



CRISTIANO CAPELLANI QUARESMA

**REATIVAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM E PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA DO
RIO SANTO ANASTÁCIO – SP/BRASIL: CONTRIBUIÇÕES À GEOMORFOLOGIA
ANTRÓPICA E AO ENTEDIMENTO DAS ORGANIZAÇÕES ESPACIAIS**

**Campinas
2012**



NÚMERO: 195/2012

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

CRISTIANO CAPELLANI QUARESMA

**REATIVAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM E PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA DO
RIO SANTO ANASTÁCIO – SP/BRASIL: CONTRIBUIÇÕES À GEOMORFOLOGIA
ANTRÓPICA E AO ENTEDIMENTO DAS ORGANIZAÇÕES ESPACIAIS**

ORIENTADOR: PROF. DR. ARCHIMEDES PEREZ FILHO

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Geografia na área de Análise Ambiental e Dinâmica Territorial.

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA TESE DEFENDIDA PELO ALUNO CRISTIANO
CAPELLANI QUARESMA E ORIENTADO PELO
PROF. DR. ARCHIMEDES PEREZ FILHO**

**Campinas
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
HELENA FLIPSEN - CRB8/5283 - BIBLIOTECA CENTRAL "CESAR LATTES" DA UNICAMP

Q26r Quaresma, Cristiano Capellani.
Reativação da rede de drenagem e processos erosivos na Bacia do Rio Santo Anastácio - SP/Brasil: contribuições à geomorfologia antrópica e ao entendimento das organizações espaciais / Cristiano Capellani Quaresma. -- Campinas, SP : [s.n.], 2012.

Orientador: Archimedes Perez Filho.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Geomorfologia Fluvial. 2. Solos - Erosão. 3. Solo - Uso. I. Perez Filho, Archimedes, 1947-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital:

Título em Inglês: Reactivation of the drainage network and erosional processes at Santo Anastácio Basin-SP/Brazil : contributions to anthropic geomorphology and to the understanding of spatial organizations

Palavras-chave em Inglês:

Fluvial Geomorphology

Soil erosion

Land use

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Doutor em Geografia

Banca examinadora:

Archimedes Perez Filho [Orientador]

Carlos Roberto Espíndola

Salvador Carpi Junior

Fábio Soares de Oliveira

Márcio Henrique de Campos Zancopé

Data da defesa: 17-12-2012

Programa de Pós-Graduação: Geografia



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

AUTOR: Cristiano Capellani Quaresma

“Reativação da Rede de Drenagem e Processos Erosivos na Bacia do Rio Santo Anastácio - SP/Brasil: Contribuições à Geomorfologia Antrópica e ao Entendimento das Organizações Espaciais”

ORIENTADOR: Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

Aprovada em: 17 / 12 / 2012

EXAMINADORES:

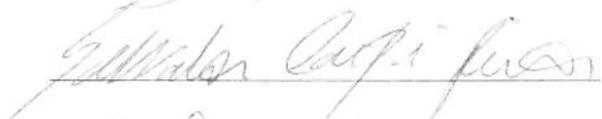
Prof. Dr. Archimedes Perez Filho


_____-Presidente

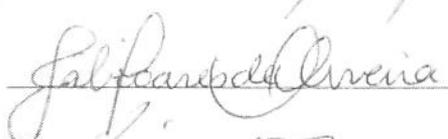
Prof. Dr. Carlos Roberto Espindola



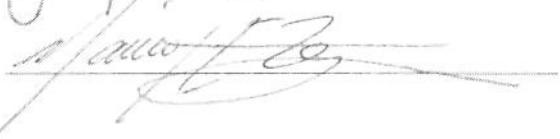
Prof. Dr. Salvador Carpi Junior



Prof. Dr. Fábio Soares de Oliveira



Prof. Dr. Márcio Henrique de Campos Zancopé



Campinas, 17 de dezembro de 2012.

007715102

Dedico ao meu amado filho
Leonardo Bertocco Quaresma

AGRADECIMENTOS

Ao Deus pela vida. Por me conceder a cada manhã outro dia. Por sua proteção, sustento e inspiração. Por tudo o que sou e por tudo o que tenho.

Aos meus pais Isaias da Silva Quaresma (em memória) e Maria Rita Souza Capellani, dos quais muito me orgulho, por me receberem neste mundo com todo amor e carinho. Por terem aberto mão de tantas coisas em prol de minha felicidade. Por seu sacrifício e dedicação ao longo de toda a minha vida e por terem me ensinado, além de tantas outras coisas, o valor do estudo e do conhecimento.

À minha amada esposa, Vanessa Bertocco Quaresma, por seu amor sincero e verdadeiro, por seu companheirismo, amizade e zelo. Por entender minhas ausências e me apoiar. Por sua dedicação incondicional ao longo de todos esses anos. Por seus ensinamentos e pelo presente maravilhoso que me deu, nosso precioso filho Leonardo Bertocco Quaresma, a quem também agradeço, simplesmente por existir, e também por seu amor e carinho. Por seus abraços, sorrisos e por sua alegria em toda vez que me vê. Por me olhar e agir como se eu fosse a pessoa mais incrível deste mundo.

Ao meu amigo, padrinho, professor e orientador Prof. Dr. Archimedes Perez Filho, por ter me acolhido de coração sincero. Por ter aberto para mim as portas da vida acadêmica e da pesquisa e por todos seus conselhos e ensinamentos.

Aos meus irmãos e irmãs, sobrinhos e sobrinhas, cunhados e cunhadas, por compreenderem meus muitos momentos de ausência nas reuniões de família e pelo incentivo e carinho recebidos

À Yolanda Bertocco, por sua preocupação e por ter aliviado muitos dos meus esforços ao longo destes anos.

Ao Prof. Dr. Calos Roberto Espíndola e ao Prof. Dr. Salvador Carpi Júnior, pela sua amizade, além de sua paciência, conselhos, indicações e sugestões em meu exame de qualificação.

Ao amigo Prof. Dr. Márcio Henrique de Campos Zancopé e Prof. Dr. Fábio Soares de Oliveira por fazerem parte da banca examinadora do presente trabalho.

Ao amigo, Prof. Dr. Antônio Cezar Leal, por sua disposição e suporte, bem como aos seus alunos e orientandos, por todo apoio e ensinamentos ao longo dos trabalhos de campo.

Ao amigo, Prof. Dr. Raul Reis Amorim, por nossas conversas e por seu apoio e conselhos.

Ao amigo e geólogo Marcos Boin pelos valiosos conhecimentos compartilhados ao longo dos trabalhos de campo.

Ao Laboratório de Geoprocessamento do Instituto Agronômico de Campinas, nas pessoas de:

Prof. Dr. Jener Fernando Leite de Moraes, por ter aberto as portas para mim e por sua disposição e suporte.

Às secretárias Tânia Maria Nicoletti e Elisabete Monteiro da Silva, por serem verdadeiras amigas. Por sua atenção e auxílio ao longo de todos esses meses. Por sempre me receberem com sorriso sincero e de braços abertos e por terem me poupado muito trabalho.

Ao amigo João Paulo de Carvalho, por nossas boas conversas. Por ter gasto parte de seu precioso tempo, sem se incomodar, me ouvindo e me aconselhando. Por seus auxílios técnicos exemplares.

Aos demais funcionários, Alfredo e Nícia, por sempre me fazerem me sentir em casa.

Ao Felipe Hashimoto Fengler, por seus conselhos e auxílio técnico.

Ao amigo André Aparecido Malavazzi, por nossas conversas, bem como por seus conselhos e indicações.

Ao amigo Prof. Dr. Hélio do Prado por seus conselhos e auxílio

Ao Programa de Pós Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Unicamp, e aos seus funcionários e funcionárias, mas em especial, à secretária Valdirene Pinotti e à Maria Gorete S. S. Bernardelli, por serem prestimosas e atenciosas a todo o momento, por sua sincera preocupação e auxílio ao longo de todos esses anos.

Ao CNPq pelo suporte financeiro, indispensável à realização do presente trabalho.

Aos demais membros do Laboratório de Geomorfologia do IG/Unicamp, pela sua amizade e conhecimentos compartilhados ao longo desses anos.

A todos os demais, que de uma forma ou de outra, me ajudaram a caminhar e a chegar até aqui.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

REATIVAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM E PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO – SP/BRASIL: CONTRIBUIÇÕES À GEOMORFOLOGIA ANTRÓPICA E AO ENTEDIMENTO DAS ORGANIZAÇÕES ESPACIAIS

RESUMO

Tese de Doutorado

Cristiano Capellani Quaresma

Com base na Teoria do Equilíbrio Dinâmico e na abordagem sistêmica, formulou-se a hipótese de que a gênese e a aceleração de processos erosivos, identificados atualmente na bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil, resultam de rompimento do equilíbrio dinâmico, com conseqüente reativação da rede de drenagem. Tratam-se, portanto, de exemplos de processos e formas antropogeomorfológicos, tendo em vista que foram desencadeados pelo uso e ocupação das terras, que desrespeitaram fragilidades e dinâmicas naturais, bem como por alterações no nível de base local pela construção da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera. Assim, adotou-se método comparativo dos anos de 1962 e 2010 com base em 85 amostras circulares de 10km², distribuídas a fim de abarcarem o maior número de canais de primeira ordem, bem como de diferentes elementos físicos. Na seqüência, para o ano de 1962, traçaram-se as redes de drenagem, a fim de comparar índices (Densidade de drenagem e Densidade hidrográfica), e elaborou-se mapa de uso e ocupação das terras, com base em fotointerpretação por estereoscopia de 332 fotografias aéreas e, para fins comparativos, o mesmo procedimento foi realizado para o ano de 2010, utilizando-se de 24 cenas – ALOS/ PRISM e AVNIR2. Os resultados foram confrontados com mapas pedológico, geológico e geomorfológico da área de estudo, os quais foram digitalizados e vetorizados. Além disso, a obtenção de dados de precipitações pluviométricas permitiu melhor entendimento dos padrões de precipitação da área, e trabalhos de campo possibilitaram o reconhecimento da área e a reambulação dos mapas produzidos. Os resultados permitiram verificar que a rede de drenagem encontra-se em estado de desequilíbrio, pelo menos, desde a década de 60. Este estado manifesta-se pela retomada erosiva acelerada da rede de drenagem, em busca do restabelecimento de perfis de equilíbrio, mais ajustados em relação ao aumento brusco de entrada de matéria e de energia, ocasionado, sobretudo pelo desmatamento nas primeiras décadas de ocupação.

Palavras-Chave: Equilíbrio Dinâmico; Uso e ocupação das terras; Erosão remontante.



UNIVERSITY OF CAMPINAS
INSTITUTE OF GEOSCIENCE

**REACTIVATION OF THE DRAINAGE NETWORK AND EROSIONAL PROCESSES
AT SANTO ANASTÁCIO BASIN-SP/BRAZIL: CONTRIBUTIONS TO ANTHROPIC
GEOMORPHOLOGY AND TO THE UNDERSTANDING OF SPATIAL
ORGANIZATIONS**

ABSTRACT

Doctorate Thesis

Cristiano Capellani Quaresma

Based on the Theory of Dynamic Equilibrium and systemic approach, formulated the hypothesis that the origin and acceleration of erosion, currently identified in the River Basin Santo Anastácio-SP/Brazil, result from disruption of the dynamic balance, with subsequent reactivation of the drainage network, examples of geomorphological processes and forms with anthropogenic genesis, considering that were triggered by the use and occupation of land, that disrespected weaknesses and natural dynamics, as well as changes in local base level for the construction of the Porto Primavera Hydroelectric Plant. Thus, the years 1962 and 2010 were compared, based on 85 samples with circular 10km², distributed with the goal of straddling the largest number of first-order channels, and different physical elements. Subsequently, for the year 1962 were traced drainage networks to compare indexes Drainage density and Density hydrographic, and the map has been prepared for use and occupation of land, based on photointerpretation of 332 stereoscopic aerial photographs and, for comparative purposes, the same procedure was performed for the year 2010, using 24 scenes - ALOS / PRISM and AVNIR2. The results were compared with pedological, geological and geomorphological maps, which were scanned and vectorized. Furthermore, data from rainfall allowed better understanding of the patterns of precipitation in the area, and field work enabled the recognition of the area, and the correction of maps produced. Results showed that the drainage system is in a state of imbalance, at least since the 60s. This condition is manifested by erosions' reactivation of the drainage network, seeking the restoration of equilibrium profiles, more consistent with the new entry conditions of matter and energy, caused mainly by deforestation in the early decades of occupation.

Keywords: Dynamic Equilibrium; Use and occupation of land; Regressive erosion.

SUMÁRIO

RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xviii
ÍNDICE DE TABELAS	xxv
1. INTRODUÇÃO	001
2. REVISÃO DE LITERATURA	005
2.1 Geomorfologia Antrópica	005
2.2 As Organizações Espaciais	009
2.3 Bacia Hidrográfica: um olhar sistêmico	013
2.3.1 Bacia hidrográfica: composição	014
2.3.1.1 Estrutura	014
2.3.1.1.1 Vertentes	014
2.3.1.1.2 Rede de drenagem	016
2.3.1.2 Matéria	017
2.3.1.3 Energia	019
2.3.2 Bacia hidrográfica: objetivo e interdependência	020
2.4 Equilíbrio dinâmico, perfil de equilíbrio e nível de base	022
2.5 Análise Morfométrica de Bacias Hidrográficas	028
2.6 Erosão	032
2.6.1 Fatores que influenciam na erosão	033
2.6.2 O início do processo erosivo e sua evolução para ravinas e voçorocas	038
2.6.3 Erosão regressiva	040
3. HIPÓTESE	043
4. OBJETIVOS	045
4.1 Objetivo Geral	045
4.2 Objetivos específicos	045
5. MATERIAL E MÉTODO	047
5.1 Localização da Área de Estudo	047

5.2	Divisão da bacia do rio Santo Anastácio	049
5.3	Amostras circulares: características e distribuição	051
5.4	Descrições dos aspectos físicos da área	057
5.4.1	Características pluviométricas.....	057
5.4.2	Aspectos Geológicos	060
5.4.3	Aspectos estruturais	066
5.4.4	Aspectos Geomorfológicos	067
5.4.5	Aspectos Pedológicos	080
5.5	O processo de uso e ocupação e a erosão na bacia do rio Santo Anastácio	088
5.6	Usina Hidrelétrica de Porto Primavera	093
5.7	Análise temporal com base em amostras circulares	094
5.7.1	Análise morfométrica da rede de drenagem	094
5.7.2	Restituição da rede de drenagem	097
5.7.3	Evolução do uso e ocupação das terras entre os anos de 1962 e 2010	100
	5.7.3.1 Mapa do uso e ocupação das terras para o ano de 1962	100
	5.7.3.2 Mapa do uso e ocupação das terras para o ano de 2010	102
5.8	Mapas de classes de declividade	104
5.9	Mapas Hipsométricos	105
5.10	Padrões de precipitações pluviométricas	106
5.11	Trabalhos de Campo	109
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	111
6.1	Dados morfométricos gerais	111
6.2	Distribuição e concentração das precipitações pluviométricas	113
6.3	Baixo Santo Anastácio	120
6.3.1	Classes de declividade	120
6.3.2	Hipsometria	123
6.3.3	Uso e Ocupação nos anos de 1962 e 2010	125
6.3.4	Análise Morfométrica da rede de drenagem	131
6.3.5	Detalhamento de amostras circulares selecionadas	136
6.4	O Médio Santo Anastácio	161
6.4.1	Classes de declividade	161

6.4.2	Hipsometria	164
6.4.3	Uso e Ocupação nos anos de 1962 e 2010	166
6.4.4	Análise Mofométrica da rede de drenagem	171
6.4.5	Detalhamento de amostras circulares selecionadas	178
6.5	O Alto Santo Anastácio	214
6.5.1	Classes de declividades	214
6.5.2	Hipsometria	217
6.5.3	Uso e ocupação nos anos de 1962 e 2010	219
6.5.4	Análise morfométrica da rede de drenagem	223
6.5.5	Detalhamento de amostras circulares selecionadas	228
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	241
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	247

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1: Mapa político e de localização da área de estudo: Bacia do rio Santo Anastácio/SP – Brasil.....	48
Figura 5.2: Mapa da divisão da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil em Alto, Médio e Baixo Cursos	50
Figura 5.3: Mapa da distribuição de amostras circulares no Baixo Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.	54
Figura 5.4: Mapa da distribuição de amostras circulares no Médio Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.	55
Figura 5.5: Mapa da distribuição de amostras circulares no AltoCurso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.	56
Figura 5.6: Mapa geológico das amostras circulares - Baixo Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.	63
Figura 5.7: Mapa geológico das amostras circulares - Médio Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.	64
Figura 5.8: Mapa geológico das amostras circulares - Alto Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.	65
Figura 5.9: Mapa geomorfológico das amostras circulares - Baixo Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.	71
Figura 5.10: Mapa geomorfológico das amostras circulares - Médio Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.....	73
Figura 5.11: Mapa geomorfológico das amostras circulares - Alto Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.	78
Figura 5.12: Mapa pedológico das amostras circulares - Baixo Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.	85
Figura 5.13: Mapa pedológico das amostras circulares - Médio Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.	86
Figura 5.14: Mapa pedológico das amostras circulares - Alto Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.	87

Figura 5.15: Evolução do desmatamento de municípios - Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.	91
Figura 5.16: Ilustração de aumento no índice Dd.....	95
Figura 5.17: Mapa de localização e distribuição de estações pluviométricas selecionadas – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.....	107
Figura 5.18: Mapa de variáveis morfométricas da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.....	112
Figura 5.19: Médias de totais mensais de precipitação pluviométrica (1960-1999): Baixo Curso – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.....	114
Figura 5.20: Médias de totais mensais de precipitação pluviométrica (1960-1999): Médio Curso – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.....	115
Figura 5.21: Médias de totais mensais de precipitação pluviométrica (1960-1999): Alto Curso – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.....	115
Figura 5.22: Médias de totais anuais de chuva por década (década de 50 a 00): Baixo Curso – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.....	116
Figura 5.23: Médias de totais anuais de chuva por década (década de 50 a 00): Médio Curso – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.....	117
Figura 5.24: Médias de totais anuais de chuva por década (década de 50 a 00): Alto Curso – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.....	117
Figura 6.1: Mapa de declividades do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.....	122
Figura 6.2: Mapa hipsométrico do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.....	124
Figura 6.3: Mapa do uso e ocupação das terras em amostras circulares do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 1962.....	125
Figura 6.4: Mapa do uso e ocupação das terras em amostras circulares do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 2010.....	126
Figura 6.5: Evolução de três principais classes de uso e ocupação no Baixo Curso da Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil – (1962-2010).....	129
Figura 6.6: Mapa dos canais fluviais em amostras circulares distribuídas no Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 1962.....	131

Figura 6.7: Mapa dos canais fluviais em amostras circulares distribuídas no Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 2010	132
Figura 6.8: Densidade hidrográfica de amostras do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – (anos 1962 e 2010).....	133
Figura 6.9: Densidade de drenagem de amostras do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – (anos 1962 e 2010).....	134
Figura 6.10: Canais fluviais pertencentes à amostra 01 – cenários de 1962 e 2010	136
Figura 6.11: Uso e ocupação das terras na amostra 01 – cenários de 1962 e 2010	137
Figura 6.12: Solos da amostra 01	138
Figura 6.13: Recorte em fotografia aérea nº 5761 de 1962 – Amostra 01	139
Figura 6.14: Canais fluviais pertencentes à amostra 02 – cenários de 1962 e 2010	140
Figura 6.15: Recorte sobre nascentes (Leste) do Córrego Santa Cruzinha – Amostra 02	141
Figura 6.16: Recorte sobre nascentes (Oeste) do Córrego Santa Cruzinha – Amostra 02.....	143
Figura 6.17: Recorte 01 sobre curso principal do Córrego Santa Cruzinha – Amostra 02	144
Figura 6.18: Recorte 02 sobre curso principal do Córrego Santa Cruzinha – Amostra 02.....	145
Figura 6.19: Recorte 03 sobre Córrego Santa Cruzinha – Amostra 02.....	146
Figura 6.20: Características Litológicas (esquerda) e Geomorfológicas (direita) - Amostra 02.	147
Figura 6.21: Classes de declividade - Amostra 02	149
Figura 6.22: Uso e ocupação das terras nos anos de 1962 e 2010 – Amostra 02.....	150
Figura 6.23: Evolução do uso e ocupação das terras no entorno de novos canais fluviais (1962/2010) – Amostra 02	151
Figura 6.24: Canais fluviais pertencentes à amostra 05 – cenários de 1962 e 2010	152
Figura 6.25: Características Litológicas (esquerda) e Geomorfológicas (direita) - Amostra 02	153
Figura 6.26: Classes de declividade - Amostra 05	155
Figura 6.27: Solos em amostra 05	156
Figura 6.28: Uso e ocupação das terras na amostra 05 – cenários de 1962 e 2010	157
Figura 6.29: Recorte sobre novos canais – Amostra 05	158
Figura 6.30: Recorte sobre erosão remontante – Amostra 08	159
Figura 6.31: Maior incisão e alargamento de canais no cenário atual – amostra 09.....	160

Figura 6.32: Mapa de declividades do Médio Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.....	163
Figura 6.33: Mapa hipsométrico do Médio Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.....	165
Figura 6.34: Evolução de três principais classes de uso e ocupação no Médio Curso da Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil – (1962-2010)	168
Figura 6.35: Mapa do uso e ocupação das terras em amostras circulares do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 1962.....	169
Figura 6.36: Mapa do uso e ocupação das terras em amostras circulares do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 2010.....	170
Figura 6.37: Rede de drenagem nas amostras circulares distribuídas no Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 1962.....	171
Figura 6.38: Mapa da rede de drenagem em amostras circulares distribuídas no Médio Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 2010	172
Figura 6.39: Densidade hidrográfica de amostras do Médio Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – (anos 1962 e 2010).....	173
Figura 6.40: Densidade de drenagem de amostras do Médio Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – (anos 1962 e 2010).....	174
Figura 6.41: Canais fluviais pertencentes à amostra 32 – cenários de 1962 e 2010	178
Figura 6.42: Solos em amostra 32.....	180
Figura 6.43: Classes de declividade - Amostra 32	181
Figura 6.44: Características Geomorfológicas (direita) e Litológicas (esquerda) - Amostra 32	181
Figura 6.45: Hipsometria – Amostra 32.....	182
Figura 6.46: Uso e ocupação das terras nos anos de 1962 e 2010 – Amostra 32.....	183
Figura 6.47: Canais fluviais pertencentes à amostra 31 – cenários de 1962 e 2010	184
Figura 6.48: Características Geomorfológicas (esquerda) e Litológicas (direita) - Amostra 31	185
Figura 6.49: Solos em amostra 31	186
Figura 6.50: Classes de declividade - Amostra 31	187
Figura 6.51: Uso e ocupação das terras nos anos de 1962 e 2010 – Amostra 31.....	188

Figura 6.52: Novos canais e antigas erosões – Amostra 31	189
Figura 6.53: Novo canal e antigas erosões – Amostra 31	190
Figura 6.54: Setores de diferentes intensidades erosivas – amostra 14	191
Figura 6.55 Características Geomorfológicas (esquerda) e Pedológicas (direita) – Amostra 14	192
Figura 6.56: Classes de declividade - Amostra 14	193
Figura 6.57: Evolução de erosão remontante em afluente do Córrego do Cerrado – Amostra 14	194
Figura 6.58: Evolução de erosão remontante em afluentes do Córrego da Paca – Amostra 14	196
Figura 6.59: Mudanças no curso e assoreamento do Córrego da Fortuna – Amostra 14.....	198
Figura 6.60: Erosão acelerada e remontante em afluentes do Córrego Favorita (ano 2010) – Amostra 19.....	200
Figura 6.61: Erosão acelerada e remontante em afluentes do Córrego Favorita (ano 1962) – Amostra 19.....	201
Figura 6.62: Erosão acelerada e remontante em afluentes do Córrego Favorita (2002/2010) – Amostra 19	202
Figura 6.63: Reentalhamento, ruptura de declive e erosão remontante em afluente do Córrego do Rainha – Amostra 20.....	203
Figura 6.64: Evolução da Erosão remontante em afluentes do Ribeirão Feiticeiros (1962/2010) – Amostra 35	204
Figura 6.65: Erosão remontante em afluentes do Ribeirão Feiticeiros (2002/2010) – Amostra 35	206
Figura 6.66: Evolução do reentalhamento e erosão remontante no Córrego Itapiranga (1962/2010) – Amostra 37	208
Figura 6.67: Evolução do reentalhamento e erosão remontante em afluentes do Ribeirão Santo Antônio (1962/2010) – Amostra 37	209
Figura 6.68: Evolução do reentalhamento e erosão remontante no Córrego do Tamburi (1962/2010) – Amostra 37	210
Figura 6.69: Erosão remontante em afluentes do Ribeirão Santo Antônio (ano 2002) – Amostra 37	212

Figura 6.70: Erosão remontante em afluentes do Ribeirão Santo Antônio (ano 2010) – Amostra 37	212
Figura 6.71: Erosão remontante em afluentes do Ribeirão Santo Antônio (ano 2011) – Amostra 37	213
Figura 6.72: Mapa de declividades do Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.....	216
Figura 6.73: Mapa hipsométrico do Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.....	218
Figura 6.74: Mapa do uso e ocupação das terras em amostras circulares do Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 1962.....	219
Figura 6.75: Mapa do uso e ocupação das terras em amostras circulares do Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 2010.....	220
Figura 6.76: Mapa da rede de drenagem em amostras circulares distribuídas no Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 1962	223
Figura 6.77: Mapa da rede de drenagem em amostras circulares distribuídas no Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 2010	224
Figura 6.78: Densidade hidrográfica de amostras do Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – (anos 1962 e 2010).....	225
Figura 6.79: Densidade de drenagem de amostras do Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – (anos 1962 e 2010).....	226
Figura 6.80: Erosões lineares - vertentes de afluentes do Córrego do Lajeado (ano 2010) – Amostra 83.....	228
Figura 6.81: Erosões lineares - vertentes de afluentes do Córrego do Lajeado (ano 1962) – Amostra 83.....	229
Figura 6.82: Erosões lineares e fragilidade naturais / Córrego do Lajeado – Amostra 83.....	231
Figura 6.83: Manejo, erosão remontante e cone de dejeção (comparação 1962 e 2010) Córrego Brejão ou Guaiçarinha – Amostra 70.....	232
Figura 6.84: Erosão remontante, cone de dejeção e declividades - Córrego Brejão ou Guaiçarinha – Amostra 70.....	234

Figura 6.85: Origens e evolução do reentalhamento da rede de drenagem e da erosão remontante – Córrego Catanduva (1962/2010) – Amostra 68	235
Figura 6.86: Origens e evolução do reentalhamento da rede de drenagem e da erosão remontante – Córrego Catanduva (1962/2010) – Amostra 68	237
Figura 6.87: Fragilidades naturais em área de ocorrência de erosões lineares – Amostra 68	238

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5.1: Relação e detalhes de estações pluviométricas consultadas.....	108
Tabela 6.1: Classes de uso e ocupação das terras e respectivas áreas - amostras do Baixo Curso da Bacia do Santo Anastácio – Anos 1962 e 2010.	127
Tabela 6.2: Comparativo de número de canais de 1ª ordem e dos índices Dd e Dh em amostra 01 entre os anos de 1962 e 2010.....	136
Tabela 6.3: Comparativo de número de canais de 1ª ordem e dos índices Dd e Dh em amostra 02 entre os anos de 1962 e 2010.....	140
Tabela 6.4: Comparativo de número de canais de 1ª ordem e dos índices Dd e Dh em amostra 05 entre os anos de 1962 e 2010.....	152
Tabela 6.5: Classes de uso e ocupação das terras e respectivas áreas – amostras do Médio Curso da Bacia do Santo Anastácio – Anos 1962 e 2010.....	166
Tabela 6.6: Comparativo de número de canais de 1ª ordem e dos índices Dd e Dh em amostra 32 entre os anos de 1962 e 2010.....	179
Tabela 6.7: Comparativo de número de canais de 1ª ordem e dos índices Dd e Dh em amostra 31 entre os anos de 1962 e 2010.....	184
Tabela 6.8: Classes de uso e ocupação das terras e respectivas áreas – amostras do Alto Curso da Bacia do Santo Anastácio – Anos 1962 e 2010.	221

1 Introdução

Os elementos naturais estão inter-relacionados e seus processos e formas, que se manifestam nas organizações físico/ambientais, possuem ocorrência na escala de tempo que lhe é própria e distinta da escala de tempo dos fenômenos inerentes ao sistema antrópico.

O Homem, quando surge na superfície da Terra, diferentemente de outros animais, inicia sua incessante busca em adaptar o meio às suas necessidades.

As Grandes Civilizações demonstram a evolução da razão e do poder humano, que, por meio de seu desenvolvimento técnico, torna-se capaz de alterar como nunca antes visto elementos e fenômenos pertencentes ao sistema físico ambiental, a fim de reduzir seus obstáculos e de melhor controlá-lo.

Como a atividade humana na superfície terrestre não se processa de maneira isolada, mas sim por meio da sociedade, as transformações impostas sobre os elementos naturais encontram-se carregadas de conteúdo histórico e social.

Nas últimas décadas, em especial no pós Segunda Guerra, e mais precisamente no pós década de 70 do século XX, o Homem atinge novo grau de desenvolvimento técnico. Trata-se do período equivalente ao que Richta (1968) e posteriormente Santos (2002) apontaram como aquele que se distingue de seus antecessores pela profunda inter-relação da ciência, da técnica e da informação.

Apesar desse desenvolvimento técnico e científico alcançado pelo Homem, suas ações sobre a Natureza se processaram e ainda se processam em campo obscuro.

Embora tenha se tornado capaz de alterar e de controlar parte dos elementos e fenômenos pertencentes à Natureza, esta, uma vez que se constitui em sistema complexo, está longe de ser plenamente conhecida, quanto menos controlada.

Assim, alterações de elementos e de relações de elementos componentes do ambiente físico, realizadas pelo Homem, com vias a determinada finalidade, desdobram-se, na realidade, em conjunto de processos e formas, muitas vezes inesperadas.

Deste modo, o desenvolvimento humano, nos aspectos mencionados, evoluiu deixando para trás um quadro de total degradação da Natureza, que há décadas desperta a atenção de pesquisadores de diversas áreas do conhecimento.

Na Geomorfologia, segundo Nir (1983), apesar da percepção do papel do Homem como agente geomorfológico parecer ter surgido apenas no final dos anos 1960, muitos trabalhos

realizados desde o final do século XIX se preocuparam com o tema, porém foram deixados à sombra de correntes e de idéias geomorfológicas prevalentes no decorrer do período considerado.

A interferência antrópica nas formas e processos da superfície terrestre se destaca ainda mais tendo em vista transformações profundas do ambiente físico provocadas pela urbanização galopante no pós década de 60 do século XX.

Tais transformações fornecem elementos para alguns pesquisadores proporem a criação de novo período e era geológica, que abarquem processos e formas derivados da ação antrópica, cujas manifestações temporo-espaciais seriam distintas às da natureza.

Na Geografia, uma importante contribuição ao entendimento da ação antrópica sobre o ambiente físico, trata-se do conceito de Organizações Espaciais, ou sistemas ambientais, entendidas como manifestações espaciais resultantes da inter-relação dos elementos dos Geossistemas e dos Sistemas Antrópicos. Os primeiros são formados por elementos e processos que se manifestam temporalmente e espacialmente nas organizações físico ambientais, resultantes, portanto, das inter-relações dos elementos da natureza (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Os Sistemas Antrópicos, por meio do uso e ocupação das terras, usufruem dos potenciais dos geossistemas e modificam os fluxos de matéria e energia existentes nos mesmos. Tais ações, quando causam o rompimento do equilíbrio existente no sistema físico, alteram sua expressão espacial e temporal, gerando novas estruturas espaciais.

O estudo das organizações espaciais, por se tratarem de sistemas complexos, deve levar em consideração as partes existentes, as inter-relações estabelecidas e a totalidade que as engloba (QUARESMA, 2008).

De acordo com Christofolletti (1979), quando se atribui a fenômenos a qualidade de sistema, uma das principais dificuldades reside na identificação dos elementos, atributos e relações, a fim de delinear com clareza a extensão abrangida pelo sistema em foco.

Considerando as normas apontadas por Campbell (1958) apud: Christofolletti (1979), elaboradas para reduzir a subjetividade no ato de distinguir um determinado sistema na multiplicidade dos fenômenos da superfície terrestre, pode-se afirmar que bacias hidrográficas se constituem em sistemas abertos e unidades geomorfológicas fundamentais ao entendimento das organizações espaciais.

Quando se adota bacias hidrográficas como nível de tratamento, com base na abordagem sistêmica, dois elementos constituintes poderão ser considerados, a saber, as vertentes e a rede de drenagem.

Os atributos desses elementos refletem sua interdependência, bem como a inter-relação destes com demais elementos naturais e/ou antrópicos componentes de seu universo, os quais, por meio de sua atuação e dinamismo, provocam alterações no sistema focalizado.

Com base na Teoria do Equilíbrio Dinâmico, é possível afirmar que tal sistema busca o estado de equilíbrio, de tal modo que seus elementos reflitam balanceamento entre a entrada e a saída de matéria e energia, manifestando-se não somente nos processos aluviais e morfogenéticos, mas também por meio das formas, a exemplo dos perfis longitudinais dos canais fluviais.

Alterações diretas dos elementos do sistema bacia hidrográfica ou indiretas, provocadas por mudanças em qualquer dos parâmetros existentes, caso sejam capazes de romper limiares de resiliência, provocarão ruptura do equilíbrio pré-existente, forçando o sistema a se rearranjar em torno de novo estado de equilíbrio, mais condizente com as novas características de fornecimento de matéria e de energia.

Desse modo, o desequilíbrio se reflete nas modificações dos processos morfogenéticos sobre as vertentes e canais fluviais, através do desencadeamento de processos erosivos laminares e lineares, da retomada erosiva à remontante, da erosão diferencial dos leitos fluviais ao longo dos perfis longitudinais de rios componentes da rede de drenagem e do aumento do número e comprimentos de canais fluviais, dentre outros.

Este quadro de desequilíbrio pode ser percebido na atualidade em grande parte das bacias hidrográficas afluentes da margem esquerda do rio Paraná, localizadas no estado de São Paulo/Brasil, especialmente daquelas que fazem parte da região do Pontal do Paranapanema.

Dentre estas, destaca-se, no presente estudo, a bacia do rio Santo Anastácio, cujas fragilidades ambientais naturais foram desrespeitadas ao longo de sua ocupação acelerada iniciada nas primeiras décadas do século XX por parte do Sistema Antrópico.

Dentre as causas naturais capazes de provocar tal estado de desequilíbrio destacam-se as mudanças climáticas e movimentos tectônicos. Por outro lado, dentre as causas originadas pelo Sistema Antrópico, destacam-se a remoção da cobertura vegetal natural, os tipos de uso e ocupação das terras empregados, as práticas de manejo adotadas e as modificações nos níveis de

base locais e/ou regionais de bacias hidrográficas, devido ao represamento dos cursos d'água para fins de produção de energia elétrica.

Deste modo, verificar a ocorrência de reativação da rede de drenagem e de processos erosivos em bacias hidrográficas, identificando elementos, ou conjunto de elementos, componentes da organização espacial, que respondem por sua gênese e evolução, torna-se necessário, a fim de que se possa contribuir para com estudos que buscam avaliar implicações da ação antrópica sobre os Geossistemas, bem como para com iniciativas que visem o estabelecimento de maior equilíbrio na relação Homem/Natureza.

2 Revisão de Literatura

2.1 Geomorfologia Antrópica

Desde o momento em que surge na Terra, o Homem interfere na sua paisagem. Como toda criatura, sua mera existência constitui parte integrante dos processos de formação do meio ambiente. Entretanto, ao contrário de outras criaturas, o Homem busca adaptar o meio às suas necessidades e, para isso, constrói ferramentas, de acordo com seu avanço tecnológico e econômico, que lhe permitem intensificar a sua intervenção. (BENNETT, 1939)

A intensidade dessa intervenção difere de um país para outro, e de um período histórico ao outro, dependendo do tipo de sociedade.

A atividade de um único homem não pode alterar significativamente a paisagem, mas o Homem não age individualmente, e sim como parte de uma sociedade. Portanto, a geomorfologia antrópica, também como produto histórico e social, é dependente das relações sociais de produção.

Segundo Nir (1983), revisões bibliográficas dos quarenta anos anteriores à publicação de seu trabalho causariam a impressão de que a percepção do Homem como agente geomorfológico tratar-se-ia de evento recente, pertencente à sua época, uma vez que importantes tratados e livros referentes às ciências da Terra prestaram pouca atenção à influência humana nos processos geomorfológicos.

“A random inventory of geology, geography, physical geography and physical geology reveals that most of the authors ignore Man as a geomorphological agent: E. de Martonne, C.A. Cotton, F. Machatschek, O. D. von Engeln, A. K. Lobeck, V. C. Finch, G. T. Trewartha, H. Bauling”.
(NIR, 1983 p.03)

Entretanto, o mesmo autor expõe que, apesar da percepção do papel do Homem na geomorfologia parecer ter surgido apenas no final dos anos 1960, na verdade, havia muitos

trabalhos predecessores, os quais foram deixados à sombra pela negligência e pelo prevailecimento de correntes e de idéias geomorfológicas no decorrer do período considerado.

*“Such an extreme statement is, of course, not entirely valid. Louis, in his *Algemeine Geomorphologie* (1960), deals very effectively (pp. 272-279) with this aspect. However, the perception of Man’s role in geomorphology, which seemingly has come to the fore only in the late 1960s, actually had very noteworthy predecessors. It was only due to negligence and the prevailing geomorphological trends and ideas during successive periods that the forerunners of anthropic geomorphology were left in the shadow”. (NIR, 1983 p.03)*

Deste modo, bons trabalhos que se referem à atividade geomorfológica do Homem podem ser encontrados desde o final do século XIX.

Como exemplo pode ser citado Marsh (1864), considerado por Nir (1983), como o primeiro dentre os estudiosos modernos a reconhecer o Homem como agente geomorfológico, e que, apesar de seus interesses principais concentrarem-se nos impactos biológicos da influência humana e não nos aspectos geomorfológicos, contribuiu para a compreensão da influência destrutiva do desmatamento sobre o desencadeamento da erosão de encostas, a sedimentação nos leitos dos rios e a conseqüente ocorrência de enchentes desastrosas.

Marsh (1864) também contribuiu para o entendimento de que a interferência do Homem sobre a natureza varia espacialmente, em função das características geomorfológicas e climáticas dos diversos locais do planeta. Assim, o autor aponta para a maior freqüência de mudanças destrutivas em países com superfícies irregulares e montanhosas, e em locais onde o clima caracteriza-se por apresentar precipitação concentrada, principalmente em uma única estação, e anos divididos em períodos quentes e úmidos. O autor ainda introduz a importância do coeficiente de declividade das encostas e da intensidade de chuvas como fatores que intensificariam a intervenção humana nos processos naturais.

Woeikof (1901) seguiu na mesma direção de Marsh, ao estudar relações entre o desmatamento e erosões lineares. O referido autor relacionou tais ocorrências ao desenvolvimento das metrópoles e à necessidade crescente por comida e matéria-prima, que resultou na rápida supressão de florestas. Este autor, segundo Nir (1983), foi o primeiro estudioso a introduzir valores sociais à geomorfologia antrópica.

Tendo em vista a condição do Reino Unido no final do século XIX, cuja sociedade poderia ser considerada a mais urbanizada do planeta, a ação antrópica na formação de sua paisagem já se fazia evidente. Dois autores se destacaram na percepção desta realidade, a saber, Fischer (1915) e Sherlock (1922), sendo este “*o mais importante trabalho já escrito sobre o assunto*” (NIR, 1983 p.05)

O primeiro autor citado no parágrafo anterior realizou a primeira estimativa do volume de minerais utilizados pelo Homem, e também da quantidade de cascalho, areia e pedra extraída para construção.

Sherlock (1922) questiona as diversas atividades humanas, nos seus mais variados aspectos e as avalia em termos de sua intervenção nos processos naturais. O autor apresenta dados estatísticos para os volumes de material extraído e estima as taxas de erosão e sedimentação. Segundo Nir (1983), o trabalho de Sherlock, apesar de referir-se ao Reino Unido, possui importância universal, uma vez que representa o primeiro tratado sério com uma abordagem quantitativa para o problema da atividade antrópica na geomorfologia.

Na década de 1950, dois trabalhos sobre a temática merecem destaque. O primeiro de autoria de Menshing (1951), que relacionou depósitos sedimentares, no vale Weser/Alemanha, aos históricos de desmatamento em suas partes superiores. O segundo, de Tricart (1956), que empregou o termo agente de erosão ao Homem. Esse autor procurou definir formas diretas e indiretas de intervenção antrópica sobre o relevo e as conseqüências dessas intervenções nos processos geomorfológicos, destacando também exemplos de modificações irreversíveis devido à ação do Homem. (NIR, 1983)

Na década de 1960, a geomorfologia antrópica recebe novo ímpeto, a partir de trabalhos, tais como o de Zapletal (1960), que classifica as paisagens em inalteradas, ou naturais, e em completamente culturais. Na mesma década, ocorre outra fase importante, marcada por contribuições de muitos estudiosos para com o surgimento de um novo tópico, a saber, a influência do desenvolvimento urbano sobre o ambiente natural. A referida fase encontra-se resumida no trabalho de Brown (1970), o qual divide as modificações dos processos geomorfológicos pela ação do Homem em resultados diretos de ações humanas propositais, resultados diretos de ações humanas incidentais e resultados de ações involuntárias, sendo estes os mais importantes em termos quantitativos. (NIR, 1983)

Na década de 1970, é possível verificar a existência de trabalhos importantes sobre o tema, tais como a publicação realizada em 1972 pela *U.S. National Academy of Sciences* e intitulada como *The Earth and Human Affairs, a general review of anthropic geomorphology*, e a importante contribuição do estudo realizado por Strahler e Strahler (1973) sobre a influência direta do Homem nos processos naturais.

Na década de 1980, destaca-se o trabalho de Nir (1983), que estudou a natureza e o ritmo da atividade antrópica na modelação e degradação da superfície terrestre, utilizando-se da concepção do Homem como agente geomorfológico independente, cujas atividades são guiadas por suas necessidades sociais e econômicas. Para o autor, cada atividade humana, tal como desmatamento, práticas agropecuárias ou de mineração, construção de estradas, ferrovias e portos, recuperação de pântanos e costas, e urbanização de grandes áreas, envolve intervenção nos processos geomorfológicos naturais, por meio do distúrbio do delicado estado de estabilidade inerente à natureza.

Considerando que a intervenção cresce de uma geração para outra devido ao aumento da quantidade de população e do nível de desenvolvimento tecnológico, o referido autor analisou e explicou diferentes tipos de processos geomorfológicos com gênese antrópica e avaliou as taxas de erosão e de sedimentação resultantes de tais processos.

As preocupações na década de 1990 em relação às modificações dos processos naturais, resultantes de alterações no clima global, também influenciaram trabalhos geomorfológicos.

Goudie (1993) estudou a relação entre as mudanças climáticas desencadeadas pela ação antrópica e os mecanismos externos de evolução do relevo. Tal autor é responsável também pela estruturação do termo “antropogeomorfologia”.

Simon (2010) expõe que os estudos sobre a temática, pertencentes ao início do século XXI, evoluíram no campo teórico e metodológico. O referido autor cita o trabalho de Haff (2001), que discute relações entre ação antrópica, relacionada com distintas formas de organização das sociedades, e taxas de denudação das vertentes e de deposição de sedimentos. Além disso, aponta para alterações das formas de relevo devido à construção de obras de engenharia, que forçam os processos a se ajustarem e a se transformarem, frente à nova estrutura criada pelo Homem.

Segundo Perez Filho et al. (2001), as formas variadas, rápidas e agressivas com que o Homem tem interferido na dinâmica natural da Terra fornecem elementos para alguns

pesquisadores defenderem a idéia de, no presente, ocorrerem processos geomorfológicos com gênese antrópica.

A interferência antrópica nas formas e processos levou a autores, tais como Crutzen (2002) e Zalasiewicz et. al. (2008), a proporem o estabelecimento de uma nova era geológica, denominada de Antropoceno, o qual descreveria o período mais recente da história da Terra, com início a partir do aparecimento do Homem e abrangendo alterações realizadas por meio de suas técnicas ao longo da história.

Ter-Stepanian (1988) também propõe a criação de um novo Período chamado de Tecnógeno ou Quinário, no quais deveriam ser inseridos os processos e formas derivados da ação antrópica, a partir da Revolução Neolítica, cujas velocidades seriam alheias ao tempo geológico.

2.2 As Organizações Espaciais

Na Geografia, uma importante contribuição ao entendimento de processos e formas da superfície terrestre, gerados ou influenciados pela atuação do Homem, trata-se do conceito de organizações espaciais, ou sistemas ambientais, baseado na visão organicista e na abordagem sistêmica.

A visão de mundo prevalente sobre a natureza em cada civilização e nos diversos segmentos sócio-econômicos influencia a significância e a valorização do meio ambiente. Tal visão também embasa as explicações sobre as características, funcionamento, utilização e percepção dos riscos provenientes dos eventos ambientais. Do mesmo modo, os procedimentos metodológicos adotados na análise dos fenômenos ambientais estão relacionados com a natureza do objeto de estudo e com a visão de mundo adotada pelo cientista. (CHRISTOFOLETTI, 1999)

A visão mecanicista, originada a partir dos trabalhos de René Descartes e fundamentada no método analítico e sintético, se contrapõe às novas descobertas da Física no decorrer do século XX, as quais comprovaram a existência de um Universo complexo e em constante dinâmica.

Os últimos conhecimentos científicos permitiram uma mudança da concepção de natureza, que progressivamente se afasta da analogia a uma simples máquina e se aproxima do conceito de sistema orgânico.

Trata-se da visão organicista, segundo a qual, as unidades que compõem a natureza funcionam de maneira integrada e tendem a atingir um estado de equilíbrio em relação às

condições reinantes. Segundo essa visão, ao Homem, cabe a busca pela compreensão das características e do funcionamento dos sistemas do meio ambiente, por meio de abordagem holística, que lhe permita introduzir ações que não causem o rompimento do equilíbrio, do qual depende sua própria existência.

A abordagem holística e não reducionista sobre o ambiente privilegia o conhecimento do todo, ou do fenômeno em seu próprio nível hierárquico, deixando de lado a fragmentação do objeto de estudo em seus elementos básicos constituintes. Tal abordagem parte da concepção de que o todo ou é maior ou menor, mas não igual, à soma das partes, haja vista o surgimento ou bloqueio de propriedades, condições que só se manifestam no interior do todo (QUARESMA, 2008).

Segundo Christofletti (1999), as concepções organicistas básicas foram revitalizadas pela abordagem sistêmica, repercutindo nas maneiras de focalização das questões ambientais.

Deve-se a Ludwing Von Bertalanffy, em sua obra “Teoria Geral dos Sistemas”, a primeira tentativa de sistematização do conceito de sistemas. Tal autor apresentou uma episteme, com a finalidade de se pensar e entender o real pelo acúmulo de todos os campos do conhecimento em uma única linguagem científica, o que poderia ser estabelecido pela definição e análise dos componentes e das estruturas funcionais de cada campo.

Segundo Christofletti (1999), no contexto da problemática ambiental e baseando-se na visão organicista, duas perspectivas sobre o conceito de meio ambiente podem ser apontadas. A primeira, possuindo significância biológica e social, o define como as condições de vida, desenvolvimento e crescimento, que envolvem o ser vivo. Nesta perspectiva insere-se o uso do termo no conceito de ecossistema, como sendo comunidade de organismos interagindo com seu ambiente. A segunda perspectiva considera a funcionalidade interativa da geosfera-biosfera, resultando em unidades correspondentes ao sistema ambiental físico, ou geossistemas, conforme definição de Sotchava (1977)¹. Trata-se das condições naturais, produzidas pela interação entre os elementos físicos e biogeográficos, que interferem nas atividades sociais.

¹ Na tentativa de aplicar a Teoria Geral dos Sistemas às Ciências Naturais, na década de 1960, Sotchava (1977) apresentou o conceito de geossistema para explicitar formações naturais resultantes da ação da dinâmica dos fluxos de matéria e energia nos sistemas abertos e da ação antrópica sobre estes. Essa relação homem/dinâmica do meio resulta na formação da paisagem.

Segundo Christofolletti (1999), o sistema ambiental físico também sofre interferências da sociedade (sistema antrópico), pelo uso e ocupação das terras, que usufrui dos potenciais dos geossistemas e modifica seus aspectos visuais, bem como seus fluxos de matéria e energia.

Percebe-se que apesar das proposições em se estabelecer uma leitura holística, integrada, organicista e sistêmica, as definições apontadas fazem nítida separação entre o Homem (sistema antrópico) e Natureza (geossistema).

