosivos e das técnicas de controle e reabilitação: bacia do córrego do Espreado (São Pedro-SP).** 2003. Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidades de São Paulo, São Carlos, 2003.

ZUQUETTE, L. V.; RODRIGUES, V. G. S.; PEJON, O. J. **Recuperação de áreas degradadas**. In: CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C. (Org.) Engenharia Ambiental: Conceitos, **Tecnologia** e Gestão. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p. 589-619.

ZUQUETTE, L.V.; CARVALHO, J.A.R.; YAMANOUTH, G.R.B. **Feições erosivas na bacia do córrego do Espraiado, São Pedro/SP seus tipos e evolução entre 1972- 2002**. Revista Brasileira de Geociências. v.2, n.37, 2007, p.414-425.

ZUQUETTE, Valentin, Lázaro. **Geotecnia ambiental**.1. ed. São Paulo: Campus, 2015.

ANEXO A

Caracterização dos elementos de terreno da Bacia do Córrego do Espreado

Landform		Declividade (%)		Observação
Elemento	Id	Mínima	Máxima	
Encostas Retilínea muito íngreme-Retilínea com baixa frequência de canais	1	12,5	50,0	Predomina a máxima declividade
Encostas Retilíneas íngremes- Retilíneas com alta frequência de canais	2	12,5	50,0	Predomina a máxima declividade
Encostas Retilínea íngreme-Retilínea com baixa frequência de canais	3	10,0	100,0	Predomina declividades de 10 a 25%
Encostas Retilíneas íngremes- Retilíneas com alta frequência de canais	4	10,0	50,0	Predomina declividades >10 %
Encosta Côncava-côncava	5	9,1	62,5	Predomina declividades >10 %
Encosta Côncava-Côncava	6	8,3	50,0	Predomina declividades >10 %
Encosta Convexa-convexa	7	6,3	50,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Côncava-convexa	8	7,1	33,3	Predomina a mínima declividade
Encosta Côncava-côncava	9	7,7	33,3	Predomina a máxima declividade
Escarpas contínuas Superior	10	5,6	100,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Côncava-convexa	11	7,7	33,3	Predomina a mínima declividade
Encosta Convexa-convexa	12	3,8	33,3	Predomina a mínima declividade
Encosta Convexa-convexa	13	5,5	25,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme	14	16,7	55,5	Predomina a máxima declividade
Encosta Côncava-côncava	15	16,7	50,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea íngreme	16	12,5	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Côncava-côncava	17	6,3	25,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea moderada	18	12,5	25,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme	19	16,7	62,5	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	20	5,5	50,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme	21	14,3	50,0	Predomina declividades >14,3%
Encosta Convexa-convexa	22	7,1	33,3	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea íngreme	23	10,0	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	24	2,5	25,0	Predomina declividades >2,5%
Escarpa contínua Superior	25	5,0	100,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-côncava	26	11,1	25,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-côncava	27	7,1	33,3	Predomina declividades <33%
Encosta Retilínea-côncava	28	4,5	16,7	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	29	7,1	50,0	Predomina a máxima declividade

Landform		Declividade (%)		Observação
Elemento	Id	Mínima	Máxima	
Encosta Retilínea moderada íngreme- côncava convergente	30	5,5	33,3	Predomina declividades >5,5%
Encosta Retilínea- côncava convergente	31	5,5	16,7	Predomina declividades >5,5%
Encosta Retilínea íngreme- côncava convergente	32	6,3	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	33	5,3	20,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa suave-retilínea	34	3,6	12,5	Predomina declividades >10%
Encosta Convexa-côncava	35	8,3	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	36	8,3	25,0	Predomina a máxima declividade
Plató	37	5,3	20,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Côncava-retilínea	38	8,3	100,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme	39	10,0	50,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme-retilínea com alta frequência de canais	40	5,0	100,0	Predomina declividades >10%
Encostas Retilíneas íngremes- côncavas convergentes	41	1,8	50,0	Predomina a máxima declividade
Escarpas sulcadas inferiores	42	11,1	200,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa suave-retilínea	43	6,3	33,3	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea moderada com baixa frequência de canais	44	5,9	25,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	45	11,1	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	46	11,1	50,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea íngreme	47	4,7	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-convexa	48	10,0	33,3	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea-côncava	49	8,3	33,3	Predomina declividades >10%
Encosta Convexa-convexa	50	8,3	50,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Côncava-convexa	51	10,0	55,5	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	52	5,3	50,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme-convexa	53	7,7	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-côncava	54	1,7	33,3	Predomina declividades >10%
Plató	55	1,9	27,8	Predomina declividades de 2-15%
Encosta Retilínea-convexa suave	56	5,5	50,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea suave	57	1,8	50,0	Predomina declividades 2-10%
Encosta Retilínea íngreme com baixa frequência de canais	58	8,3	50,0	Predomina declividade >10%
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	59	12,5	50,0	Predomina declividades >12,5%