Em uma tentativa de unir os dois elementos, Monteiro (2000), baseado em Bertrand, descreve a concepção de geossistema como sendo um *“sistema singular, complexo, onde interagem os elementos humanos, físicos, químicos e biológicos e onde os elementos sócio-econômicos não constituem um sistema antagônico e oponente, mas sim estão incluídos no funcionamento do sistema”*.

Entretanto, de acordo com Quaresma (2008), há que se levar em conta a alta complexidade dos processos intrínsecos ao Sistema Sócio Econômico, ou antrópico, dada a grande velocidade com que este se altera no tempo e no espaço.

O referido autor ilustra a sua argumentação a partir de uma rede de transporte material, como, por exemplo, uma estrada construída em meio a uma mata. O limite imposto pelo homem não é respeitado pela dinâmica dos processos naturais, visto que, no desenrolar do tempo, a vegetação avança em direção ao objeto técnico instalado, exigindo obras de manutenção da via traçada. Tal exemplo simples comprova a existência de tempos, dinâmicas e objetivos pertencentes a dois sistemas (subsistemas) distintos e em alguns casos antagônicos. Um é o natural o outro é o social.

Os sistemas físicos são formados por elementos e processos que se manifestam temporalmente e espacialmente nas organizações físico/ambientais ou ambientes físico/naturais, resultantes, portanto, das inter-relações dos elementos da natureza. (CHRISTOFOLETTI, 1999)

Os sistemas antrópicos, por meio do uso e ocupação das terras, usufruem dos potenciais dos geossistemas e modificam os fluxos de matéria e energia existentes nos mesmos. Tais ações quando causam o rompimento do equilíbrio existente no sistema físico/ambiental, alteram sua expressão espacial e temporal, gerando novas estruturas espaciais.

Deste modo, surge o conceito de Organizações Espaciais, as quais são sistemas espaciais de mais alta complexidade, resultantes das relações entre geossistema e sistema antrópico,

englobando estruturação, funcionamento e dinâmica dos elementos físicos, biogeográficos e sociais. (CRHISTOFOLETTI, 1999)

Estas organizações, também conhecidas por sistemas ambientais (PEREZ FILHO, 2006), puras expressões temporais e espaciais da existência e interação dos elementos geossistêmicos e antrópicos, é entendido no presente trabalho como o objeto de estudo da Geografia.

A organização espacial é um sistema complexo, e como tal, devem ser levadas em conta as partes existentes, as inter-relações estabelecidas e a totalidade que as engloba. A simples interação dos elementos apenas poderá formar sistema se for capaz de criar algo que funcione como um todo, o qual só poderá ser entendido pelo estudo de suas partes, compreendidas estas como constituintes de uma mesma totalidade. Diante disso, o sistema pode possuir muitos elementos, mas o conjunto não pode ser representado pela somatória das suas partes, visto ser algo individualizado e distinto, com propriedades e características que só o todo possui (QUARESMA e PEREZ FILHO, 2005).

Com relação à abordagem holística e a visão organicista ou sistêmica, Quaresma (2008) ressalta que, apesar do desenvolvimento técnico atual, que possibilita estudos mais amplos da realidade, permitindo identificar e relacionar grandes quantidades de elementos existentes, ainda assim é praticamente impossível ao homem apreender a totalidade absoluta, de forma que, na sua busca por esta, pode acabar por atingir outras totalidades, sempre relativas.

As dificuldades aumentam quando se consideram os sistemas complexos, os quais, segundo Christofolletti (1999), são compostos por grande quantidade de componentes interatuantes, que intercambiam informações com seu entorno condicionante e que adaptam sua estrutura interna como consequência de tais interações. Tais sistemas apresentam diversos elementos constituintes, possuem desordem estrutural intrínseca e as características assíncronicas e aleatórias das interações resultam em comportamento caótico dos processos.

Diante disso, é importante mencionar que a abordagem holística não necessariamente exclui a abordagem reducionista, visto que esta também se enquadra como básica na pesquisa dos sistemas ambientais, sem se contrapor à primeira. O que se torna fundamental ao pesquisador é estar ciente da totalidade, complexidade e estruturação hierárquica do sistema abrangente (CHRISTOFOLETTI, 1999).

2.3 Bacia Hidrográfica: um olhar sistêmico

De acordo com Christofolletti (1979), quando se atribui a fenômenos a qualidade de sistema, uma das principais dificuldades reside na identificação dos elementos, atributos e relações, a fim de delinear com clareza a extensão abrangida pelo sistema em foco.

Considerando as normas apontadas por Campbell (1958) apud: Christofolletti (1979), elaboradas para reduzir a subjetividade no ato de distinguir um determinado sistema na multiplicidade dos fenômenos da superfície terrestre, pode-se afirmar que bacias hidrográficas se constituem em sistemas abertos e unidades geomorfológicas fundamentais ao entendimento das organizações espaciais.

Riccomini et. al. (2009) conceituam bacia hidrográfica como área de captação de água de precipitação, demarcada por divisores topográficos, onde toda água captada converge para um único ponto de saída, o exutório. Segundo os autores, na maioria das bacias, a saída do escoamento total ocorre por meio de um rio principal que coleta toda água das mesmas.

Entretanto, devem-se tomar certos cuidados na utilização de tal conceituação, pois grande parte do total de precipitação pluviométrica sobre uma dada bacia não terá como destino o exutório, haja vista a interceptação, infiltração e evapotranspiração. O termo captação deverá ser entendido como a parcela de água de precipitação que alimenta direta ou indiretamente o escoamento superficial.

Um conceito que atende aos objetivos do presente trabalho trata-se daquele apresentado por Guerra e Guerra (2005), para os quais, bacia hidrográfica trata-se de conjunto de terras drenadas por um rio principal e por seus afluentes, devendo existir uma hierarquização na rede, a qual escoar a água normalmente dos pontos mais elevados para os mais baixos. Além disso, os referidos autores apontam para a noção de dinamismo implícita no conceito de bacia hidrográfica, verificada a partir de modificações nas linhas divisoras de água, sob o efeito dos agentes erosivos, que alargam ou diminuem a área da bacia.

Segundo Christofolletti (1979), bacias hidrográficas começaram a ser focalizadas como unidades geomorfológicas fundamentais tendo em vista o funcionamento integrado de seus elementos constituintes, e o conceito de sistema está presente em toda a análise morfométrica e topológica das redes fluviais.

Strahler (1950) pode ser apontado como o primeiro autor a introduzir a Teoria Geral dos Sistemas nos estudos referentes à rede de drenagem, ao caracterizá-la como sistema aberto constante, no qual ocorrem entradas e saídas de componentes.

No presente trabalho, escolheu-se, como unidade de análise, a bacia hidrográfica, tendo em vista que, conforme Rocha (1991), Guerra e Cunha (1996) e Perez Filho et al. (2001), bacias hidrográficas são áreas eficientes à investigação ambiental, uma vez que melhor evidenciam impactos antrópicos sobre o ambiente físico. Além disso, segundo Rodrigues (2006), tal unidade é ideal para a conservação e manejo dos recursos naturais.

2.3.1 Bacia hidrográfica: composição

Tendo como base a Teoria Geral dos Sistemas, a composição de uma determinada bacia hidrográfica pode ser descrita a partir de seus componentes estrutura, matéria e energia.

2.3.1.1 Estrutura

De acordo com Chorley e Kenedy (1971), a estrutura se define pelos elementos e suas inter-relações.

Para Christofolletti (1979), o sistema bacia hidrográfica é composto basicamente pelos elementos vertentes e rede de drenagem.

2.3.1.1.1 Vertentes

Vertentes podem ser definidas em sentido amplo como superfícies inclinadas, não apresentando relações de dependência genética ou locacional, e podem ser formadas por processos internos ou externos². Entretanto, as vertentes endógenas, por mais variadas que sejam as suas origens, sempre sofrem algum grau de alteração por processos exógenos. (CHRISTOFOLETTI, 1980)

² Vertentes endogenéticas tratam-se daquelas geradas e/ou modificadas por processos pertencentes ao interior da Terra, tais como orogênese, epirogênese e vulcanismo. Vertentes exogenéticas tratam-se daquelas que resultam da ação de fatores externos, ou exógenos, os quais possuem origem na superfície terrestre ou próximo a esta.

Para Dylik (1968), vertente trata-se de forma tridimensional, modelada por processos de denudação, ocorrentes no presente ou no passado e que representam a conexão dinâmica entre o interflúvio e o fundo de vale.

Os processos morfogenéticos, aqueles responsáveis pela esculturação das vertentes por ação de fatores externos, tratam-se da meteorização, movimentos de massa, ação biológica e morfogênese pluvial.

A meteorização, também conhecida por intemperismo, responde pela produção de detritos fundamentais ao processo erosivo. A meteorização química e bioquímica resulta na decomposição dos minerais constituintes das rochas, já a meteorização física é responsável pela fragmentação das mesmas.

Os movimentos de massa são movimentos encosta abaixo de massas sólidas do substrato, partículas ou partes do regolito e solos pela ação da gravidade, não sendo, portanto, inicialmente desencadeados pela ação de um agente de erosão.

Press et. al. (2006) apontam três fatores primários que influenciam os movimentos de massa, a saber, a natureza dos materiais componentes da vertente, a declividade desta, bem como a quantidade de água presente.

Com relação à ação biológica na morfogênese das vertentes, existem pelo menos dois conjuntos de ações exercidas pela vegetação³. O primeiro deles resulta na proteção da superfície por meio da interceptação de gotas de chuva, ou pela criação de obstáculos ao escoamento pluvial e à ação dos ventos, além de contribuir na produção de húmus, a partir da decomposição da matéria orgânica, que permite a formação de agregados do solo, resultando em sua estruturação e no aumento de sua capacidade de infiltração, diminuindo, assim, o escoamento superficial e, conseqüentemente, sua capacidade erosiva. O segundo conjunto de ações trata-se de sua capacidade de intensificar processos de desagregação e decomposição dos minerais e rochas, a partir da ação mecânica das raízes e da intensificação de processos bioquímicos, os quais fazem ampliar a acidez dos solos, acelerando o intemperismo químico. (LEPSCH, 2002); (PRESS et al., 2006)

³ Torna-se importante ressaltar o papel de outras formas de vida, tais como minhocas, fuçadores, formigas e termitas, que resultam na redução do tamanho e no deslocamento de partículas da cobertura superficial, além de influenciarem na sua capacidade de infiltração e na sua susceptibilidade à erosão. Entretanto, foi direcionada atenção ao papel da cobertura vegetal, por ser parâmetro relevante à problemática estudada pela presente tese.

A morfogênese pluvial é apontada por Christofolletti (1980) como um dos agentes mais importantes na esculturação das vertentes. Tendo em vista sua relevância para o presente trabalho, tal agente será discutido mais detalhadamente em item específico.

2.3.1.1.2 Rede de drenagem

Funcionando como canais de escoamento, a rede de drenagem é alimentada pelas águas superficiais e subterrâneas, e, segundo Christofolletti (1980), os rios, sub-elementos que a compõem, se constituem processo morfogenético mais ativo na esculturação da paisagem terrestre.

Segundo Christofolletti (1980), rede de drenagem trata-se do conjunto de rios existentes em determinada área, os quais se inter-relacionam segundo determinado padrão e se estendem desde suas fontes até a desembocadura da referida rede.

Para Guerra e Guerra (2005), rio trata-se de corrente líquida resultante da concentração do lençol de água em um vale, podendo ser dividido em curso superior, caracterizado como a parte do rio mais próxima de suas cabeceiras e onde ocorre predomínio do escavamento vertical ou erosão intensiva do talvegue; curso médio, onde predomina o transporte e um acentuado rebaixamento das encostas; e curso inferior onde ocorre o fenômeno de aluvionamento, processo de deposição de detritos ou sedimentos clásticos removidos das margens e das vertentes.

Segundo Christofolletti (1980), o termo rio pode ser aplicado exclusivamente a qualquer fluxo canalizado, e, por vezes, empregado para se referir a canais destituídos de água. Assim, cursos de água que permanecem ativos durante todos os períodos de um ano são chamados de rios perenes. Àqueles que permanecem secos na maior parte do ano, apresentando fluxo de água somente no decorrer e imediatamente após eventos de precipitação pluviométrica, dá-se o nome de rios efêmeros. Por fim, os rios intermitentes são aqueles que se apresentam de forma intermediária, comportando fluxo de água em parte do ano, mas tornando-se secos no decorrer da outra.

Além dos conceitos supracitados, destacam-se outros, apresentados por Christofolletti (1980), os quais serão mencionados ao longo do presente trabalho:

- Nascente: ou cabeceira, trata-se do local onde ocorre o início do canal;
- Desembocadura: ponto final da rede considerada;

- Confluência: lugar onde ocorre o encontro de dois canais, não ocorrendo na análise morfométrica junções tríplices.
- Segmento fluvial: trecho do rio onde não se verifica alteração na ordem hierárquica (com base na hierarquia apresentada por Strahler).
- Ligações: trechos de canais que não recebem a contribuição de afluentes. Tais ligações podem ser subdivididas em exteriores, quando ocorrem entre uma nascente e a primeira confluência a jusante, ou em interiores, quando presentes entre duas confluências consecutivas, ou entre a última confluência e a desembocadura do canal fluvial.

2.3.1.2 Matéria

Em termos gerais, matéria representa o material, qualquer substância sólida, líquida ou gasosa, que ocupa lugar no espaço, e que será mobilizada pelo sistema, ou armazenada pelo mesmo.

Com relação à rede de drenagem, dois tipos de materiais tornam-se relevantes ao presente estudo, a saber, a água e as cargas detríticas ou em solução por ela transportadas.

Os rios, dada a sua capacidade de erosão, transporte, acumulação e sedimentação, devem ser considerados os principais modeladores da paisagem dos continentes. Segundo Press et al. (2006), considerando a escala mundial, os rios transportam anualmente cerca de 16 bilhões de toneladas de sedimentos clásticos e cerca de 2 a 4 bilhões de toneladas de material em solução.

Christofolletti (1980) aponta para a qualidade dos rios de serem agentes mais relevantes no transporte dos materiais intemperizados das áreas elevadas para as mais baixas e dos continentes para os oceanos, possuindo importância fundamental entre todos os processos morfogenéticos.

Com relação às cargas fluviais, entendem-se como partículas de diferentes granulometrias ou materiais em solução que são carregados pelo rio.

Os materiais postos em solução (íons) e posteriormente transportados pelo fluxo são classificados como carga dissolvida, a qual é carregada na mesma velocidade do fluxo, sendo depositada apenas por meio da saturação da solução.

A carga detrítica pode ser dividida em duas categorias, a carga de suspensão e a de fundo. A primeira inclui todos os materiais suspensos no fluxo de forma temporária ou permanente e a

segunda trata-se das partículas carregadas pelo rio sobre o leito, por meio de deslizamento ou rolamento. (PRESS et al., 2006)

Os valores de carga detrítica e de vazão são diretamente proporcionais e, segundo Christofolletti (1980), a carga detrítica existente em determinado canal fluvial não depende apenas da ação abrasiva do rio sobre seu fundo e margens, mas principalmente pelo trabalho do escoamento superficial sobre as vertentes, o que permite afirmar que em épocas de cheias e enchentes, associadas a períodos de elevadas precipitações pluviométricas, verifica-se o transporte da maior parte da carga detrítica realizada.

Assim, o transporte de sedimentos é governado pelos fatores hidrológicos, controladores das características e regime dos cursos de água. Dentre os fatores hidrológicos existentes, podem ser citados como de maior importância a quantidade e distribuição das precipitações, a estrutura geológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal. Tais fatores influenciam a formação do material meteorizado no interior da bacia hidrográfica e o carregamento de parcela de tal material até os rios (CHRISTOFOLETTI, 1980). O processo também sofre influência do sistema antrópico, que a partir do uso e ocupação das terras, provoca o desmatamento e a exposição das formações superficiais ao escoamento superficial.

Tendo em vista que muitos aspectos da sedimentação fluvial são influenciados pela ação antrópica sobre as vertentes, a partir das mais variadas formas de uso e ocupação das terras, o entendimento de seus processos também permite a percepção e entendimento da evolução da paisagem nas escalas de tempo histórico e presente. Além disso, um conhecimento profundo dos mecanismos de sedimentação fluvial é necessário para previsões efetivas de ocorrências de processos indesejáveis, fruto de respostas dos geossistemas às alterações impostas pelo sistema antrópico nos fatores hidrológicos de bacias hidrográficas.

Tendo em vista que os canais de escoamento representam a rede organizada drenando determinada área, a intensidade de erosão ocorrente em determinada bacia hidrográfica poderá ser calculada pela mensuração da carga detrítica total transportada pelos rios. (CHRISTOFOLETTI, 1981)

Reduções da competência e da capacidade dos canais fluviais provocam a deposição da carga detrítica por eles transportada.

A competência decresce no sentido montante/jusante, devido à redução na força de cisalhamento, conforme Leopold (1953), e devido à diminuição da declividade, como aponta Hack (1957). Isto explica a diminuição da granulometria dos sedimentos em direção de jusante.

Por outro lado, a redução da declividade permite o aumento da vazão, que por sua vez faz aumentar a capacidade do rio no sentido de jusante. Tal fato se explica, pois, segundo Penteadó (1978), a largura, a velocidade e a carga em suspensão aumentam em função da vazão.

2.3.1.3 Energia

Energia, segundo a Física, trata-se da capacidade de realização de trabalho e, dependendo da sua quantidade, tipo e distribuição, garantem os processos de funcionamento do sistema.

Dois tipos de energia podem ser definidos no presente trabalho, a energia potencial, aquela que representa a força responsável pela movimentação inicial dos materiais, dependente da força gravitacional e diretamente proporcional à amplitude altimétrica e outra, a energia cinética, também conhecida como energia associada ao movimento.

A primeira se expressa pelo produto do peso da água pela diferença altimétrica de dois pontos situados nos extremos opostos do trecho do rio onde a mesma está sendo calculada. Os valores da segunda podem ser obtidos pelo produto da metade da massa de água pelo quadrado da velocidade do fluxo.

O trabalho efetuado por um rio, expresso pela sua capacidade de erosão, transporte e sedimentação, depende de sua energia total, resultante da soma dos dois tipos de energia apresentados. Deste modo, verifica-se que tal trabalho sofre influência significativa do atributo velocidade. (CHRISTOFOLETTI, 1980)

Uma vez que ocorre o fluxo, a energia potencial é convertida em energia cinética, e esta é gradualmente dissipada em calor e fricção. Segundo Christofolletti (1980), a maior parte da energia de um rio consome-se em calor, algo em torno de 95%. Os 5% restantes são empregados na realização de trabalho, excetuando-se a parcela de energia a ser dissipada pela fricção.

Deste modo, a energia disponível para a realização do trabalho poderá ser ampliada pela redução da fricção por meio da suavização, retificação ou ainda pela redução do perímetro úmido.

Com relação à energia, há que se levar em consideração o conceito de entropia, que está relacionado à distribuição energética no interior do sistema. As variáveis componentes de um sistema tendem a alcançar o grau de entropia máxima, ou seja, a distribuição igualitária e ordenada da energia presente no interior deste. Quanto mais desordenada e desigualmente distribuída estiver a energia no interior de um sistema, maior será a quantidade de energia disponível para a realização de trabalho e, portanto, com entropia mínima. O conceito de entropia torna-se fundamental ao entendimento dos mecanismos de estabilidade de um sistema, bem como de sua necessidade em alcançar o seu equilíbrio dinâmico⁴. Assunto que será abordado em subitem posterior.

2.3.2 Bacia hidrográfica: objetivo e interdependência

Thornes e Brunsten (1977) definem sistema como sendo “conjunto de objetos ou atributos e das suas relações, que se encontram organizados para executar uma função particular”. Assim, para que algo se constitua como sistema, não lhe basta possuir funcionamento e relacionamento, mas é necessária a existência de um objetivo. Desta forma, pode-se definir um sistema como um conjunto de elementos inter-relacionados e organizados para execução de processos com vias a uma dada finalidade, que, no sentido amplo, pode ser considerada como a transformação do *input* em *output* (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Assim, considerando a bacia hidrográfica como um sistema, pode-se dizer que sua rede de drenagem, formada pelos cursos de água naturais, encontra-se organizada de tal forma a permitir o escoamento da água e dos sedimentos fornecidos pelas vertentes, no sentido montante-jusante.

Além disso, conforme aponta Davis (1902), de acordo com Christofolletti (1981), para tornar mais efetivo o transporte de sua carga, o rio ajusta o seu curso por processo de entalhamento e aterro até que seja desenvolvido um perfil uniforme.

A definição de sistema proposta por Miller (1965) revela outra característica fundamental dos elementos que o constituem - a sua interdependência. Tal autor define sistema como sendo “conjunto de unidades com relações entre si. A palavra conjunto implica que as unidades

⁴ Uma vez que nos sistemas naturais não há nada estático e os mesmos não estão isolados, apesar de suas variáveis se ajustarem de forma a permitirem distribuição igualitária de energia no seu interior, gera-se estado de equilíbrio não estático, ou simplesmente dinâmico, visto que mesmo sob tal estado há contínua troca de matéria e energia entre os elementos componentes do sistema, bem como deste com o universo que o engloba.

possuem propriedades comuns. O estado de cada unidade é controlado, condicionado ou dependente do estado das outras unidades”.

Segundo Christofolletti (1980), os elementos vertentes e rede de drenagem, pertencentes à bacia hidrográfica, encontram-se inter-relacionados, assim, a carga detrítica fornecida aos rios depende da morfogênese das vertentes, sendo esta controlada pela litologia, cobertura vegetal e condições climáticas.

O parágrafo anterior não somente ressalta que as características e processos de um dado elemento interdependem dos estados nos quais se encontram os demais, mas também que os elementos de um dado sistema são influenciados pelos parâmetros existentes.

Segundo Christofolletti (1979), não se mede um sistema como um todo, ou mesmo os elementos de um sistema, mas sim suas variáveis, entendidas como as qualidades ou atributos passivos de mensuração. A descrição quantitativa de um sistema depende da escolha de quantas e de quais variáveis serão consideradas, além das técnicas de mensuração que deverão ser empregadas. Tais decisões dependerão dos objetivos da pesquisa, os quais ditarão as variáveis e técnicas relevantes para se testar a hipótese formulada pela mesma.

O autor citado no parágrafo anterior explica que, ao se analisar diversos sistemas, poderão ser encontrados diferentes valores de variáveis, assinalando que o funcionamento desses encontra-se sob controle de fatores externos, constituintes do ambiente que os engloba, e responsáveis pelo fornecimento de matéria e energia, os quais se denominam parâmetros.

Tendo em vista que os parâmetros regulam o funcionamento dos sistemas, os valores das variáveis serão resultantes da ajustagem destas em relação à intensidade daqueles.

Uma vez que os valores das variáveis e dos parâmetros podem ser mensurados, o entendimento da influência de determinado parâmetro sobre um elemento ou conjunto de elementos pertencentes a uma entidade discreta, ou sistema, exige a identificação, inclusão e avaliação de todos os parâmetros relevantes no fornecimento de matéria e energia, a ponto de exercerem controle sobre o funcionamento dos elementos componentes do sistema.

O ambiente que contém o sistema bacia hidrográfica constitui-se, dentre outras, nas condições climáticas, geológicas, pedológicas, geomorfológicas, biogeográficas e dos tipos de usos e ocupações antrópicos empregados. O estado da bacia em estudo dependerá dos valores dos parâmetros que definem tais condições, bem como de qualquer alteração nestes que ultrapassem os limiares de resiliência do sistema.

2.4 Equilíbrio dinâmico, perfil de equilíbrio e nível de base

Os rios, as redes de drenagem e as bacias hidrográficas representam diferentes níveis escalares de sistemas abertos, e deste modo, trocam matéria e energia com os demais sistemas componentes do seu universo.

Com base na Teoria do Equilíbrio Dinâmico, é possível afirmar que tais sistemas buscam o estado de equilíbrio, quando os processos aluviais refletem o balanceamento entre o *input* e *output* de matéria e energia, manifestando-se não somente nos processos, mas também por meio das formas do perfil longitudinal.

Alterações no nível de base poderão ocasionar rompimento do estado de equilíbrio pré-existente e o reajustamento dos componentes do sistema, a fim de estabelecer nova estruturação, equilibrada em relação às condições ambientais existentes.

A Teoria do Equilíbrio Dinâmico surge a partir da aplicação da Teoria Geral dos Sistemas no entendimento da evolução do modelado terrestre, segundo a perspectiva analítica dos sistemas abertos. (CHRISTOFOLETTI, 1980)

Gilbert (1880) foi o primeiro a explicar o desenvolvimento do modelado terrestre com base no equilíbrio dinâmico.

Contudo, de acordo com Christofolletti (1980) as discussões referentes ao tema foram ampliadas por Hack (1957, 1960, 1965), ao aplicar a concepção de equilíbrio dinâmico aos sistemas de drenagem, o que lhe permitiu oferecer modelo alternativo ao davisiano para a interpretação das paisagens. Desse modo, tal autor apresentou as concepções básicas e os delineamentos da Teoria do Equilíbrio Dinâmico.

Davis (1899) representou um marco na interpretação da evolução do modelado terrestre, ao propor a sua teoria, intitulada como Teoria do Ciclo Geográfico, ou do Ciclo de Erosão. Com base nas áreas úmidas e sob a influência do conhecimento sobre evolução orgânica, o referido autor sistematizou sucessões das formas de relevo em séries evolutivas cíclicas e classificou as fases consecutivas em juventude, maturidade e senilidade.

Na primeira dessas, verifica-se o início do ciclo evolutivo a partir do soerguimento rápido da área por ação tectônica em relação ao nível de base geral, que ocasiona aumento das diferenças altimétricas e por consequência das declividades. A partir disso, os rios encaixam-se, provocando

intensa erosão do leito fluvial, alargamento das bacias hidrográficas e ocorrência de capturas fluviais. O entalhamento profundo provocado pelos rios aumenta as declividades das vertentes, em cujas superfícies verificar-se-iam ocorrências de movimentos de massa e de ravinamentos, cujos detritos produzidos superariam a capacidade de transporte do fluxo fluvial, gerando, deste modo, depósitos de talus. Tendo em vista diferenças nas suas capacidades erosivas, os rios principais tenderiam a escavar o leito de maneira mais eficiente do que os seus respectivos afluentes, e estes tenderiam a formar rupturas de declives, desembocando a partir de rápidos ou cascatas.

Na fase de maturidade, ocorre maior organização da rede de drenagem, pois o suficiente progresso da erosão resulta na desaceleração do entalhamento e na redução das declividades. Além disso, seria possível verificar o espessamento dos regolitos, a regularização do perfil longitudinal e o conseqüente desaparecimento das rupturas de declives, características da fase anterior. Porém, o relevo ainda se apresentaria acidentado, principalmente nas proximidades dos locais de ocorrência de desníveis mais elevados no início do ciclo.

Na senilidade, dá-se continuidade ao processo de redução dos declives, resultando no desaparecimento da superfície inicial. Surge então a peneplanície, superfície caracterizada por sucessão de colinas rebaixadas, recobertas por manto de detritos intemperizados e separados por vales caracterizados por fundos aluviais largos.

Diante da breve exposição da Teoria do Ciclo Geográfico, pode-se perceber que Davis partiu da concepção de que o equilíbrio se estenderia a partir do nível de base e se propagaria paulatinamente em direção à montante, consolidando-se quando ocorresse o aplainamento geral (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Segundo a Teoria do Equilíbrio Dinâmico, por sua vez, o estabelecimento do estado de equilíbrio não depende exclusivamente do aplainamento geral do relevo, mas sim, do balanceamento entre as forças opostas, representadas pelos processos morfogenéticos e pelas resistências das rochas.

O estado de equilíbrio se configura pelo ajustamento de todos os elementos que compõem um sistema erosivo, em função da quantidade e da variabilidade de matéria e energia que lhes são fornecidas, de tal modo que cada um deles se altera na mesma proporção. (CHRISTOFOLETTI, 1980)

“O equilíbrio é alcançado quando as várias partes de uma paisagem, pertencentes ao mesmo sistema, apresentarem a mesma intensidade média de erosão, tanto nas rochas resistentes quanto nas frágeis. Quando as formas se encontrarem perfeitamente ajustadas no estado de estabilidade, haverá variação topográfica em virtude do entrosamento entre os fatores atuantes (...) Nesta perspectiva, a paisagem não evolui necessariamente para o aplainamento geral, pois o equilíbrio pode ocorrer sob os mais variados panoramas topográficas”.

(CHRISTOFOLETTI, 1980 p.169)

A aplicação da abordagem sistêmica e da Teoria do Equilíbrio Dinâmico no estudo de perfis longitudinais de canais fluviais resultou no conceito de perfil de equilíbrio ou perfil estacionário, no qual, as forças opostas da erosão e da resistência se cancelam e se ajustam, e o *input* e o *output* de matéria e energia são equacionados pelo ajustamento das formas dos canais fluviais.

Baulig (1950) apresenta uma das principais contribuições dentre as pioneiras com relação a estudos de perfil longitudinal, abordando a história e a crítica da noção de perfil de equilíbrio. Tal autor cita duas obras importantes: a primeira, de autoria de Guglielmini (1697) – *Della natura dei fiumi* – que como proposição fundamental escreve que a forma do leito fluvial é modificada pelos cursos de água, pela erosão ou pela deposição, até que haja o estabelecimento do estado de equilíbrio entre a força e a resistência; a segunda, trata-se do *Essai sur La théorie dès torrents et dès rivières*, de autoria de Fabre e datada de 1797, na qual observa que o estabelecimento de equilíbrio se processa entre a ação da corrente e a resistência dos materiais do fundo, sendo influenciado por quatro fatores: Débito, Resistência do fundo, Dimensões do leito e Forma do leito. (CHRISTOFOLETTI, 1981)

Apesar da existência de variações topográficas ao longo dos perfis longitudinais, evidenciadas pela ocorrência de rápidos e cachoeiras, característicos da fase de juventude do modelo davisiano e resultantes das diferenças de resistências litológicas, o estado de equilíbrio pode ser estabelecido e as variadas partes dos perfis longitudinais sofrem a mesma intensidade média de erosão.

Assim, um rio terá atingido o equilíbrio dinâmico quando seu perfil longitudinal expressar ajustamento entre as variáveis componentes, resultando em um equacionamento entre a

importação e a exportação de energia e matéria, bem como na realização de mesmo trabalho em todas as suas partes. (CHRISTOFOLETTI, 1981)

Culling (1957) conceituou rios regularizados (*graded streams*) como sendo entidades na dimensão espacial e que funcionam como sistemas abertos, passíveis de atingirem o estado constante/estacionário/equilibrado (*steady state*), no qual, as massas das partículas que entram e que saem de um determinado trecho do canal, em certa unidade de tempo, são iguais.

Segundo o referido autor, haveria uma tendência dos rios em alcançarem o estado estacionário (*steady state*), cujas declividades lhes permitam adquirir velocidades suficientes para que cada seguimento possa transportar a mesma quantidade de material que recebeu de montante, e enquanto não ocorre equilíbrio entre o *input* e o *output*, um dado segmento fluvial funcionaria de maneira não estacionária e a discrepância verificada tenderia a ser compensada pela alteração do perfil do leito fluvial.

Gilbert (1877) introduz a noção de equilíbrio (*grade*) como resultante das relações entre débito, carga, velocidade e declividade. Segundo o referido autor um rio que receba suprimento de detritos igual a sua capacidade de transporte tenderia a estabelecer um perfil de equilíbrio que resultaria no levantamento das declividades mais suaves de seu leito e no entalhamento das mais íngremes.

Para Davis (1899), um determinado rio alcançara o estado de equilíbrio (*grade*) quando houver igualdade entre a sua capacidade de trabalho e a quantidade de trabalho que efetivamente executa, situação manifestada pelo balanceamento entre erosão/corrasão e deposição. Tal estado pode ser atingido por rios maduros, cujas declividades apresentam-se devidamente entalhadas ou edificadas em relação ao nível de base da bacia hidrográfica. Segundo o autor, um rio equilibrado não resulta em um perfil estático, sendo este constantemente modificado ao longo do progresso do ciclo.

Do mesmo modo, segundo Penck 1894 apud: Christofolletti (1981), ao atingir o perfil de equilíbrio, o rio continuará a erodir o curso superior, aluvionar o inferior e a transportar no curso intermediário.

Para Mackin (1948) um rio pode ser definido como equilibrado quando ocorrer ajustamento de sua declividade com a descarga disponível e com as características do canal, a fim de permitir a velocidade necessária ao transporte da carga detrítica fornecida pela bacia de drenagem. Para o mesmo autor, o perfil longitudinal equilibrado é formado por segmentos

distintos, mas interligados, onde cada um destes apresenta a declividade, que resulta em dada velocidade capaz de transportar a carga fornecida pelos setores à montante.

Para Penteadó (1978), perfil de equilíbrio trata-se do perfil exatamente necessário ao transporte do material fornecido ao rio. Neste caso, estabelece-se uma inclinação tal que a corrente não pode cavar ou depositar, mas apenas transportar a sua carga.

Strahler e Strahler (2005) explicam processos que conduzem ao estabelecimento de perfis de equilíbrio em canais fluviais. Segundo os autores, se a cada ano aumentar o acúmulo de sedimentos no canal de forma a superar a sua capacidade de transporte, a superfície do canal será levantada, resultando em aumento sequencial da declividade, velocidade do fluxo e da habilidade para carregar sedimentos. Finalmente, a declividade atingirá um ponto no qual a corrente apenas transportará os sedimentos que receber. Se houver redução na quantidade de sedimento que flui para a corrente, esta irá gradualmente erodir seu canal verticalmente, reduzindo sua declividade, bem como a sua habilidade em carregar sedimentos, até que somente possa transportar a quantidade que recebe das encostas. Assim que todos os canais experimentem esse processo, todo o fluxo tende a um estado no qual as declividades de todos os seguimentos formarão uma rede coordenada que apenas carregará os sedimentos recebidos da contribuição da bacia de drenagem.

Segundo Mackin (1948) apud: Christofolletti (1981), um rio equilibrado sofrerá um deslocamento no seu equilíbrio em certa direção, caso ocorra alteração em qualquer um dos fatores controlantes. Deste modo, uma vez estabelecido, o equilíbrio poderá ser rompido desde que ocorram alterações no fornecimento de matéria e energia a ponto de ultrapassar os limites de absorção, ou limiares de resiliência do rio. Neste caso, o perfil passará por uma fase não estacionária até que sua forma se reajuste em função do equilíbrio condizente com as novas condições ambientais.

Dentre os processos que podem causar rompimento do estado de equilíbrio pré-existente forçando o reajustamento da rede de drenagem, podem ser citadas as alterações no nível de base.

Para Powell (1875), há dois tipos de nível de base. O primeiro trata-se do grande nível de base, correspondendo ao nível do mar, abaixo do qual não seria possível a erosão da terra firme. O segundo trata-se do nível de base com efeito local e temporário, correspondendo aos níveis dos leitos dos canais fluviais principais, ou a camadas de rochas mais duras cruzadas pelo canal fluvial, que formariam pequenos represamentos temporários, acima dos quais a corrosão passa a ser restringida.

Christofolletti (1981) enquadra as principais definições apresentadas para nível de base em três categorias. A primeira trata-se do nível de base geral, entendida como superfície plana representativa do prolongamento do nível marinho sob as terras emersas. A segunda corresponde ao nível de base temporário, ou superfície limite para a erosão, nivelada em função de um elemento de duração relativamente efêmera, a exemplo de afloramentos rochosos resistentes no leito fluvial. A terceira refere-se ao nível de base local, superfície limite pressuposta para a erosão, nivelada em função de elementos não necessariamente efêmeros e que se localizam no interior dos continentes, tais como superfície de lagos, ou a confluência do canal com o rio principal. A esta categoria, o referido autor relaciona a proposta de Cotton (1948), que considera qualquer ponto em um rio como nível de base local para os trechos da rede de drenagem localizados à montante do mesmo.

Na Teoria Davisiana, nível de base geral (nível do mar) é apontado como controlador da vaga erosiva remontante, que ao sofrer qualquer alteração em sua posição, advinda de movimentos epirogenéticos, isostáticos ou eustáticos, ocasiona retomada de erosão ou fases de deposição.

Segundo Davis (1899), o abaixamento do nível de base faz alongar o perfil longitudinal do rio, aumentando conseqüentemente a área da bacia e a diferença altimétrica. Esta por sua vez desencadeia retomada da erosão que progride em direção à montante. As alterações no nível de base serão sentidas até certa distância, relacionada com a amplitude da modificação e com as características do material rochoso presente no rio. Rupturas de declive, geradas por rochas resistentes, poderão retardar a migração da vaga erosiva, limitando ou anulando a ação da retomada de erosão nos trechos situados acima dos mesmos. Quando há elevação do nível de base, ao contrário da situação anterior, cria-se condição para a ocorrência de deposição detrítica, que paulatinamente constrói superfície aluvial que se estende para montante, resultando em entulhamento ao longo do perfil longitudinal.

A análise das conseqüências das alterações do nível de base geral sobre os perfis longitudinais esbarra na dificuldade de obtenção de dados diretos. Desse modo, segundo Christofolletti (1981), observações sobre alteração do nível de base local, ocasionada pela construção de represas e reservatórios, poderão ser de grande valia.

Ciente de que o represamento reduz a turbulência da água, resultando na deposição da carga detrítica do leito e da carga transportada em suspensão em trechos próximos à represa, o

referido autor ressalta que os dados resultantes de observações indicam que a deposição se processa até onde há influência do nível da água do reservatório, não havendo indícios de que a alteração do nível de base afete a deposição em todo o sistema fluvial.

“As alterações no nível de base afetam o trecho que é ampliado ou diminuído no perfil longitudinal. Se houver alongamento, há aumento da área, do débito e o surgimento de novos tributários. Ocorrerá o inverso, se houver diminuição” e “A significação concedida à vaga erosiva baseia-se no pressuposto de que a declividade é o fator controlante, ocasionando maior velocidade do fluxo e, portanto, maior intensidade erosiva. Neste contexto, a ampliação altimétrica provocada pela mudança do nível de base deve provocar entalhamento erosivo que, conforme a teoria davisiana, se expandirá progressivamente em direção de montante”
(CHRISTOFOLETTI, 1981 p. 130)

Entretanto, trabalhos recentes, tais como de Perez Filho et al. (2001), Rodrigues (2006), Simon (2010) e Malavazzi (2012) têm indicado que alterações no nível de base local de bacias hidrográficas, causadas pelo represamento de rios para fins de produção de energia elétrica, não somente afetam o entorno do reservatório, mas também as áreas das cabeceiras, sendo, deste modo, responsáveis pela reativação de processos erosivos remontantes, refletindo-se no aumento do número e comprimento dos canais de primeira ordem e no surgimento de abatimentos e capturas fluviais.

2.5 Análise Morfométrica de Bacias Hidrográficas

Estudos referentes às redes de drenagem são importantes, tendo em vista que essas se constituem em um dos processos morfogenéticos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre e, deste modo, permitem a compreensão e a elucidação de numerosas questões geomorfológicas.

As drenagens fluviais sempre tiveram importância aos estudos de geomorfologia e o mais influente dentre os autores pioneiros a trabalharem sobre este assunto foi Playfair (1802). Tal autor instituiu o que se chamou de lei de Playfair ou de lei das confluências concordantes, ao apontar que cada rio possui um tronco principal alimentado por tributários, que correm em vales

proporcionais aos seus respectivos tamanhos. O autor, ao verificar que o conjunto forma um sistema de vales comunicantes com declividades perfeitamente ajustadas, de forma que nenhum deles se une ao vale principal em um nível demasiado superior ou inferior, observou que seria improvável que cada vale não fosse obra do rio que ocupa.

No entanto, trabalhos pioneiros, tais como o mencionado no parágrafo anterior, restringiram-se a descrições de ordem qualitativas.

Na geomorfologia, a análise morfométrica, entendida como a preocupação de medir as formas de relevo por meio de processos sistemáticos e racionais, obteve grande sucesso no final do século XIX, principalmente entre os pesquisadores sediados nos países germânicos. Entretanto, esta fase inicial dos estudos morfométricos teve pouca importância para a evolução dos conhecimentos, inclusive como metodologia de pesquisa, tendo sido esquecida e suplantada pela expansão das novas concepções geomorfológicas oriundas do continente americano, relacionadas com as publicações e idéias de William Morris Davis. (CHRISTOFOLETTI, 1969)

Segundo Christofolletti (1969), mesmo com o surgimento da possibilidade da utilização de documentos cartográficos de maior precisão, resultando no maior desenvolvimento da caracterização dos padrões de drenagem, a análise da rede hidrográfica baseava-se totalmente na maneira dispositiva dos cursos de água, sem utilização de dados quantitativos mais precisos, fato que só viria a mudar a partir do trabalho pioneiro de Horton (1945), marcando o ressurgimento da análise morfométrica em bacias hidrográficas. França (1968) também aponta para as diferenças entre estudos pré e pós Horton, e expõe que os primeiros caracterizam-se por seguirem linha descritiva e os demais por buscarem analisar as redes de drenagem a partir de base quantitativa.

Dentre as importantes contribuições de Horton (1945), destaca-se sua classificação dos canais fluviais pertencentes a uma rede de drenagem em um sistema de hierarquização fluvial. Este autor, segundo Christofolletti (1980), trata-se do primeiro pesquisador a apontar critérios para a ordenação dos cursos de água de maneira precisa.

Assim, para Horton (1945), uma determinada ordem é caracterizada por canais que recebem afluentes de ordem imediatamente inferior, podendo ainda receber tributários de outras ordens inferiores, exceção para o caso dos canais de primeira ordem que são caracterizados por não receberem tributários. Assim, os canais de segunda ordem recebem somente afluentes de primeira; os de terceira recebem tributários de segunda ordem e podem receber afluentes de primeira ordem; os de quarta recebem tributários de terceira ordem e podem receber afluentes de

ordens inferiores a esta; e assim por diante. Tal classificação exige que seja refeita a numeração a partir de cada confluência de maior ordem a fim de que o canal principal seja classificado com a mesma ordem desde a sua nascente à sua foz.

Existem determinadas técnicas que poderão ser empregadas na diferenciação entre o canal principal e os de ordem menor a partir de uma dada confluência. Assim, Christofolletti (1980) cita duas:

- a) Parte-se da jusante da confluência e estende-se a linha do curso de água seguindo a direção do mesmo e no sentido de montante. Ao proceder desta maneira, deve-se extrapolar o traçado para além da bifurcação. O traçado prolongado gerará dois ângulos, um com cada um dos dois canais analisados. O menor ângulo indicará o canal de ordem superior.
- b) Para o caso dos ângulos gerados pelo procedimento anterior serem os mesmos, o canal principal e de ordem superior será aquele que apresentar a maior extensão.

Outra proposta de classificação de canais fluviais, baseada em um sistema de hierarquização, foi apresentada por Strahler (1952), constituindo-se em modelo alternativo ao desenvolvido por Horton.

Para Strahler (1952), canais de primeira ordem são aqueles que não recebem contribuição de tributários, enquanto que canais de ordem superior são definidos pela confluência de dois canais de ordem imediatamente inferior. Assim, da confluência de dois canais de primeira ordem, ocorre o surgimento de um canal de segunda ordem; da confluência de dois de segunda, surge um canal de terceira ordem, e assim sucessivamente.

A diferença entre as duas classificações apresentadas encontra-se no fato de que, para Strahler, contrariamente à Horton, o rio principal não necessariamente apresentará a mesma ordem ao longo de toda a sua extensão.

Para o cálculo do número de canais que compõem uma determinada bacia de drenagem, utiliza-se da lei do número de canais, sendo que o resultado final independe da forma de hierarquização adotada. Assim, para qualquer uma das duas classificações apontadas, o número total de canais de uma mesma bacia hidrográfica sempre será o mesmo. Porém, haverá diferenças na metodologia de cálculo, uma vez que para a classificação de Strahler o número total de canais resulta da somatória do número de canais de primeira ordem, enquanto que para a de Horton, o resultado final será encontrado pela soma de todos os canais das variadas ordens existentes.

Apesar de ficar claro que para as duas classificações apontadas a ordem de determinado canal eleva-se quando ocorre a confluência de dois outros de ordem imediatamente inferior, torna-se importante ressaltar que toda junção contribui para modificar a ordem do canal principal, alterando suas propriedades do ponto de vista hidrológico, conforme aponta Scheidegger (1965) apud: Christofolletti (1980).

A classificação elaborada por Shreve (1966) facilita a identificação do número total de canais tributários de primeira ordem, que alimentam determinado trecho específico do rio, e por consequência, apresenta maior lógica sobre o aspecto hidrológico. Tal classificação atribui magnitude 1 para cada ligamento exterior, ou canal de primeira ordem, e para os trechos situados após confluências, a magnitude estabelecida resultará da soma das magnitudes dos respectivos canais confluentes. Deste modo, a magnitude de determinado ligamento corresponderá ao total de canais de primeira ordem situados à montante.

Segundo Horton (1945), para a caracterização da rede hidrográfica de uma bacia em termos quantitativos, além do padrão de drenagem e ordem de rios, torna-se necessário considerar a “composição da rede de drenagem”, ou seja, números e comprimentos de rios e tributários de diferentes classes ou ordens, os quais independem do padrão. O autor destaca que o padrão de drenagem, apesar de ser bom indicador do controle geológico, diferentemente da composição da rede de drenagem, possui pouca relevância hidrológica.

Deste modo, Horton (1945) foi quem primeiro definiu os índices de densidade hidrográfica, a qual chamou de frequência de rios, e densidade de drenagem.

O índice frequência de rios trata-se da relação entre número total de rios das diversas ordens por unidade de área e a fórmula matemática utilizada para seu cálculo é apresentada a seguir:

$$Fr = N / A$$

Onde: Fr: Frequência de Rios

N: Número total de rios ou cursos de água

A: Área da bacia considerada

O índice densidade de drenagem trata-se da relação entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica, devendo-se levar em consideração os canais perenes e

intermitentes. Tem por finalidade, deste modo, comparar o comprimento dos canais drenadores existentes em uma área de tamanho padrão. A fórmula utilizada em seu cálculo pode ser verificada a seguir:

$$Dd = L / A$$

Onde: Dd: densidade de drenagem
L: comprimento total de rios ou canais
A: área da bacia considerada

2.6 Erosão

O problema da erosão é antigo na história da humanidade, aparecendo desde as grandes civilizações. Além disso, tal problema é difundido por várias regiões do planeta e sua aceleração tem ocorrido ao longo de todos os anos pelas práticas erradas de uso e ocupação das terras (BENNETT, 1939)

No Brasil, apesar de se tratar de um país privilegiado em terras agricultáveis, as práticas inadequadas de uso e ocupação agropastoris facilitam e aceleram a erosão hídrica, provocando, ao longo dos anos, o desgaste dos solos e a redução na fertilidade e na produtividade. (MARQUES, 1966)

Segundo Guerra e Guerra (2005), o significado de erosão para os geógrafos e geólogos difere do significado dado por pedólogos e agrônomos. Os primeiros entendem erosão como o conjunto de ações que modelam a paisagem, os demais a consideram do ponto de vista da destruição dos solos.

Como exemplo do primeiro grupo, pode ser citada a definição proposta por Press et al. (2006), para os quais, a erosão trata-se do conjunto de processos que desagregam e transportam solo e rochas morro abaixo ou na direção do vento, depositando-o em outro lugar. Deste modo, tal processo, ao lado da tectônica, do vulcanismo e do intemperismo, é considerado pelos autores como sendo importante no ciclo das rochas, na modelagem da superfície terrestre, na transformação de rochas em sedimentos e na formação dos solos.

A definição proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1999) enquadra-se no segundo grupo, uma vez que, para os referidos autores, a erosão trata-se do desprendimento e do arraste acelerado

das partículas do solo por ação da água e do vento, constituindo-se na principal causa de depauperamento acelerado das terras.

2.6.1 Fatores que influenciam na erosão

Para Lepsch (2002), os fatores que afetam a erosão hídrica são o clima, a natureza do solo, a declividade do terreno e os tipos de manejo empregados.

Com relação ao clima, o referido autor aponta como de maior importância fatores como distribuição, quantidade e intensidade de chuvas. Esta, quando baixa, permite que haja tempo hábil para a absorção da água pelo solo, e quando alta, em forma de aguaceiros, gera enxurradas que podem provocar grandes erosões.

A precipitação pluviométrica trata-se de uma das variáveis climáticas mais importantes na erosão dos solos. Sua ação se processa de duas formas: pelo impacto das gotas e pelo escoamento da enxurrada.

Entretanto, dados de chuva em totais ou médias mensais e anuais possuem pouca significância para a ocorrência da erosão. O mesmo ocorre com dados de chuvas totais diários, limitados por observações realizadas a cada 24 horas, uma vez que a chuva nunca se distribuirá uniformemente no período de um dia. (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1999)

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), no que se refere à erosão dos solos, torna-se importante verificar as características de intensidade, duração e frequência das chuvas, sendo a primeira a mais importante.

Segundo Suarez Castro (1956), para uma mesma chuva total de 21mm, a intensidade de 7,9mm provocou perdas de solo cem vezes superiores à intensidade de 1mm.

A partir do início de uma chuva de intensidade uniforme, transcorrendo certo período de tempo, a água deixa de infiltrar e passa a escoar superficialmente, causando a erosão. Deste modo, a duração de um evento de precipitação uniforme também é fundamental à ocorrência da erosão e é dependente de condições de umidade do solo e da intensidade da chuva.

A frequência das chuvas possui papel importante nas perdas de solo pela erosão tendo em vista que quando ocorrem intervalos curtos entre eventos de precipitação, o solo tende a permanecer úmido, inibindo a infiltração e aumentando a ocorrência e o volume das enxurradas.

Com relação à influência da natureza do solo no processo erosivo, Lepsch (2002) aponta que alguns solos são mais suscetíveis à erosão do que outros, em função de suas características físicas, tais como textura, permeabilidade e profundidade.

Segundo Salomão (1999), o gradiente textural existente entre os horizontes superiores do solo, entendido como a relação entre os teores de areia e argila, trata-se de uma característica pedológica importante com relação ao comportamento erosivo. O autor expõe que solos que apresentam elevado gradiente textural são aqueles cujo horizonte A é muito mais arenoso do que o horizonte B, subjacente. Deste modo, com base nesta variável, Argissolos são mais suscetíveis à erosão do que os Latossolos, por apresentarem logo abaixo do horizonte A, um horizonte textural com maior concentração de argilas, representando uma barreira à infiltração da água. Tal situação poderá ampliar as enxurradas, além do fato de que a saturação do horizonte superior poderá causar movimentos de massa.

Solos rasos também apresentam maior erodibilidade do que os profundos, isto porque a água da chuva se acumula acima da rocha impermeável, encharcando mais rapidamente o solo e facilitando o escoamento superficial, bem como a erosão das camadas superiores.

Para Bertoni e Lombardi Neto (1999), a textura dos solos trata-se de um dos fatores que influenciam na maior ou menor quantidade de solo arrastado pela erosão. Solos arenosos, ao possuírem espaços porosos relativamente grandes, absorvem a maior parte da água proveniente de um evento de chuva de baixa intensidade, não sofrendo danos. Porém, o baixo teor de partículas coloidais em tais solos, os torna altamente suscetíveis à erosão por ação do arraste provocado por pequenas quantidades de enxurrada. Já em solos argilosos, nos quais há menor capacidade de absorção de água, a probabilidade de ocorrência do escoamento superficial aumenta, mas a maior coesão existente entre as partículas unitárias amplia a resistência dos mesmos à erosão.

A estrutura dos solos também é fator importante à sua maior ou menor erodibilidade. Por se encontrarem naturalmente aglomeradas em unidades maiores, chamadas de agregados, as partículas unitárias que compõem os solos possuem certa resistência ao transporte.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), há dois aspectos relacionados à estrutura que deverão ser considerados no estudo da erosão: o primeiro trata-se da propriedade físico-química da argila que faz com que os agregados permaneçam estáveis em presença de água. Segundo os autores, em uma relação dos solos argilosos de menor para os de maior estabilidade, encontram-

se respectivamente aqueles compostos por argila montmorilonita, illita e caulinita. O segundo aspecto relacionado à estrutura trata-se da propriedade biológica causada pela abundância de matéria orgânica em estado de ativa decomposição. A matéria orgânica retém de duas a três vezes o seu peso em água, ampliando a infiltração, e deste modo, contribuindo para a redução da erosão.

A importância da matéria orgânica se deve ao fato de que certas substâncias provenientes de decomposição dos restos orgânicos servem de “cimento” na formação dos agregados do solo. (LEPSCH, 2002). Além disso, a matéria orgânica, em solos argilosos, modifica-lhes a estrutura e melhora as condições de arejamento e de retenção de água. Em solos arenosos, ela aglutina as partículas, diminui os tamanhos dos poros e contribui para a maior retenção de água no solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

Segundo Guerra (1999), o teor de matéria orgânica, juntamente com outras propriedades tais como textura, densidade aparente, porosidade, além de parâmetros relacionados às características das encostas, cobertura vegetal, erosividade da chuva e ao uso e manejo adotados, possui grande importância na estabilidade dos agregados. Assim, grande parte dos estudos sobre estabilidade tem indicado que a diminuição de matéria orgânica provoca o aumento da instabilidade dos agregados.

Como exemplo, o referido autor cita as considerações realizadas por De Ploey e Posen (1985), para os quais solos com menos de 2% de matéria orgânica possuem baixa estabilidade dos agregados.

Com relação ao relevo, a influência da topografia nos processos de erosão pode ser verificada a partir da atuação de duas variáveis mais importantes: a declividade e o comprimento da rampa. Essas influenciam na velocidade de escoamento de água, e conseqüentemente no tamanho e na quantidade de material em suspensão arrastado.

Maiores declividades relacionam-se aos altos volumes e velocidades das enxurradas, e, segundo Ayres (1936), a quantidade e tamanho de material arrastado pela água se manifestam na ordem da quinta e quarta potência da velocidade, respectivamente.

Outro fator que influi na erosão, apontado por Bertoni e Lombardi Neto (1999), é a infiltração de água no solo.

A velocidade máxima de infiltração ocorre no começo das chuvas, decaindo até um valor mínimo com a continuidade das mesmas, representando, assim, o contrário do que ocorre com a

enxurrada, que se apresenta com o mínimo no início da precipitação e atinge um valor máximo no continuar da chuva. Dentre os vários fatores que influenciam na velocidade da infiltração, podem ser citados a porosidade, relacionada à textura e estrutura dos solos, presença/ausência e tipo de recobrimento da superfície, posicionamento nas diferentes unidades de vertente, quantidade de umidade pré-existente no solo, dentre outros.

Como exemplo pode ser citado o trabalho de Quaresma (2008) que, ao estudar a erosão em solos recobertos por vegetação de cerrado *latosensu* no município de Luis Antônio/SP, utilizou-se de cilindros concêntricos para verificar a capacidade de infiltração em diferentes tipos de solos e sob distintas fitofisionomias do cerrado. Contrariando as expectativas do referido autor, foi constatada maior capacidade de infiltração em solo de textura argilosa do que em solo de textura arenosa. As explicações dadas ao fenômeno observado recaíram sobre as posições dos pontos de medição ao longo das vertentes e sobre as diferentes características de cobertura de solo. Assim, o solo de textura arenosa apresentou menor capacidade de infiltração por encontrar-se no sopé da vertente, mais precisamente na planície de inundação de um curso de água, sofrendo assim maior influência da água subterrânea. Já o solo de textura argilosa, localizado na porção média da vertente e apresentando maior porte e densidade de cobertura vegetal, possuiu maior capacidade de infiltração tendo em vista série de fatores, dentre os quais, a maior quantidade de raízes no solo, que facilitaram a infiltração da água.

Segundo Lepsch (2002), o modo como a terra é manipulada, ou seja, estando ou não recoberta de vegetação, bem como o sistema de cultivo adotado, são fatores importantes para influenciar uma maior ou menor mobilidade dos solos.

Bertoni e Lombardi Neto (1999) enumeram cinco efeitos da vegetação na defesa da superfície do terreno contra a ação da erosão: a) proteção direta contra impactos das gotas de chuva; b) dispersão de água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo; c) decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração da água; d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água; e) diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície.

Segundo Lepsch (2002), o recobrimento do terreno por uma densa camada de vegetação, ou por resíduos de cultivos anteriores, evita o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo e

aumenta a absorção de água. Além disso, o entrelaçamento das raízes contribui para maior segurança do solo.

De acordo com o referido autor do parágrafo anterior, a desagregação e o transporte de partículas variam em função do sistema de cultivo adotado, gerando assim solos mais ou menos suscetíveis à erosão. Deste modo, solos cultivados com culturas anuais estão mais favoráveis à ocorrência da erosão do que os que são cultivados com culturas perenes ou semiperenes.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), em um terreno coberto com mata, sob condições normais, a erosão é capaz de remover uma camada de cerca de 15 cm de solo em 440.000 anos; os tempos para se atingir tal remoção, considerando a mesma área, mas recoberta por pastagem, cultura perene ou cultura anual são equivalentes, respectivamente, há 4.000 anos, 2.000 anos e 70 anos.

Segundo Strahler e Strahler (2005), em contraste com a erosão natural, a velocidade da erosão dos solos pode ser aumentada pelas atividades humanas, produzindo um estado de erosão acelerada. Situação na qual o solo é removido a uma velocidade superior da sua capacidade de formação. De acordo com os autores, a erosão acelerada surge mais comumente quando a cobertura da vegetação e o estado físico da superfície do terreno são modificados. A destruição da vegetação, pela limpeza do terreno para fins de cultivo, trata-se de palco perfeito para uma série de mudanças drásticas. As folhas que interceptam as chuvas, e a proteção da cobertura do solo por folhas e galhos que caem são removidas.

A adoção de práticas conservacionistas, que implicam na forma com que os cultivos são estabelecidos, influi significativamente na aceleração ou redução de processos erosivos.

Lepsch (2002) apresenta principais práticas conservacionistas, que se propõem a cultivar os solos sem depauperá-los significativamente, sintetizadas em três categorias: as de caráter edáfico, mecânico e vegetativo. Tais práticas permitem controlar a erosão e, mesmo que não a anulem completamente, reduzem-na a proporções mínimas. Dentre os benefícios de tais práticas podem ser citadas as reduções do impacto direto da chuva e das enxurradas, permitindo que a água proveniente de precipitações mais fortes se infiltre no solo, enriquecendo mananciais subterrâneos e reduzindo a sobrecarga de rios, que contribui para evitar inundações dos campos de cultivo e das cidades.

2.6.2 O início do processo erosivo e sua evolução para ravinas e voçorocas

Segundo Guerra (1999), a erosão causada pela água da chuva deve ser entendida desde seus primeiros estágios, a partir do momento em que as gotas de chuva começam a colidir com o solo. Trata-se do efeito *splash*, ou erosão por salpicamento, que prepara as partículas que compõem o solo para serem transportadas pelo escoamento superficial. De acordo com o referido autor, a ruptura dos agregados inicia-se com o impacto das gotas de chuva, quando a energia cinética destas ultrapassa a capacidade de resistência daqueles.

Segundo Strahler e Strahler (2005), cientistas do solo estimam que uma tempestade torrencial tenha a capacidade de perturbar mais de 225 toneladas de solo por hectare. De acordo com os referidos autores, a erosão por splash possui a capacidade de deslocar lentamente o solo para jusante ao longo das superfícies das vertentes.

Quando ocorre a ruptura dos agregados do solo, os fragmentos ou muitas vezes as partículas unitárias tendem a preencher os poros da superfície do solo, aumentando a densidade aparente, diminuindo a porosidade e permitindo a formação de crostas, que reduzem a infiltração e aumentam as ocorrências de escoamento superficial. (FARRES, 1978 APUD: GUERRA, 1999)

Tal fato ocorre, pois o solo se torna selado por partículas deslocadas pelo salpico da gota de chuva. (STRAHLER e STRAHLER, 2005)

A formação de crostas aumenta as chances de desenvolvimento de poças nas micro-irregularidades existentes no topo dos solos que, ao crescerem de tamanho, interligam-se e permitem o início do escoamento superficial. (DE PLOEY, 1983 APUD: GUERRA, 1999)

O escoamento, no início, ocorre na forma de lençol, podendo tornar-se concentrado, à medida que o processo tem continuidade espacial e temporal. O fluxo linear evolui para microrravinas e posteriormente para microrravinas com cabeceiras. (HORTON, 1945)

Inicialmente, a força de cisalhamento imposta pelo fluxo laminar não é capaz de transportar partículas, e somente o faz quando ocorre o aumento e a aceleração do fluxo de água encosta abaixo. Deste modo, a erosão inicia-se a partir de certa distância do divisor de águas (HORTON, 1945).

Para Merrit (1984), o fluxo em lençol pode ser considerado como o primeiro estágio do processo erosivo e na medida em que o fluxo se desloca em direção às porções inferiores das encostas, aumentam a concentração de sedimentos e a velocidade das partículas.

Segundo Guerra (1999), apesar do início do estabelecimento do processo erosivo com o escoamento laminar, esse ainda é incipiente, muito localizado e envolve apenas o transporte individual dos grãos componentes dos solos.

Os mesmos autores da citação do parágrafo anterior explicam que, após a instalação do fluxo laminar, ocorrem concentrações de fluxo de água em canais pequenos e espalhados em pontos aleatórios da encosta. A profundidade desses canais aumenta e a velocidade de seus fluxos diminui em resposta ao aumento da rugosidade e das partículas transportadas, bem como ao forte atrito entre estas e o fundo dos pequenos canais, ampliando a erosão.

No próximo estágio da evolução do escoamento superficial na formação de ravinas, a maior parte do escoamento superficial ocorre concentrada em canais bem definidos. No fundo desses pequenos canais, podem ser verificadas séries de marcas resultantes de depósitos de sedimentos, ocorridos por diminuição de energia do fluxo linear, causada pelo final das chuvas ou pela redução do gradiente da encosta.

Esses pequenos depósitos fazem aumentar a turbulência do fluxo de água no interior dos pequenos canais, e essa atinge o fundo das microrravinas que estão se formando.

O aumento das irregularidades no fundo das microrravinas faz aumentar ainda mais a turbulência do fluxo, ampliando a erosão e podendo fazer surgir pequenas cabeceiras e poças situadas à jusante destas. Tais características formam o próximo estágio no processo de formação de ravinas, conhecido como microrravinas com cabeceiras.

As cabeceiras recuam em direção de montante das encostas, fazendo com que aumentem a largura e a profundidade dos canais, tornando-os aptos a transportarem os sedimentos que a eles chegam, e à medida que se desenvolvem a partir de outras cabeceiras, tornam-se pequenas ravinas.

O aprofundamento da incisão sobre a superfície do solo, fazendo com que a ravina intercepte o lençol freático, conduz a um somatório de processos erosivos tendo em vista a ação concomitante das águas superficiais e subsuperficiais. (SALOMÃO, 1999)

Quando o processo erosivo ocorre pela ação conjugada dos fluxos de água superficiais e subsuperficiais, incluindo assim o lençol freático, manifesta-se através de uma forma conhecida por voçoroca ou boçoroca. (PICHLER, 1953)

Deste modo, segundo Vieira (1978), o ravinamento se processa apenas em função da erosão superficial, com linha de água apresentando grandes declives, canal profundo, estreito e

longo. Já as voçorocas são ocasionadas tanto pela erosão superficial como subterrânea, e possuem tendência tanto para o alargamento, como para o aprofundamento, até que se atinja o equilíbrio dinâmico.

2.6.3 Erosão regressiva

Além das ravinas e voçorocas, outra forma de erosão que merece destaque, tendo em vista suas ocorrências na área em estudo, trata-se da erosão regressiva de canais fluviais.

A erosão regressiva é um tipo de erosão linear ocasionada pelos rios e que se propaga em direção às cabeceiras, em uma tentativa de restabelecer perfis de equilíbrio rompidos. Tal rompimento pode ocorrer pelo abaixamento do plano de água em um determinado ponto do rio, que, segundo Penteado (1978), reduz o declive a jusante e a velocidade da corrente, resultando na deposição de parte da carga transportada e, deste modo, na elevação do leito. Nesta situação, à montante do ponto, o declive aumenta, devido ao abaixamento do nível e a corrente acelera, resultando em erosão que se propagará em direção das cabeceiras. Outra situação exposta pela autora e que poderá gerar tal processo trata-se de movimentos tectônicos que resultem no basculamento do leito, modificando o declive, alterando todo o perfil, por deposição, se o declive diminuir, ou por erosão, se aumentar.

A erosão regressiva depende do gradiente do canal, o qual pode ser estabelecido pela divisão da altura do leito em relação ao nível de base pelo comprimento do canal fluvial. Assim, quanto maior o gradiente, maior será a força de recuo exercida pelo rio.

Tal processo poderá dificultar a delimitação de determinadas bacias hidrográficas, tendo em vista que poderá causar deslocamento do divisor de águas na mesma direção dos recuos mais intensos, resultando assim em divisores não coincidentes com a linha geral de cumeada.

A erosão regressiva está relacionada a outro processo conhecido por capturas fluviais, ou captura de drenagens. Tendo em vista que a escavação dos vales pelos rios, na busca pelo estabelecimento de seus perfis de equilíbrio, se processa por regressão, ou seja, da foz em direção às cabeceiras, o curso de água que recuar de forma mais intensa poderá capturar outro posicionado no lado oposto da vertente, cuja força de recuo foi inibida pela menor declividade. (PENTEADO, 1978)

Assim, captura fluvial tratar-se-ia de desvio das águas de uma bacia hidrográfica para outra, resultando na ampliação de uma rede de drenagem em detrimento de sua vizinha.

Para Christofolletti (1975), as capturas fluviais ocorridas por recuo de cabeceiras são as mais importantes e representam o principal caso, dentre os tipos existentes.

No entanto, na década de 80, para o mesmo autor do parágrafo anterior, contribuições existentes sobre capturas fluviais até o período de publicação de sua obra, foram elaboradas sob as pressuposições da teoria davisiana, podendo o tema ser reformulado a partir da teoria do equilíbrio dinâmico, ao considerar o rio como sistema aberto e focalizando a erosão regressiva e o recuo das cabeceiras. (CHRISTOFOLETTI, 1981)

Assim, partindo-se da idéia de que o funcionamento de um rio e seu potencial erosivo depende do abastecimento de água e detritos garantidos pela área de sua bacia hidrográfica, a linha divisora de águas representa pontos nos quais o abastecimento de água é zero para as nascentes ou cabeceiras limitrofes.

Deste modo, o abastecimento de água e detritos para qualquer uma das cabeceiras adjacentes se inicia a partir dessa linha e se torna maior quanto mais distante da mesma.

O recuo das cabeceiras, então, não se processaria de forma indefinida até a linha divisora, mas até certa distância a qual representa o limiar de abastecimento suficiente para garantir o funcionamento do escoamento.

A capacidade erosiva do fluxo também tende a diminuir quanto mais próximo se encontrar da linha divisora uma vez que terá reduzida a sua área de abastecimento e conseqüentemente a quantidade de água e de detritos.

Com relação ao perfil longitudinal, tendo em vista que as declividades tendem a aumentar em direção a montante, as cabeceiras de dois rios concorrentes pertencentes a vertentes opostas apresentam as maiores declividades, as quais tenderão a se manter. Neste caso, a linha divisora de águas corresponderia ao equilíbrio entre as forças e energias distribuídas entre as bacias.

A partir desse raciocínio, o referido autor ressalta que, pelo recuo de cabeceiras, torna-se impraticável que uma determinada drenagem capture a outra, qualquer que seja a diferença altimétrica entre as bacias consideradas.

Além disso, o autor ressalta que toda interpretação e explicação oferecidas pela literatura geomorfológica baseadas na teoria davisiana sobre capturas fluviais, deverão perder seu significado para aqueles que se propõem a estudar tal temática com base na teoria do equilíbrio

dinâmico e na abordagem sistêmica, haja vista a ruptura epistemológica existente entre tais teorias.

3 Hipótese

A gênese e a aceleração de processos erosivos identificados atualmente na bacia do rio Santo Anastácio – SP/Brasil resultam do rompimento do estado de equilíbrio dinâmico pré-existente, com conseqüente reativação da rede de drenagem. Os processos e formas decorrentes são antropogeomorfológicos, tendo em vista que desencadeados pelo uso e ocupação das terras, que desrespeitaram e desestabilizaram as fragilidades e dinâmicas dos elementos geossistêmicos, bem como pelas modificações de nível de base local/regional, provocadas pela construção do reservatório da usina hidrelétrica de Porto Primavera.

4 Objetivos

4.1 Objetivo Geral

Verificar a reativação da rede de drenagem e de processos erosivos na bacia do rio Santo Anastácio/SP-Brasil, identificando elementos, ou conjunto de elementos, componentes da organização espacial, que respondem por sua gênese e evolução.

4.2 Objetivos específicos

- Verificar a evolução da rede de drenagem e de processos erosivos lineares entre os anos de 1962 e 2010 na bacia do rio Santo Anastácio – SP - Brasil.
- Verificar relações entre os processos mencionados no objetivo específico anterior e elementos físicos (relevo, solos, litologia e clima) e antrópicos (construção da represa de Porto Primavera e uso e ocupação agropastoris), componentes da organização espacial em estudo.
- Gerar informações que orientem políticas públicas com relação às atividades de controle de erosão, gestão de recursos hídricos e planejamento de uso e ocupação das terras.

5 Material e método

5.1 Localização da Área de Estudo

O Rio Santo Anastácio nasce no município de Regente Feijó e deságua no Rio Paraná, próximo a cidade de Presidente Epitácio. Sua extensão, calculada pelo presente trabalho, é de 158,33 km, diferindo, deste modo, dos 102 km apontados por CTPI (1999).

Suas águas são utilizadas na irrigação de culturas, consumo direto pela pecuária e para o abastecimento de áreas rurais e urbanas. Sua importância se percebe pelo município de Presidente Prudente, que tem 30% de sua demanda hídrica urbana suprida pelas águas desse rio.

Com relação à gestão das águas, a bacia do rio Santo Anastácio localiza-se na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) Pontal do Paranapanema a qual possui área de 11.838 km² e pertence à bacia hidrográfica do rio Paraná (CTPI, 1999).

De acordo com Leal (2000), no Primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos, elaborado em 1990, o estado de São Paulo foi dividido em 21 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e a atual UGRHI Pontal do Paranapanema encontrava-se dividida em UGRHI Baixo Paranapanema e UGRHI Peixe-Santo Anastácio. Na elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos 1994/1995 tal divisão foi reavaliada a partir da consideração das diferenças dos aspectos físicos, bem como dos tipos de uso e ocupação das terras. Desse modo, a UGRHI Baixo Paranapanema foi dividida em Médio Paranapanema e Pontal do Paranapanema. Neste período, a bacia do rio Santo Anastácio foi desmembrada da UGRHI Peixe – Santo Anastácio e inserida nesta última.

Com relação à área da bacia em estudo, calculou-se o valor de 2.122,69 km², o qual difere dos 2.135,60 km² apontados por Carvalho et al. (1997).

A Bacia do Rio Santo Anastácio encontra-se entre as coordenadas 21°49'07'' a 22°16'54'' de latitude S e 51°24'27'' a 52°06'33'' de longitude W, abrangendo, totalmente ou parcialmente, os municípios de Regente Feijó, Anhumas, Álvares Machado, Presidente Prudente, Presidente Bernardes, Pirapozinho, Santo Anastácio, Piquerobi, Marabá Paulista, Presidente Venceslau, Caiuá, Presidente Epitácio e Mirante do Paranapanema (Figura 5.1).

MAPA POLÍTICO E DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL

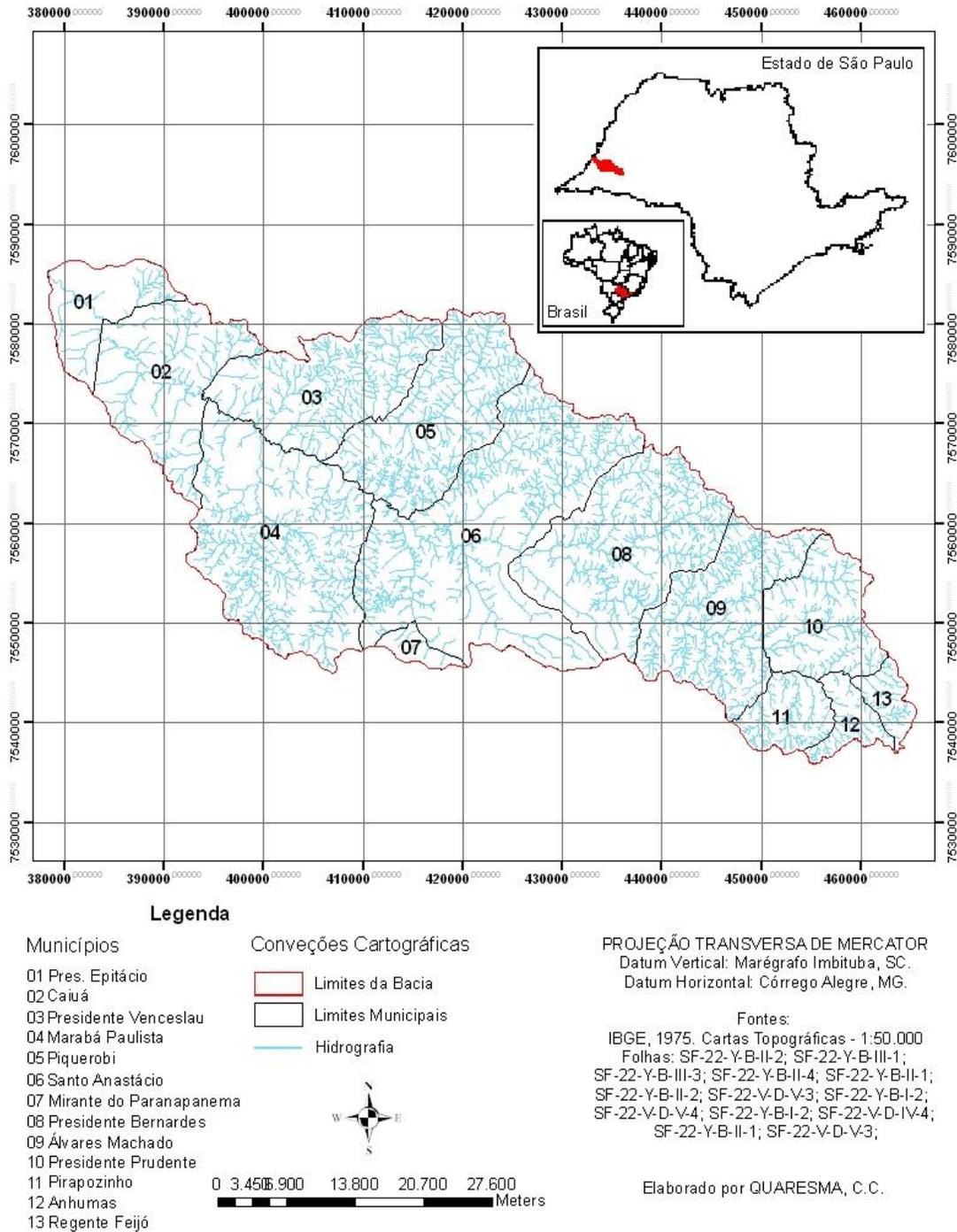


Figura 5.1: Mapa político e de localização da área de estudo: Bacia do rio Santo Anastácio/SP - Brasil.

Fontes: (vide figura)

5.2 Divisão da bacia do Rio Santo Anastácio

Para a realização das análises e interpretações dos dados, adotou-se a divisão da Bacia do Santo Anastácio em setores, realizada por Stein (1999). Segundo o autor, cada parte traduz paisagens estabelecidas por relações ímpares entre substrato geológico e formas do relevo, adicionalmente diferenciadas por peculiaridades impostas pelo desenvolvimento das superfícies erosivas e níveis afeitos à dinâmica fluvial.

Desse modo, baseando-se na proposta do referido autor, primeiramente, a bacia foi dividida em três partes, a saber, Alto, Médio e Baixo Santo Anastácio.

A primeira estende-se das cabeceiras do Santo Anastácio até os divisores d'água localizados entre o Córrego Guaiçarinha e o ribeirão Guaiçara, pela margem direita, e entre os córregos Santa Terezinha e das Pedras, pela margem esquerda. A segunda avança desses interflúvios até os divisores entre os córregos Santa Maria e do Cerrado, pela margem direita, e entre o córrego Jacutinga e ribeirão Areia Dourada pela margem esquerda. O Baixo Santo Anastácio abrange o restante do vale, até a desembocadura no rio Paraná (Figura 5.2).

MAPA DA DIVISÃO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL EM ALTO, MÉDIO E BAIXO CURSOS

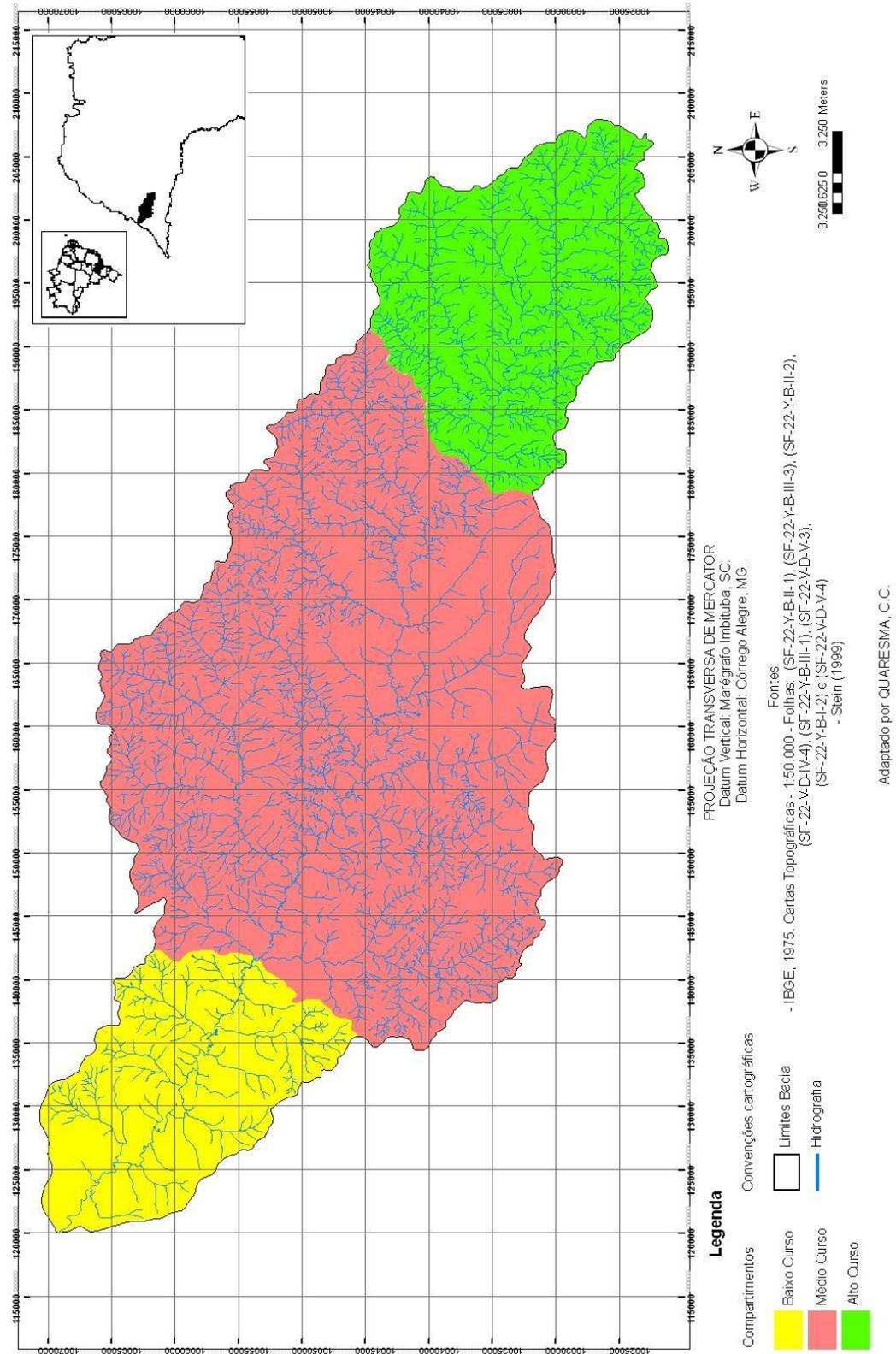


Figura 5.2: Mapa da divisão da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil em Alto, Médio e Baixo Cursos

Fontes: (vide figura)

5.3 Amostras circulares: características e distribuição

Tendo em vista o objetivo específico de verificar a evolução da rede de drenagem e de processos erosivos lineares entre os anos de 1962 e 2010 na bacia do rio Santo Anastácio – SP – Brasil, adotou-se a metodologia de análise temporal com base em amostras circulares, utilizada por Ray e Fischer (1960), França (1968), Espindola e Garcia (1978), Nogueira (1979), Rodrigues (2006), Simon (2010), Malavazzi (2012), dentre outros.

Baseando-se na lógica estruturada por Nunes et al. (1995), no que se refere à área de cada amostra, sua relação com a escala de trabalho e abrangência mínima de 30% da área analisada, foram geradas 85 amostras de 10km² cada, correspondendo a mais de 40% de recobrimento da área total da bacia, as quais foram distribuídas de modo a abarcarem o maior número possível de canais de primeira ordem, ao longo dos três cursos expostos no subitem anterior.

Para tanto, foi necessário adquirir oito folhas topográficas de escala 1:50.000; Equidistância das curvas de nível: 20 metros; Datum Vertical: Marégrafo Imbituba, SC; Datum horizontal: Córrego Alegre, MG; Baseadas no levantamento estereofotogramétrico topográfico regular de 1965, tendo apoio suplementar e reambulação executados em 1974 pelo Departamento de Geodésia e Topografia. Tais folhas foram preparadas e impressas em decorrência de Convênio entre IBGE e o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, sendo sua primeira edição datada de 1975. Seus nomes são: Marabá Paulista (SF-22-Y-B-II-1), Pirapozinho (SF-22-Y-B-III-3), Presidente Bernardes (SF-22-Y-B-II-2), Presidente Epitácio (SF-22-V-D-IV-4), Presidente Prudente (SF-22-Y-B-III-1), Presidente Venceslau (SF-22-V-D-V-3), Ribeirão das Anhumas (SF-22-Y-B-I-2) e Santo Anastácio (SF-22-V-D-V-4).

Uma vez que as mesmas não se encontram disponíveis em arquivos vetoriais, foi necessária sua aquisição em estado analógico, procedendo à sua digitalização, georreferenciamento e vetorização.

Para a realização das duas últimas, foi utilizado o software Arcgis 9.3 da empresa ESRI, tratando-se de software que contém todas as aplicabilidades destacadas na revisão bibliográfica e que auxiliam a execução do presente trabalho. Deste modo, foram criados os layers para limites da Bacia do Santo Anastácio, curvas topográficas, pontos cotados e rede de drenagem.

Os resultados de tais procedimentos permitiram o cálculo de variáveis morfométricas da bacia em estudo, as quais são apresentadas a seguir:

- Maior comprimento: valor referente à maior distância existente entre a foz e um dado ponto do divisor de águas, que acompanha aproximadamente a direção do vale principal.
- Maior largura: trata-se da maior distância entre dois pontos do divisor de águas, no sentido transversal ao vale principal.
- Desenvolvimento longitudinal ou comprimento do curso principal: Baseando-se na metodologia proposta por Horton (1945), procedeu-se à medição do curso principal desde sua foz até sua nascente.
- Perímetro e área da bacia: O primeiro trata-se do comprimento da linha representativa do divisor de águas da bacia e a segunda refere-se à medida da superfície total da bacia.

Em seguida, criou-se o *layer* “centro de amostras circulares” na feição ponto. Foram gerados 85 pontos distribuídos em função dos canais de primeira ordem constantes nas referidas cartas topográficas. Após a criação dos mesmos, utilizou-se a ferramenta de análise de proximidade, conhecida como Buffer, existente no ArcToolbox do Arcgis 9.3, para criação das amostras circulares. O valor da distância linear utilizada, ou raio da circunferência da amostra, foi calculado pela fórmula da área do círculo, a qual segue:

$$A = \pi \times r^2$$

Onde,

A: Área do círculo;

π : 3,14

r: Raio do círculo;

Tendo em vista a área almejada para cada amostra circular ser de 10km², a medida do raio adotada foi de 1,79km.

No Baixo Curso, foram alocadas 13 amostras identificadas pelos números de 01 a 12 e 47. Para o Médio Curso, foram distribuídas 52 amostras identificadas com os números de 12 a 46 e de 48 a 64. Com relação ao Alto Curso da bacia, distribuíram-se 21 amostras numeradas de 65 a 85.

É importante mencionar que a distribuição das amostras também objetivou englobar o maior número possível de diferentes setores de relevo, com base nos setores definidos por Stein (1999) e distintos tipos de solos, de acordo com classificação semi-detalhada realizada por Carvalho et al. (1997) . Deste modo, após os procedimentos metodológicos detalhados em parágrafos anteriores, algumas amostras tiveram que ser deslocadas manualmente.

Para tanto foram necessários os seguintes materiais:

- Mapa Geomorfológico da Bacia do Rio Santo Anastácio na escala de 1:100.000, elaborado por Stein (1999).
- Mapa semidetalhado dos solos da bacia do Rio Santo Anastácio – SP na escala de 1:50.000, elaborado por Carvalho et al. (1997).

Estes foram digitalizados por meio de escâner e georreferenciados com auxílio do Arcgis 9.3, adotando-se o mesmo sistema de referência espacial das cartas topográficas utilizadas. Além disso, no interior das amostras circulares, foram vetorizados os atributos referentes aos solos e setores de relevo, para fins de caracterização da área e para tornar tais informações disponíveis às análises a serem realizadas.

A distribuição final das amostras circulares em cada um dos cursos da bacia poderá ser visualizada pelas figuras 5.3, 5.4 e 5.5.

**MAPA DA DISTRIBUIÇÃO DE AMOSTRAS CIRCULARES
BAIXO CURSO - BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL**

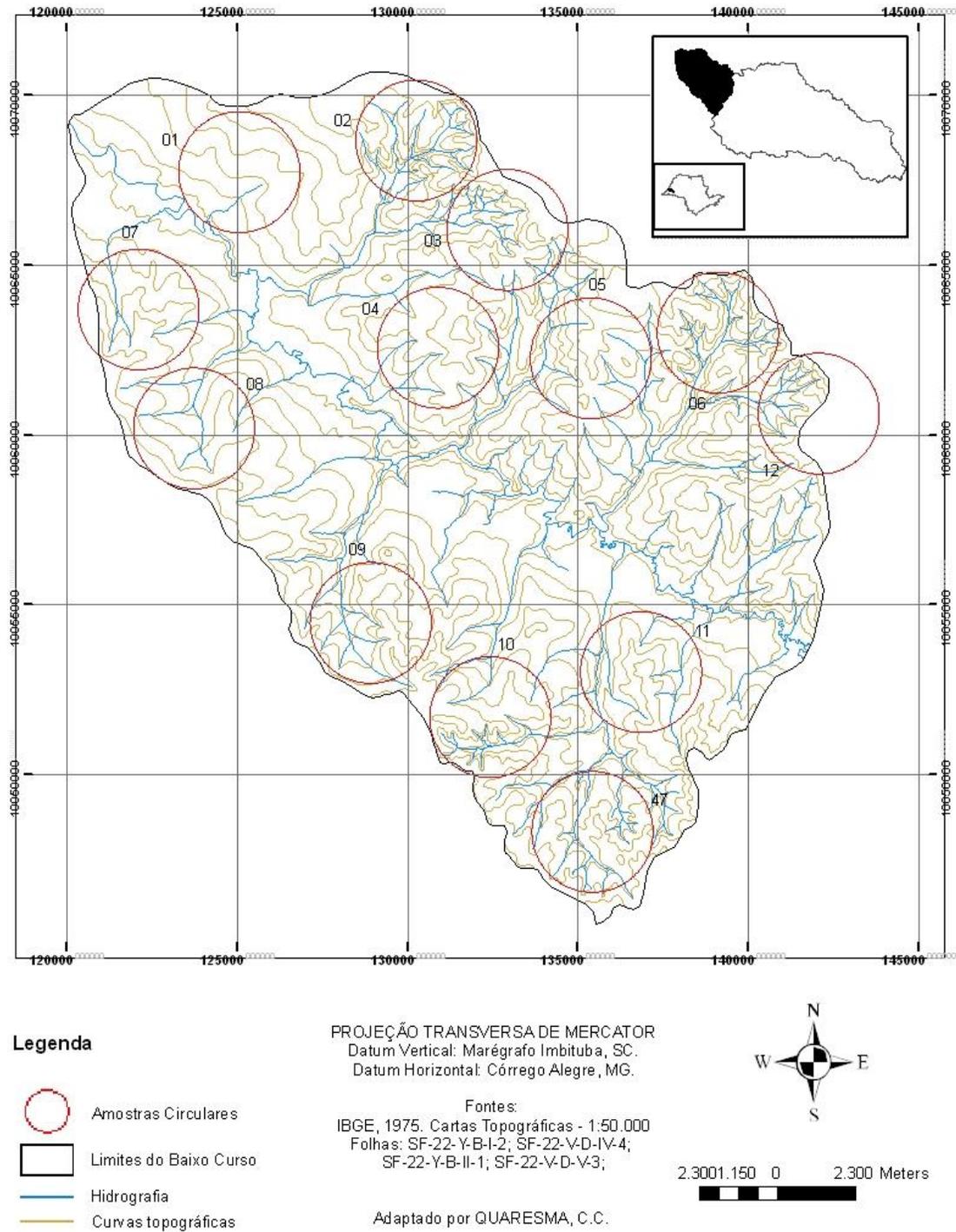


Figura 5.3: Mapa da distribuição de amostras circulares no Baixo Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.

Fontes: (vide figura)

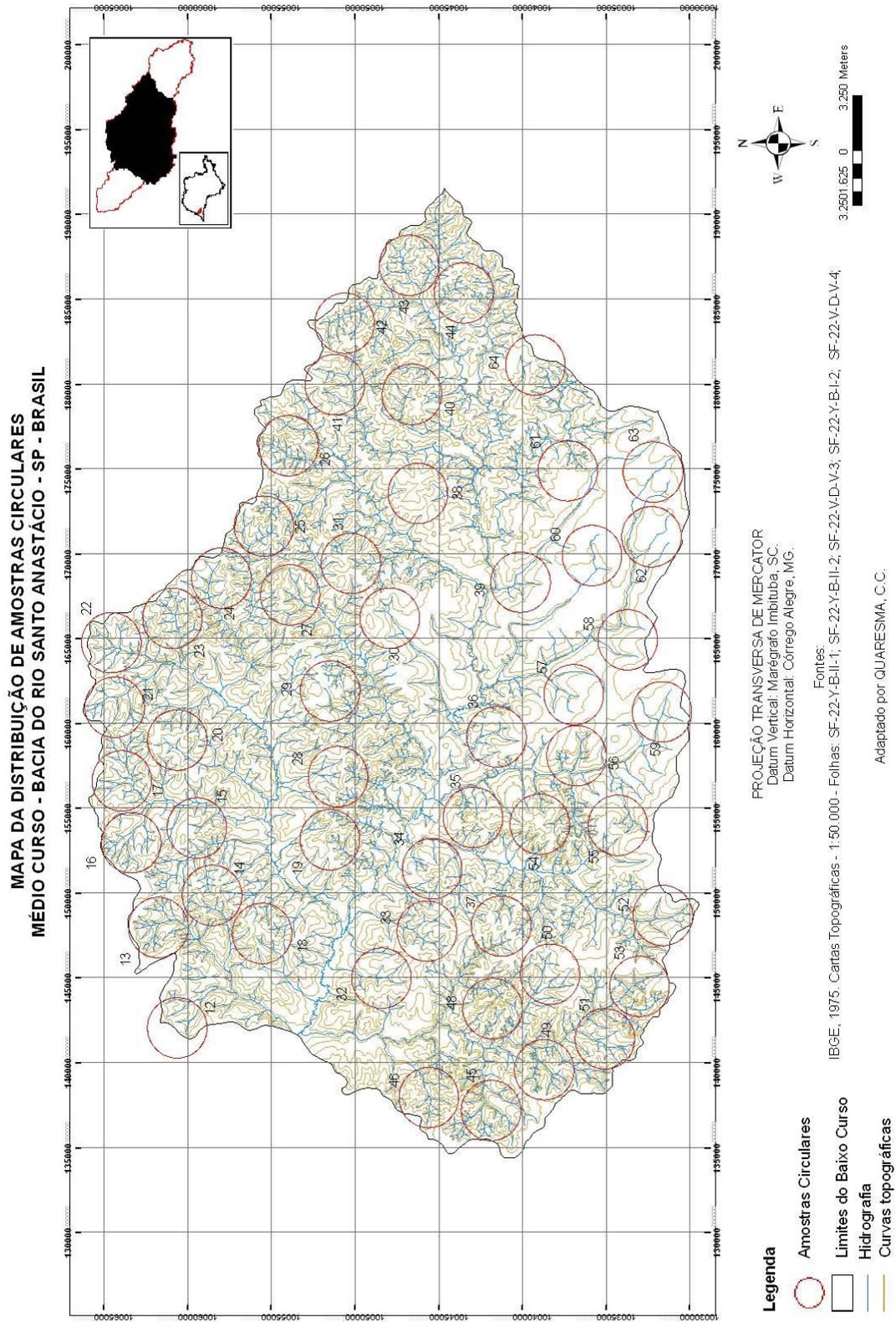


Figura 5.4: Mapa da distribuição de amostras circulares no Médio Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.

Fontes: (vide figura)

MAPA DA DISTRIBUIÇÃO DE AMOSTRAS CIRCULARES ALTO CURSO - BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL

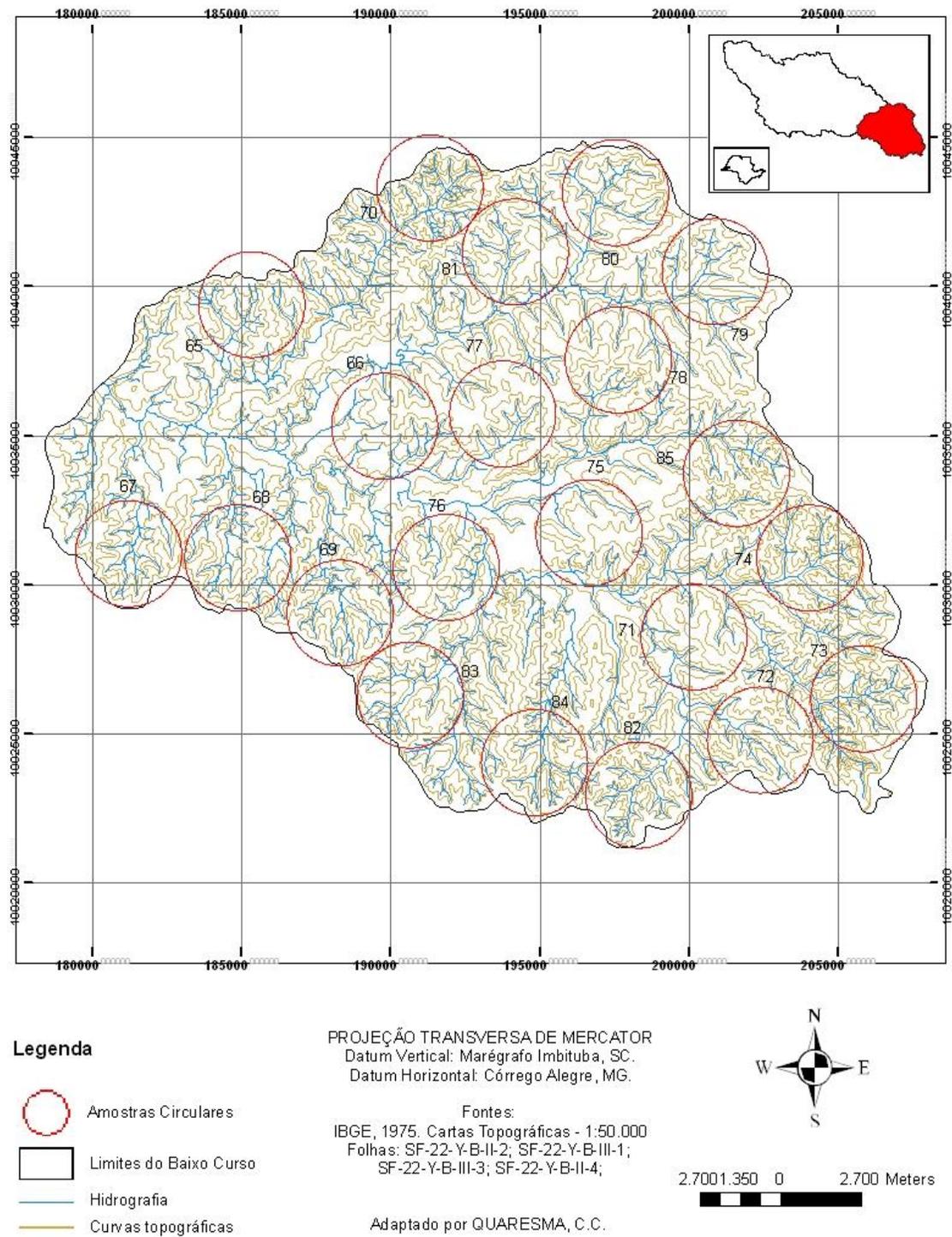


Figura 5.5: Mapa da distribuição de amostras circulares no Alto Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.