<i>Landform</i>		<i>Declividade (%)</i>		<i>Observação</i>
<i>Elemento</i>	<i>Id</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	
Encosta Retilínea íngreme-convexa	60	10,0	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	61	3,0	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea moderada íngreme com baixa frequência de canais	62	10,0	41,7	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	63	12,5	50,0	Predomina a máxima declividade
encosta retilínea íngreme com alta frequência de canais	64	3,5	50,0	Predomina a máxima declividade
Escarpa sulcadas superiores	65	16,7	100,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com baixa frequência de canais	66	10,0	50,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	67	7,1	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-convexa	68	12,5	50,0	Predomina declividades >12.5%
Escarpa sulcada superior	69	8,3	100,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-convexa	70	9,4	27,8	Predomina declividades >10%
Escarpa sulcada superior	71	16,7	100,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-convexa	72	16,7	50,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea moderada-convexa	73	20,0	100,0	Predomina a mínima declividade
Escarpa sulcada superior	74	14,3	100,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	75	16,7	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com baixa frequência de canais	76	10,0	71,4	Predomina declividades >15%
Encosta Retilínea íngreme	77	12,5	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	78	12,5	7,2	Predomina a máxima declividade
Encosta Convexa-convexa	79	14,3	25,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme-convexa	80	25,0	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea moderada íngreme-retilínea	81	25,0	100,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea moderada íngreme-convexa	82	7,4	42,7	Predomina declividades >10%
Encosta retilínea íngreme com maior frequência de canais	83	11,1	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com baixa frequência de canais	84	25,0	100,0	Predomina a mínima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	85	5,0	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea-convexa	86	8,3	50,0	Predomina declividades >10%
Encosta Retilínea suave-retilínea	87	10,0	< 2,0	Declividades suaves
Encosta Retilínea-retilínea com baixa declividade	88	5,9	16,3	Predomina a mínima declividade
Planície Aluvionar	89	0,8	4,5	Predomina declividade <2%

<i>Landform</i>		<i>Declividade (%)</i>		<i>Observação</i>
<i>Elemento</i>	<i>Id</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	
Encosta Retilínea suave-retilínea	90	3,0	100,0	Predomina declividades <10%
Escarpa contínua Superior	91	25,0	500,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	92	21,7	62,5	Predomina a máxima declividade
Escarpa sulcadas Superior	93	16,7	500,0	Predomina a máxima declividade
Escarpa contínua Superior	94	16,7	250,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Côncava-côncava	95	10,0	50,0	Predomina declividade >10%
Encosta Retilínea íngreme	96	10,4	33,3	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme	97	16,7	41,7	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea suave	98	10,0	26,3	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	99	17,2	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	100	8,6	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	101	16,7	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea moderada-retilínea	102	12,5	25,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	103	25,0	50,0	Predomina declividades >25%
Encosta Retilínea íngreme com baixa frequência de canais	104	12,5	50,0	Predomina a máxima declividade
Encosta Retilínea íngreme com alta frequência de canais	105	3,1	55,5	Predomina a máxima declividade

Fonte: Yamanouth (2003).