Fontes: (vide figura)

5.4 Descrições dos aspectos físicos da área

5.4.1 Características climáticas

Segundo Stein (1999), trabalhos de climatologia, referentes à área onde se insere a bacia do rio Santo Anastácio, adotam metodologias distintas, dando ênfase nas médias de variáveis, como no caso de Nimer (1977) e SMA (1999), ou na sucessão dos tipos de tempo, conforme proposta adotada por Monteiro (1973).

Deste modo, Stein (1999), baseando-se em Nimer (1977), aponta o clima da bacia do Santo Anastácio como tropical quente e úmido, caracterizando-se por apresentar de um a dois meses de estação seca, temperatura média superior a 18°C em todos os meses do ano e pluviosidade média anual interpolada de isoietas de 1.250mm. As máximas e mínimas precipitações pluviométricas ocorreriam nos períodos de solstício de verão e solstício de inverno, respectivamente.

Carvalho et. al. (1997) ressaltam que apesar da aparente homogeneidade climática da bacia do rio Santo Anastácio, é possível verificar, a partir de análises de dados térmicos, pluviométricos e hídricos, pequenas variações espaciais dos elementos climáticos em função de distintas características geográficas. Desse modo, na porção superior da Bacia, compreendendo os municípios de Presidente Prudente⁵ e Pirapozinho, ocorre aumento da pluviosidade pelo efeito orográfico provocado pelos espigões, divisores de água, bem como pela orientação das vertentes. No curso médio, onde se verifica a presença dos municípios de Presidente Venceslau, Presidente Bernardes e Santo Anastácio, ocorrem diminuições nos totais médios pluviais, não sendo suficiente, no entanto, para provocar deficiência de água no solo. Nas proximidades da foz, junto ao Rio Paraná, ocorre aumento das precipitações, fato que pode ser observado pelos totais médios de precipitação anual, os quais são os mais elevados de toda Bacia nos municípios de Caiuá e Presidente Epitácio.

O controle orográfico também foi verificado por Stein (1999). Segundo este autor, valores médios mensais dos anos mais chuvosos indicam controle orográfico do interflúvio Santo Anastácio/Peixe situado na área das cabeceiras, conforme registros do posto pluviométrico de

⁵ É importante mencionar que, em seu relatório, os autores confundem ao escrever o nome do município trocando-o pelo de Presidente Venceslau, quando o correto seria o município de Presidente Prudente.

Presidente Prudente. O autor também ressalta que a distribuição mensal plurianual das chuvas indica médias maiores para o município de Presidente Prudente, principalmente para os meses de janeiro e dezembro. Contudo, o autor observa que tal influência orográfica não pôde ser verificada nas médias plurianuais, e que estas indicam progressivo aumento dos valores em direção à calha do rio Paraná, o que demonstrou haver maior interferência da circulação atmosférica controlada pelas massas continentais advindas de oeste.

Para Iwasa et al. (1999), baseando-se em dados registrados por sete postos pluviométricos, a precipitação média plurianual no interior da bacia do rio Santo Anastácio é de 1.312,4mm. Segundo os dados apresentados, os meses de dezembro e janeiro se mostraram como aqueles mais chuvosos, possuindo precipitação média pluviométrica de cerca de 200mm, enquanto que os meses de estiagem com média de precipitação inferior a 40mm foram julho e agosto.

Stein (1999), buscando entender componentes do meio natural a fim de diagnosticar causas de degradação, elaborou caracterização climática para a bacia do Santo Anastácio, considerando médias pluviométricas mensais e anuais, e discriminando episódios chuvosos caracterizados como críticos em relação a processos erosivos.

Segundo o referido autor, a bacia do rio Santo Anastácio está posicionada em zona de transição climática resultando em diferenciações que fogem às médias, prejudicando o estabelecimento de diagnósticos e prognósticos, o que exige atenção redobrada quanto ao planejamento de ações e dimensionamento de estruturas que envolvem escoamentos pluviais.

Além disso, o autor ressalta que:

“... ao padrão sazonal das precipitações no vale do Santo Anastácio impõem-se fortes variações rítmicas que reduzem o significado das médias mensais. Tais variações podem ser acentuadas pela ocorrência de eventos que só há relativamente pouco tempo passaram a ser melhor compreendidos, como é o caso do El niño”. (STEIN, 1999 p.29)

Stein (1999), considerando médias históricas para o período de 1970 a 1997, registradas por postos pluviométricos localizados no interior da Bacia, a saber, em Presidente Prudente, Santo Anastácio, Piquerobi, Presidente Venceslau e Marabá Paulista, obteve valores de médias pluviométricas diferenciados daqueles apresentados por Iwasa et. al. (1999).

Uma das diferenças refere-se ao ano mais chuvoso identificado no período, tendo em vista que para Iwasa et. al (1999) foi o de 1997, com 1.562,7mm, contra 1692,9mm para o ano de 1989, segundo Stein (1999).

Com relação a outros trabalhos de temática semelhante, Stein (1999) confirma os dados sobre distribuição irregular das médias mensais plurianuais de chuvas, as quais se concentram nos meses de dezembro e janeiro, correspondendo a mais de 30% do total anual, resultando em período de estiagem em julho e agosto, com precipitações pouco superiores a 6% do total anual.

Tendo em vista a importância das precipitações pluviométricas para o entendimento dos processos erosivos, Stein (1999) considerou, além das distribuições mensais, os episódios pluviométricos individuais, principalmente os de maior intensidade ou atípicos. Considerando o ano de 1972, por ter apresentado problemas decorrentes de chuvas intensas, e o ano de 1989, por se tratar do ano de maior precipitação média pluviométrica, conforme explicado em parágrafo anterior, o referido autor investigou e individualizou episódios pluviométricos mais intensos em meses característicos de pluviosidade alta e baixa. Analisando os postos de Presidente Prudente e Marabá Paulista, o autor considerou precipitações acumuladas de um dia.

Os resultados demonstraram que para a de Presidente Prudente, nos meses mais chuvosos, correspondendo ao período de outubro a março, os dias de maior pluviosidade acumulada corresponderam de 1/3 a 1/5 da precipitação mensal, enquanto que para os meses menos chuvosos, de junho a agosto, a precipitação pluviométrica verificada em um dia corresponde ao total ou à metade da precipitação mensal. Os dados referentes ao posto de Marabá Paulista repetiram a tendência do posto anterior no período de estiagem, mas para os meses mais chuvosos, os dias de maior pluviosidade acumulada variaram de 1/4 a 1/9 do total mensal.

Assim,

“Ilustrativamente, o dia de maior concentração de chuvas em Presidente Prudente, nos anos considerados, foi de 126mm em fevereiro de 1974, contra 241mm de valor acumulado no mês. Outro episódio importante ocorreu em julho do mesmo ano, com 70mm em um dia, para 117 mm no mês. Em Marabá Paulista, chamam a atenção as chuvas de fevereiro de 1997, com 102,1mm em um único dia, contra acumulada do mês de 259,3mm. No período de estiagem destaca-se o mês de agosto de 1989, com 66,5mm de precipitação em um dia, para 119,0 mm no mês”. (STEIN, 1999 p.32)

A concentração das precipitações pluviométricas apresentadas nos parágrafos anteriores torna-se maior tendo em vista que, segundo o autor referenciado, comumente nas chuvas de verão, os índices diários eram alcançados em episódios únicos no final do dia, tratando-se de eventos extremamente críticos, com o total de precipitação pluviométrica ocorrendo quase inteiramente em curto espaço de tempo.

5.4.2 Aspectos Geológicos

Segundo IPT (1986), a bacia do rio Santo Anastácio pertence aos domínios da Bacia Bauru, pertencente à Bacia do Paraná. Trata-se de embaciamento primitivo, com centro de subsidência na região do Pontal do Paranapanema, o qual passa a receber contribuição detrítica, proveniente do alçamento tectônico das bordas, resultando em seqüência estratigráfica composta por camadas sedimentares pós-basálticas do final do Cretáceo.

Com base em Almeida et al. (1980), é possível verificar que a bacia do rio Santo Anastácio ocupa a região de maior subsidência da Bacia Bauru, abrangendo as Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina.

A primeira delas inicia a deposição Bauru, e aflora exclusivamente na foz do rio, caracterizando-se por apresentar uniformidade litológica, sendo constituída predominantemente por bancos de arenitos maduros de coloração arroxeadada e marcante estratificação cruzada de grande porte. Seus sedimentos apresentam textura fina a muito fina, sendo bem selecionados ao longo da mesma lâmina, com grãos arredondados ou sub-arredondados, recobertos por película de limonita. Os arenitos de tal formação são predominantemente quartzosos e ocasionalmente subarcoseanos.

Sobre a Formação Caiuá encontra-se a Formação Santo Anastácio, caracterizada por arenitos de coloração marrom-avermelhada e arroxeadada. Sua textura é predominantemente fina e seu grau de seleção pode ser classificado entre regular e ruim. Do mesmo modo que a Formação anterior, seus grãos são arredondados a subarredondados, cobertos por película de limonita. Além disso, são predominantemente quartzosos, e segundo Stein et al. (1979), apresentam comumente cimento e nódulos carbonáticos preservados e orifícios atribuídos à dissolução desses nódulos.

Transicionalmente e interdigitadamente, a Formação Adamantina sucede à anterior. Esta se trata de variedade de fácies que foram agrupadas em unidades de mapeamento por Almeida et al. (1980).

Segundo Stein (1999), de modo abrangente, a Formação Adamantina trata-se de associação de termos sedimentares nos quais predominam arenitos finos e muito finos, com siltitos e argilitos diversos, inclusive lamíticos, intercalados ou em predominâncias locais. Além disso, possuem tendência à cimentação carbonática a qual tende a ser maior quanto mais próxima do topo, e significativas estruturas hidrodinâmicas internas aos estratos.

Como mencionado, Almeida et al. (1980) subdividiram a Formação Adamantina em cinco unidades de mapeamento, das quais, apenas três ocorrem na bacia do rio Santo Anastácio.

A unidade KaI, predominante em relação às demais unidades, forma a base da Formação Adamantina, sobrepondo-se à Formação Santo Anastácio. Caracteriza-se por apresentar arenitos finos a muito finos, siltitos arenosos e arenitos finos argilosos. Em termos mineralógicos, os arenitos são quartzosos, com porcentagens variadas de feldspatos. Geralmente apresentam matriz siltosa e argilosa, além de cimento carbonático. Sua coloração pode ser rósea, marrom e cinza.

A unidade KaIV, sobreposta à unidade anterior, e interdigitada por esta, é composta por arenitos finos e muito finos dispostos em bancos espessos e intercalados por lentes principalmente de argilitos e siltitos. Os arenitos são quartzosos, com pequena contribuição de feldspatos e sílica amorfa, além disso, eles possuem boa seleção física, matriz argilosa e mais raramente cimento e nódulos carbonáticos. Sua coloração varia entre rosada e avermelhada.

A unidade KaV trata-se, na bacia do rio Santo Anastácio, de uma transição lateral, interdigitada com a unidade KaIV. Seu material é semelhante a esta, porém apresentando bancos mais delgados, recorrência maior de litotipos, maior cimentação carbonática e riqueza de estruturas hidrodinâmicas. Sua coloração é bege e cinza.

Segundo Stein (1999), o fim da deposição Bauru é seguido por longo hiato erosivo e o quadro estratigráfico se completa a partir dos únicos registros existentes de depósitos quaternários associados à:

- Rede fluvial atual, cujos registros restringem-se a depósitos aluviais inconsolidados em baixos terraços e planícies, basicamente compostos por areia e argila, podendo ocorrer de forma mais restrita clastos maiores, principalmente de arenitos cimentados e de canga ferruginosa;

- Evolução das vertentes, resultando em depósitos de encostas de composição variada, com importante contribuição arenosa e refletindo o substrato local. Tais depósitos ocorrem em coberturas extensas e delgadas, em rampas coluviais de sopé, ou colmatando alvéolos em anfiteatros de erosão.

O mesmo autor também observa a ocorrência de depósitos recentes associados à erosão acelerada devido ao uso e ocupação antrópicos, evidenciados por assoreamentos e frequentes coberturas coluviais nas encostas. Tais materiais são predominantemente arenosos, mal selecionados e de granulometria fina a muito fina, além de dejetos indevidamente lançados nos cursos fluviais pelas populações urbanas e dos núcleos rurais. Os depósitos coluviais recentes sobre perfis pedológicos, cujos horizontes superficiais foram removidos pela ação da erosão, refletem o desmatamento inicial e a continuidade do processo de ocupação da área.

As figuras 5.6, 5.7 e 5.8 apresentam a distribuição das referidas Formações nas amostras circulares e em cada um dos três cursos considerados na Bacia do Santo Anastácio.

**MAPA GEOLÓGICO DAS AMOSTRAS CIRCULARES
LOCALIZADAS NO BAIXO CURSO
DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO- SP - BRASIL**

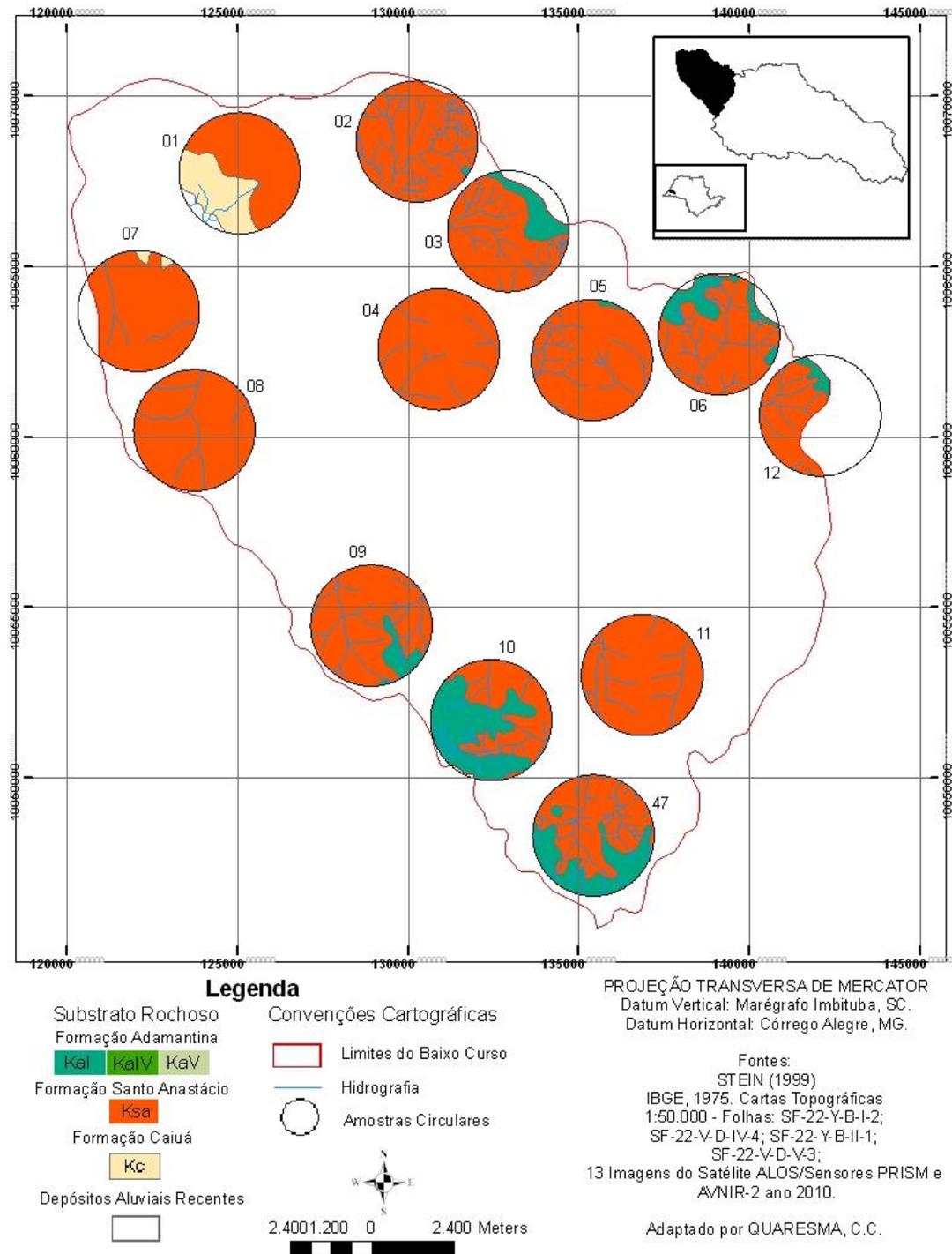


Figura 5.6: Mapa geológico das amostras circulares - Baixo Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.

Fontes: (vide figura)

**MAPA GEOLÓGICO DAS AMOSTRAS CIRCULARES LOCALIZADAS NO MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO
SP - BRASIL**

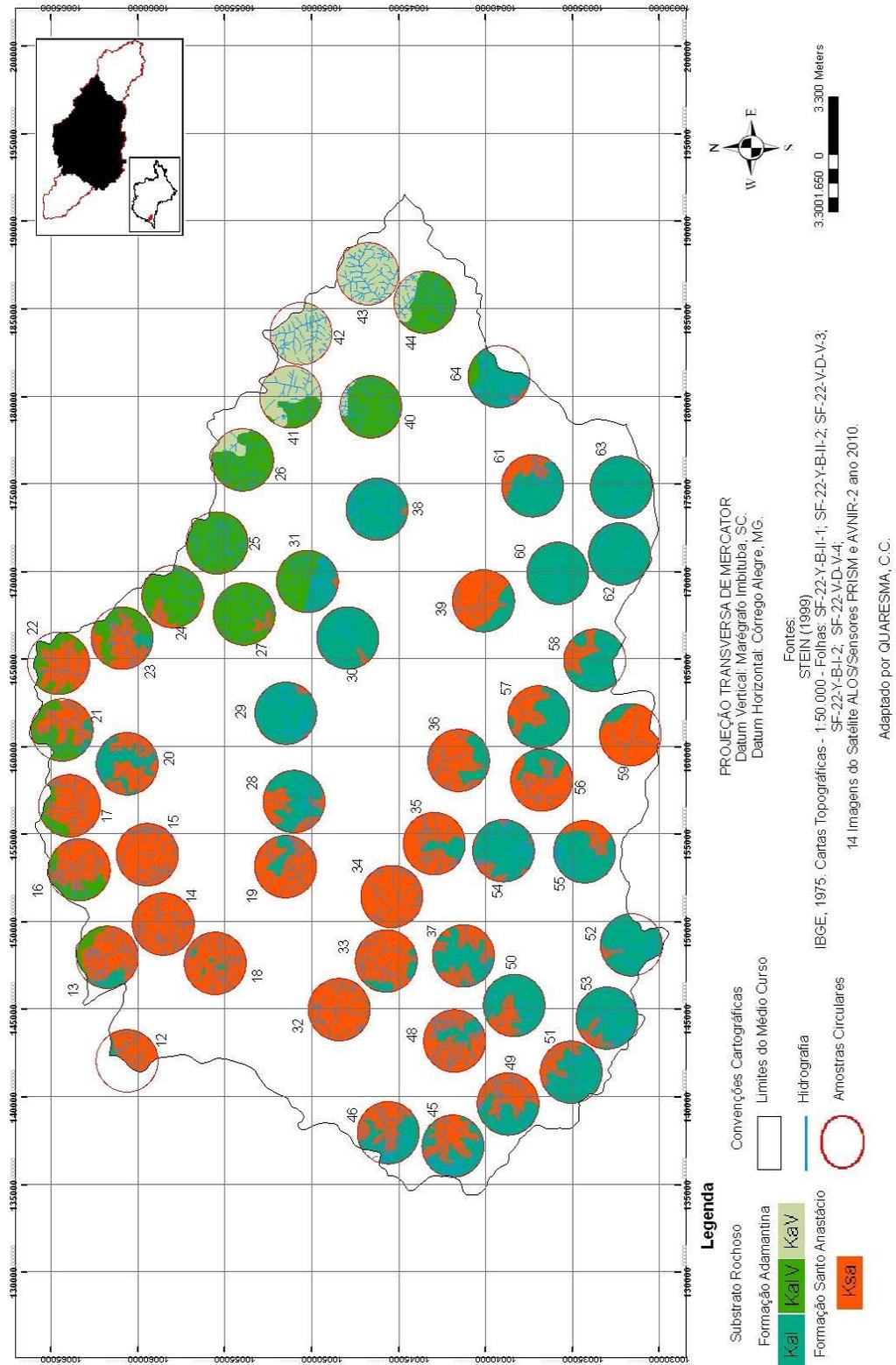


Figura 5.7: Mapa geológico das amostras circulares - Médio Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.

Fontes: (vide figura)

**MAPA GEOLÓGICO DAS AMOSTRAS CIRCULARES
LOCALIZADAS NO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO
SP - BRASIL**

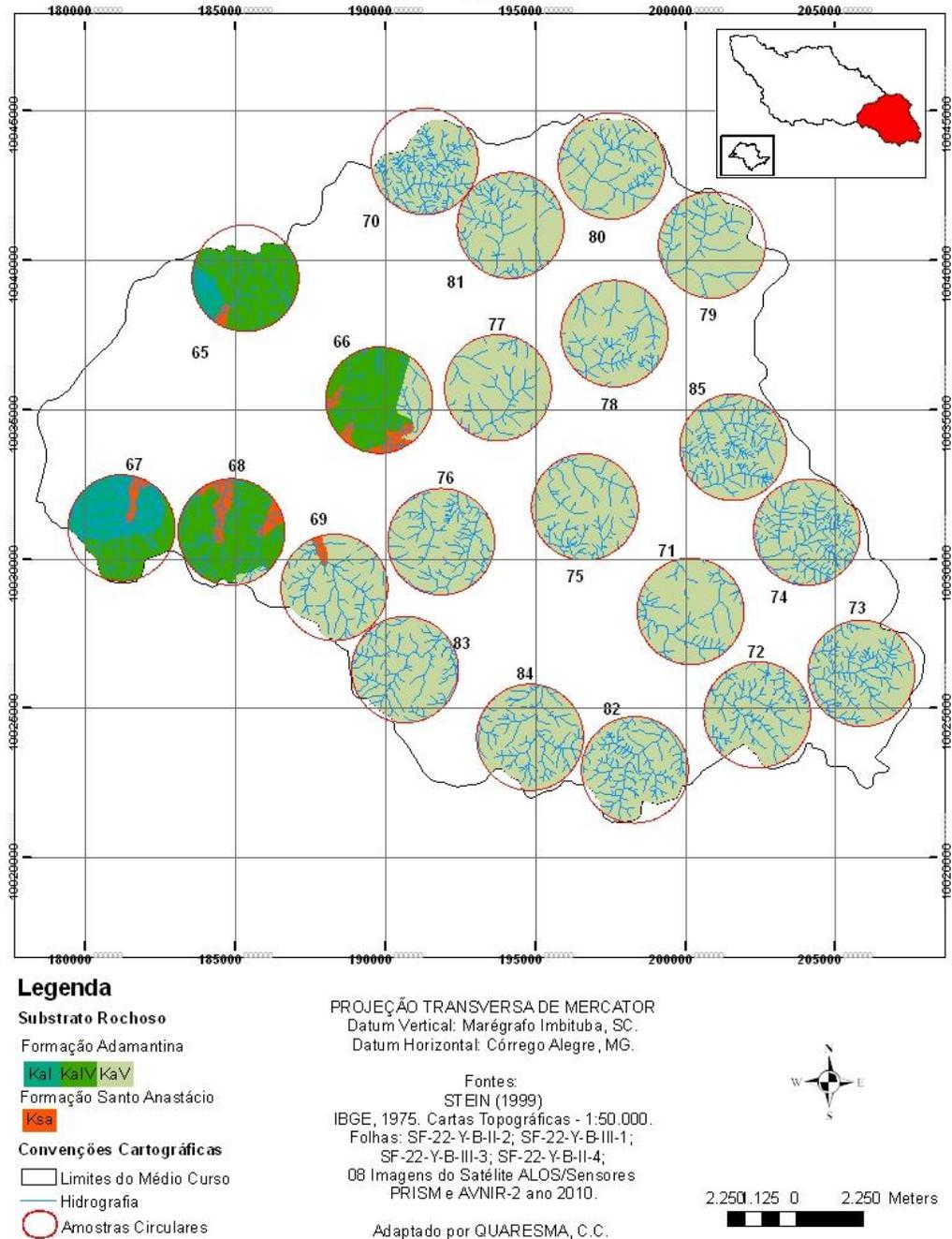


Figura 5.8: Mapa geológico das amostras circulares - Alto Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.

Fontes: (vide figura)

5.4.3 Aspectos estruturais

Segundo Stein (1999), o Grupo Bauru ocorre sobre embasamento irregular, devido a movimentos tectônicos pós-basálticos e intensa atividade erosiva.

O embaciamento da Bacia Bauru, que, de acordo com Fernades e Coimbra (1996), foi gerado por subsidência termo-mecânica, com soerguimento das bordas ao longo de importantes altos tectônicos e resultando em eixo de maior subsidência de caráter alongado, o qual coincide de forma aproximada com a posição atual do rio Paraná, permitiu o desenvolvimento de lineamentos e suturas crustais, que segmentaram ou limitaram altos e baixos internos.

Tais estruturas, segundo Stein (1999), revelaram duas categorias de processos tectônicos, dos quais, os mais importantes para a presente área de estudo são: suturas geológicas pré-cambrianas de direção geral NE e que “de modo recorrente permaneceram tectonicamente ativas”, dentre as quais a Sutura de Presidente Prudente; Estruturas de direção NO, ligadas à zona do Alinhamento Estrutural de Guapiara, sendo o curso do rio Santo Anastácio coincidente com um dos seus lineamentos, indicando controle estrutural em sua disposição e permitindo caracterizá-lo como rio subsequente.

Segundo IPT (1979), o padrão de fraturamento presente na bacia do rio Santo Anastácio possui direcionamento preferencial NO-SE e subordinadamente NE-SO e N-S. Tais elementos foram também verificados por Stein (1999), que observou a maior densidade de fraturamento no sentido NO-SE, associada ao Alinhamento de Guapiara e marcada de forma mais efetiva nas rochas da Formação Adamantina.

Stein (1999) ressalta que, de acordo com Themag (1980), observam-se desníveis entre contatos das Formações do Grupo Bauru e inversões dos mergulhos de camadas para leste (tendência para sudeste), como é o caso do Planalto das Lagoas, setor que deverá ser tratado em item posterior.

Tais informações permitiram ao referido autor concluir que a epirogênese ascensional reativou linhas de fraqueza crustais, que controlam paisagens atuais em determinados setores da bacia.

Além dessas influências tectônicas sobre as paisagens atuais, estudos indicam atividades tectônicas recentes na bacia do Santo Anastácio.

De acordo com IPT (1979), baseando-se em registros sismológicos ocorrentes na Zona Sismogênica de Presidente Prudente, a região que engloba a bacia apresenta instabilidade geológica, tendo em vista a persistência de movimentos tectônicos atuantes na atualidade.

De acordo com Guedes et al. (2006), o Oeste paulista, antes considerado como área tectonicamente inativa no Neoceno, tem se tornado palco de estudos neotectônicos, devido às evidências de sismicidade atual.

Tais autores investigaram ocorrências de deformações neotectônicas no vale do Rio Santo Anastácio, a partir da comparação entre curvas de melhor ajuste e curvas geradas a partir de dados reais de valores altimétricos referentes a pontos situados ao longo de perfis longitudinais de cursos d'água, pertencentes à referida Bacia. Com base na comparação dos dados, os autores verificaram principais afastamentos positivos e negativos em relação às linhas de melhor ajuste.

Deste modo, foram identificados trechos apresentando anomalias (afastamentos em relação à linha de melhor ajuste) nas proximidades de suas desembocaduras, os quais indicaram subsidência dos talwegues e trechos com inflexões no talwegue, indicando cruzamento com zonas de falha. Os autores também verificaram, no contexto geral, padrão de anomalias positivas (ascensão) no Alto Curso e de anomalias negativas (subsidência) no Baixo Curso da Bacia.

Segundo Acklas et al. (2003) apud: Guedes et al. (2006), anomalias no perfil longitudinal podem ser condicionadas pelos seguintes fatores:

- Confluência com tributário de caudal expressivo;
- Variações na resistência à erosão do substrato rochoso;
- Erosão remontante por mudança brusca em nível de base à jusante;
- Deformações neotectônicas locais;

De acordo com os referidos autores, os indicativos de subsidência, predominante no Baixo Curso da bacia em estudo, e de ascensão, principalmente localizados no Alto Curso da mesma, poderiam apontar alterações no nível de base local por ação neotectônica.

5.4.4 Aspectos Geomorfológicos

Segundo Ross (1997), o estado de São Paulo se divide morfologicamente em três unidades morfoestruturais, sendo que uma destas é de interesse a este trabalho, a Bacia Sedimentar do Paraná, a qual engloba duas unidades morfoesculturais, a Depressão Periférica

Paulista e o Planalto Ocidental Paulista. A área de estudo, Bacia do rio Santo Anastácio, localiza-se nesta última unidade, que ocupa cerca de 50% da área total do estado de São Paulo, possui relevo ondulado com predomínio de colinas amplas e baixas de topos aplainados. Segundo Ross (1997), no Planalto Ocidental Paulista, pode-se identificar variações fisionômicas regionais, as quais possibilitam delimitar unidades geomorfológicas distintas.

Para Stein (1999), o Planalto Ocidental caracteriza-se por apresentar relevos desenvolvidos exclusivamente sobre rochas sedimentares da seqüência Bauru, os quais se encontram dispostos em planaltos escalonados articulados por escarpas.

O Planalto Ocidental origina-se a partir de superfície erosiva com caimento para oeste, em direção a uma calha primitiva cuja posição assemelha-se ao atual rio Paraná. Tal superfície foi definida por Moraes Rego (1932) apud: Stein (1999) como se tratando de Peneplanação Eocênica, e denominada Superfície Japi por Almeida (1964).

Sobre a superfície primitiva estabeleceu-se drenagem inicial caracterizada por rios subparalelos conseqüentes cujas posições aproximam-se, segundo Almeida (1964), às dos atuais rios Paranapanema, Tietê e Grande.

O Planalto Ocidental foi submetido a movimentos ascensionais epirogenéticos, os quais permitiram entalhamento dos rios pré-estabelecidos e o surgimento e entalhamento de rede de drenagem sobre linhas de menor resistência estrutural. Tais processos originaram superfícies erosivas, as quais foram denominadas de Superfícies Neogênicas por Martonne (1943). Testemunhos da antiga superfície Paleogênica (Eocênica) foram preservados em decorrência de maior resistência litológica, conforme pode ser observado em arenitos com cimentação carbonática do Planalto Echaporã-Marília, além da existência dos Morros do Diabo e dos Três Irmãos. Tais formações residuais correspondem ao que Justus (1985) denominou de Superfície Interplanáltica III. (STEIN, 1999).

Stein (1999), ao abordar a geomorfologia da área a partir de enfoque regional, dividiu a bacia do rio Santo Anastácio em patamares correspondentes às superfícies erosivas e aos terraços fluviais. Segundo o autor, no setor dominado pelo Planalto Echaporã-Marília, região situada entre os rios Tietê e Paranapanema, é possível o reconhecimento de dois níveis planálticos escalonados com altitudes inferiores à superfície erosiva paleogênica. O primeiro relaciona-se à Superfície Neogênica, à qual classificou como Planalto III, ocupando a posição mais elevada da bacia e possuindo maior expressão no alto curso da mesma, circundando as cabeceiras. Trata-se de nível

cumeiro, cujas altitudes atingem 515m no município de Regente Feijó, localizado em seu limite leste. Em direção a oeste, pela margem direita do rio, verifica-se sua presença em quase todo o divisor da bacia, até o município de Santo Anastácio, local em que se apresenta com altitude máxima de 482m. A partir de seu limite leste, em direção a oeste, pela margem esquerda, correspondendo ao interflúvio com o rio Paranapanema, o Planalto III se estende até a cidade de Pirapozinho, desaparecendo em toda a região do Planalto das Lagoas, e reaparecendo no limite oeste deste e se estendendo até o limite baixo/ médio curso da bacia, onde atinge altitude de 490m. Interessante perceber que na altura do município de Marabá Paulista sua altitude encontra-se próxima de 450m, o que demonstra incoerência com relação ao caimento natural dos divisores principais em direção à calha do rio Paraná, podendo, segundo o autor, ser explicado pela ocorrência de processos tectônicos ou por diferenças na resistência das rochas.

Abaixo da superfície neogênica e nela embutido, encontra-se o segundo nível, denominado Planalto II, cuja presença se verifica ao longo da maior parte da rede de drenagem atual, reconhecida também nas cabeceiras, sugerindo desenvolvimento recente, podendo ser relacionada às fases de oscilações climáticas do Quaternário, e deste modo, correspondendo aos níveis de pedimentos, conforme definidos por BIGARELLA e ANDRADE (1965). No alto curso da bacia, seu contorno pode ser delineado a partir de rupturas de declive de reconhecimento regional, as quais representam inserções no planalto cumeiro posicionadas entre 450 e 460m de altitude, a partir das quais, a altitude de topos de relevos associados diminui ao longo de divisores secundários e em direção à calha do rio Santo Anastácio, atingindo valores aproximados a 425m. Tais inserções só podem ser identificadas no médio curso quando ocorre aparecimento da superfície cumeira, ao longo dos divisores de água principais. (STEIN, 1999)

O rio Santo Anastácio pode ser considerado um rio jovem, se comparado aos rios que entalharam a superfície paleogênica do Planalto Ocidental, a exemplos do Tietê e do Paranapanema, pois seu desenvolvimento se processou a partir do entalhamento do referido Planalto III (nível planáltico neogênico).

Segundo Stein (1999), dois níveis de terraços fluviais podem ser identificados ao longo da rede de drenagem da bacia do rio Santo Anastácio, os quais se encontram inseridos no Planalto II. O denominado Terraço T2, sendo nível mais elevado, corresponde à superfície erosiva de caráter regional, a qual se estende além dos limites da bacia. Esse nível encontra-se relacionado à rede de drenagem atual e às oscilações quaternárias. Segundo Stein (1999), essa superfície erosiva é

definida por rupturas de declive muito nítidas no campo e em fotos aéreas, que se apresentam com variações de altitudes muito pronunciadas. Com relação à altitude, no alto curso, atinge cerca de 380m, reduzindo progressivamente em direção ao rio Paraná, quando na desembocadura possui cerca de 305m.

Inserido no Terraço T2 e estendendo-se ao longo de toda a rede de drenagem, encontra-se o Terraço T1, correspondendo a nível inferior, caracterizado pela acumulação e sendo representado por planícies aluviais originadas pela rede de drenagem atual.

Por último, o autor apresentou o nível denominado por Planícies Aluviais, tratando-se de nível de acumulação embutido no nível anterior e relacionado ao desenvolvimento da rede de drenagem atual. O autor ressalta que a identificação desse nível apenas no médio e no baixo curso se explica pela escala catográfica adotada em seu trabalho.

Outra informação relevante refere-se ao traçado geral da bacia no sentido SE-NO, além da sua disposição espacial em relação aos níveis planálticos, o que, segundo Stein (1999), permite atribuir controle estrutural, relacionado ao Alinhamento de Guapiara. Tal controle estrutural permite classificar o rio Santo Anastácio como rio subsequente.

Stein (1999) também realizou subdivisão dos referidos patamares (Planaltos III e II e Terraços I e II) em setores de relevo, baseando-se em formas de relevo menores, as quais expressam a evolução da referida bacia hidrográfica. Esses setores foram definidos a partir de interpretação de imagens e de cartas topográficas e atividades de campo. O referido autor caracterizou formas, feições e processos agradacionais e degradacionais associados, indicou elementos geológicos relacionados e conjugou características determinantes de potencialidades erosivas.

Na seqüência, são apresentadas as principais características dos referidos setores de relevo, englobados pelas amostras circulares, distribuídas no Alto, Médio e Baixo Curso da bacia do Santo Anastácio (figuras 5.9, 5.10 e 5.11).

**MAPA GEOMORFOLÓGICO DAS AMOSTRAS CIRCULARES
LOCALIZADAS NO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO
SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL**

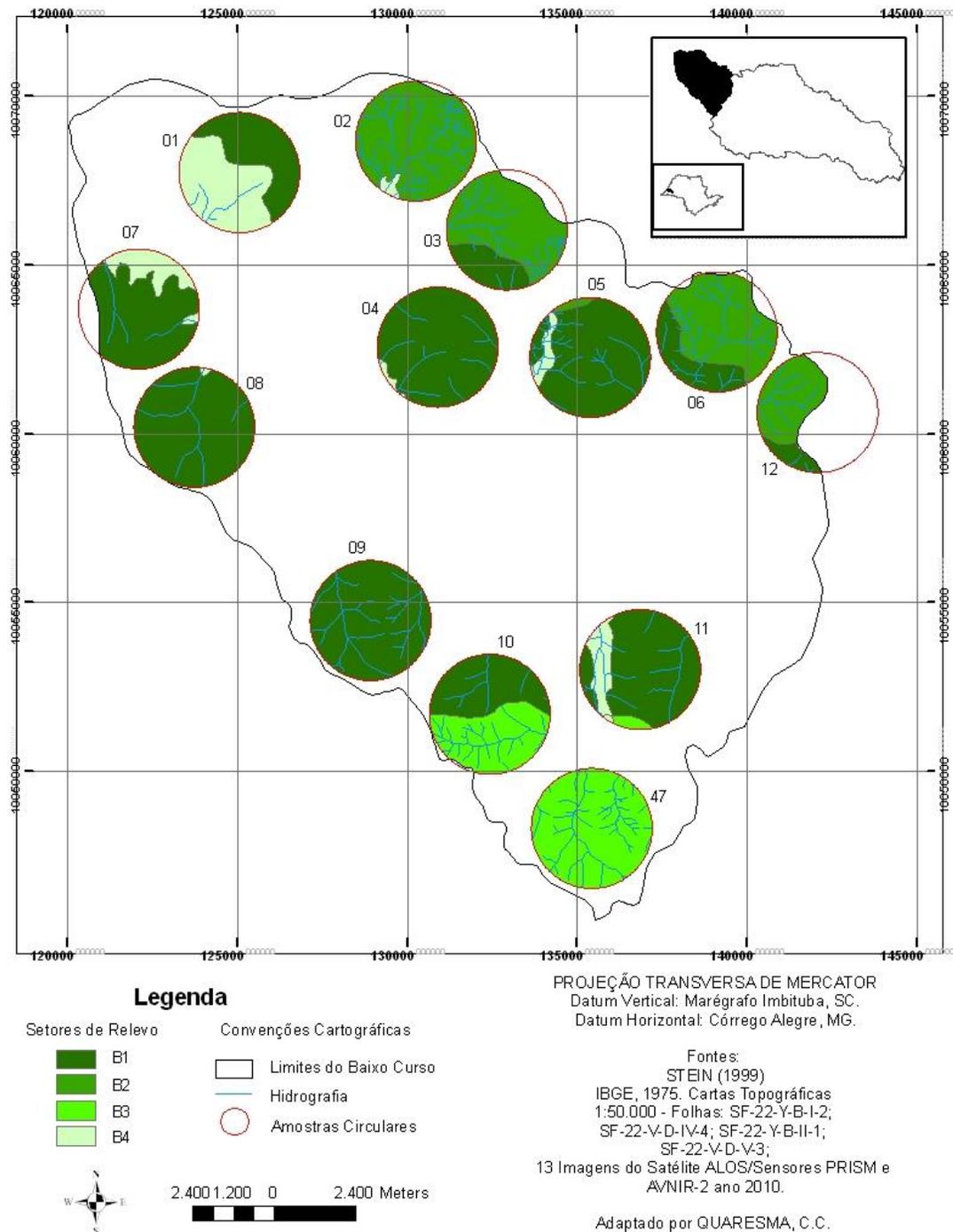


Figura 5.9: Mapa geomorfológico das amostras circulares - Baixo Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.

Fontes: (vide figura)

Conforme pode ser observado por meio da figura 5.9, as amostras pertencentes ao baixo curso da bacia em estudo abarcam os quatro setores definidos por Stein (1999).

O setor B1, chamado de Setor Baixo Santo Anastácio, engloba as vertentes de ambas as margens pertencentes ao baixo vale, excetuando-se as cabeceiras de erosão acelerada e os terraços fluviais. O relevo caracteriza-se por apresentar colinas de topos achatados, muito amplos, subarredondados, em alguns divisores d'água secundários, com encostas longas, retilíneas e suavemente convexas. O relevo colinoso adquire maior suavidade, na medida em que os interflúvios se aproximam dos terraços das margens do Santo Anastácio. As declividades são descritas como baixas, diminuindo em direção à foz. Com exceção das amostras circulares 01 e 47, todas as demais pertencentes ao baixo curso apresentam maior ou menor presença de tal setor. Com relação à erosão, segundo o autor, as encostas apresentavam-se pouco afetadas, com algumas ocorrências desenvolvidas em função do uso e ocupação.

Os setores B2 (Cabeceiras do Santa Cruzinha, Serrinha e Santa Maria) e B3 (Alto Jaguatirica) se referem às cabeceiras de drenagem dos rios que lhes dão nomes, as quais se constituem em setores diferenciados, tendo em vista sua disposição e entalhamento. Stein (1999) ressalta que a denominação de cabeceiras de erosão acelerada dá-se em função de sua história evolutiva, embora a maior densidade de drenagem e as maiores declividades das encostas criem condições favoráveis à retomada erosiva induzida pelo Homem. O autor observa que os processos erosivos lineares em tais cabeceiras eram raros, ocorrendo sempre entalhe de talvegue e alargamento das calhas fluviais. O setor B2 é representado nas amostras 02 e 03, que envolvem as cabeceiras do Santa Cruzinha; Amostras 03 e 05 – Cabeceiras do Serrinha; E amostras 06 e 12 – cabeceiras do Santa Maria. O setor B3 possui ocorrências nas amostras 10, 11 e 47, correspondendo ao Alto Jaguatirica.

O setor B4 trata-se da porção de conjunto de níveis associados à rede de drenagem, compreendendo os Terraços T2 e T1, bem como as Planícies Aluviais.

No baixo Santo Anastácio, as Planícies Aluviais possuem maior expressão, considerando os demais cursos da bacia. Segundo Stein (1999), o forte assoreamento que impactou a calha do Santo Anastácio desestruturou os ambientes fluviais de todo o baixo curso. Como pode ser visualizado na figura 5.9, esse setor aparece nas amostras 01, 02, 04, 05, 07 e 11.

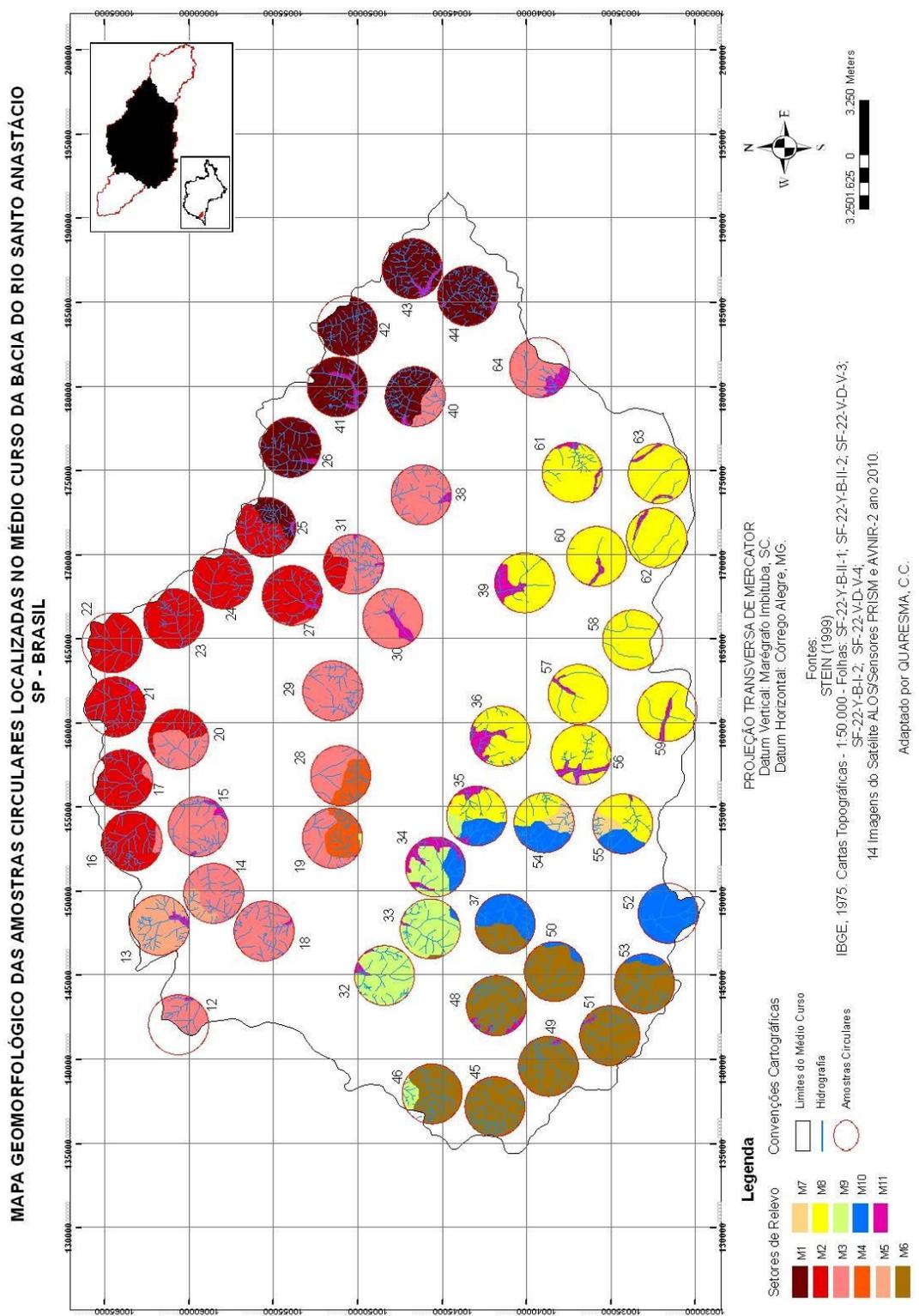


Figura 5.10: Mapa geomorfológico das amostras circulares - Médio Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.

Fontes: (vide figura)

A maior diversidade litológica existente no médio curso reflete em sua maior variedade de conjuntos distintos de formas de relevo, em comparação aos demais cursos da bacia em estudo, resultando na identificação de 12 setores de relevo por Stein (1999), cujas descrições básicas seguem.

O primeiro, M1 (Alto Guaíçara e alto Vai-e-Vem), de ocorrência nas amostras 25, 26, 40, 41, 42, 43 e 44, caracteriza-se por colinas de topos amplos, que no âmbito do Planalto III, encontram-se sustentadas por rochas da unidade KaV da Formação Adamantina. As cabeceiras de drenagem, nesse nível, apresentam encostas com declividades variando entre média e alta, que se contrapõem às baixas declividades das formas circundantes. Os relevos associados ao Planalto II, podem ser caracterizados por apresentar colinas médias, as quais definem divisores d'água secundários. Seus topos são amplos, de arredondados a subarredondados, e suas encostas são retilíneas ou suavemente convexas, relativamente longas, apresentando declividades de média a baixa. Os terraços 1 e 2 ocorrem em faixas estreitas e são muito bem marcados. Segundo o autor, neste setor, os cursos d'água quase sempre demonstravam evidências de erosão lateral.

No setor M2 (Alto Sei-Lá e Alto Saltinho), abarcado por partes das amostras 16, 17, de 20 a 25, 27 e 31, o Planalto III possui ocorrência bastante restrita, limitando-se a testemunhos isolados no topo do divisor principal, no seu limite leste, e no interflúvio Saltinho/Fortuna. Verifica-se o predomínio do Planalto II e os níveis de terraço associados à drenagem são pouco expressivos.

Os divisores principais e secundários são sustentados pela unidade KaIV e KaI da Formação Adamantina, e a Formação Santo Anastácio ocupa amplas áreas que avançam em direção de montante dos vales principais, quase chegando ao divisor da bacia nos vales dos rios localizados a oeste do Córrego Água Santa. No leste, onde se verifica a presença do vale do Saltinho, é nítido o predomínio da Formação Adamantina. As características dos substratos mencionados, por serem menos carbonáticos e dispostos em bancos espessos, além da homogeneidade característica da Formação Santo Anastácio, resultam em relevos suavizados, caracterizados por colinas médias a amplas, de topos arredondados e achatados, e por encostas retilíneas ou suavemente convexas, de baixa declividade.

O setor M3 (Médios e baixos cursos de tributários da margem direita) trata-se do mais extenso pela margem direita do Médio Santo Anastácio, abrangendo as áreas entre as altas encostas, que envolvem cabeceiras, e os níveis de terraços junto às calhas. Conforme pode ser

observado pela figura 5.10, as amostras 12, 14, 15, 16, 17, 19, 27, 28, 29, 30, 31, 38, 40 e 64 englobam áreas desse setor.

O relevo se desenvolve exclusivamente no âmbito do Planalto II, sobre duas Formações principais, sendo a Adamantina, unidade KaI, dominante na metade oriental e a Formação Santo Anastácio, disposta ao longo das calhas fluviais, alargando seus domínios em direção ao topo e ampliando sua área de afloramentos nos limites ocidentais do setor. Tal diferenciação litológica não é refletida nas formas de relevo, as quais são bastante similares e caracterizadas por colinas médias a amplas, de topos arredondados a achatados e de modo geral extensos, o que cria aspecto geral de suavidade nesse setor. As encostas são predominantemente retilíneas a suavemente convexas, de baixa e média declividade e os interflúvios de menor ordem são mais arredondados. Em áreas mais dissecadas, a convexidade e declividade são mais acentuadas.

Os setores M4 (Bacias do Favorita, Guarapu e afluentes do Santo Anastácio e do Sei-Lá) e M5 (Setor Cabeceiras do Cerrado) são tratados de maneira conjunta tendo em vista englobarem cabeceiras de drenagem com erosão acelerada, as quais se constituem feições evoluídas, provavelmente, ao longo de milhares de anos, por modificações hídricas provocadas por alterações climáticas quaternárias. As características morfológicas desse setor, tais como maior densidade hidrográfica e entalhe da drenagem, encostas declivosas e rupturas de declive, ocasionadas por diferenças litológicas, apresentam-se como elementos favoráveis à retomada erosiva linear. Esses setores são representados pelas amostras 13, 14, 19 e 28.

O setor M6 (Alto e médio ribeirão Areia Dourada) também se caracteriza por erosão acelerada, o que reflete na total colmatção da calha fluvial do ribeirão que dá nome ao mesmo. Segundo Stein (1999), o processo de erosão intensa é cíclico e persiste desde, pelo menos, a década de 60. O padrão de drenagem é subdendrítico a dendrítico, sofrendo influências de estruturas NW-SE. A própria morfologia das sub-bacias, as quais apresentam maior circularidade do que as suas vizinhas, contribui para o assoreamento verificado, tendo em vista a maior área de captação.

Os relevos do planalto cimeiro são alcançados por cabeceiras que apresentam forte entalhamento e alargamento. No Planalto II, o relevo apresenta-se como colinas médias que conformam os interflúvios escalonados e de topos arredondados a achatados. As encostas são predominantemente convexas, com declividades médias. Além das erosões intensas nas áreas de cabeceiras, inserções dos terraços T1 e T2 condicionam concentrações de incisões lineares.

Em relação aos conjuntos litológicos, a Formação Santo Anastácio apresenta domínio nas encostas baixas, estando confinada às calhas, e a Formação Adamantina, representada pela unidade de mapeamento KaI, se distribui no restante da área. As amostras que contemplam partes desse setor são: 37, 45, 46, 48, 49, 50, 51 e 53.

O setor M7 (Setor Santa Helena) trata-se de outra sub-bacia com características de evolução por erosão acelerada, mostrando forte controle estrutural sobre canais fluviais, tendo em vista que ocupa área de concentração de fraturas com direções gerais NE-SW, NNW-SSE e WNW-ESE.

O relevo do divisor principal, sustentado por camada de arenito maciço da Formação Adamantina, unidade KaI, apresenta topo estreito e suavemente ondulado nas cabeceiras, enquanto os interflúvios laterais são mais alargados, configurando colinas mais amplas de topos extensos e achatado. Cabeceiras atingem os topos e originam suaves concavidades que rapidamente ganham inclinação em direção do interior da sub-bacia, resultando em encostas de altas declividades.

A inserção do terraço T2 no Planalto II condiciona erosões lineares. Partes das amostras 54, 55 e 56 englobam áreas desse setor.

O setor M8 (Planalto das Lagoas) trata-se de bloco tectônico que destoa das áreas do entorno, tendo em vista apresentar basculamento para sudeste, com inclinação inversa das camadas Bauru. Seu relevo é caracterizado por colinas de encostas retilíneas extremamente longas e suaves, de topos tabulares muito amplos. A drenagem possui vales de baixa incisão e muito espaçados entre si, além de apresentar baixa densidade hidrográfica. Os topos de relevo ocupam posições altimétricas compatíveis com o Planalto II, não havendo registros de restos da superfície cimeira local, exceção para pequena mancha localizada no extremo oeste do setor. As amostras 35, 36, 39, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62 e 63 apresentam-se parcialmente ou totalmente distribuídas sobre tal setor.

O setor M9 (Baixos cursos de tributários da margem esquerda) trata-se de continuidade, pela margem esquerda, do setor M3, os quais são semelhantes entre si e se desenvolvem no âmbito do Planalto II. As encostas são pouco recortadas por cursos d'água de menor ordem, gerando relevo de colinas amplas com topos achatados e extensos, com longas encostas retilíneas de baixa declividade. Praticamente todo o setor é embasado pela Formação Santo Anastácio.

Segundo Stein (1999), ravinamentos ocorriam em concentrações locais, determinados pela inserção do Terraço T2 no Planalto II. As amostras distribuídas sobre tal setor são 32, 33, 34 e 46

No setor M10 (Setor Santo Antônio), o divisor de águas com o rio Paranapanema é representado por colinas amplas do Planalto III, com topos achatados a arredondados e encostas suavemente convexas a retilíneas, de baixas declividades. No interflúvio Santo Antônio/Feiticeiros o padrão subparalelo da drenagem resulta em relevo menos recortado e caracterizado por suavidade, típico de área de transição para o Planalto das Lagoas. A alternância de estratos espessos e maciços do substrato causa rupturas de declives nas encostas, condicionando ocorrências de incisões lineares.

Os vales principais são em V aberto e, segundo Stein (1999), podia-se observar alargamentos generalizados das calhas fluviais por solapamento de margens. As amostras que possuem áreas representativas do referido setor são: 33, 34, 35, 37, 50, 52, 53, 54 e 55.

O setor M11 (Setor Terraços) refere-se aos altos terraços T2, baixos terraços T1 e Planícies Aluviais associados à calha do rio Santo Anastácio no médio vale. Nos altos terraços, os quais possuem maior relevância ao presente trabalho, tendo em vista a disposição das amostras circulares, onde a densidade hidrográfica é maior, o relevo caracteriza-se por colinas de topos amplos arredondados e encostas retilíneas e convexas marcadas ocasionalmente por tênues rupturas de declividade. Nos locais onde a referida densidade é menor, o relevo é bastante suave.

**MAPA GEOMORFOLÓGICO DAS AMOSTRAS CIRCULARES
LOCALIZADAS NO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO
SP - BRASIL**

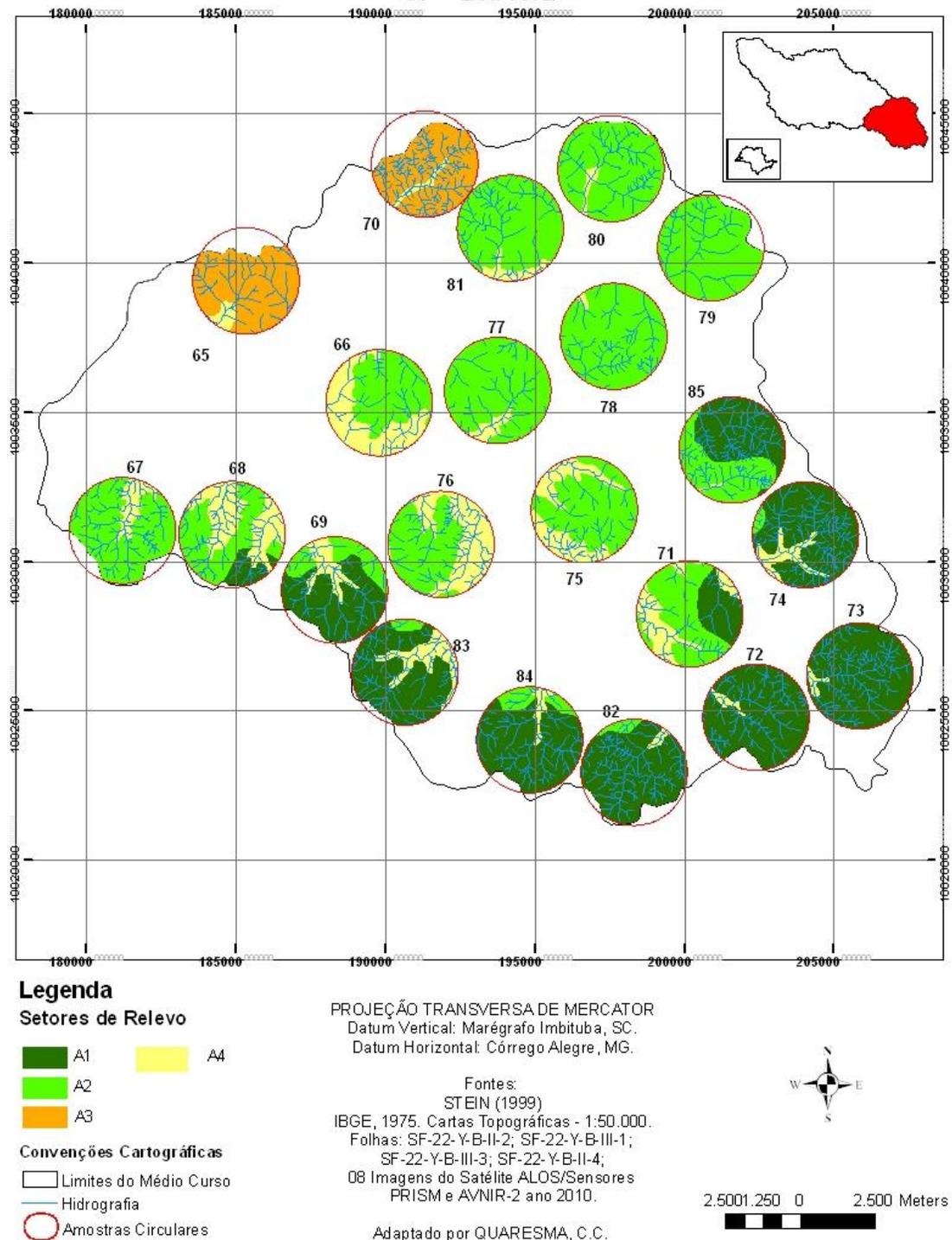


Figura 5.11: Mapa geomorfológico das amostras circulares - Alto Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.

Fontes: (vide figura)

O Alto Santo Anastácio é dividido por Stein (1999) em quatro setores. Os dois primeiros, A1 (Cabeceiras do alto Santo Anastácio) e A2 (Divisores escalonados), foram descritos conjuntamente tendo em vista que se diferenciam basicamente pela presença de trecho de relevo mais energético no domínio do setor A1, que adquire característica de maior suavidade em direção de jusante, onde domina o setor A2. Além disso, o primeiro demonstra maior controle estrutural sobre as formas de relevo, além de apresentar rupturas de declividade mais significativas e vales mais entalhados, tendendo a V. Tais características influenciam também na maior ocorrência de processos erosivos em A1. As amostras 68, 69, 71, 72, 73, 74, 82, 83, 84 e 85 englobam áreas do setor A1. Enquanto que todas as amostras distribuídas no Alto curso, exceção para 65, 70, 72 e 73, abarcam áreas do setor A2.

O setor A3 (Guaíçarinha) trata-se do limite de jusante do Alto Santo Anastácio, pela margem direita do mesmo, e engloba toda a bacia do rio que lhe dá nome.

Destaca-se pelo maior número de tributários apresentando padrão de drenagem subparalelo e pelo controle estrutural das formas de relevo, fato que o assemelha às cabeceiras altas do setor A1, porém diferenciado em relação a este pelo fato da superfície cimeira ser sustentada por litotipos mais resistentes.

Tendo em vista a presença de relevo mais energético, caracterizado por encostas muito recortadas por rupturas de declividade e por morrotes pequenos, determinados por alta densidade hidrográfica, a incidência de processos erosivos é grande neste setor.

O setor A3 é representado pelas amostra 65 e 70.

O setor A4 (Terraços) envolve formas ligadas à rede de drenagem, definidas como terraços T2 e T1.

O relevo do terraço T2 apresenta-se caracterizado por colinas com topos arredondados a subarredondados, e também com topos achatados, quando condicionado por arenitos muito finos e por siltitos. As encostas são suaves e convexas. Nas partes mais à jusante, as colinas perdem a feição tabular, constituindo-se em formas pequenas de topos arredondados e pouco pronunciados, com encostas retilíneas de baixa declividade.

Segundo Stein (1999), no caso do terraço T2, nota-se baixa incidência de erosões nas encostas, porém ocorrem ravinas nas porções próximas de margens erodidas, indicando que as mesmas surgem pelo solapamento fluvial.

Os baixos terraços constituem-se área de acumulação ao longo do Santo Anastácio. Estes, ao longo das drenagens tributárias, quando não se encontram associados às planícies, apresentam o mesmo comportamento dos altos terraços em relação aos processos erosivos, porém com baixa suscetibilidade.

Todas as amostras do Alto curso, em maior ou menor grau, apresentam áreas correspondentes ao setor A4, exceção para a de número 79.

5.4.5 Aspectos Pedológicos

Para a caracterização dos solos da bacia em estudo, adota-se o levantamento semi-detalhado, realizado por Carvalho et al. (1997), que se basearam em cerca de trezentas observações no campo, além de descrição e amostragem de cento e seis perfis de solos em trincheiras, cortes de estrada e/ou a partir de tradagens. Além disso, os autores submeteram as amostras a análises físicas, químicas e, em alguns casos, mineralógicas das frações areia e argila. Toda descrição apresentada a seguir baseia-se em seu trabalho, exceção para casos em que outras fontes são citadas.

Os referidos autores identificaram setenta e nove unidades de mapeamento de solo.

A fim de evitar exposição exaustiva, neste item, serão apresentadas apenas as subordens dos referidos solos com base na Classificação Brasileira de Solos (EMBRAPA, 2006). As especificidades de cada unidade serão apontadas, na maneira em que se fizerem necessárias, no item referente a resultados e discussões.

Deste modo, de acordo com Carvalho et al. (1997), na bacia do Santo Anastácio, foram identificadas as subordens: Argissolos Vermelhos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelho-Argissólicos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Litólicos e Gleissolos Háplicos.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelhos são solos minerais não hidromórficos, com horizonte B latossólico, precedido de horizonte diagnóstico A moderado de textura média, coloração bruno forte, vermelho-amarelo e vermelho escuro, porosos, bem drenados e com seqüência de horizontes A-Bw-C.

O horizonte A possui espessura entre 20 e 30cm. Apresenta textura areia franca, franco-arenosa e franco-argilo-arenosa⁶; coloração normalmente bruno avermelhado escuro, cuja variação ocorre em função do teor de matéria orgânica, que, em geral, representa 1% do volume; Estrutura fraca a moderada, de tamanho pequeno a médio, e de forma granular;

Com relação ao grau de consistência, quando seco, apresenta-se macio a ligeiramente duro; friável a muito friável, quando úmido; e quando molhado, ligeiramente plástico a pegajoso.

A transição do horizonte A para o B ocorre de maneira gradual e plana ou ondulada.

O horizonte B possui espessura média entre 200 e 300 cm. Sua estrutura é fraca, de tamanho pequeno a médio e de forma granular e blocos subangulares. Sua consistência é ligeiramente dura quando seco; friável a muito friável quando úmido; e ligeiramente plástica a ligeiramente pegajosa quando molhado.

Segundo Carvalho et al. (1997), na bacia do Santo Anastácio, tais solos ocorrem em relevo, predominantemente, suavemente ondulado, podendo ocorrer também em relevo plano e ondulado. Além disso, são desenvolvidos a partir de material proveniente de produtos de alteração de arenitos.

Com relação à subordem Latossolo Vermelho-Argissólico, Carvalho et al. (1997) o descrevem como de caráter intermediário entre os Latossolos e os Argissolos, apresentando assim, propriedades de ambas as ordens. Deste modo, possuem horizonte B latossólico, gradiente textural alto, com mudança textural abrupta e transição também abrupta do horizonte A para o B. O horizonte B latossólico é bastante profundo, com estrutura maciça porosa que se desfaz em fraca, de tamanho pequeno e de forma granular. O teor de argila aumenta com a profundidade, sendo que estas também se apresentam como de baixa atividade. Apesar de ser encontrado ligeiro acúmulo de argila no topo do horizonte B de alguns perfis, sua influência não ultrapassa os limites que o caracterizariam como B textural.

De acordo com Carvalho et al. (1997), o maior gradiente textural, a transição abrupta entre horizontes A e B, com menor permeabilidade deste último, além de sua ocorrência, normalmente, em relevo ondulado caracterizam esta subordem como mais suscetível à erosão do que as demais pertencentes ao seu nível categórico superior.

⁶ Classes adotadas segundo a classificação americana, de acordo com Soil Survey Manual (1951), conforme apresentado por Lemos e Santos (1996).

Os Latossolos Vermelhos ocupam praticamente todo o baixo curso da bacia do rio Santo Anastácio, sendo predominante em todas as amostras circulares, exceção para as de números 10 e 11. No médio curso, possui presença marcante ao longo de toda a margem esquerda do rio, com destaque para seu domínio sobre manchas inexpressivas de outras classes de solo ao longo de toda extensão do Planalto das Lagoas; Na margem direita, está presente na porção noroeste, sendo englobado pelas amostras de 12 a 18, 20, 27 e 30. No alto curso, sua presença é praticamente nula.

Os Latossolos Vermelho-Argissólicos aparecem em três manchas na margem direita do médio curso da bacia, sendo a primeira entre o Ribeirão do Saltinho e o Córrego do Cerrado; a segunda entre o córrego Barbaquá e o da Fortuna; a terceira ocupando estreita faixa entre o Córrego do Sei-Lá e o da Congonha. Esta subordem está representada por pequenas manchas nas amostras 15 e 18.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos ocupam as áreas próximas à rede de drenagem pertencente ao baixo e médio curso da bacia. Verifica-se interrupção deste padrão quando a rede de drenagem passa pelo Planalto das Lagoas, entre o Ribeirão Claro e pouco mais à montante do Ribeirão Guaçara, quando ocorre o aparecimento de mancha expressiva, constituindo quase a totalidade dos solos da amostra 61. Fora esta amostra, tal subordem volta a aparecer apenas como pequena mancha na amostra 40. No alto curso não foi verificada a ocorrência dessa subordem, exceção para a superfície cimeira, limite das cabeceiras da bacia, nas proximidades da cidade de Regente Feijó, conforme expresso na amostra 78.

As subordens Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelhos são apontadas pelos autores como aquelas que compreendem solos minerais, não hidromórficos, com perfis profundos, horizontes bem diferenciados (A-B-C), que apresentam B textural, normalmente com horizonte A moderado, transição entre A e B, normalmente abrupta, podendo ser clara e raramente gradual, além de possuírem argila de baixa atividade.

O horizonte B textural apresenta cerosidade⁷ e pode apresentar “*lamelas de espessura superior a 1cm com distâncias variáveis entre si e perfazendo, em conjunto, um total igual ou superior a 15 cm no perfil de solo*”. (CARVALHO et al., 1997 p.211)

⁷ Segundo Lepsch (2005 p.91), o horizonte B textural caracteriza-se por apresentar acúmulo de argila por migração do horizonte A. Deste modo, o horizonte B apresenta estrutura com agregados na forma de blocos revestidos por finas películas de argila. Estas são chamadas de cerosidade.

Segundo os referidos autores, o horizonte A, que pode ser subdividido em A1, A2 e A3, possui espessura entre 10 e 70 cm, sendo que para a maioria encontraram valores entre 25 e 30cm. Deste modo, tal horizonte se caracteriza por apresentar grande espessura, textura arenosa, estrutura fraca, de tamanho pequeno e de forma granular macia, muito friável, não plástica e não pegajosa.

O horizonte B apresenta espessura superior a 200cm, textura normalmente franco arenosa ou franco argilo arenosa, estrutura fraca a moderada, pequena a média, blocos subangulares, cerosidade fraca e pouca, consistência ligeiramente dura a muito dura, friável a muito firme, ligeiramente plástica a plástica e ligeiramente pegajosa a pegajosa e transição gradual ou difusa entre sub-horizontes.

A referida transição abrupta entre os horizontes A e B e a sua ocorrência freqüente em relevos de maiores declividades, segundo Carvalho et al. (1997), caracterizam tais solos como muito susceptíveis à erosão, haja vista que a menor permeabilidade do horizonte subsuperficial favorece o escoamento superficial das águas pluviais.

Os Argissolos Vermelhos, praticamente não estão presentes no baixo curso da bacia, exceção para seu extremo sudeste, na área de influência dos córregos da Jaguatirica e da Jacutinga. No médio curso, ocupa tanto a margem direita quanto esquerda da bacia, exceção para a área correspondente ao Planalto das Lagoas, onde não pode ser verificada a sua presença. No alto curso, na margem direita, tal classe de solos ocupa todo o divisor, desde a cidade de Nova Pátria até Regente Feijó. Além disso, ocupa também o limite alto/médio curso.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos não ocorrem no baixo curso e em toda a margem esquerda do médio curso. Apresentam-se em grandes manchas na margem direita do médio curso e sua maior expressão ocorre no alto curso da bacia.

Os Gleissolos Hápicos são solos de natureza mineral ou organo-mineral, caracterizados por gleização, indicando condições de restrição de drenagem. Sua espessura é variável, porém normalmente em torno de 200cm.

Dependendo do material de origem, ocorrem variações na seqüência de horizontes e camadas, alternando-se a textura arenosa e média.

Tais solos situam-se, principalmente, nas áreas mal drenadas e sujeitas a inundações freqüentes das planícies aluviais, caracterizando-se como relevos planos e de cotas altimétricas

baixas. Segundo Carvalho et al. (1997), na área de estudo, tais solos apresentam alguma expressão cartográfica nas margens, principalmente do Santo Anastácio.

Os Neossolos Flúvicos são solos predominantemente minerais, pouco desenvolvidos, relativamente recentes, originados a partir de sedimentos inconsolidados aluviais ou colúvio-aluviais, provenientes de deposições recentes referidas ao Holoceno. Além disso, variam de bem a moderadamente drenados.

Tendo em vista o pouco tempo de atuação dos fatores de formação, não ocorre desenvolvimento de horizontes diagnósticos diferenciados, exceção para o horizonte A, que se constitui em horizonte pedogenético.

Na área de estudo, tal solo se distribui ao longo da rede de drenagem, onde o relevo apresenta-se com declividades inferiores a 3%.

Os Neossolos Litólicos são solos minerais pouco desenvolvidos, com horizonte A chernozêmico ou moderado, desenvolvido sobre a rocha matriz ou sobre horizonte C pouco espesso.

Originados a partir de rochas sedimentares areníticas, tais solos possuem textura arenosa (areia e areia franca) e média (franco arenosa); estrutura fraca, pequena, granular; consistência muito friável ou friável, não plástica e não pegajosa ou ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta, clara ou gradual plana, ondulada ou descontínua entre o horizonte superficial e a rocha matriz ou o horizonte C.

Segundo Carvalho et al. (1997) é possível verificar a sua ocorrência em locais de relevo ondulado, com declividades entre 8 e 20%, podendo também ocorrer em terrenos suavemente ondulados, de declividades entre 3 e 8%.

As características do relevo e a pequena espessura do perfil permitem caracterizar tais solos como susceptíveis à erosão.

A ocorrência desta subordem não foi verificada no baixo curso da bacia. No médio curso, verifica-se a presença de pequenas manchas espalhadas e externas ao Planalto das Lagoas. No alto curso, pode ser observado o registro da maior mancha, amostra 76, ao longo de toda a margem esquerda do Córrego Pindaíba, margem esquerda do rio Santo Anastácio, até pouco à jusante do reservatório localizado na confluência do Córrego do Cedrinho. Neste caso, porém, ocorre em associação a Argissolos Vermelho-Amarelo.

A distribuição das subordens mencionadas no interior das amostras circulares para o Alto, Médio e Baixo Cursos da bacia do rio Santo Anastácio pode ser observada a partir das figuras 5.12, 5.13 e 5.14.

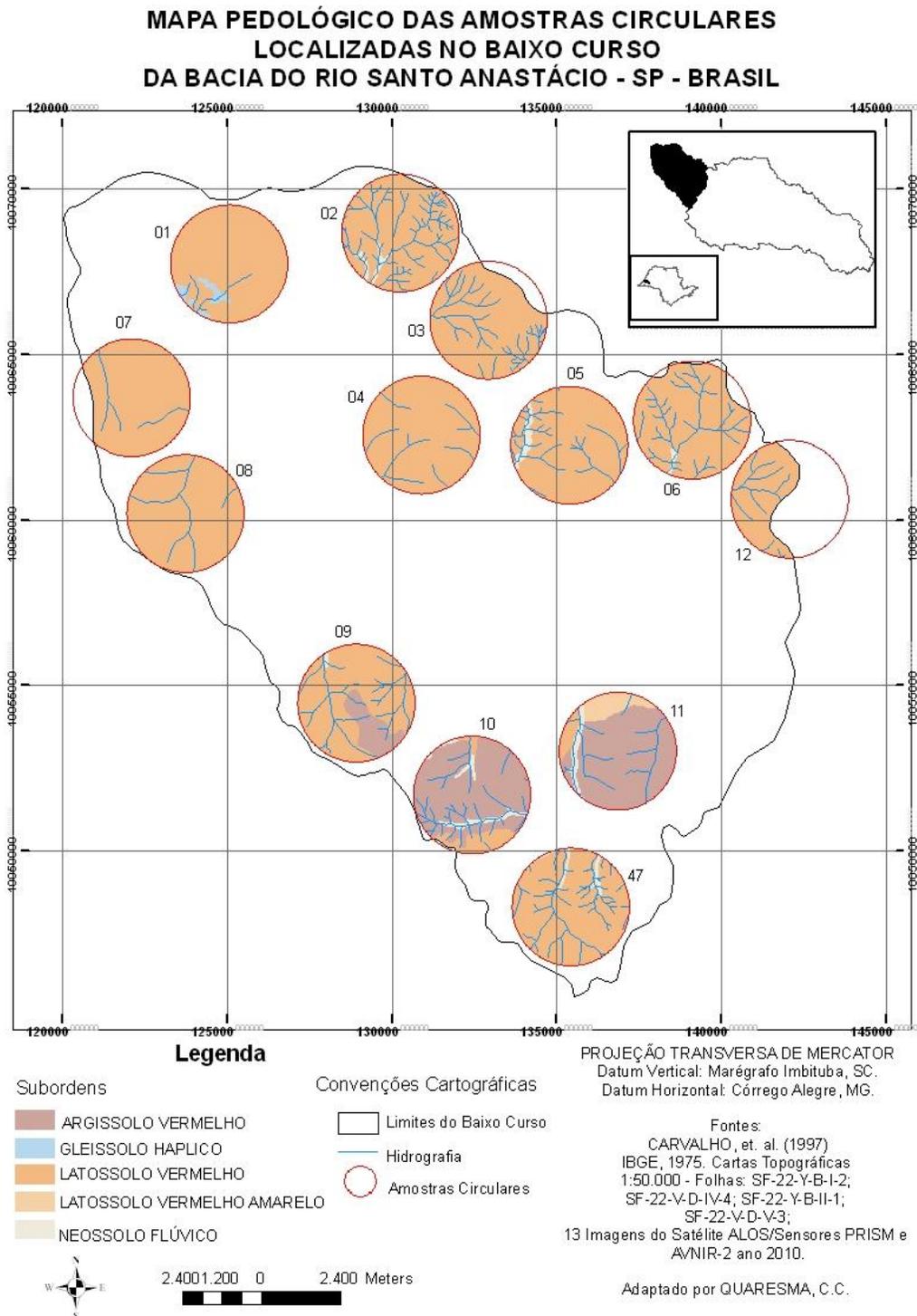


Figura 5.12: Mapa pedológico das amostras circulares - Baixo Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.

Fontes: (vide figura)

**MAPA PEDOLÓGICO DAS AMOSTRAS CIRCULARES LOCALIZADAS NO MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO
SP - BRASIL**

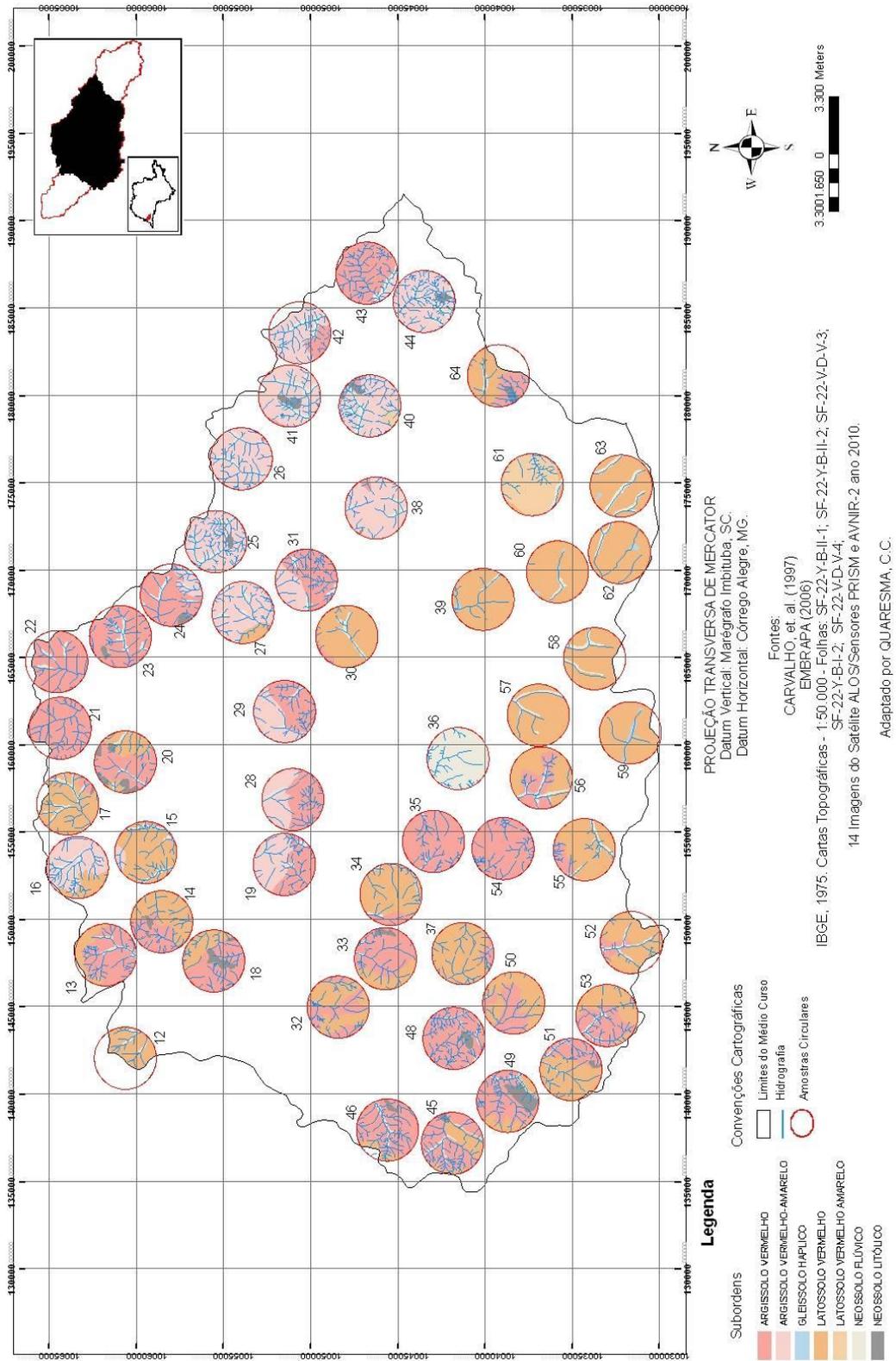


Figura 5.13: Mapa pedológico das amostras circulares - Médio Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.

Fontes: (vide figura)

**MAPA PEDOLÓGICO DAS AMOSTRAS CIRCULARES
LOCALIZADAS NO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO
SP - BRASIL**

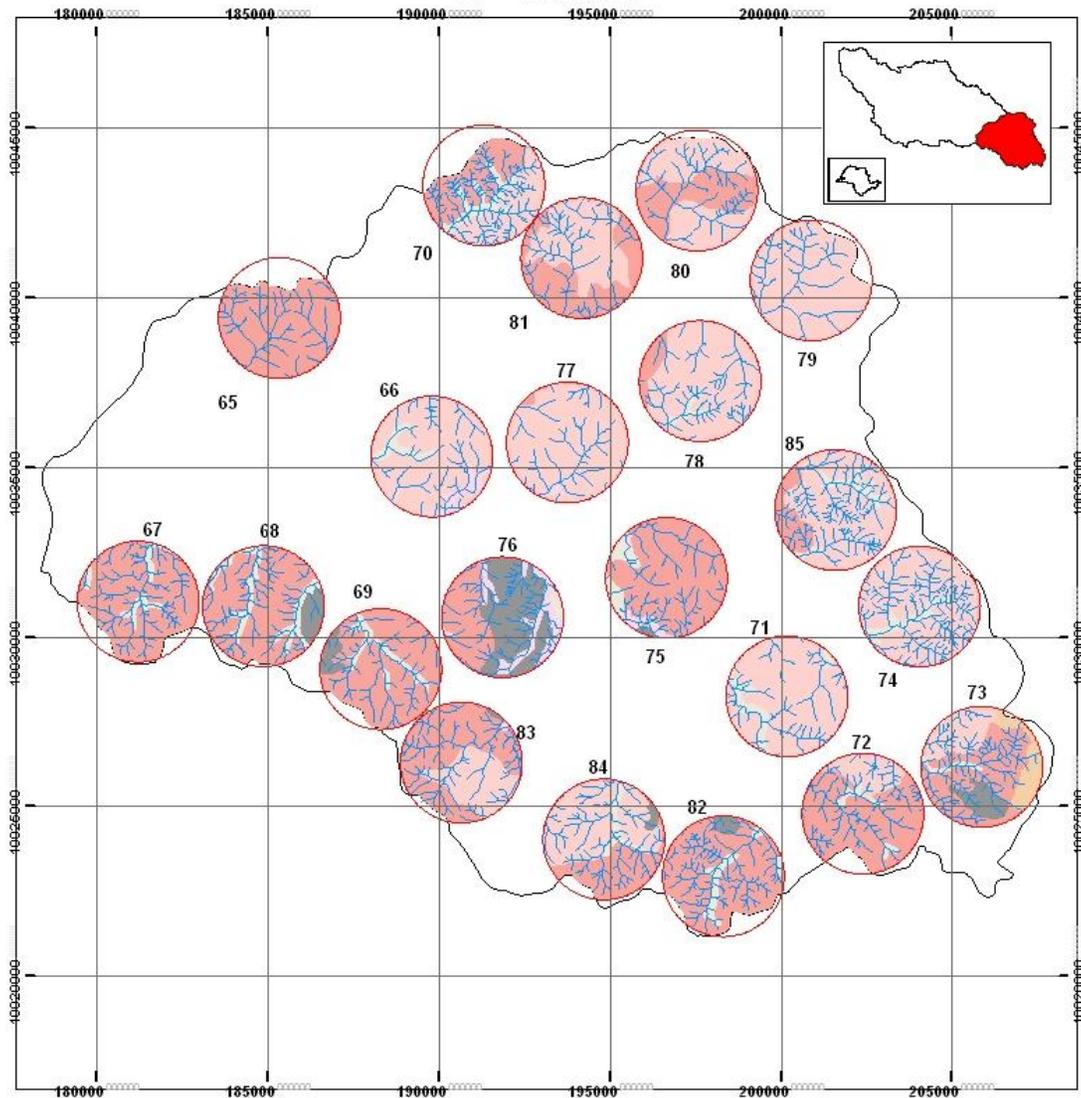


Figura 5.14: Mapa pedológico das amostras circulares - Alto Curso - Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.
Fontes: (vide figura)

5.5 O processo de uso e ocupação e a erosão na bacia do rio Santo Anastácio.

O início do processo de uso e ocupação da bacia do rio Santo Anastácio não se difere substancialmente do ocorrido em toda região do Pontal do Paranapanema, na qual se insere.

Assim, no processo de uso e ocupação de tal região *“desrespeitou-se a lei, a comunidade e, sobretudo, a ecologia regional, último reduto das matas tropicais do Planalto Paulista”* (LEITE, 1998).

Segundo o referido autor, foram presentes a incompetência e a complacência dos governos com relação à destruição do ambiente físico, manifestadas através da ausência de mentalidade conservacionista e de política séria de proteção ambiental, bem como pela manipulação das leis, a fim de beneficiar poderosos, possuidores de títulos de posse fraudados.

Até o final do século XIX, o sudoeste paulista permaneceu praticamente esquecido e a última vila da província de São Paulo era Botucatu.

Segundo Leite (1998), a ocupação de tal território somente se efetiva com a abertura da Estrada de Ferro Sorocabana, a qual fora fortemente incentivada pelo governo federal, por razões militares e políticas.

Contrariamente a outras regiões, o transporte antecedeu a ocupação e a ferrovia permitiu não esperar a produção agrícola para promover a ampliação dos negócios (STEIN, 1999).

O avanço da referida ferrovia da vila de Botucatu até o rio Paraná durou 33 anos, correspondendo ao período entre 1889 e 1922, chegando, neste último, a Presidente Epitácio. Entre esses anos, a estrada de ferro atingiu Manduri, em 1906; Salto Grande, em 1910 e Presidente Prudente, em 1917.

O reconhecimento do sudoeste paulista se completa pelas expedições organizadas pelo governo do estado de São Paulo, as quais exploraram os principais rios da região no início do século XX.

Diante do novo cenário de conhecimento e da estrutura de transporte criada, aumentou a procura de terras para o plantio de café. De acordo com Leite (1972) e Monbeig (1984), os cafeicultores foram os responsáveis pelo povoamento da área a partir de 1920, contribuindo para o surgimento de municípios e distritos de paz.

Dentre estes, como exemplo, pode ser citado o município de Presidente Prudente, criado em 28 de novembro de 1921, com extensão aproximada de 15.600km², tendo por limites, ao

norte, o divisor de águas do rio Aguapeí e Peixe; ao sul, o rio Paranapanema; a leste, os municípios de Campos Novos e Conceição do Monte Alegre e, a oeste, o rio Paraná. A área atual do município de Presidente Prudente é de aproximadamente 562km² (IBGE, 2010). A redução se explica pelo desmembramento sofrido ao longo dos anos subsequentes, que resultou na criação dos municípios situados entre Rancharia e Presidente Epitácio.

Leite (1998) também registra que, em 1925 e 1926, foram criados Santo Anastácio e Presidente Venceslau respectivamente. Deste último, apontado pelo referido autor, como território onde se realizariam os mais estranhos negócios de terras, originaram-se os municípios de Presidente Epitácio, às margens do rio Paraná, no ano de 1944; Marabá Paulista em 1958 e Teodoro Sampaio em 1964.

A lógica de ocupação empregada no oeste paulista não se diferenciou da do leste, exceção para a maior rapidez com que ocorreu. Assim, adotou-se o princípio de que bastava desmatar e plantar (STEIN, 1999).

Apesar dos trâmites legais e ilegais que envolveram as discussões de direito de propriedade de tais terras, envolvidos por grilos, grileiros, especuladores, simples ocupantes e jagunços, não houve impedimento ou redução da ocupação e exploração das mesmas. Tal fato resultou na remoção da cobertura vegetal natural e na eliminação de milhares de metros cúbicos de madeira da floresta pré-existente (LEITE, 1998).

A construção da Estrada de Ferro Sorocabana, as plantações de algodão e café, além de interesses econômicos na exploração de madeira e da fauna local estão entre as causas fundamentais da devastação realizada.

Segundo Leite (1998), a exuberante cobertura vegetal natural do Pontal do Paranapanema poderia ser caracterizada como floresta tropical, cuja fisionomia se aproximava da Hiléia.

Tendo em vista a não realização de inventário florestal do Pontal do Paranapanema, Leite (1998) ressalta a impossibilidade de fazê-lo, tendo em vista a total devastação das matas pré-existentes.

Estudos realizados pelos técnicos do Serviço Florestal do Estado de São Paulo referentes às matas pertencentes à reserva do Morro do Diabo são importantes, tendo em vista que as espécies identificadas podem “servir de amostragem, sem dúvida, para todo o Pontal, salvo para os varjões” (LEITE, 1998)

Tais estudos reconhecem a existência de dois tipos de florestas, sendo um mais denso, caracterizado por árvores mais altas, de altura média de 15m, e o outro, com vegetação menos densa e constituída por árvores cuja altura média era de 13 m.

Dentre as principais espécies arbóreas identificadas, podem ser citadas Peroba, Guarita, Marfim, Cedro, Canelão, Angicos, Gurucaia e Ipês, sendo verificada predominância das Perobas.

Além da exuberante vegetação, existia rica fauna, tanto associada às áreas mais úmidas próximas aos rios, como às áreas de floresta.

O relatório realizado pela Comissão Geográfica e Geológica, resultante da expedição no rio do Peixe de 1913, trata-se de importante estudo que ressalta a riqueza faunística existente na referida área.

A riqueza biológica, segundo Leite (1998), explica grande parte da atração de interesses para a área do Pontal. Assim, as madeiras constituíam-se em matéria-prima para a produção de combustível lenhoso, construção das primeiras casas urbanas ou rurais de todo o sudoeste paulista, além de servirem para exportação. A caça de animais, por sua vez, era estimulada, para fins de alimentação dos primeiros povoadores, e para obtenção de peles de algumas espécies, as quais obtinham preços altos no comércio de exportação.

Para se ter idéia da atividade de extração de madeira, somente em Presidente Prudente, no ano de 1936, segundo Leite (1998), funcionavam dezenove grandes serrarias.

Segundo Fonzar (1981), o avanço da colonização desmatou e eliminou praticamente toda a cobertura vegetal primitiva, já na década de 1950, tendo em vista que nos anos 60 tal cobertura era extremamente reduzida.

Leite (1972), em sua tese de doutoramento, apresenta dados referentes ao número de vagões destinados ao transporte de madeira a partir de Presidente Prudente, o que lhe permitiu concluir que as exportações de toras e de madeira aparelhada praticamente cessaram no início da década de 60.

Tendo em vista a inauguração da estação de Presidente Prudente em 1919, pode-se afirmar que:

“...no curto espaço de 40 anos, pouco mais de 20 anos para a região das cabeceiras do vale, a cobertura vegetal foi totalmente removida, alterando drasticamente as condições hídricas dos terrenos e trazendo todas as conseqüências sabidas” (STEIN, 1999 p.109)

O ritmo acelerado da remoção da cobertura vegetal na bacia do rio Santo Anastácio, nos municípios de Presidente Prudente, Santo Anastácio, Presidente Venceslau e Presidente Epitácio, seguindo a seqüência das cabeceiras à foz, pode ser observado na figura 5.15.

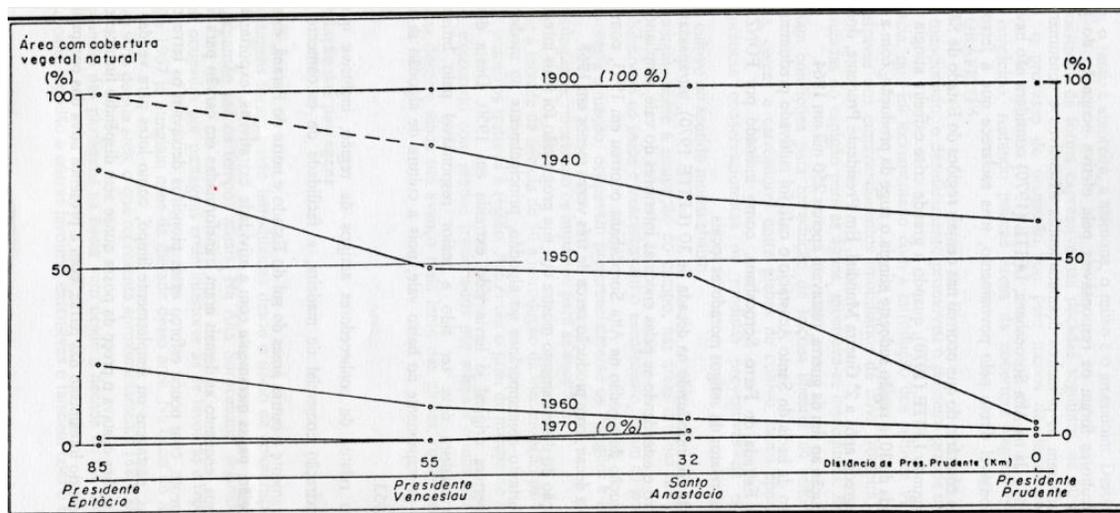


Figura 5.15: Evolução do desmatamento de municípios - Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil. Fonte: Fonzar (1982)
Apud: STEIN, (1999)

A figura 5.15 permite verificar o desmatamento de mais da metade da área nos anos 50, isto é, em um período correspondente a cerca de 30 anos. A outra metade foi desmatada até os anos 60, demonstrando maior aceleração desse processo, haja vista corresponder a um período de cerca de 10 anos.

As áreas desmatadas eram disponibilizadas para a implantação de culturas, dentre as quais, as mais expressivas são as de café e de algodão.

Segundo Fonzar (1981), na bacia do rio Santo Anastácio, o café foi cultivado predominantemente ao longo do espigão da Estrada de Ferro Sorocabana, e sua área começou a regredir após a Segunda Guerra Mundial, conforme apontou Leite (1972).

Já a cultura do algodão, cuja introdução se processou na década de 30, se estendeu pelas encostas interiores da bacia, aumentando o desmatamento. Torna-se importante mencionar que o desmatamento mais intenso, entre as décadas de 40 e 60, foi, segundo Stein (1999),

contemporâneo a este tipo de cultivo, haja vista que, conforme Leite (1972), a produção de algodão alcançou seu auge em 1953, decaindo logo em seguida.

A partir desse momento, *“a exploração de madeira deve ter sido a maior responsável pelo brusco incremento no desmatamento, principalmente do baixo vale”*. (STEIN, 1999 p.111)

Leite (1972) também destaca outras culturas relevantes introduzidas entre as décadas de 40 e 50, tais como a amoreira, a de mamona, de amendoim e de milho, dentre as quais apenas as duas últimas persistiram de forma significativa no decorrer das duas décadas seguintes.

De forma geral, de acordo com Stein (1999), o desmatamento representou o primeiro grande impacto nas condições naturais da bacia do Santo Anastácio. Além disso, a estrutura da colonização e a definição de glebas estreitas e alongadas do espigão aos cursos d'água se mostravam inadequadas e promoviam condições para o desenvolvimento de erosões lineares no sentido morro abaixo.

O fim dos ciclos do café, do algodão e de outras culturas e a redução drástica na extração de madeira na década de 60 foram acompanhados por expansão significativa das áreas ocupadas por pastagens, apesar dessa forma de uso e ocupação existir desde o início da colonização da área, conforme apontado por Leite (1972).

Ainda segundo o autor, em 1940, as áreas ocupadas por culturas agrícolas superavam aquelas ocupadas por pastagens, sendo estas equivalentes a 11,5% da área total da Alta Sorocabana. Já em 1967, registrou-se ampliação das pastagens, as quais passaram a ocupar cerca da metade da referida área.

De acordo com Stein (1999), as áreas de pastagem na década de 90 correspondiam a valores próximos a 90% da área total da bacia do rio Santo Anastácio.

Segundo o referido autor, a instalação das pastagens diminui parcialmente o quadro de degradação estabelecido pelo desmatamento e pelas práticas inadequadas de cultivo agrícola. No entanto, apesar das pastagens serem menos agressivas em relação à remobilização dos solos, tal uso encontrou solos depauperados e fragilizados.

Práticas de manejo mais coerentes em relação às características dos elementos naturais começam a ser adotadas de maneira significativa nos anos 90, porém ainda carecendo de maior balizamento técnico. (STEIN, 1999)

Com relação ao avanço das áreas urbanas, Fonzar (1981) aponta que a migração da população do campo é identificada logo na década de 1940. Entretanto, a grande produção

agrícola verificada até o final da década de 1950 garantia oferta abundante de trabalho e maior concentração da população nas áreas rurais dos municípios englobados pela bacia.

Com o declínio da produção agrícola, tal situação é revertida e a falta de oportunidades de trabalho faz aumentar as migrações e, conseqüentemente, a concentração da maior parte da população nas áreas urbanas.

De acordo com dados apresentados por Fonzar (1981), é possível verificar, logo na década de 1960, ou seja, cerca de quarenta anos após o início da colonização da área, a maior concentração das populações em áreas urbanizadas dos municípios de Santo Anastácio, Presidente Prudente, Presidente Venceslau e Presidente Epitácio. O processo de êxodo rural, segundo Stein (1999), pode ser considerado consumado na década de 80. Para este autor, a rapidez e a maneira com que se processou a expansão urbana e de forma geral a ocupação da bacia do Santo Anastácio, sem demonstrar qualquer planejamento ou cuidado preservacionista, alteraram de forma drástica o comportamento hídrico dos terrenos, ao promoverem a impermeabilização dos solos e exacerbarem o escoamento pluvial superficial e concentrado, criando assim condições e agentes para o desencadeamento intenso da erosão, com destaque para ravinas e voçorocas, resultando em panorama de total degradação também dos corpos d'água superficiais.

5.6 Usina Hidrelétrica de Porto Primavera

No final da década de 90 e início do século XXI, o Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio sofreu inundação devido à construção da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta, também conhecida como Usina Porto Primavera, localizada no Rio Paraná, há 28 km em direção de montante de sua confluência com o Rio Paranapanema, à altura do município de Rosana/SP-Brasil. Tal Usina é caracterizada por apresentar a barragem mais extensa do Brasil, com 10.186,20m de comprimento e seu reservatório possui 2.250 km².

Segundo dados da Companhia Energética de São Paulo (CESP), a primeira etapa do enchimento do reservatório foi concluída em dezembro de 1998, atingindo a cota de 253,00 m, e a segunda etapa, finalizada em março de 2001, atingiu a cota de 257,00 m. Torna-se importante mencionar que cerca de 80% de seu lago encontra-se no estado de Mato Grosso do Sul e, tendo em vista que este é comparado a cerca de sete vezes o tamanho da baía de Guanabara – RJ/Brasil,

Perez Filho et al. (2001) apontaram para a provável influência de seu peso no rebaixamento da área, constituindo-se em possível ação antrópica na reativação de processos erosivos remontantes na região do Pontal do Paranapanema.

5.7 Análise temporal com base em amostras circulares

5.7.1 Análise morfométrica da rede de drenagem

Levando-se em consideração a primeira parte do objetivo geral e o primeiro objetivo específico da presente tese, resumidos na verificação de ocorrência de reativação da rede de drenagem e da evolução da mesma, entre os anos de 1962 e 2010, foram adotados índices referentes à análise morfométrica areal de bacias hidrográficas.

O alargamento de bacias, a busca do estabelecimento de perfis de equilíbrio pela erosão remontante e a luta da rede de drenagem, que se reflete na ocorrência generalizada de capturas fluviais, tratam-se de processos característicos do primeiro estágio do ciclo geográfico proposto por Davis (1899), após ruptura do estado de equilíbrio devido a mudanças no nível de base geral.

Diante do exposto, dentre os índices morfométricos existentes, para se verificar a possível reativação da rede de drenagem, foram selecionados os índices densidade de drenagem (Dd) e densidade hidrográfica (Dh).

O primeiro correlaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia hidrográfica em estudo. Christofolletti (1969) expõe que para se calcular o comprimento devem ser medidos tanto os rios perenes como os canais intermitentes, uma vez que, caso a medição se restrinja somente aos cursos perenes, o resultado, além de falso, é maior em relação à pluviometria elevada e bem distribuída no decorrer do ano. A omissão dos canais fluviais intermitentes não permitiria medições e o cálculo seria nulo em áreas secas.

O índice densidade de drenagem foi inicialmente definido por Horton (1945), e seu cálculo é realizado pela seguinte fórmula:

$$Dd = L / A$$

Onde,

Dd = Densidade de drenagem;

L = Comprimento total dos canais;

A = Área da bacia considerada;

Tendo em vista o exposto por Christofletti (1969) de que a densidade de drenagem tem por finalidade comparar o comprimento dos canais existentes em área de tamanho padrão, adota-se, no lugar da área da bacia, a área da amostra circular.

Deste modo, aplica-se metodologia semelhante à adotada por Rodrigues (2006).

Apesar de a autora ter substituído o comprimento total dos canais de todas as ordens existentes, pela somatória dos comprimentos dos canais de primeira ordem, no presente trabalho, optou-se por manter a fórmula original de Horton (1945), tendo em vista que a consideração apenas dos canais de primeira ordem podem resultar em conclusões incoerentes em relação ao diagnóstico de reativação da rede de drenagem.

A figura 5.16 permite melhor explicar tais observações.

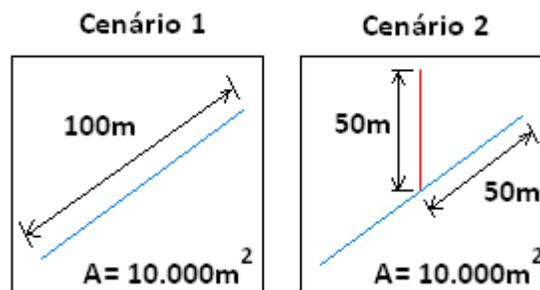


Figura 5.16: lustração de aumento no índice Dd.

Considerando mesma área de 10.000m² em dois cenários distintos, onde, no cenário 1, havia um canal de primeira ordem com 100m de comprimento e no outro cenário, ocorre surgimento de novo canal de primeira ordem, que deságua no centro do antigo canal existente, resultando assim em dois canais de primeira ordem, cada um com 50m de comprimento. O

cálculo da densidade de drenagem, baseado apenas no comprimento dos canais de primeira ordem resultaria no mesmo valor de densidade de drenagem para ambos os cenários considerados, a saber, 0,01canal/m². Quando se considera o comprimento total dos canais pertencentes à área, verifica-se que, para o cenário 2, o valor da Dd aumenta para 0,015 canal/m², o que corresponde a um incremento de 50% no referido índice. Tal resultado poderia indicar, somado a outras características, processo de reativação da rede de drenagem, o qual teria sido omitido caso fossem apenas considerados os comprimentos dos canais de primeira ordem.

O índice densidade hidrográfica também foi definido primeiramente por Horton (1945), o qual lhe deu a denominação de frequência de rios (*stream frequency*). Trata-se da relação existente entre o número de rios e a área da bacia hidrográfica, cuja fórmula segue:

$$Dh = N / A$$

Onde,

Dh = Densidade hidrográfica;

N = Número total de rios;

A = Área da bacia em estudo;

O número de rios, para Horton (1945), trata-se da somatória total de todos os segmentos de canais de cada ordem. Porém, tendo em vista os objetivos do presente trabalho, adotaram-se as adaptações realizadas na referida fórmula e utilizadas por Rodrigues (2006) e Simon (2010).

Tais adaptações substituem o número total de rios pelo número total de canais de primeira ordem, segundo hierarquia fluvial proposta por Strahler (1952), e o valor da área da bacia pela área de uma amostra circular.

Essas modificações se encaixam nos objetivos do presente trabalho, tendo em vista que o aumento significativo de canais de primeira ordem já reflete condições de reativação da rede de drenagem.

5.7.2 Restituição da rede de drenagem

A fim de comparar os índices Dd e Dh, referentes aos anos de 1962 e 2010, no interior das 85 amostras circulares selecionadas, restituíram-se as redes de drenagem em cada um dos anos considerados.

Na análise temporal da evolução da rede de drenagem, procurou-se proceder de acordo com a metodologia apontada por Nunes et al. (1995), segundo a qual, inicia-se com a montagem do mapa de drenagem a partir da utilização de bases cartográficas em escala adequada e de imagens de sensores. Os procedimentos desta etapa se resumem no detalhamento do traçado da drenagem existente nas bases cartográficas pela utilização das imagens dos referidos sensores utilizados.

Após tal atividade, deve-se conferir e revisar o traçado dos canais de drenagem em relação ao documento de origem de onde a mesma foi extraída, tomando-se o cuidado de efetuar a integração de toda a rede.

A utilização de fotografias e de imagens de satélite é fundamental para maior aproximação das condições reais da rede de drenagem, tendo em vista que, conforme expõem Ricci e Petri (1965), as cartas topográficas de uma determinada área, ainda que bem elaboradas e apresentadas em escalas grandes, suprimem canais fluviais, em função de valores de estética cartográfica por parte de seus autores. Deste modo, foram adquiridos materiais e executados procedimentos metodológicos, conforme seguem:

Como base cartográfica, utilizou-se as seguintes folhas topográficas:

Folhas topográficas de escala 1:50.000 do IBGE, cujos nomes são: Marabá Paulista (SF-22-Y-B-II-1), Pirapozinho (SF-22-Y-B-III-3), Presidente Bernardes (SF-22-Y-B-II-2), Presidente Epitácio (SF-22-V-D-IV-4), Presidente Prudente (SF-22-Y-B-III-1), Presidente Venceslau (SF-22-V-D-V-3), Ribeirão das Anhumas (SF-22-Y-B-I-2) e Santo Anastácio (SF-22-V-D-V-4).

Para o detalhamento da rede de drenagem, utilizou-se dos seguintes materiais e procedimentos:

- Fotoíndice pancromático datado do ano de 1962, em escala aproximada de 1:100.000, proveniente do Levantamento aerofotográfico do Estado de São Paulo, realizado por Aerofoto Natividade Ltda. O qual foi obtido junto ao Instituto Agrônomo de Campinas/SP – IAC.

O fotoíndice foi utilizado analogicamente para localização dos fotomosaicos semicontrolados referentes à área de estudo.

- 28 Fotomosaicos semicontrolados pancromáticos datados do ano de 1962, em escala aproximada de 1:25.000, provenientes do Levantamento aerofotográfico do Estado de São Paulo, realizado por Aerofoto Natividade Ltda. Os mesmos foram obtidos junto ao Laboratório de Geoprocessamento do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Nomes: 3E11, 3E12, 3E15, 3E16, 3F09, 3F10, 3F11, 3F13, 3F14, 3F15, 3F16, 3L03, 3L04, 3L08, 3M01, 3M02, 3M03, 3M04, 3M05, 3M06, 3M07, 3M08, 3N01, 3N02, 3N05, 3N06, 3N09 e 3N10.

Esse material, após seleção, foi digitalizado via scanner em resolução de 600dpi.

Inicialmente, optou-se pela utilização dos referidos mosaicos, tendo em vista que, conforme apontado por Garcia (1982), esses permitem visão geral da área a ser estudada, possuindo vantagens em relação às limitações espaciais de fotografias aéreas.

Tendo em vista se tratarem de mosaicos semicontrolados, os quais são produzidos através da triangulação radial, mas não da utilização de pontos de controle, os mesmos foram georreferenciados no software Arcgis 9.3, baseando-se em mais de 100 pontos de controle obtidos a partir das folhas topográficas em escala de 1:50.000, mencionadas em parágrafos anteriores. Deste modo, procurou-se reduzir ou excluir erros no posicionamento planimétrico das feições a serem estudadas.

Após esses procedimentos foram verificadas desvantagens em relação às fotografias aéreas. Tendo em vista os objetivos da presente pesquisa, dentre as três técnicas de fotointerpretação mencionadas por Westphalen (2009), a fotodedução torna-se a necessária, uma vez que muitos dos pequenos canais fluviais, sobretudo de primeira ordem, apresentam baixa visibilidade, necessitando assim de visão estereoscópica. Além disso, o processo de digitalização dos fotomosaicos resultou na redução de resolução, o que dificultou ainda mais as interpretações e a identificação de elementos específicos.

Desta forma, foram consultadas 332 Fotografias aéreas pancromáticas datadas do ano de 1962, em escala aproximada de 1:25.000, provenientes do Levantamento aerofotográfico do Estado de São Paulo, realizado por Aerofoto Natividade Ltda. As quais foram obtidas junto ao Laboratório de Geoprocessamento do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Números: de 5205 a 5208; 5261 a 5266; 5502 a 5513; 5515 a 5517; 5521 a 5525; 5554 a 5580; 5741 a 5751;

5754 a 5763; 5776 a 5783; 5785 a 5790; 5792 a 5799; 5800 a 5803; 5868 a 5892; 5905 a 5908; 5912 a 5930; 6017 a 6028; 6046 a 6048; 6085 a 6099; 6100 a 6102; 6105 a 6116; 6250 a 6275; 6353 a 6363; 6454 a 6457; 6477 a 6499; 6500 a 6508; 6517 a 6519; 6521 a 6524; 6526 a 6542; 6578 a 6585; 6751 a 6780. Os procedimentos adotados sobre fotografias aéreas seguiram àqueles descritos por Garcia (1982).

Como primeira ação, buscou-se orientar um par de fotografias pela identificação dos pontos principais, com auxílio das marcas fiduciais. Após este procedimento, seguiu-se com a identificação dos pontos principais conjugados localizados em cada fotografia adjacente. Deste modo, verifica-se que o ponto principal de uma fotografia aparece na fotografia adjacente deslocado do centro em direção à lateral apontada para aquela. A superposição dos pontos principais conjugados permitiu que se visse a linha de vôo. O posicionamento seqüencial das fotografias aéreas respeitou o sentido de vôo, para se evitar a pseudo-estereoscopia, ou seja, inversão das cotas altimétricas das feições da superfície, resultando na interpretação de cotas baixas como sendo altas e vice e versa.

A visualização do estereomodelo e a restituição da rede de drenagem de 1962 foram realizadas com auxílio de estereoscópio de bolso e seguiu as técnicas para fotointerpretação apresentadas por Garcia (1982).

Os limites das amostras circulares foram desenhados sobre os pares estereocópicos e a rede de drenagem foi traçada diretamente sobre as mesmas. Para a execução de ambos os procedimentos, utilizou-se de lápis dermatográfico.

Após esse procedimento, foi realizado escaneamento das fotografias contendo as informações traçadas, seguido pelo georreferenciamento e vetorização dos canais fluviais no software Arcgis 9.3.

Para a restituição da rede de drenagem de 2010 foram utilizadas 21 imagens, capturadas no referido ano, pelo sensor PRISM - *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping* do programa ALOS - *Advanced Land Observing Satellite*, obtidas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O sensor PRISM tratava-se de radiômetro pancromático, com resolução espacial de 2,5m no nadir. Devido a três sistemas ópticos independentes com visada nadir, frontal e para trás, e ao campo de visada amplo, o sensor permitia aquisição de pares estereoscópicos, com recobrimento de 35km, ao longo da direção de deslocamento da plataforma.

Tais características foram fundamentais para a seleção desse sistema, uma vez que seus produtos possuem todos os atributos necessários para que sejam comparados aos obtidos pela fotointerpretação estereoscópica em fotografias aéreas.

A visão estereoscópica de tais imagens foi gerada no software Arcgis 9.3, tendo sido necessária a utilização de óculos especiais. Deste modo, a vetorização da rede de drenagem de 2010, realizada no interior das amostras circulares, pôde ser executada diretamente em tela.

Importante mencionar que todas as bases e vetores foram adequados ao mesmo sistema de orientação, adotando-se a Projeção Transversa de Mercator e os Datums Vertical e Horizontal, respectivamente, Marégrafo de Imbituba – SC e Córrego Alegre – MG.

A restituição, em um primeiro momento, foi realizada individualmente para os anos de 1962 e de 2010. Posteriormente, realizou-se análise comparativa entre os dois cenários gerados, a fim de que possíveis erros pudessem ser identificados e corrigidos.

Os resultados foram expressos por mapas e, após inserção no software Excel 2003 da empresa Microsoft, foram gerados tabelas e gráficos que permitiram comparar os índices de densidade de drenagem e densidade hidrográfica entre os anos avaliados.

No decorrer das atividades descritas, além de se restituir a rede de drenagem, foi dada atenção à identificação de processos erosivos lineares em ambos os anos avaliados.

5.7.3 Evolução do uso e ocupação das terras entre os anos de 1962 e 2010

Tendo em vista o objetivo de verificar possíveis relações entre os processos geomorfológicos de interesse do presente trabalho e ações modificadoras do funcionamento do geossistema provocadas pelo sistema antrópico, foram produzidos mapas referentes ao uso e ocupação das terras para os anos de 1962 e 2010.

5.7.3.1 Mapa do uso e ocupação das terras para o ano de 1962

A classificação do uso e ocupação das terras no interior das amostras circulares distribuídas ao longo dos três cursos da bacia do rio Santo Anastácio, para o ano de 1962 foi realizada a partir de interpretação estereoscópica nas 332 fotografias aéreas citadas em parágrafo anterior.

As interpretações levaram em consideração elementos de reconhecimento apresentados por Garcia (1982), a saber:

Tonalidade: definida por diferenças na intensidade da radiação eletromagnética refletida, emitida ou dispersa por objetos na superfície e detectadas por sensores como variações de brilho. Como as fotografias aéreas utilizadas são em branco e preto, tais variações são percebidas pelas distintas tonalidades de cinza.

Textura: Refere-se à repetição tonal de grupos de objetos. As texturas podem ser caracterizadas como grosseira, fina, áspera, aveludada, etc.

Padrão: Trata-se de um modelo, que caracteriza os objetos criados pelo homem, tais como tipos de culturas agrícolas, estradas e ferrovias, e algumas ocorrências naturais, tais como falhas, juntas, diques, arranjo ordenado de rios, padrão de drenagem, entre outras.

Tamanho: Refere-se ao tamanho dos objetos e pode variar de acordo com a escala da imagem.

Forma: Expressão topográfica ou de contornos.

Sombra: Apesar de ser um empecilho na interpretação de algumas imagens, geralmente trata-se de elemento fundamental ao realçar as formas dos objetos.

Local: A localização absoluta e a relativa de certos objetos podem ser relevantes ao conhecimento da região.

Associação: algumas características somente poderão ser identificadas a partir da fotointerpretação pela associação de elementos. Este elemento é fundamental haja vista que muitas feições e objetos não aparecem diretamente na imagem ou fotografia, devido à resolução espacial.

Os procedimentos seguiram aqueles adotados no processo de restituição da rede de drenagem. Deste modo, as amostras foram traçadas sobre os pares estereoscópicos e os diferentes tipos de uso foram identificados com lápis dermatográfico. O material foi digitalizado por meio de escâner, possibilitando o georreferenciamento e vetorização no software Arcgis 9.3.

Para a definição das classes e das legendas utilizou-se como referência o “Manual Técnico de Uso da Terra” (IBGE, 2006).

Foram definidas 10 classes seguindo a estratificação geral estabelecida pelo referido manual, porém com adaptações necessárias aos interesses do presente trabalho, tendo em vista a realidade da área de estudo, principalmente em relação ao histórico evolutivo do uso e ocupação.

Deste modo, seguem:

- Áreas edificadas: compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não-agrícolas.
- Culturas anuais: correspondendo às áreas ocupadas por cultura de plantas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a produção deixa o terreno disponível para novo plantio. As culturas semipermanentes como a cana-de-açúcar e a mandioca, bem como as de algumas forrageiras destinadas ao corte, também estão incluídas nessa categoria.
- Culturas perenes: correspondem a áreas ocupadas por cultura de ciclo longo que permite colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio a cada ano.
- Corpos d'água: referem-se aos córregos e lagos encontrados na área de estudo;
- Silvicultura: corresponde às áreas de plantio ou formação de maciços com espécies florestais exóticas utilizados na recuperação de áreas degradadas ou para exploração econômica.
- Pastagens: compõe as áreas destinadas ao pastoreio do gado, formadas mediante plantio ou não de forragens perenes. Nessas áreas o solo está coberto por vegetação de gramíneas ou leguminosas, cuja altura pode variar de alguns decímetros a alguns metros.
- Solo exposto: referente às áreas cujos solos encontram-se expostos, ou cujos pastos apresentam-se degradados, além de áreas com significativa incidência erosiva e de mineração;
- Mata perturbada: compreende áreas cuja vegetação natural de mata foi alterada, sem que outros usos fossem dados às mesmas, tais como as áreas de exploração de madeira, comuns principalmente nas primeiras décadas do século XX, além de englobar áreas ocupadas por vegetação natural em estados iniciais de desenvolvimento;
- Mata remanescente: corresponde às áreas formadas por vegetação natural em estágio secundário;

5.7.3.2 Mapa do uso e ocupação das terras para o ano de 2010

Para o uso de 2010, além das imagens nadir do sensor PRISM, mencionadas anteriormente, foram utilizadas três cenas capturadas pelo sensor AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer Type 2*) também pertencente ao programa ALOS. O sensor

AVNIR-2 trata-se de radiômetro cuja operação situa-se na região do visível e infravermelho próximo. Por possuir boa resolução espacial (10m - nadir), seus produtos são indicados para o mapeamento de uso da terra e para monitoramento ambiental em nível regional.

As imagens foram importadas para o programa Arcgis 9.3, onde foram realizados o pré-processamento, correção geométrica e processamento digital.

Com o objetivo de facilitar o processamento dos dados, realizou-se agrupamento das bandas azul, verde, vermelho e infravermelho de cada cena, utilizando-se do comando “*Create raster dataset*”.

Para facilitar a interpretação das imagens e melhorar sua qualidade digital realizou-se o processo de realce linear. Esse procedimento executa espalhamento dos níveis de cinza da imagem digital, segundo uma função linear, onde dois parâmetros são controlados, a saber, a inclinação da reta e o ponto de inserção do eixo X. Quanto maior a inclinação da reta, maior a expansão do contraste. Os níveis de cinza da imagem original foram linearmente redistribuídos, mantendo-se suas posições relativas, e o menor e o maior valores, dentre os níveis de cinza existentes, foram convertidos para zero e para 255, respectivamente, segundo orientações em IBGE (2006).

O Arcgis 9.3 permitiu a união das imagens em mosaicos, bem como a transformação do seu sistema de referência, adotando-se o Córrego Alegre, em detrimento do WGS 1984.

Realizou-se a redução da dimensionalidade com o objetivo de diminuir o tempo de processamento do computador durante a execução do trabalho, através do comando “*Extract by polygon*” pertencente ao referido software do parágrafo anterior.

Foram adotadas as mesmas classes de uso utilizadas para a construção do cenário de 1962, tendo em vista a necessidade de se comparar ambos os cenários.

A identificação dos tipos de uso e ocupação estabelecidos foi realizada na tela do computador, delimitando-se os objetos manualmente pela utilização de mouse.

Foi necessário utilizar duas composições coloridas para a interpretação visual, a primeira em “cor verdadeira”, com a banda azul na saída do azul, a banda verde na saída do verde e a banda vermelha na saída do vermelho, e a segunda em “falsa cor”, com a banda azul na saída do azul, banda verde na saída do verde e banda do infravermelho próximo na saída do vermelho.

Para identificação do padrão espectral de cada tipologia de uso e ocupação foi utilizado o programa GoogleEarth®.

Para a diferenciação entre áreas agrícolas anuais e perenes utilizou-se do recurso “Imagens Históricas” do programa GoogleEarth[®] e do padrão espectral dos objetos identificados

5.8 Mapas de classes de declividade

Segundo Cunha (2001), o mapa de declividade quantifica a inclinação do terreno, sendo indispensável para avaliação de possibilidades de remobilização das formações superficiais.

Para esse importante índice morfométrico, foram adotadas classes utilizadas por Briguenti (2005), Rodrigues (2006), Quaresma (2008) e Simon (2010), estabelecidas a partir de limites elásticos definidos no Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação das Terras no Sistema de Capacidade de Uso (LEPSCH et. al., 1991), conforme classes abaixo:

- 0 – 3%: Áreas planas ou quase planas, onde o escoamento superficial ou enxurrada (deflúvio) é muito lento ou lento. O declive do terreno, por isso, não oferece nenhuma dificuldade ao uso de máquinas agrícolas e não existe erosão hídrica significativa, exceto, possivelmente, em vertentes cujas rampas sejam muito longas e com solos altamente suscetíveis à erosão ou quando recebam enxurradas de áreas vizinhas situadas à montante e mais declivosas.
- 3 – 6%: Áreas com declives suaves, nos quais, na maior parte dos solos, o escoamento superficial é lento ou médio. Os declives, por si só, não impedem ou dificultam o trabalho de qualquer tipo de máquina agrícola mais usual. Em alguns tipos de solos com esses declives, a erosão hídrica não oferece nenhum problema; em muitos deles, práticas simples de conservação são necessárias, enquanto em solos muito erodíveis e com comprimentos de rampa muito longos, proteções com práticas complexas podem ser necessárias, tais como sistema de terraços e faixas de retenção.
- 6 – 12%: Áreas com superfícies inclinadas, geralmente com relevo ondulado, nas quais o escoamento superficial, para a maior parte dos solos, é médio ou rápido. O declive, por si só, normalmente não prejudica o uso de máquinas agrícolas. Em alguns casos, a erosão hídrica oferece poucos problemas ou então pode ser controlada com práticas simples. Na maior parte das vezes, no entanto, práticas complexas de conservação do solo são necessárias, para que terras com esse declive possam ser cultivadas intensivamente.

- 12 – 20%: Áreas muito inclinadas ou colinosas, onde o escoamento superficial é rápido na maior parte dos solos. A não ser que os declives sejam muito complexos, a maior parte das máquinas agrícolas pode ser usada, mas com dificuldades. Solos desta classe são muito facilmente erodíveis, exceto aqueles muito permeáveis e menos arenosos. Normalmente áreas com esse tipo de declive só devem ser usadas para cultivos perenes, pastagens ou reflorestamento.
- 20 – 45%: Representada por áreas fortemente inclinadas ou íngremes, cujo escoamento superficial é muito rápido na maior parte dos solos, sendo estes bastante suscetíveis à erosão hídrica. Somente as máquinas agrícolas especiais ou mais leves podem ser usadas e, assim mesmo, com dificuldades.

Conforme pode ser observado nos itens descritos, as classes superiores a 45% não foram consideradas, tendo em vista a não verificação de áreas com tais declividades no interior da bacia em estudo.

Utilizando-se do software Arcgis 9.3, foram gerados mapas de declividades, com base nas informações altimétricas de curvas topográficas e de pontos cotados, todos vetorizados, a partir das cartas topográficas do IBGE digitalizadas, conforme descrição em item anterior.

As informações altimétricas, inseridas em colunas das tabelas de atributos dos respectivos layers, serviram para gerar modelo digital de declividade, base para criação dos mapas mencionados no parágrafo anterior.

5.9 Mapas Hipsométricos

As mesmas informações altimétricas apontadas no item anterior serviram para gerar modelo digital de elevação - MDE, cujos resultados permitiram elaborar mapas altimétricos para os três cursos da bacia do rio Santo Anastácio.

A delimitação das classes altimétricas foi elaborada com base nas altitudes médias das superfícies erosivas e de níveis fluviais descritos por Stein (1999) de forma individualizada e generalizada para o Baixo, Médio e Alto curso.

A importância de tal procedimento se explica pelas inserções entre níveis que muitas vezes podem estar associadas ao desenvolvimento de processos erosivos lineares.

5.10 Padrões de precipitações pluviométricas

A fim de verificar influências de atributos climáticos e meteorológicos na ocorrência dos processos geomorfológicos de interesse ao presente trabalho, bem como de melhor entender os padrões de distribuição e de concentração dos eventos pluviométricos na bacia em estudo, foram obtidas séries históricas de dados pluviométricos de estações do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), a partir do Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo, pertencente ao Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos deste estado, sob direção da Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos do seu Governo.

Na primeira etapa, foram levantadas as estações pertencentes aos municípios componentes da bacia do Santo Anastácio, resultando em um total de 32 estações, cujas coordenadas geográficas foram transformadas para coordenadas UTM. Tais valores foram inseridos no Arcgis 9.3, a partir da criação de layer em feição ponto. A sobreposição desses pontos no *layer* limites da bacia em estudo permitiu visualizar a distribuição das estações em relação a esta.

Na segunda etapa, realizou-se seleção de estações inseridas na Bacia do Santo Anastácio, ou próximas aos seus limites e que contivessem dados desde a década de 50. Tal seleção também buscou priorizar estações localizadas em cada um, ou próximas, dos três Cursos considerados, afim de que todos fossem analisados, conforme figura 5.17.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS - BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL

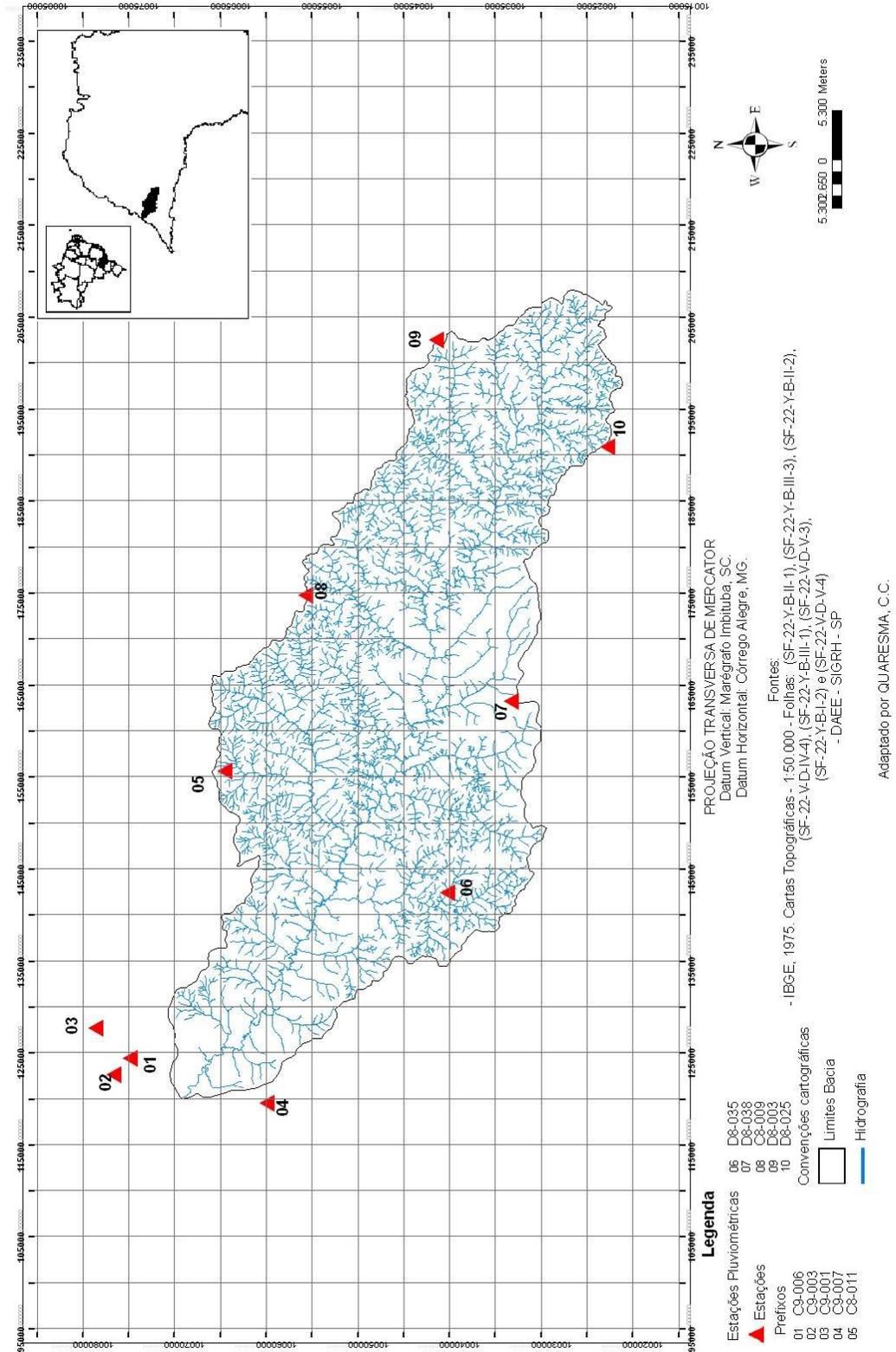


Figura 5.17: Mapa de localização e distribuição de estações pluviométricas selecionadas – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil (Fontes: vide figura).

Informações referentes às dez estações selecionadas podem ser visualizadas a partir da tabela 5.1.

MUNICÍPIO	PREF.	NOME	ALTIT.	LAT.	LONG.	BACIA	CURSOS
Pirapozinho	D8-025	Pirapozinho	470 m	22°16'	51°30'	Pirapozinho	ALTO
Presidente Prudente	D8-003	Presidente Prudente	460 m	22°06'	51°23'	Mandaguari	ALTO
Santo Anastácio	D8-038	Faz. Santa Isabel	415 m	22°10'	51°46'	Santo Anastácio	MÉDIO
Marabá Paulista	D8-035	Marabá Paulista	390 m	22°06'	51°58'	Santo Anastácio	MÉDIO
Santo Anastácio	C8-009	Santo Anastácio	450 m	21°58'	51°39'	Santo Anastácio	MÉDIO
Presidente Venceslau	C8-011	Presidente Venceslau	400 m	21°53'	51°50'	Santo Anastácio	MÉDIO
Presidente Epitácio	C9-007	Faz. Sul Mineira	350 m	21°55'	52°11'	Parana (superior)	BAIXO
Presidente Epitácio	C9-006	Presidente Epitácio	300 m	21°47'	52°08'	Parana (superior)	BAIXO
Presidente Epitácio	C9-003	Porto Tibirica (Snbp)	260 m	21°46'	52°09'	Parana (superior)	BAIXO
Presidente Epitácio	C9-001	Presidente Epitácio (C. Agr)	300 m	21°45'	52°06'	Parana (superior)	BAIXO

Tabela 5.1: Relação e detalhes de estações pluviométricas consultadas.

Fonte Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE

Conforme pode ser observado a partir da tabela 5.1, para o Alto curso, foram selecionadas duas estações, uma para o lado esquerdo (D8-025) e outra para o direito (D8-003) do vale principal.

Para o Médio curso, foram selecionadas duas estações, ambas no lado direito do vale principal. Estações localizadas no lado esquerdo do vale não puderam ser consideradas tendo em vista que as duas existentes (D8-035 e D8-038) não apresentaram dados anteriores a 1970. Foi necessário considerar as duas estações selecionadas, tendo em vista a dimensão dessa unidade analisada.

Para o Baixo curso, foram selecionadas quatro estações. A estação cujo prefixo é C9-007, localiza-se externamente à bacia, próxima ao seu divisor esquerdo. As estações C9-003, C9-001 e C9-006 localizadas próximas umas das outras e em área externa aos divisores do lado direito do vale, tiveram que ser consideradas em conjunto, tendo em vista que cada uma possui dados referentes aos períodos de 1938 a 1964, 1960 a 1969 e 1970 a 2000, respectivamente.

Os dados de precipitações pluviométricas em totais mensais referentes a cada ano entre a década de 50 e a primeira década do presente século, foram inseridos no software Microsoft Office Excel 2003, para geração de tabelas, cálculos de somatórias e médias, e geração de gráficos.

Após tais atividades, foram selecionados, por década, anos de maiores precipitações pluviométricas. Estes foram selecionados para realização de análises mais detalhadas, observando dados diários de chuva para os meses de maior e menor precipitação total. Tal procedimento se justifica tendo em vista que, conforme Bertoni e Lombardi Neto (1999), dados de chuva em totais mensais e anuais possuem pouca significância para o desencadeamento da erosão.

Segundo os mesmos autores, e conforme mencionado no subitem referente ao levantamento bibliográfico, o ideal seria a obtenção de dados de precipitação ao longo das horas dos dias, porém tais dados não foram encontrados. Deste modo, no presente trabalho procurou-se apresentar e analisar dados com o maior detalhamento disponível, os quais permitiram alcançar os resultados esperados.

5.11 Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo realizados objetivaram o reconhecimento da área de estudo, além da reambulação dos materiais cartográficos produzidos.

Tais atividades foram fundamentais para a identificação de processos erosivos nas vertentes e na rede de drenagem, indicadores de desestabilidade do sistema.

Também permitiram sanar dúvidas em relação a determinadas feições, principalmente relacionadas à ocorrência e localização de canais fluviais de difícil identificação nas fotografias aéreas, bem como nas imagens de satélite.

6 Resultados e Discussões

6.1 Dados morfométricos gerais

Conforme mencionado no item Material e Método, a criação dos *layers* referentes aos limites da bacia do Santo Anastácio e à sua rede de drenagem permitiu o cálculo das seguintes variáveis morfométricas da bacia em estudo:

- Maior comprimento: 98,21km;
- Maior largura: 40,16km;
- Desenvolvimento longitudinal ou comprimento do curso principal: 158,30km;
- Perímetro da bacia: 276,67km;
- Área da bacia: 2121,89km².

A figura 5.18 permite a visualização de tais medições.

MAPA DE VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL

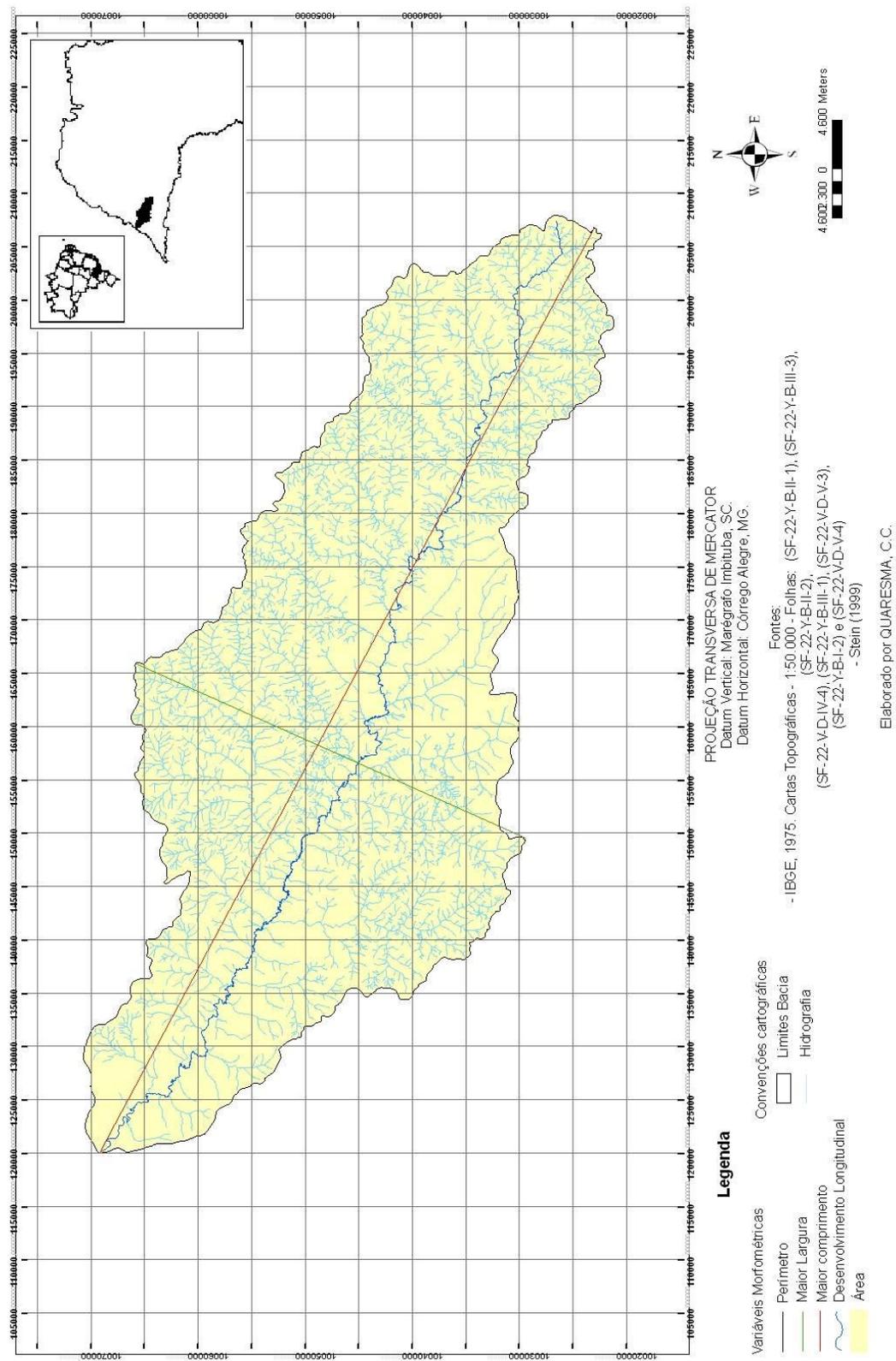


Figura 5.18: Mapa de variáveis morfométricas da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil.

Os demais resultados das análises realizadas no âmbito da presente pesquisa foram organizados tomando como base a divisão da bacia do Santo Anastácio, realizada por Stein (1999). Segundo este autor, tal divisão traduz as paisagens estabelecidas pelas relações ímpares entre o substrato geológico e formas de relevo, além de contemplar diferenciações estabelecidas por peculiaridades impostas pelo desenvolvimento das superfícies erosivas e pela dinâmica fluvial.

A adoção desse procedimento objetivou minimizar exposições repetitivas e explorar possíveis diferenciações nos elementos geossistêmicos, capazes de responder de formas distintas às solicitações e modificações impostas pelo sistema antrópico, permitindo, assim, melhor entendimento da ocorrência e evolução dos processos geomorfológicos de interesse neste trabalho.

6.2 Distribuição e concentração das precipitações pluviométricas

Segundo Carvalho et al. (1997), o médio curso da bacia, em comparação com os demais, caracterizou-se como aquele onde ocorre menor quantidade de precipitação pluviométrica. No presente trabalho, as análises dos dados de chuvas obtidos das estações pluviométricas do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, para o período entre as décadas de 50 e a primeira do presente século, não permitiram corroborar tais observações.

Os dados referentes às médias de totais anuais de precipitação pluviométrica entre os anos de 1960 e 1999 demonstraram que o Alto Santo Anastácio apresentou a maior quantidade de chuvas, equivalente a 1302,68mm, seguido pelo médio curso, com 1260,30mm e este, pelo baixo curso, com 1180,35mm.

Para efeito do cálculo das médias citadas no parágrafo anterior, foi necessário descartar a década de 50 e os primeiros anos do presente século, tendo em vista ocorrências de lacunas de medições, as quais poderiam corromper os resultados. De qualquer modo, é importante mencionar que o período considerado superou em nove anos aos trinta mínimos, para caracterização climática, conforme apontado por Ayode (2010).

Para Iwasa et al. (1999), o ano mais chuvoso na bacia do Santo Anastácio foi o de 1997, correspondendo à precipitação total de 1562,7mm. Já para Stein (1999), o ano mais chuvoso foi o de 1989, com precipitação total de 1692,9mm. Os dados obtidos para o presente trabalho

permitem identificar um ano mais chuvoso para cada um dos três Cursos da área de estudo. Deste modo, para o Baixo Santo Anastácio, o ano de 1972 pode ser apontado como o de maior precipitação total anual, correspondendo a 1926mm; Para o Médio Santo Anastácio, o ano de 1972, com total de 1752,10mm de chuva, correspondeu ao ano mais chuvoso; No Alto Curso, o ano de 1951 apresentou a maior precipitação total, com 1771,10mm.

Os dados analisados também permitiram corroborar os apontamentos de Iwasa et al. (1999), no que diz respeito à distribuição mensal das chuvas na Bacia do Santo Anastácio. Deste modo, os meses de dezembro e janeiro se mostraram como aqueles mais chuvosos, enquanto que os meses de julho e agosto correspondem ao período de estiagem, com médias de precipitação inferiores a 40mm.

As figuras 5.19, 5.20 e 5.21 apresentam dados de médias de totais mensais de precipitação pluviométrica entre os anos de 1960 e 1999, para cada um dos cursos da bacia do Santo Anastácio, tendo como base os dados das estações pluviométricas.

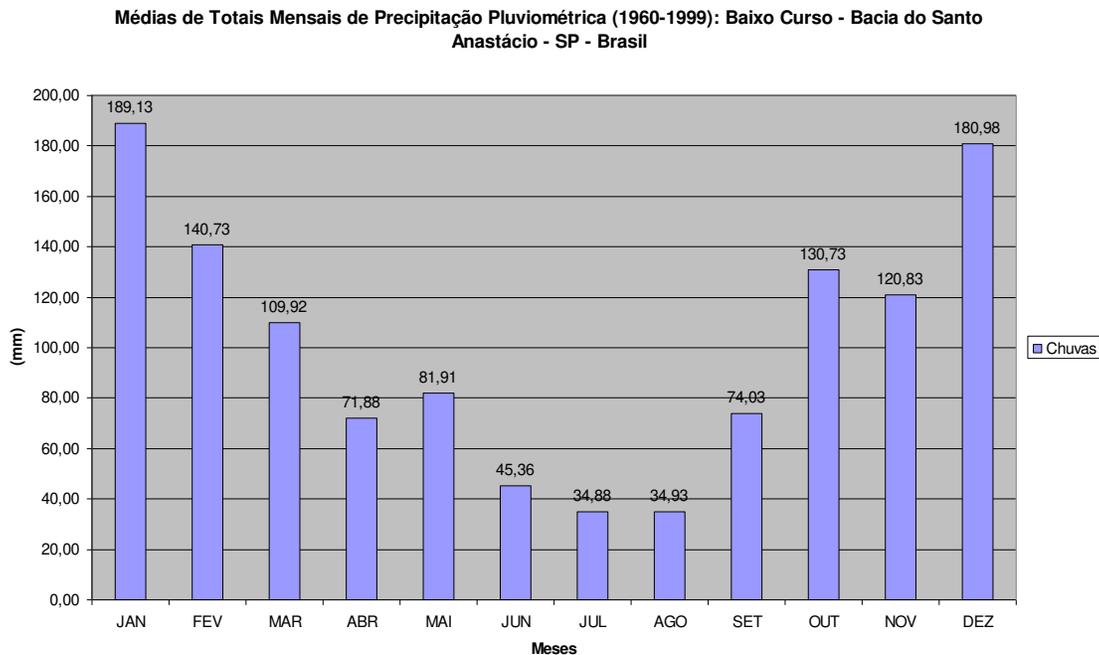


Figura 5.19: Médias de totais mensais de precipitação pluviométrica (1960-1999): Baixo Curso – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.

Médias de Totais Mensais de Precipitação Pluviométrica (1960-1999): Médio Curso - Bacia do Santo Anastácio - SP - Brasil

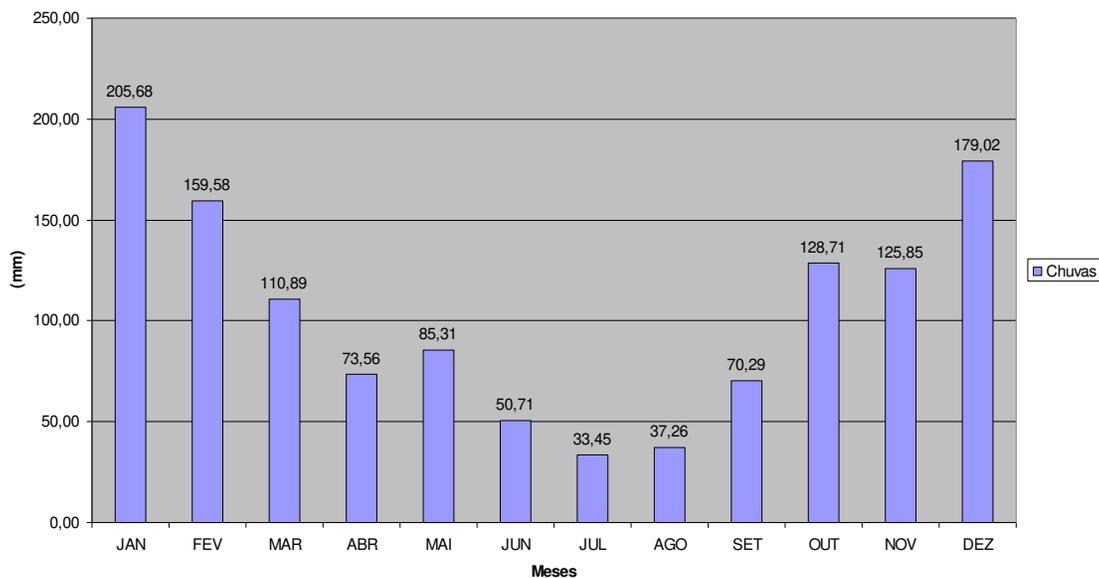


Figura 5.20: Médias de totais mensais de precipitação pluviométrica (1960-1999): Médio Curso – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.

Médias de Totais Mensais de Precipitação Pluviométrica (1960-1999): Alto Curso - Bacia do Santo Anastácio - SP - Brasil

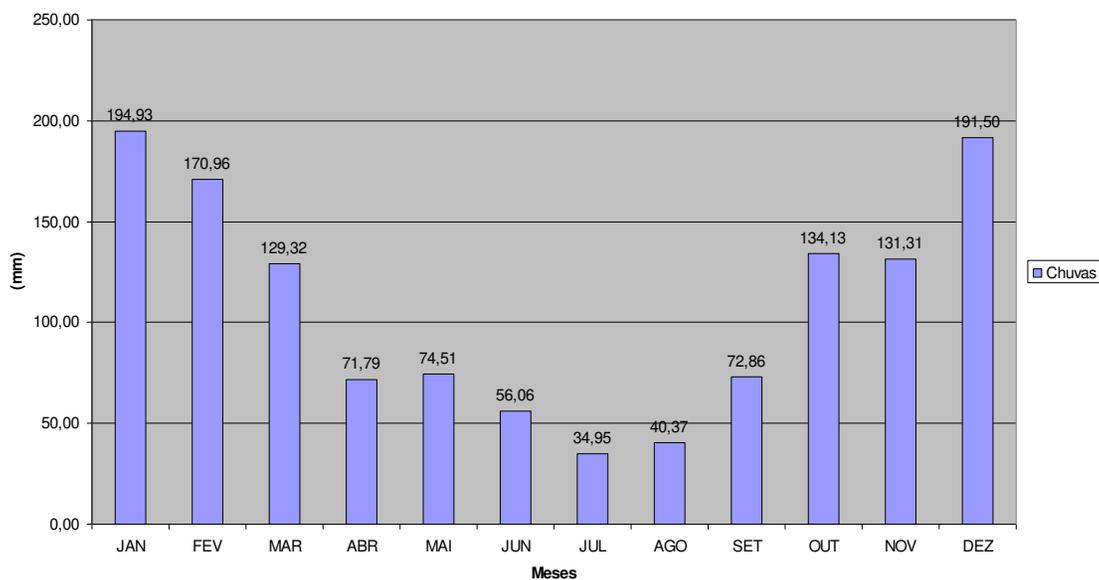


Figura 5.21: Médias de totais mensais de precipitação pluviométrica (1960-1999): Alto Curso – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.

A fim de verificar a possibilidade aventada por alguns autores de que, nos últimos anos, seriam registrados incrementos nos totais de chuva na região do Pontal do Paranapanema, foram calculadas as médias dos totais de precipitações pluviométricas por década, entre os anos de 1950 e 2004, para cada uma das dez estações consideradas. A síntese dos resultados por curso da bacia em estudo pode ser observada nas figuras 5.22, 5.23 e 5.24.

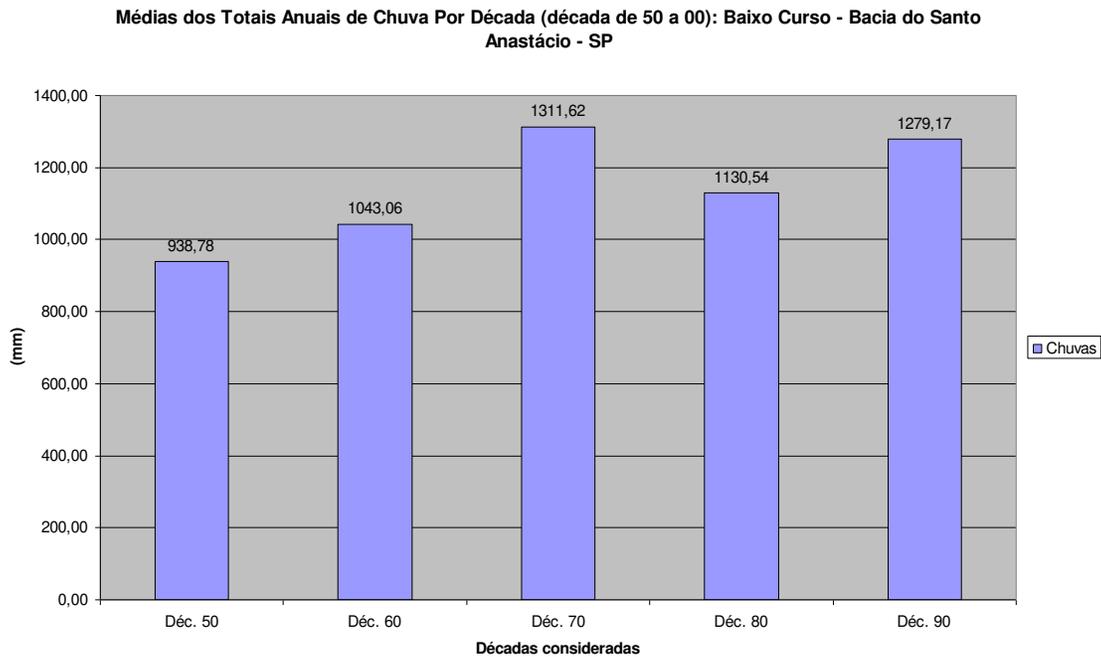


Figura 5.22: Médias de totais anuais de chuva por década (década de 50 a 00): Baixo Curso – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.

Médias dos Totais Anuais de Chuva Por Década (década de 50 a 00): Médio Curso - Bacia do Santo Anastácio - SP

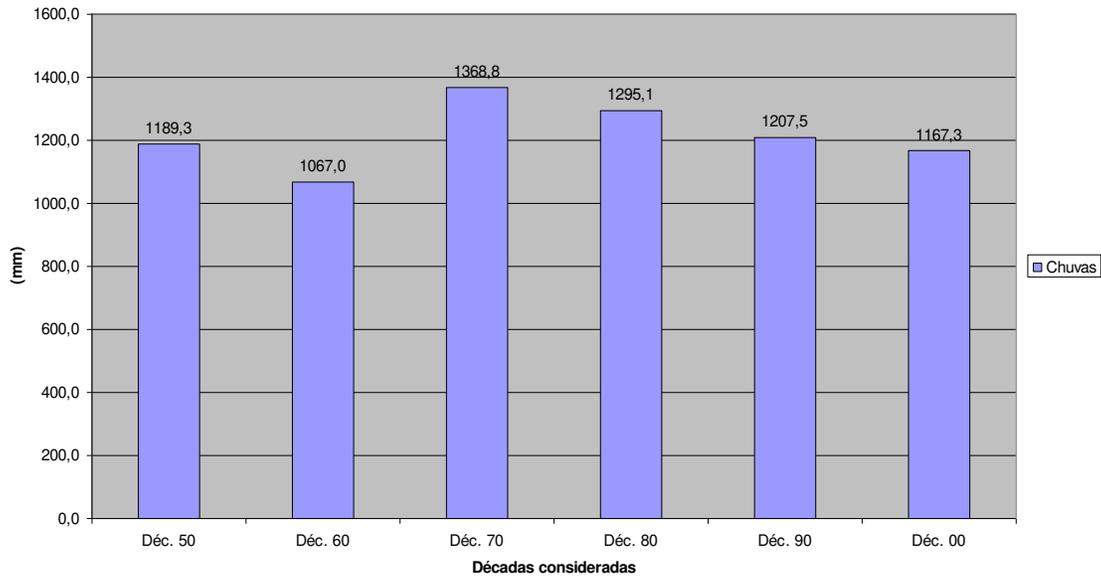


Figura 5.23: Médias de totais anuais de chuva por década (década de 50 a 00): Médio Curso – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.

Médias dos Totais Anuais de Chuva Por Década (década de 50 a 00): Alto Curso - Bacia do Santo Anastácio - SP

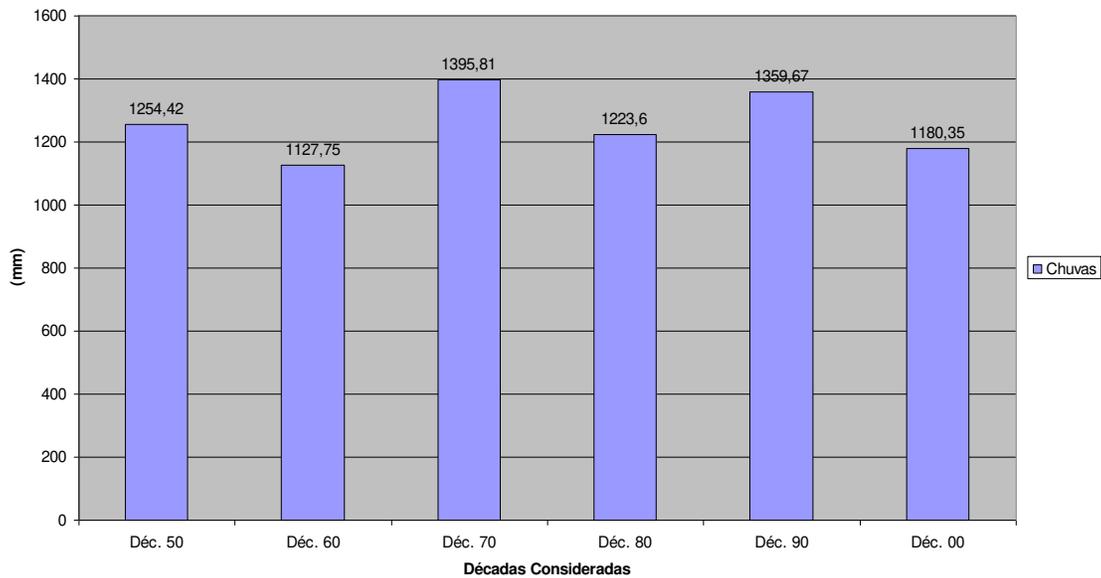


Figura 5.24: Médias de totais anuais de chuva por década (década de 50 a 00): Alto Curso – Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil.

Conforme pode ser observado, a figura 5.22, referente ao Baixo Curso, abarca apenas os anos até 1999, tendo em vista que as estações pluviométricas do DAEE, utilizadas para sua análise, não apresentam dados para anos posteriores.

Torna-se relevante ressaltar que inicialmente os dados haviam sido organizados em gráficos que demonstravam comparativamente as médias dos totais mensais por década para os três cursos. Entretanto, a simplicidade dos gráficos representados pelas figuras 5.22, 5.23 e 5.24, permite melhor visualização e, com maior objetividade, avaliar a problemática de interesse.

De forma geral, apenas o Baixo Curso apresentou tendência de aumento das precipitações. Entretanto, como faltam dados dos primeiros anos do século XXI referentes ao Baixo Curso e, tendo em vista que estes demonstraram redução dos totais de precipitação nos demais Cursos, há que se tomarem certos cuidados em relação a tal afirmação. Por outro lado, no Médio e no Alto Santo Anastácio, não houve aumento nas médias dos totais anuais de precipitação pluviométrica. Pelo contrário, percebe-se que a década de 70 destacou-se dentre as demais por ter apresentado os maiores valores referentes ao atributo analisado.

Além desses apontamentos, outras análises realizadas e de maior interesse ao presente trabalho permitem corroborar observações de Stein (1999) referentes à ocorrência de episódios pluviométricos individuais mais intensos em meses característicos de pluviosidade alta e baixa.

Como exemplo, verificou-se que, no Baixo Curso, baseando-se em dados registrados pela estação (C9-003), o ano de 1951 se destacou dentre os demais de sua década por apresentar precipitações que somadas resultaram em 1432mm. A maior média mensal correspondeu ao mês de janeiro, com 459,7mm, ou seja, 32,10% do total anual. Além disso, em seis dias, dentre 31, choveu o correspondente a 52% do total mensal, equivalente a 240,2mm de chuva. Neste mesmo ano, não foram registradas precipitações pluviométricas nos meses de julho e agosto, mas em outubro e novembro, foram registrados os valores de 110,2mm e 166,6mm, respectivamente. Para o primeiro destes dois últimos meses, 63,24% ou 69,7mm de chuva foram precipitados em apenas dois dias. Para o segundo mês, em dois dias, choveu o equivalente a 89,8% do total mensal, correspondendo a 149,6mm.

Analisando os dados da estação C9-001, verificou-se que o ano de 1965 tratou-se daquele que apresentou maiores precipitações pluviométricas entre os demais inerentes à sua década, ou seja, 1606,2mm. O mês menos chuvoso deste ano foi o de agosto, com 32mm. Importante verificar que 67,18% deste montante precipitaram em apenas um dia, e o restante em outro.

No ano de 1972, o que registrou maior valor de precipitação para o baixo curso, conforme exposto em parágrafo anterior, dos 336,8mm, correspondentes ao total de precipitações de seu mês mais chuvoso, a saber, novembro, 185mm, ou equivalente a 54,9%, precipitaram em apenas um dia. Este valor, somado ao de outro dia, resulta em 233mm, equivalendo a 69,2% do total mensal. Ainda nesse ano, o mês de mais baixa pluviosidade correspondeu a junho, com 3,7mm, dos quais 89,2% precipitaram em apenas um dia. No mês de julho, precipitaram, em um único dia, 54,4mm de chuva, correspondendo a 40,9% da precipitação total deste mês.

No médio curso da bacia, no ano de 1989, segundo dados da estação C8-011, houve precipitação total de 1598,10mm. Em fevereiro deste ano, precipitaram 316,9mm de chuva, dos quais 152,9mm, ou 48%, precipitaram em apenas 2 dias. Estes dias somados a outros dois resultam em 242,10mm, ou 76,4% do total mensal.

Segundo dados da estação C8-009, no mês de julho de 1998, não houve registros de precipitação pluviométrica, caracterizando-se como mês seco. No mês seguinte, agosto, em um dia, choveu o equivalente a 52,8mm.

Esta mesma estação, juntamente com a C8-011, permitiu verificar que o mês de janeiro de 2003 se destacou dentre os demais registros de todos os meses do período considerado, por apresentar precipitação total mensal de 568,2mm. Neste mês, em apenas um dia, precipitou 145mm. Importante mencionar que apesar da alta concentração em janeiro, o total pluviométrico para o referido ano foi de 1483,9mm, não lhe permitindo se destacar como um dos anos mais chuvosos dentre os demais analisados.

A concentração e má distribuição das precipitações pluviométricas mensais e diárias também podem ser exemplificadas no Alto Curso. Desse modo, os dados da estação D8-025 demonstram que não houve precipitações pluviométricas no mês de junho de 2002, ao passo que, em julho, choveu, em apenas um dia, o total de 75mm, equivalentes a cerca de 88% do total de precipitação pluviométrica deste mês.

Conforme se espera ter demonstrado a partir dos dados apresentados e discutidos, as precipitações pluviométricas na Bacia do Santo Anastácio não apresentam padrão de distribuição anual e mensal homogêneo, o que pode ampliar o efeito erosivo do escoamento superficial, sobretudo devido à ocorrência de eventos de precipitação pluviométrica concentrada em poucos dias e muitas vezes após períodos longos de estiagem, quando deficiências hídricas degradam a cobertura dos solos, fragilizando ainda mais a proteção destes.

Deste modo, as características climáticas da Bacia do Santo Anastácio, considerando apenas a variável precipitação pluviométrica, representam outro aspecto físico que caracteriza o geossistema em estudo como frágil.

6.3 Baixo Santo Anastácio

6.3.1 Classes de declividade

Pela análise da figura 6.1, pode-se perceber que no Baixo Curso há predomínio de declividades entre 0 e 3%, caracterizando a maior parte da área como plana ou quase plana, onde o escoamento superficial ou enxurrada (deflúvio) é muito lento ou lento. O declive do terreno, por isso, não oferece nenhuma dificuldade ao uso de máquinas agrícolas e não existe erosão hídrica significativa, exceto, possivelmente, em vertentes cujas rampas sejam muito longas e com solos altamente suscetíveis à erosão ou quando recebam enxurradas de áreas vizinhas situadas à montante e mais declivosas.

Sobre tais condições destacam-se as amostras 1, 4, 7 e 8, todas com Latossolos Vermelhos, as quais não apresentaram processos erosivos nos dois anos avaliados.

Entretanto, pode-se verificar que na amostra 8, a rede de drenagem apresenta-se mais entalhada e nítida em 2010, característica geral em grande parte das amostras, a qual será apresentada em item posterior.

A segunda classe de maior expressão trata-se daquela com declividades entre 3 e 6%, correspondendo ao setor B1 (Setor Baixo Santo Anastácio), o qual engloba as vertentes de ambas as margens pertencentes ao baixo vale, excetuando-se as cabeceiras de erosão acelerada e os terraços fluviais. Nesta classe destacam-se as amostras 3, 5, 9, 10, 11, 12 e 47. Em grande parte destas amostras, apesar de apresentarem declividades superiores às do grupo anterior, não foram verificados processos erosivos intensos nos dois anos avaliados. Tal fato se atribui a presença de Latossolos Vermelhos, que devido às suas características, sobretudo em relação à profundidade e permeabilidade, podem ter inibido o desenvolvimento de processos erosivos lineares.

Nas amostras onde ocorre a presença de Argissolos, associada a declividades mais acentuadas, verifica-se desenvolvimento de processos erosivos lineares intensos e reativação da rede de drenagem, com maior incisão dos canais fluviais. Como exemplo, pode ser citada a

amostra 9, que apresentou no período mais atual aumento significativo da incisão da rede de drenagem e surgimento de inúmeras incisões lineares do tipo ravinas, quadro completamente distinto do anterior, tendo em vista, que em 1962 não foram observados processos erosivos lineares no interior de tal amostra.

Outro exemplo trata-se da parte Sul da Amostra 10, correspondendo ao Setor B3 (Alto Jaguatirica), o qual, segundo Stein (1999) corresponde a setor diferenciado, tendo em vista sua disposição e entalhamento da rede de drenagem e que, devido às altas declividades, permite instalação de processos erosivos intensos. Nesta parte da amostra, no ano de 2010, identificou-se série de processos erosivos lineares, correspondendo à área de associação de Argissolos Vermelhos e declividades mais acentuadas de 6 a 45%. Tais ocorrências já existiam desde a década de 60, porém em estágios menos avançados, indicando fragilidade natural, associada ao uso, conforme será discutido posteriormente.

As declividades de 6 a 12% destacam-se principalmente em áreas de cabeceiras dos córregos da Cruzinha e Santa Maria, afluentes da margem direita do Santo Anastácio e que correspondem ao setor B2 (Cabeceiras do Santa Cruzinha, Serrinha e Santa Maria), que segundo Stein (1999), é diferenciado, tendo em vista sua disposição e entalhamento. Em tal setor, ocorrem as denominadas cabeceiras de erosão acelerada e cujas maiores densidades hidrográficas e declividades das encostas criam condições favoráveis à retomada erosiva induzida pelo Homem.

Assim, na amostra de número 2, correspondendo às nascentes do Córrego Santa Cruzinha, foi verificada retomada de erosão dos canais, desde pelo menos 1962, com nítido entalhe dos rios de seus antigos leitos fluviais e desenvolvimento de feições típicas de erosão a remontante. Tais ocorrências resultaram na geração de novos terraços fluviais e trechos de intenso assoreamento, além da presença de rupturas de declives no leito fluvial.

**MAPA DE DECLIVIDADES DO BAIXO CURSO
DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO
SP - BRASIL**

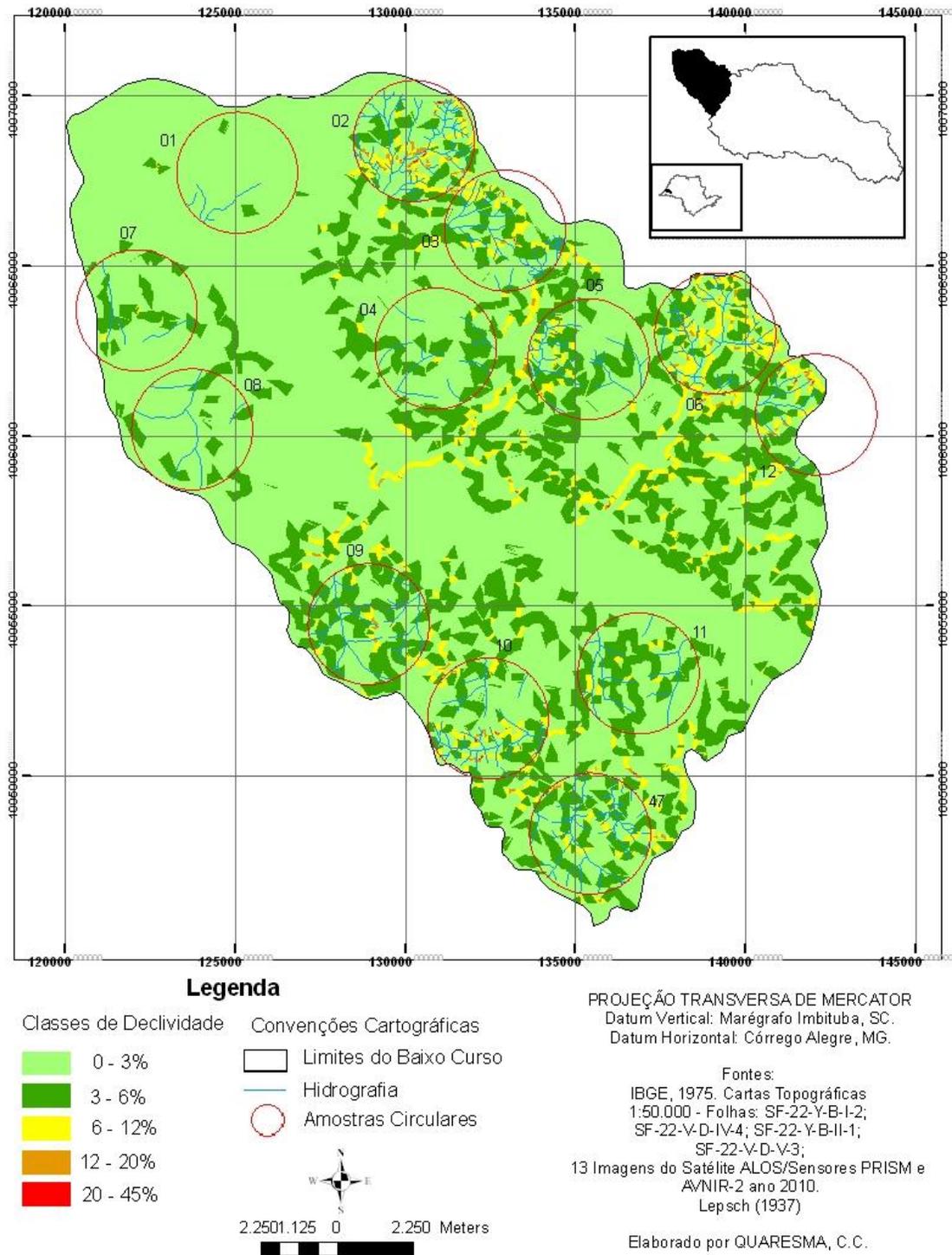


Figura 6.1: Mapa de declividades do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil

6.3.2 Hipsometria

Com base nas análises das cartas topográficas utilizadas no presente trabalho e utilizando-se das ferramentas e procedimentos de SIG, detalhados no item “Material e Método”, foram verificados valores altimétricos entre 260m e 500m para a superfície do Baixo Santo Anastácio.

Segundo Stein (1999), o Planalto II abarca os divisores principais do Baixo Santo Anastácio, cujos topos encontram-se entre 345 e 390m e os divisores secundários decaem até a inserção dos Altos Terraços, entre 310 e 320m de altitude. Além disso, segundo o referido autor, a inserção dos baixos terraços (T1) nos altos terraços (T2) situa-se entre 300m e 270m de altitude. Com base nessas informações adotaram-se os limites altimétricos apontados na figura 6.2.

Conforme pode ser visualizado na figura 6.2, o nível T1, caracterizado como pedimento recente, encontra-se representado entre as cotas 260 e 300m; O nível T2, superfície erosiva representando ciclo de pedimentação responsável pela modelagem dos altos terraços, pode ser observado entre as altitudes de 300 e 320m; E a superfície erosiva Planalto II, situada regionalmente abaixo da Superfície Neogênica, é representada pelos valores de altitudes superiores a 320m.

As altitudes que superaram os limites apontados para o topo do planalto II em toda a extensão da bacia em estudo, ou seja, 460m, conforme Stein (1999), as quais poderiam ser apontadas como resquícios da superfície cimeira, são pontuais e praticamente não possuem representatividade na escala de análise no baixo curso.

MAPA HIPSOMÉTRICO DO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL

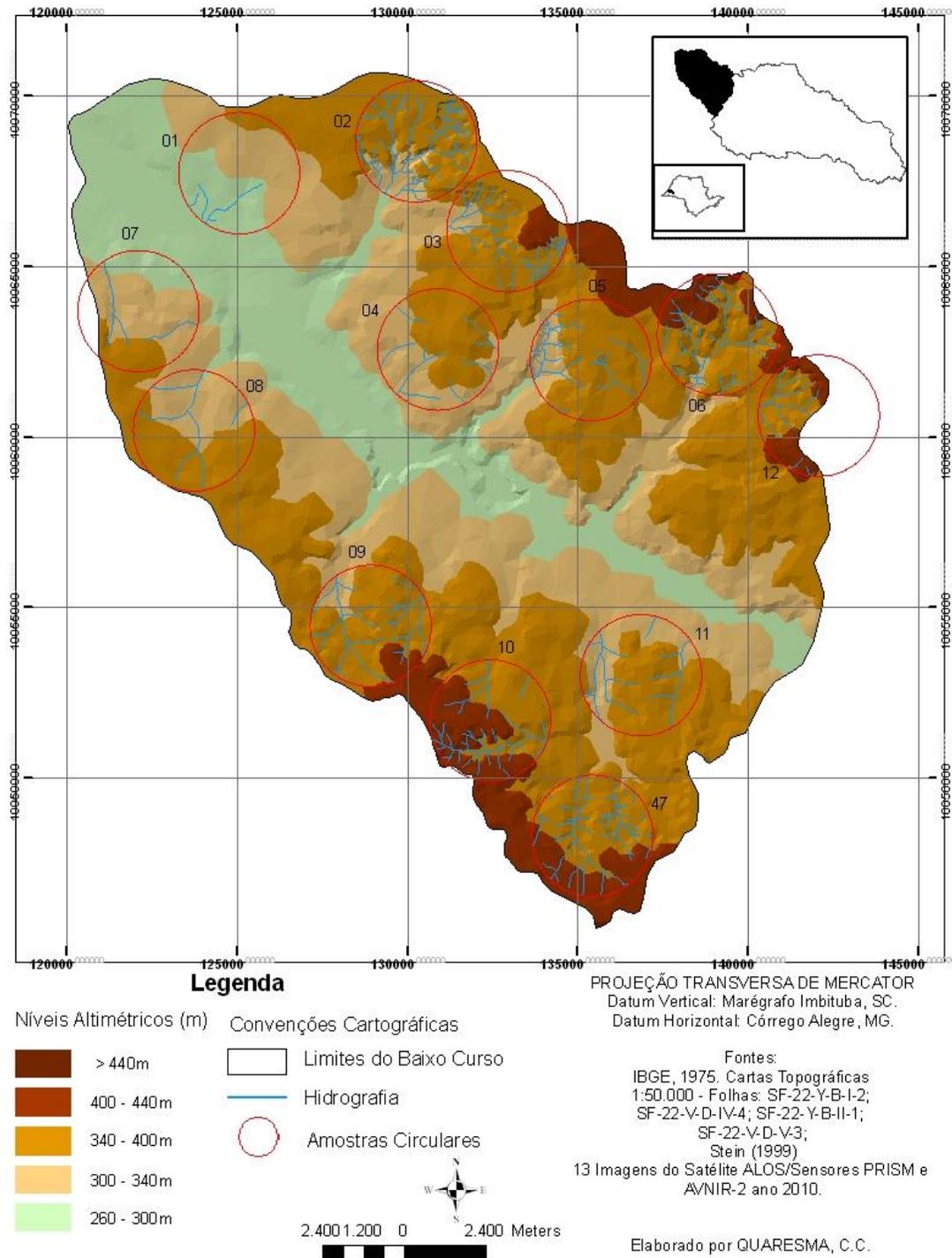


Figura 6.2: Mapa hipsométrico do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil

6.3.3 Uso e Ocupação nos anos de 1962 e 2010.

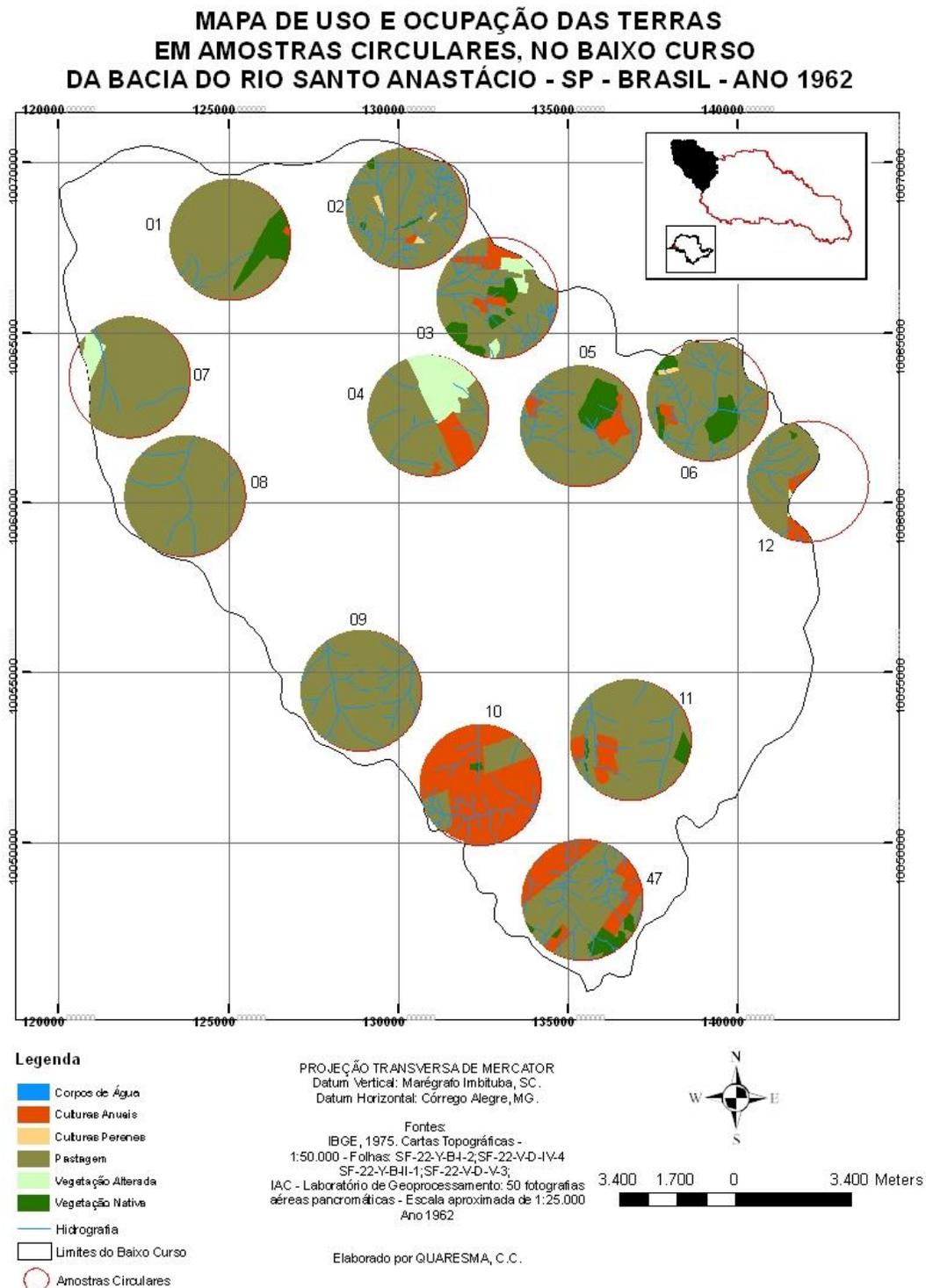


Figura 6.3: Mapa do uso e ocupação das terras em amostras circulares do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 1962

**MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS
EM AMOSTRAS CIRCULARES, NO BAIXO CURSO
DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL - ANO 2010**

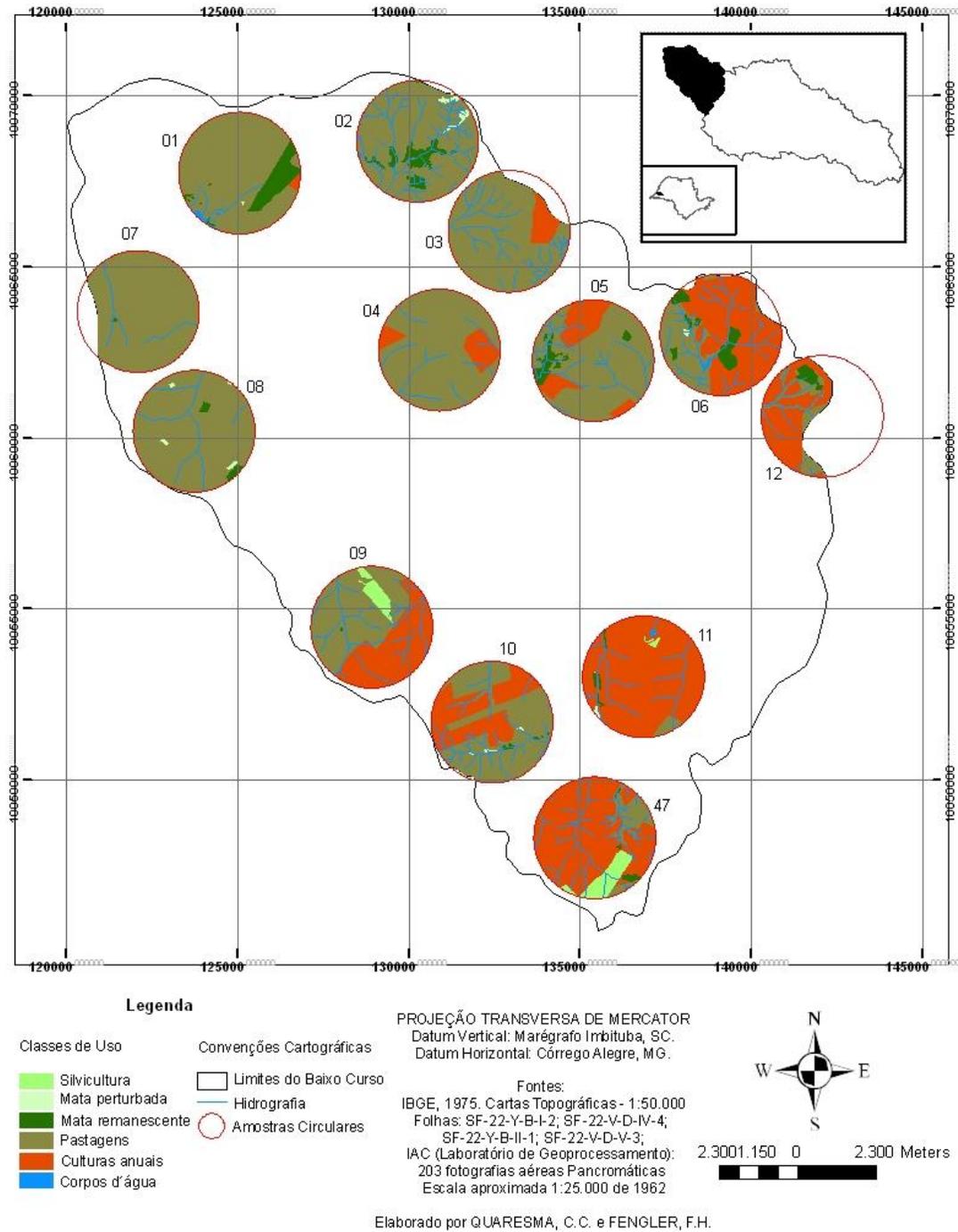


Figura 6.4: Mapa do uso e ocupação das terras em amostras circulares do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 2010

CLASSES	1962		2010	
	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)
Áreas Edificadas	-	-	-	-
Culturas Anuais	16,14	13,30	38,20	31,40
Culturas Perenes	0,23	0,20	-	-
Corpos d'água	0,04	0,00	0,19	0,15
Silvicultura	-	-	1,47	1,20
Pastagens	95,71	78,60	77,39	63,6
Solo Exposto	-	-	-	-
Mata perturbada	3,53	2,90	0,41	0,30
Mata remanescente	6,17	5,10	4,03	3,30

Tabela 6.1: Classes de uso e ocupação das terras e respectivas áreas – amostras do Baixo Curso da Bacia do Santo Anastácio – Anos 1962 e 2010.

A partir das figuras 6.3 e 6.4, bem como da tabela 6.1, pode-se verificar a presença pouco significativa de culturas perenes no ano de 1962, limitando-se a pequenas áreas de cultivo remanescente de café e laranja. Em 2010, essa classe de uso praticamente desaparece nas amostras estudadas.

Dentre as principais culturas anuais observadas em 1962, destaca-se como principal a de algodão, tendo sido observadas áreas de cultivo de milho e mamona.

As áreas de mata perturbada também sofreram redução, tendo em vista que as mesmas, a partir da remoção da cobertura vegetal natural, foram gradativamente ocupadas por demais usos.

Uma das informações mais relevantes ao presente trabalho trata-se da redução significativa da cobertura vegetal natural, a qual, já no ano de 1962, representou apenas 5,10% do total das áreas somadas das amostras circulares pertencentes ao Baixo Curso.

Segundo Leite (1972) e Monbeig (1984), o processo de uso e ocupação das terras na área em estudo inicia-se na década de 20 com a presença dos cafeicultores, possibilitada pelo avanço da estrada de Ferro Sorocabana.

De acordo com Stein (1999), a evolução do desmatamento mostra maior intensidade entre as décadas de 40 e 60, sendo contemporâneo à cultura do algodão, que se instala na área após a década de 30, ocupando as encostas interiores do vale do Santo Anastácio e chegando ao auge de sua produção no ano de 1953.

A exuberante cobertura vegetal natural típica da região do Pontal do Paranapanema, caracterizada, segundo Leite (1998), como floresta tropical, cuja fisionomia se aproximava da Hiléia, e cujas riquezas biológicas impressionaram estudos de ordem técnica realizados no início do século XX, praticamente deixou de existir em menos de 40 anos, no baixo curso do Santo Anastácio, conforme atestado pela classificação do uso e ocupação no interior das amostras analisadas.

Os dados apresentados corroboram as observações de Fonzar (1981), quando ressalta a destruição do ambiente físico, manifestada através da ausência de mentalidade conservacionista e de políticas sérias de proteção ambiental e refletidas no princípio, apontado por Stein (1999), de que bastava desmatar e plantar.

Os resultados das análises demonstraram que o desmatamento continuou após 1962, o que pode ser percebido pela redução, embora em ritmo menos acelerado, das poucas glebas remanescentes de vegetação nativa (Figura 6.5).

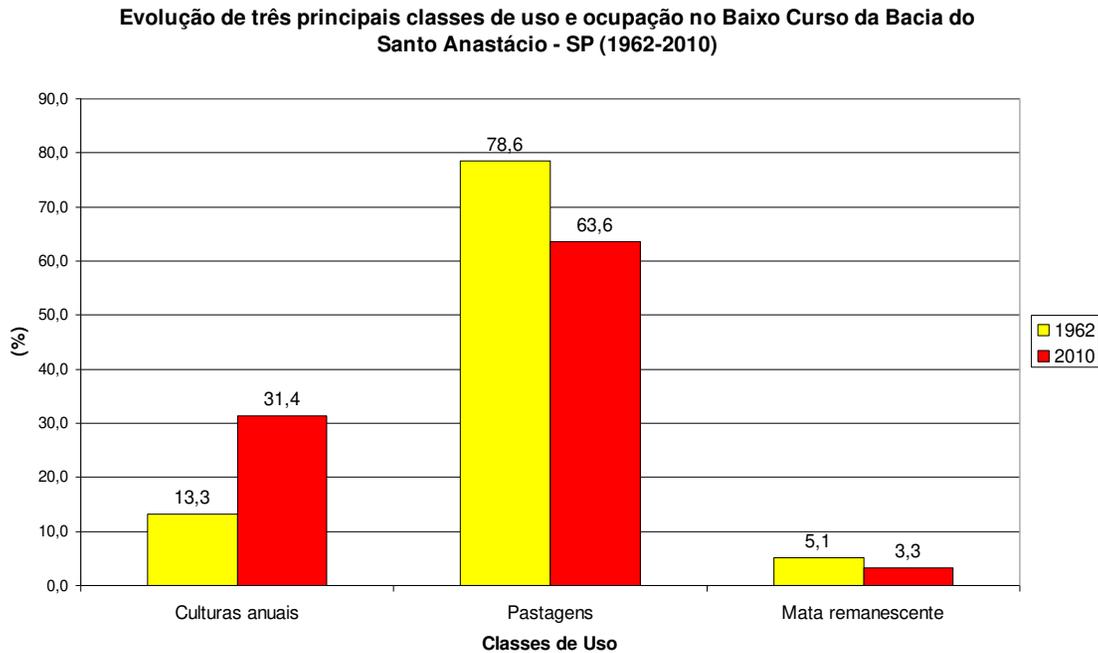


Figura 6.5: Evolução de três principais classes de uso e ocupação no Baixo Curso da Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil – (1962-2010)

Entretanto, torna-se importante mencionar que as atividades de fotointerpretação em fotografias aéreas e de interpretação de imagens de satélite permitiram verificar aumento significativo, em 2010, de adoção de práticas de manejo conservacionistas de caráter mecânico, tais como plantio em curvas de nível, construções de terraços e de estruturas para desvio e infiltração das águas do escoamento superficial, as quais praticamente inexistiam em 1962.

A figura 6.5 também compara percentuais de áreas ocupadas por culturas agrícolas e por pastagens. Para Leite (1970), o fim dos ciclos do café, algodão e de outras culturas, além da redução drástica da extração de madeira na década de 60, foram acompanhados pela expansão das pastagens, que na década de 40, representavam apenas 11,5% do uso e ocupação da Alta Sorocabana e cerca de 50% em 1967.

Esse tipo de uso continua a se expandir, o que pode ser atestado pelo fato de atingir, na década de 90, cerca de 90% da área total da bacia do Santo Anastácio, conforme apontado por Stein (1999).

Os dados analisados na presente tese e sintetizados na figura 6.5 permitiram verificar que as pastagens, nas amostras pertencentes ao Baixo Curso do Santo Anastácio, superavam

significativamente as áreas ocupadas por culturas anuais já em 1962, representando 78,6%, contra 13,3% referentes a este uso.

Importante mencionar que foi observada significativa mudança nas pastagens atuais em relação ao cenário anterior, corroborando as observações de Espíndola (1999). Dessa forma, tal uso se difere do quadro referente ao ano de 1962, tendo em vista ser predominantemente plantado sob diferentes graus de manejo e, na maioria dos casos, encontra-se bem conduzido, utilizando-se de práticas de manejo conservacionistas, principalmente os terraceamentos.

Entretanto, verifica-se que em 2010 registrou-se diminuição de 15% das áreas ocupadas por pastagens, acompanhada por aumento das áreas de culturas anuais nas amostras do Baixo Curso. Essa ocorrência pode ser atribuída à introdução de áreas destinadas à produção de cana-de-açúcar, tendo em vista que, conforme destacado no item “Material e Método”, as culturas semipermanentes como a cana-de-açúcar e a mandioca, bem como as culturas de algumas forrageiras destinadas ao corte, também estão incluídas na categoria “Culturas Anuais”.

6.3.4 Análise Morfométrica da rede de drenagem

MAPA DOS CANAIS FLUVIAIS EM AMOSTRAS CIRCULARES DISTRIBUIDAS NO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO SP - BRASIL - ANO 1962

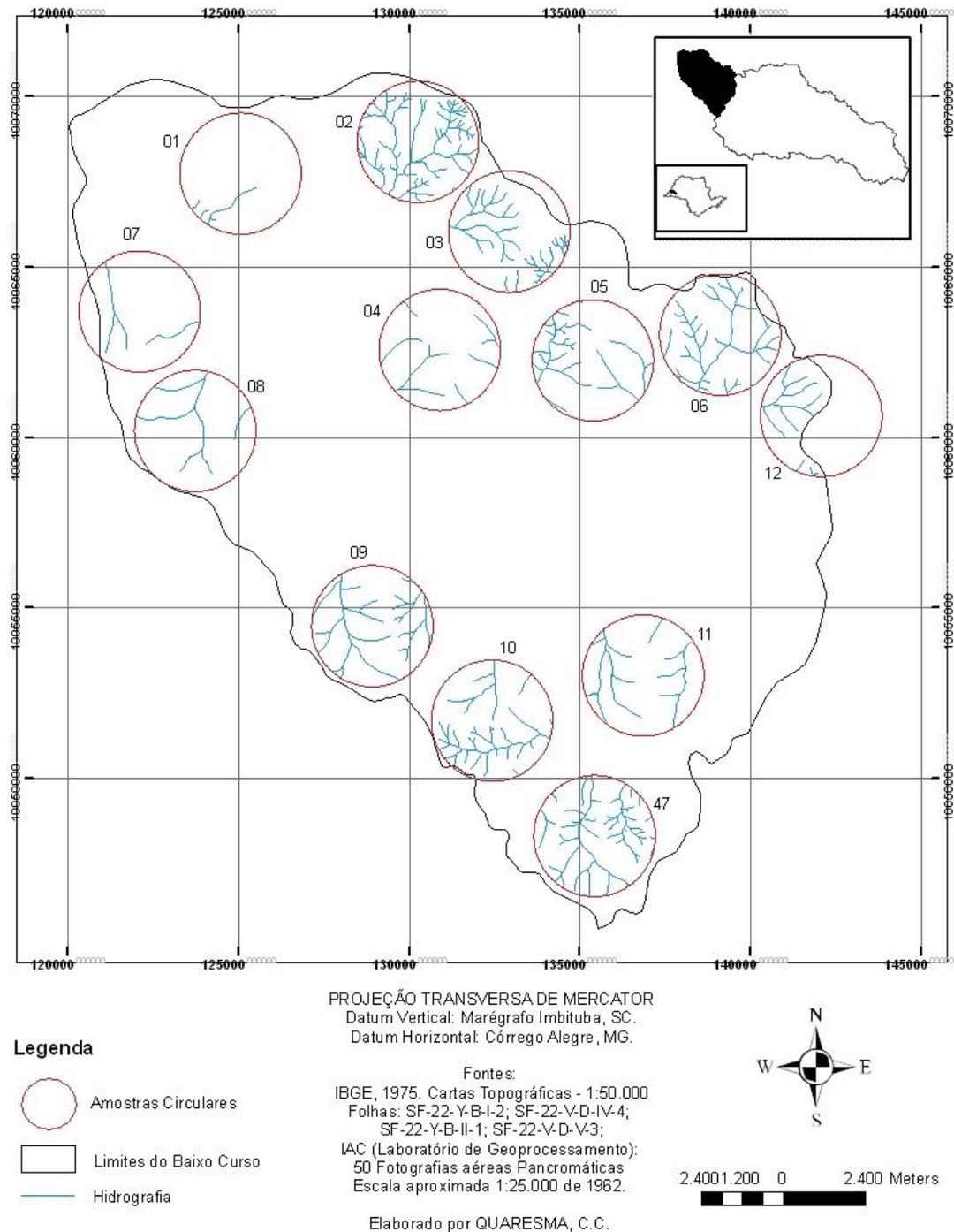


Figura 6.6: Mapa dos canais fluviais em amostras circulares distribuídas no Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 1962

**MAPA DOS CANAIS FLUVIAIS EM AMOSTRAS CIRCULARES
DISTRIBUIDAS NO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO
SP - BRASIL - ANO 2010**

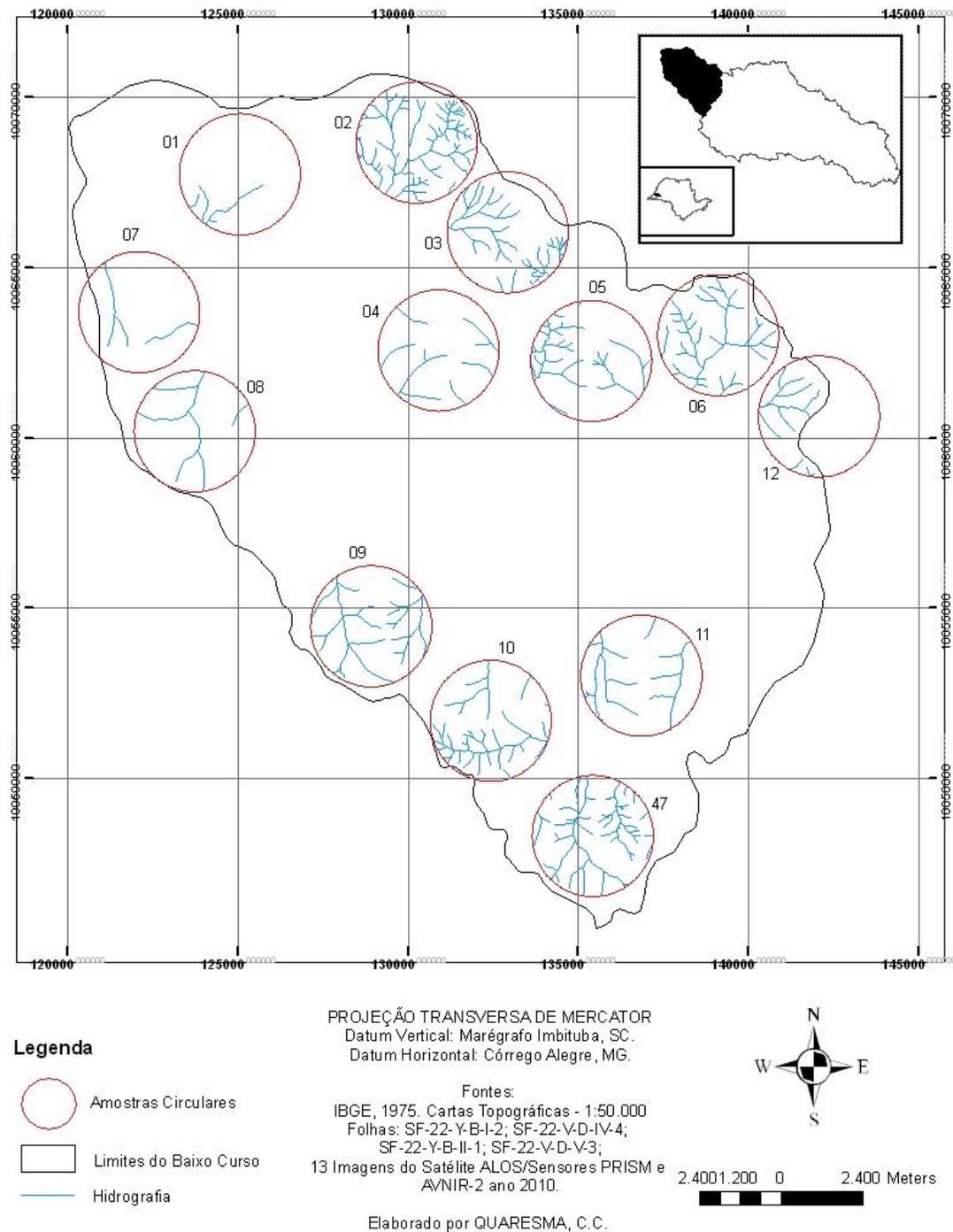


Figura 6.7: Mapa dos canais fluviais em amostras circulares distribuídas no Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 2010

DENSIDADE HIDROGRÁFICA (BACIA SANTO ANASTÁCIO - BAIXO CURSO)

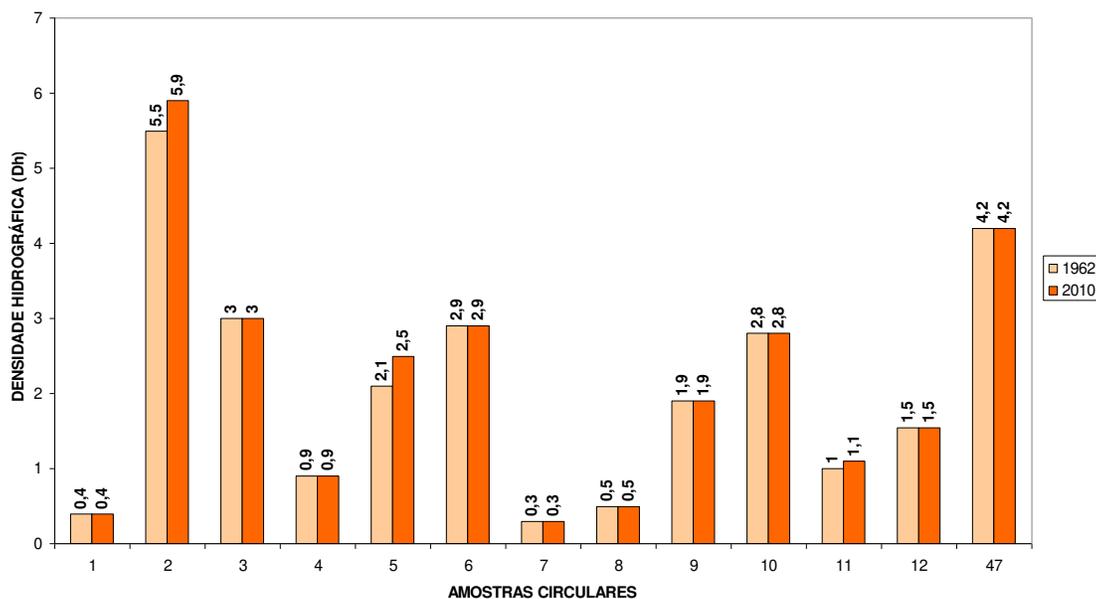


Figura 6.8: Densidade hidrográfica de amostras do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – (anos 1962 e 2010)

A figura 6.8 expressa os valores de densidade hidrográfica, ou número de canais de primeira ordem por unidade de área em km^2 . Antes de analisá-lo, torna-se oportuno destacar que a amostra 12, por estar alocada em área limítrofe entre o Baixo e o Alto curso da bacia em estudo, possui apenas 45,2% ($4,52\text{km}^2$) do total de sua área pertencente ao primeiro. Deste modo, a amostra tornou-se perfeitamente comparável às demais ao considerar-se este valor como divisor do número de canais de primeira ordem contidos nesta área, resultando no quociente expresso pelo gráfico em análise.

A primeira observação do gráfico permite verificar pelo menos três grupos distintos de amostras no que se refere à densidade hidrográfica, sem levar em consideração comparações entre os dois anos avaliados. O primeiro, composto pelas amostras 1, 4, 7, 8, 11 e 12 apresentou valores no intervalo de 0,3 a 1,5 canais por km^2 ; O segundo, constituído pelas amostras 3, 5, 6, 9 e 10, apresentou densidades entre 1,9 a 3,0 canais por km^2 ; E o terceiro, englobando as amostras 2 e 47, com valores entre 3,0 e 6,0 canais por km^2 .

Uma segunda análise do mesmo gráfico revela que três amostras circulares, dentre as treze consideradas, apresentaram aumento de número de canais de primeira ordem entre os anos selecionados, a saber, amostras 2, 5 e 11, sendo que as duas primeiras se destacam da terceira por

apresentarem aumento absoluto de 4 canais de primeira ordem, o que corresponde a incremento de 0,4 no índice densidade hidrográfica.

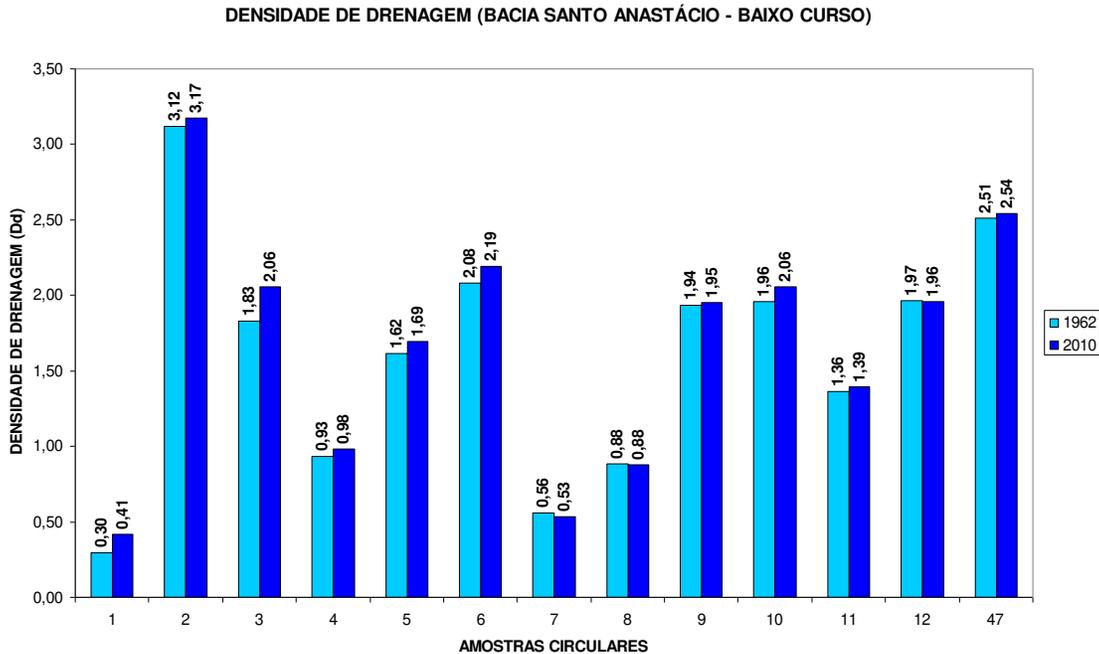


Figura 6.9: Densidade de drenagem de amostras do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – (anos 1962 e 2010)

A figura 6.9 expressa o índice densidade de drenagem, em km/km^2 , para os anos de 1962 e 2010 em cada uma das amostras pertencentes ao Baixo Santo Anastácio.

Dentre as informações possíveis de serem obtidas a partir da análise da figura 6.9, a mais relevante para o presente trabalho trata-se da comparação dos índices de densidade de drenagem dos dois anos avaliados.

De modo geral, pode-se perceber que todas as amostras circulares do baixo curso apresentaram aumento do comprimento de canais por unidade de área, exceção para as amostras 7 e 12, as quais apresentaram diminuição de 0,03 e 0,01 quilômetros de canais por km^2 , respectivamente, e para a amostra 08, que não apresentou variações.

Com relação às variações positivas, pode-se dividir em três grupos. O primeiro, composto pelas amostras 9, 11, 47, 2, 4, 5 e 10, que apresentaram aumento de 0,0 a $0,1\text{km}/\text{km}^2$; O segundo, englobando as amostras 1 e 6, que revelaram incrementos no comprimento de canais entre 0,1 e

0,2 km/km²; E o terceiro grupo, constituído apenas por uma amostra, a de número 3, que apresentou aumento superior a 0,2km/km².

Apesar dos dados apresentados, avalia-se que, de modo geral, o referido índice deve ser interpretado com certos cuidados, evitando sobreestimá-lo. Por se tratar de um estudo realizado em escala regional, por mais zeloso que seja, é perfeitamente compreensivo que ocorram reduções no nível de detalhamento do traçado dos canais, ao longo do processo de vetorização. Desse modo, a desconsideração de pequenas sinuosidades pode resultar em diminuições irreais dos valores de comprimento de canais. Somam-se a isso as diferenças de sistemas de projeção e de referências inerentes aos materiais utilizados, além da própria qualidade dos dados fonte, que por mais que sejam submetidos a correções, ainda assim produzem pequenas variações, sobretudo locais, que requerem certos cuidados em relação a variações muito pequenas de atributos.

De maneira geral, as interpretações de fotografias aéreas de 1962 e de imagens de satélite de 2010, referentes às amostras do baixo curso da bacia em estudo, permitiram verificar o maior entalhamento e alargamento da rede de drenagem no período atual. Desse modo, muitos canais claramente identificados atualmente, embora já existentes em 1962, somente puderam ser identificados neste ano por meio da consideração de outras informações advindas de cartas topográficas e de comparações com imagens de satélite atuais.

Para fins de discussão e entendimento dos resultados, foram selecionadas, para maior detalhamento, as amostras circulares 2 e 5 por apresentarem maiores incrementos no número de canais de primeira ordem e a amostra 1, por apresentar certas características que merecem destaque. Além disso, foram apresentados recortes em demais amostras que permitiram melhor discussão dos processos geomorfológicos de interesse ao presente trabalho.

6.3.5 Detalhamento de amostras circulares selecionadas

AMOSTRA 01

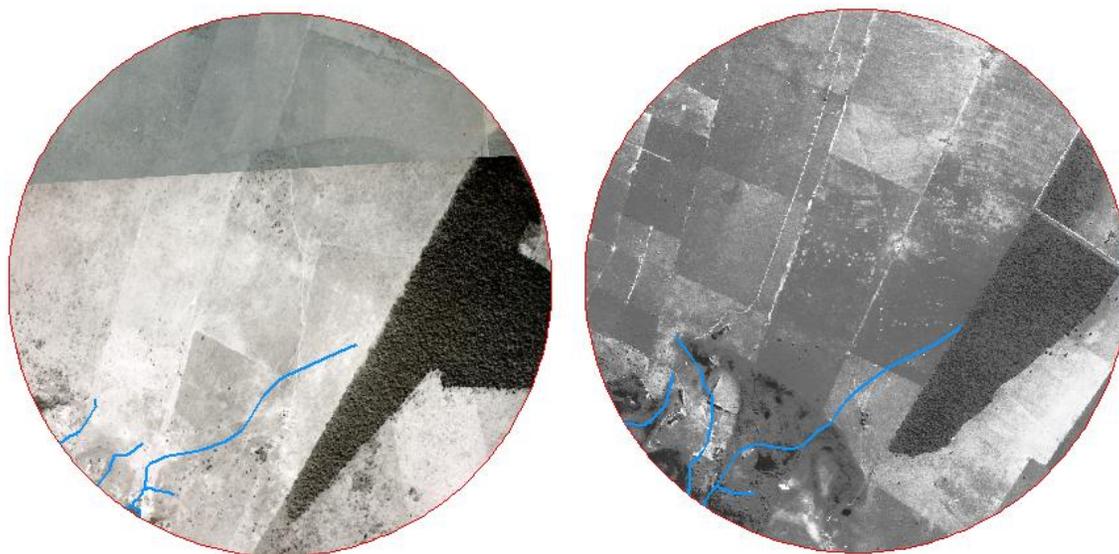


Figura 6.10: Canais fluviais pertencentes à amostra 01 – cenários de 1962 e 2010

Fontes: Da esquerda para a direita - fotografia aérea nº 5761/1962 – IAC e imagem do satélite ALOS/Prism nº 062714040 – IBGE.

AMOSTRA 01					
Nº CANAIS DE 1ª ORDEM		DENSIDADE HIDROGRÁFICA		DENSIDADE DE DRENAGEM	
1962	2010	1962	2010	1962	2010
04	04	0,3	0,4	0,30	0,41

Tabela 6.2: Comparativo de número de canais de 1ª ordem e dos índices Dd e Dh em amostra 01 entre os anos de 1962 e 2010.

A figura 6.10 destaca os canais pertencentes à amostra 01, referentes ao cenário de 1962 (imagem à esquerda – fotografia 5761) e ao de 2010 (imagem à direita – cena 062714040 – ALOS/Prism)

As características geológicas, geomorfológicas e pedológicas, referentes à amostra 1, são semelhantes às das amostras 7, 8, 9, 4 e 5, exceção para o atributo declividade.

Conforme tabela 6.2, foi verificado aumento superior a 36% no comprimento de canais fluviais, sendo que a análise baseada apenas nos elementos geossistêmicos considerados não permitiu explicar tal ocorrência.

Com relação aos solos, a amostra contempla duas subordens, sendo a dos Latossolos Vermelhos a dominante, com 9,46km² (94,6%) e a dos Gleissolos Háplicos, com 0,54km² (5,4%), ambas associadas ao relevo plano da amostra 01, com declividades inferiores a 3%, as quais caracterizam as vertentes de extrema suavidade dos setores de relevo B1 e B4, conforme definidos por Stein (1999). Tal conjuntura em termos pedo-geomorfológicos não é propícia ao desenvolvimento de processos erosivos que pudessem explicar o aumento do comprimento de canais. Isto explica a ausência de processos erosivos lineares nos dois anos avaliados, mesmo tendo ciência de que tal amostra tenha sido submetida a uso intenso desde antes da década de 60 (Figura 6.11).

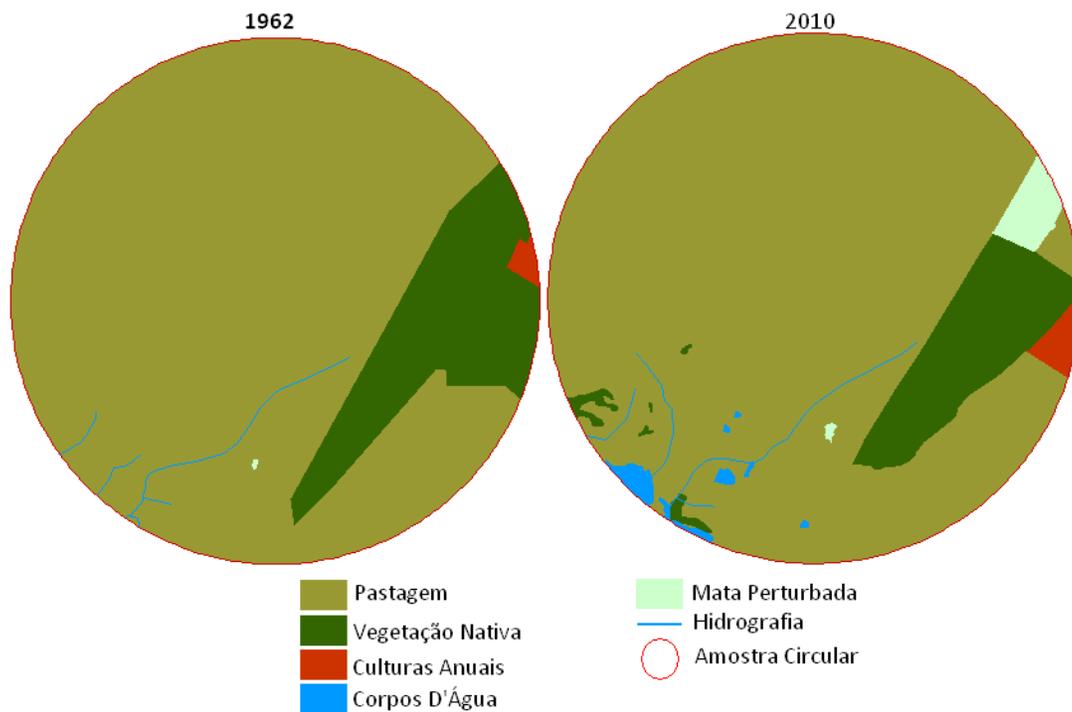


Figura 6.11: Uso e ocupação das terras na amostra 01 – cenários de 1962 e 2010

A figura 6.11 permite verificar que na década de 60 a cobertura vegetal natural já havia sido devastada. Além disso, no cenário de 2010 se observa redução na gleba de vegetação nativa

existente em 1962, mas não permite identificar alterações significativas no tipo de uso e ocupação, permanecendo o predomínio do uso por pastagens nos dois anos analisados.

Deste modo, o aumento de comprimento de canais não poderia também ser explicado por modificações no uso e ocupação das terras, até porque as pastagens atuais apresentam-se melhor cuidadas, tendo em vista a adoção de práticas de manejo mais coerentes.

Entretanto, a distribuição dos Gleissolos Háplicos no interior da amostra 01 permite observar que em suas áreas de ocorrência há influências de eventuais oscilações do nível das águas subterrâneas (Figura 6.12)

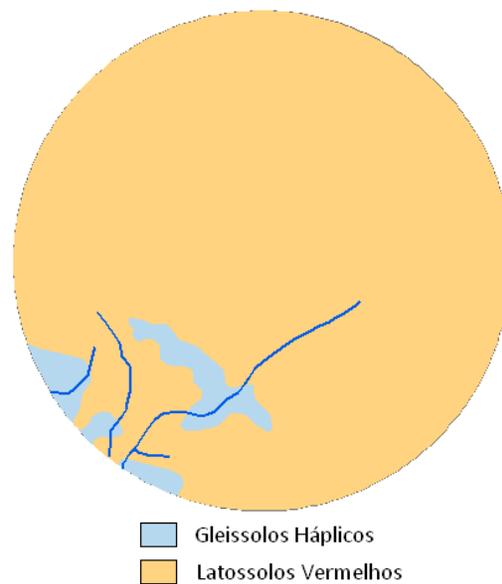


Figura 6.12: Solos da amostra 01

Fonte: Carvalho et al. (1997) Adaptado por: Quaresma, C. C.

Tendo em vista que a inundação provocada pelo represamento do rio Paraná afetou significativamente parte do baixo curso do Santo Anastácio, sugere-se que áreas que já sofriram influências de oscilações positivas e negativas da linha d' água seriam ainda mais afetadas diante das novas condições.

A figura 6.12 demonstra o surgimento de corpos d' água, praticamente coincidentes com as áreas de ocorrências de Gleissolos Háplicos, originados pela referida inundação. Tais feições indicam elevação do nível do lençol freático o que resultou no deslocamento de duas nascentes para partes mais elevadas das vertentes.

Outro fator que merece destaque em relação à amostra 01 trata-se da identificação de influência estrutural sobre o baixo curso do rio Santo Anastácio, conforme recorte em fotografia aérea, cuja imagem refere-se ao entorno externo ao sudoeste da amostra analisada. A presença de meandros abandonados⁸ e o estabelecimento de novo padrão retilíneo do canal fluvial, produzindo assim um vale de ângulo de falha, podem indicar ocorrência de eventos tectônicos relativamente recentes à década de 60. (Figura 6.13)



Figura 6.13: Recorte em fotografia aérea nº 5761 de 1962 – Amostra 01. Fonte: IAC.

Situações como a demonstrada pela figura anterior corroboram com estudos que indicam atividades neotectônicas recentes influenciando processos geomorfológicos na bacia do rio Santo Anastácio.

Outra informação relevante é a de que tal área encontra-se, na atualidade, inundada pelas águas do Rio Santo Anastácio, devido à alteração de nível de base local, causada pela construção da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera.

⁸ A presença de meandros abandonados foi apontada também por Stein (1999, p. 90) como conjunto notório existente no baixo vale onde o nível de Planícies Aluviais possui maior expressão.

AMOSTRA 02

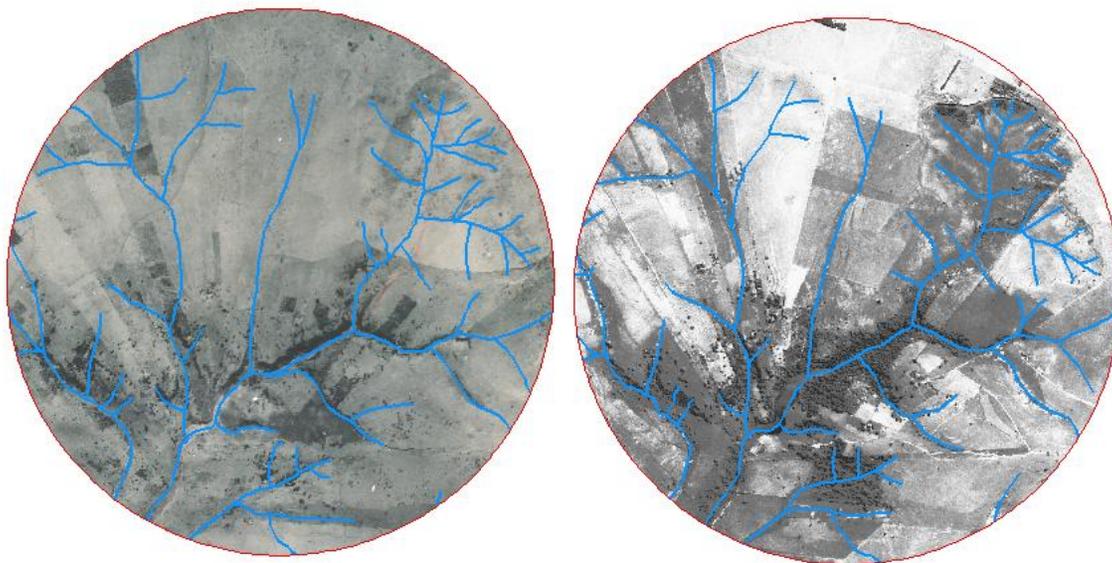


Figura 6.14: Canais fluviais pertencentes à amostra 02 – cenários de 1962 e 2010

Fontes: Da esquerda para a direita – fotografias aéreas 5265 e 5758/1962 – IAC e imagem do satélite ALOS/Prism nº 062714040 – IBGE.

AMOSTRA 02					
Nº CANAIS DE 1ª ORDEM		DENSIDADE HIDROGRÁFICA		DENSIDADE DE DRENAGEM	
1962	2010	1962	2010	1962	2010
55	59	5,5	5,9	3,12	3,17

Tabela 6.3: Comparativo de número de canais de 1ª ordem e dos índices Dd e Dh em amostra 02 entre os anos de 1962 e 2010.

De acordo com a tabela 6.3, a comparação da rede de drenagem dos dois anos considerados permitiu verificar alterações nos canais fluviais, a saber, aumento de comprimento em 1,60%, e surgimento de quatro novos canais de primeira ordem, representando um acréscimo de 7,27%.

Entretanto, os processos que originaram tais alterações não são de ocorrência recente. Pela fotointerpretação realizada em fotografias aéreas de 1962, pôde-se verificar que a rede de drenagem encontrava-se em nítido processo de entalhamento intenso dos talwegues. Foram verificados indícios de erosão acelerada nos canais fluviais, indicando desestabilidade da rede de

drenagem e a busca desta pelo restabelecimento do estado de equilíbrio perdido já na década de 60.

Verificou-se também a ocorrência de dois pequenos canais desaguando em desnível em canal de maior ordem, indicando que os mesmos não acompanharam o ritmo de entalhamento do vale principal.

Os canais de primeira ordem, os quais se destacavam no processo de entalhamento de seus antigos leitos fluviais, demonstraram nítido estado de erosão remontante, com o encaixamento dos rios se projetando da embocadura em direção às partes mais elevadas dos perfis longitudinais.

Deste modo, a maioria dos vales, caracterizados por serem em V, evoluíram para vales em garganta, encaixando-se à semelhança de pequenos “cânions”. Exemplos de tais situações poderão ser observados a partir da figura 6.15.



Figura 6.15: Recorte sobre nascentes (Leste) do Córrego Santa Cruzinha – Amostra 02

Fontes: fotografia aérea nº 5758/1962 - IAC e imagem do satélite IKONOS/2006 – GoogleEarth.

A figura 6.15 refere-se a dois recortes de uma mesma área pertencente à amostra 02, porém em cada um dos momentos analisados. A imagem da esquerda trata-se de fotografia aérea de 1962 (nº 5758) e a da direita, imagem IKONOS, datada de 14/07/2006. O nítido processo de entalhamento do canal fluvial verificado na imagem mais atual não se trata de processo cuja gênese possa ser atribuída a causas recentes, sendo claramente identificado como erosão linear acelerada já na década de 60. Pode-se verificar que o canal em 62 encontrava-se em processo de

encaixamento, formando um vale em “V”, ampliando assim as declividades das vertentes. Segundo Davis (1899), tal processo, relacionado à fase de juventude de sua Teoria, seria seguido por desmoronamentos e ravinamentos, o que pode ser observado em ambos os recortes, porém mais nitidamente e de forma mais evoluída no que se refere ao ano de 2006. Isso permite supor que algo ocorreu no passado, rompendo o estado de equilíbrio dinâmico da rede de drenagem, resultando em reativação erosiva da mesma, com processos semelhantes ao que se verifica por ação de eventos naturais relacionados a movimentos rápidos de origem tectônica ou eustática.

Outra informação destacada pela figura 6.15 refere-se à evolução da erosão do talvegue que se processa, entre as datas analisadas, em direção a montante, constituindo-se assim em bom exemplo da ocorrência de erosão remontante, verificada em outros canais de primeira ordem pertencentes à amostra em análise. O “x” em cor vermelha, traçado na figura, refere-se a uma quebra na continuidade do perfil longitudinal do canal, formando um degrau, conhecido como rápido. Como pode ser observado, este se afasta cerca de 130m do ponto de embocadura, no intervalo de tempo entre as datas analisadas (de 537m, em 1962, a 667m, em 2006). O círculo em vermelho sobre o recorte em fotografia aérea demonstra trecho do canal à montante da referida ruptura, sendo claramente mais elevado e menos profundo do que o trecho do rio intensamente escavado.

Outros exemplos de tais processos podem ser visualizados por meio da figura 6.16.

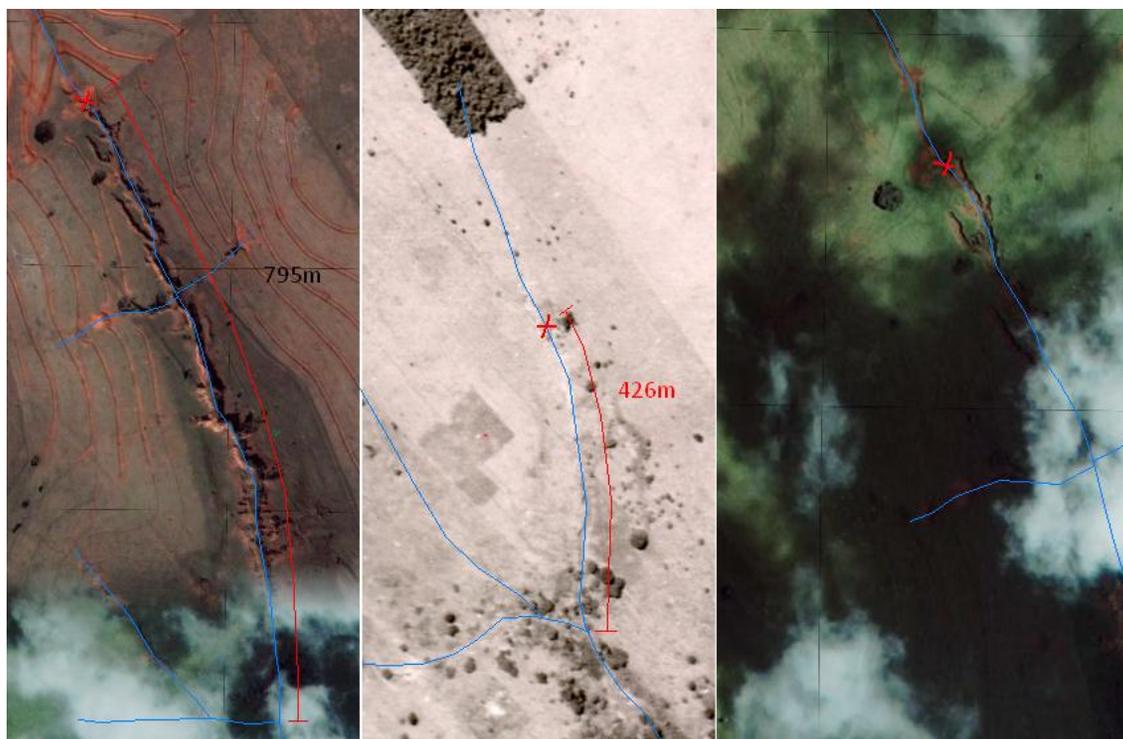


Figura 6.16: Recorte sobre nascentes (Oeste) do Córrego Santa Cruzinha – Amostra 02

Fontes: Da esquerda para a direita - imagem do satélite IKONOS/2006 – GoogleEarth, fotografia aérea nº 5758/1962 - IAC e imagem do satélite IKONOS/2003 – GoogleEarth

A figura 6.16 refere-se a três recortes de uma mesma área em três períodos distintos no interior da amostra circular 02, referente às nascentes de Oeste do Córrego Santa Cruzinha. Da esquerda para a direita, vê-se a seguinte seqüência: imagem IKONOS de 14/07/2006, fotografia aérea de 1962 e imagem IKONOS de 03/03/2003. Em 1962, pelo auxílio de estereoscopia, foi possível verificar que o canal fluvial principal destacado na figura encontrava-se em intenso processo de entalhamento do seu antigo leito, formando assim um vale encaixado, que se prolongava desde a embocadura do rio até um ponto localizado a 426m em direção de montante, onde se formou um rápido (destacado por “x” em com vermelha). A evolução do entalhamento por erosão regressiva resulta no quadro mais recente de 2006, quando se verifica o deslocamento do rápido em 369m em direção de montante, atingindo assim distância de 795m em relação à foz do referido canal. Além disso, observa-se que o aumento das declividades das vertentes gerou seqüência de ravinas perpendiculares ao canal, que em alguns casos evoluíram para voçorocas, resultando na criação de dois novos afluentes de primeira ordem. A terceira imagem da direita

permite verificar que o estado da erosão linear verificado em 2006 já se encontrava em condições semelhantes no ano de 2003. Pela data de obtenção da imagem podem-se questionar relações existentes entre a erosão linear apontada e a construção da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera.

Também é possível observar a situação de desequilíbrio da rede de drenagem na década de 60 por meio da análise do canal principal do Córrego da Cruzinha. Neste, verifica-se erosão diferenciada ao longo do perfil longitudinal, caracterizada por trecho onde predomina o encaixamento do rio em seu antigo leito fluvial, gerando terraço fluvial, e por outro trecho onde predomina o acúmulo de detritos, por diminuição da declividade e pela impossibilidade do fluxo em transportar a grande carga de detritos provenientes da erosão linear intensa dos canais situados à montante, bem como de suas respectivas vertentes (Figura 6.17). A erosão diferencial pode ser entendida, com base na Teoria do Equilíbrio Dinâmico, como a busca da rede de drenagem pelo estabelecimento de perfil de equilíbrio, mais condizentes com as novas condições de entrada de matéria e energia.

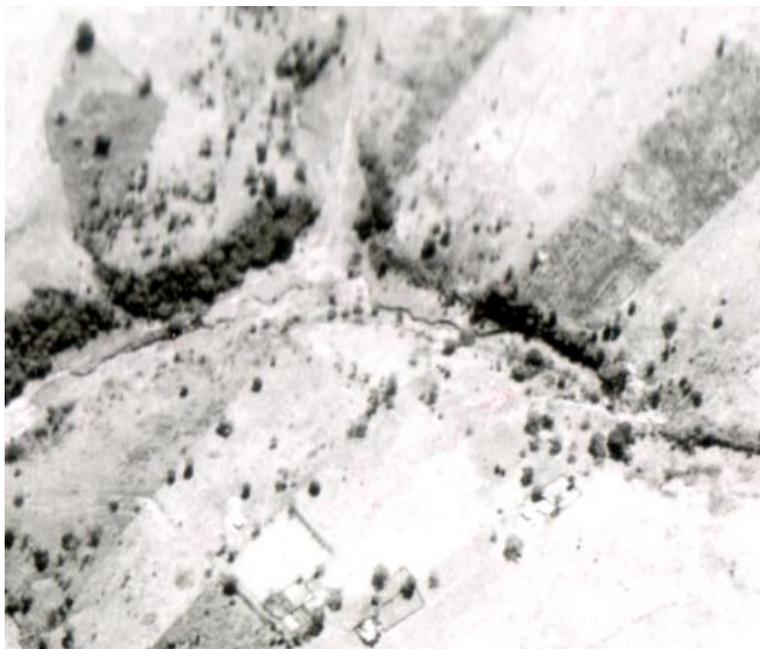


Figura 6.17: Recorte 01 sobre curso principal do Córrego Santa Cruzinha – Amostra 02

Fonte: fotografia aérea nº 5758/1962 – IAC. Coordenadas centrais: UTM 388329,223/7583908,456

A figura 6.17 trata-se de recorte em fotografia aérea de 1962 demonstrando o processo de entalhamento do Alto Curso do Córrego Santa Cruzinha, resultando no encaixamento do rio em

seu antigo leito e na formação de novo terraço fluvial. Também poderá ser observada a presença de cone de dejeção, feição comum a alguns canais fluviais da amostra e típica de estado de desequilíbrio da rede de drenagem.

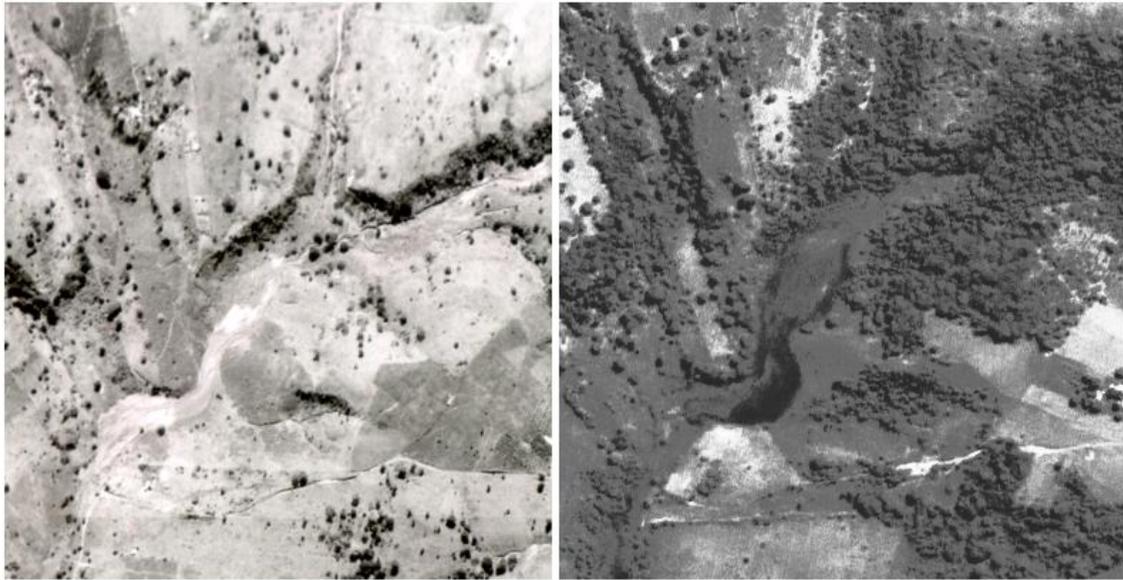


Figura 6.18: Recorte 02 sobre curso principal do Córrego Santa Cruzinha – Amostra 02

Fontes: Da esquerda para a direita – fotografia aéreas 5758/1962 – IAC e imagem do satélite ALOS/Prism/2010 nº 065714040 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM 388068,937/7583583,864

A figura 6.18 trata-se de dois recortes de um mesmo trecho pertencente ao médio curso do Córrego Santa Cruzinha, porém em imagens referentes a duas datas distintas. A imagem à esquerda trata-se de fotografia aérea de 1962 (nº 5758) e a da direita trata-se de imagem do sensor Prism/ALOS de 2010 (065714040). Nelas, verifica-se o referido trecho assoreado do médio curso do córrego citado. A comparação dos dois momentos ressalta a gênese antiga do assoreamento verificado na atualidade. Além disso, a figura também demonstra a recomposição atual da mata ciliar, a qual praticamente inexistia em quase toda a bacia do Rio Santo Anastácio.

A figura 6.19 destaca a presença de erosão linear atual, sem qualquer indícios nas fotografias aéreas de 1962.

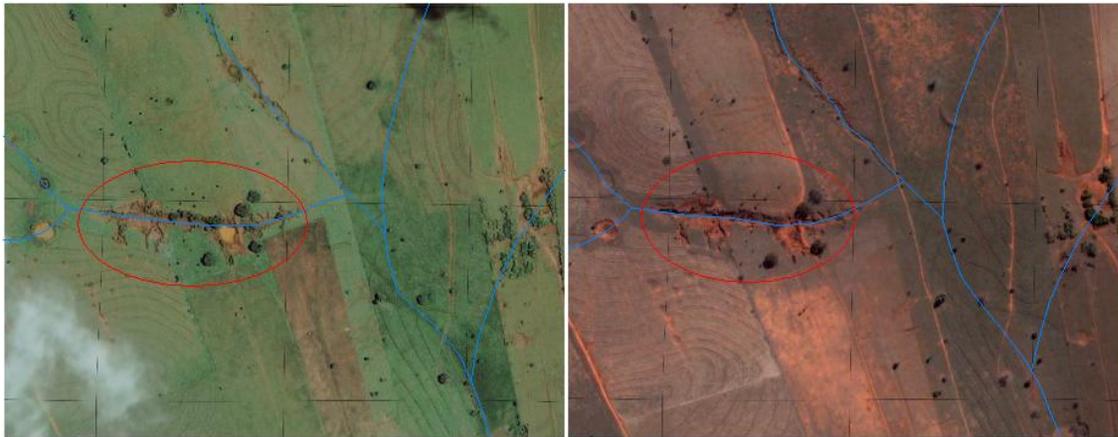


Figura 6.19: Recorte 03 sobre Córrego Santa Cruzinha – Amostra 02

Fontes: Da esquerda para a direita - imagem do satélite IKONOS de 2003 e de 2006 – GoogleEarth. Coordenadas centrais: UTM 387355,146/7585324,527

As imagens que compõem a figura 6.19, da esquerda para a direita, foram obtidas do IKONOS para as datas de 03/03/2003 e 14/07/2006, respectivamente, e procuram demonstrar o aprofundamento de um trecho de canal de segunda ordem no pós década de 1960, haja vista não haver indícios nas fotografias de 1962 de qualquer referência ao desenvolvimento de tal processo erosivo. Porém, tendo em vista as características dos canais existentes no entorno da erosão destacada, é possível verificar que a drenagem, assim como em 1962, se apresenta com baixo entalhamento e sem indícios de reativação. Deste modo, a erosão acelerada destacada em vermelho trata-se de evento localizado e não representativo de ruptura de equilíbrio da rede de drenagem como um todo.

Diante das informações expostas, cabe buscar identificar o elemento, ou conjunto de elementos, que responda pela distribuição dos processos na presente amostra, bem como pela ocorrência de tais processos em seu interior e não no de outras.

Com relação ao substrato geológico (Figura 6.20), a amostra 2 é composta predominantemente pela Formação Santo Anastácio (Ksa), que segundo Stein (1999), devido à sua constituição homogênea de bancos areníticos maciços e espessos, proporciona o desenvolvimento de formas de relevo com encostas contínuas, menos freqüentemente truncadas por rupturas de declive.

Em relação aos setores de relevo (Figura 6.20), na amostra há o predomínio do setor B2, intitulado como Cabeceiras do Santa Cruzinha, Serrinha e Santa Maria. Este é um setor

diferenciado em função da disposição e entalhamento de certas cabeceiras de drenagem, que para o caso da amostra 2, tratam-se das cabeceiras do Santa Cruzinha. Estas, segundo Stein (1999), apresentam rede de drenagem com padrão subdendrítico, manifestando controle estrutural relacionado a lineamentos N-S.

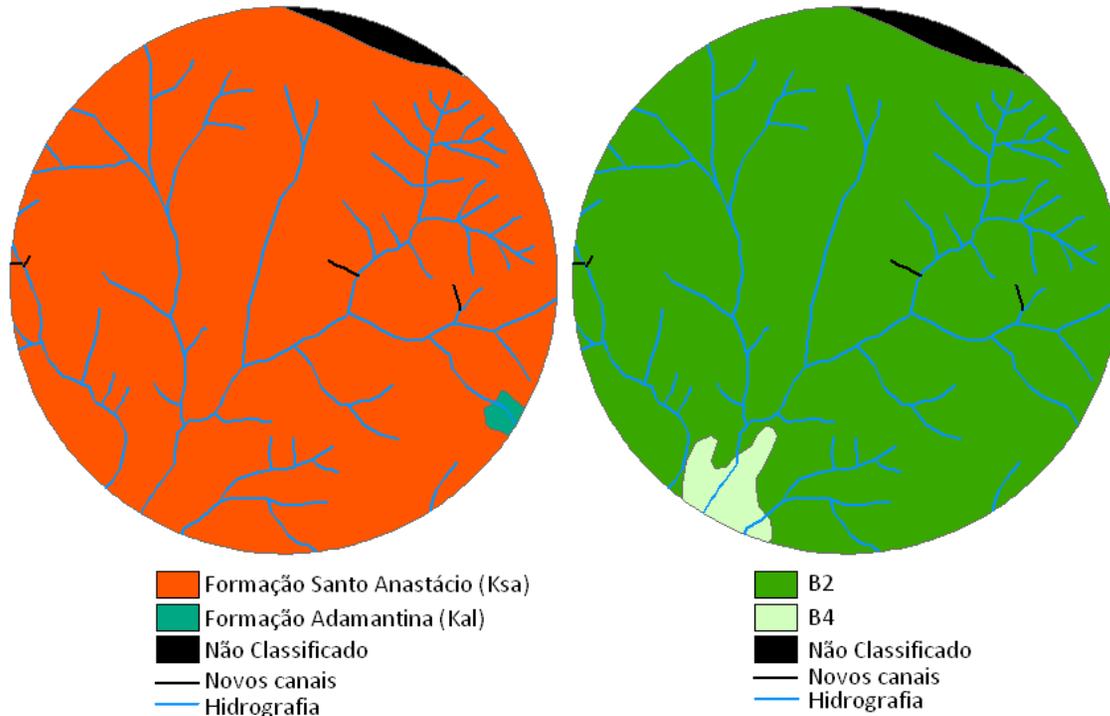


Figura 6.20: Características Litológicas (esquerda) e Geomorfológicas (direita) - Amostra 02.

Fonte: (STEIN, 1999) Adaptado por: Quaresma. C.C.

Pela observação da figura 6.20, pode-se concluir que não há uma diferenciação em termos geológicos e geomorfológicos no interior da amostra que permita estabelecer relações causais entre a localização dos novos canais fluviais e estes elementos geossistêmicos. Além disso, o setor B2 também é predominante nas amostras 3, 6 e 12, nas quais, no entanto, não houve surgimento de novos canais. Do mesmo modo a Formação Santo Anastácio também predomina em todas as demais amostras, com exceção para a de número 10. Entretanto, a maior parte delas, exceção para a 5 e a 11, não apresentou surgimento de novos canais fluviais.

Com relação aos solos, assim como na amostra de número 01, os Latossolos Vermelhos são predominantes. As unidades descritas por Carvalho et. al. (1997) são LEa1, LEa4 e LEa8. O

primeiro, de ocorrência em relevo suave ondulado com declividades entre 3 e 8%, apresenta A moderado com 20cm de espessura, textura franco argilo arenosa, estrutura moderada pequena e média angular, sendo muito friável e de transição gradual para o Horizonte B de espessura maior que 150cm e de textura argilo arenosa. A segunda unidade, também de ocorrência em relevo de características semelhantes à anterior, apresenta A moderado, com 30cm de espessura, textura franco arenosa, estrutura fraca, muito friável e de transição gradual para o horizonte B, que possui mais de 100cm de espessura e textura franco argilo arenosa. A unidade LEa8, de ocorrência em relevo ondulado, apresenta A moderado subdividido em AP, A3 e AB, com espessura de 20 a 60cm, textura areia franca, franco arenosa ou franco argilo arenosa, estrutura fraca e moderada pequena e média muito friável. A transição deste horizonte para o B é difusa ou gradual plana, sendo este com espessura maior do que 220cm.

No geral, são solos bastante friáveis com mais de 70% de areia, chegando a 88% desta fração no sub-horizonte Ap da unidade LEa8.

Além dos Latossolos Vermelhos, verifica-se a presença de Neossolos Flúvicos, em fina faixa, localizada no entorno das partes mais à jusante do Córrego da Cruzinha, que derivam de sedimentos aluviais e possuem horizonte A sobre o C.

De maneira geral, as diferenciações entre as unidades dos solos apresentadas não explicam isoladamente o porquê da localização e distribuição dos novos canais de primeira ordem no interior da amostra em análise, tendo em vista que estes se distribuem por todas as unidades de Latossolos identificadas.

No entanto, as características referentes à textura e friabilidade de tais solos, relacionadas a variáveis pertencentes a outros elementos, poderão explicar o porquê do surgimento do maior número de novos canais nesta amostra em detrimento de outras.

A figura 6.21 refere-se às classes de declividade encontradas no interior da amostra 2.

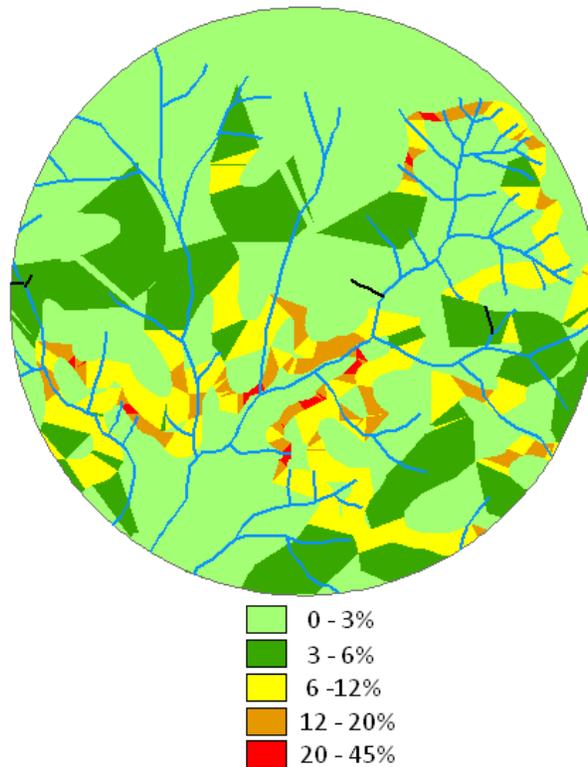


Figura 6.21: Classes de declividade - Amostra 02.

Conforme pode ser observado na figura 6.21, dentre os quatro novos canais destacados em cor preta, um encontra-se em declividades entre 0 e 3% e os outros três, em declividades entre 3 e 6%. Além disso, a amostra apresenta algumas áreas com declividades superiores a 20%.

Tais informações tomadas isoladamente pouco acrescentam ao entendimento das causas dos fenômenos verificados.

Comparando-se as amostras 1 e 2, verifica-se que ambas possuem características pedológicas e geológicas muito semelhantes, no entanto, apenas a última apresentou processos erosivos lineares e surgimento de novos canais fluviais.

Deste modo, as características do relevo, em especial o atributo declividade, podem ter sido fundamentais para a manifestação das formas e processos identificados, principalmente por associarem-se às características de friabilidade e suscetibilidade erosiva da maior parte dos solos que compõem o baixo curso da bacia do Santo Anastácio.

Tendo em vista as maiores declividades encontradas na amostra 2, pode-se verificar que esta apresentou rede de drenagem muito mais entalhada do que as amostras 1, 7 e 4, as quais

apesar de possuírem características semelhantes em termos geológicos e pedológicos, por apresentarem menores declividades, não permitiram maior incisão do escoamento superficial e o desenvolvimento de erosão remontante.

Observações da evolução do uso e ocupação das terras na amostra 02 permitem apontar possível causa do rompimento do estado de equilíbrio do geossistema, e a conseqüente instalação dos processos erosivos identificados (Figura 6.22).

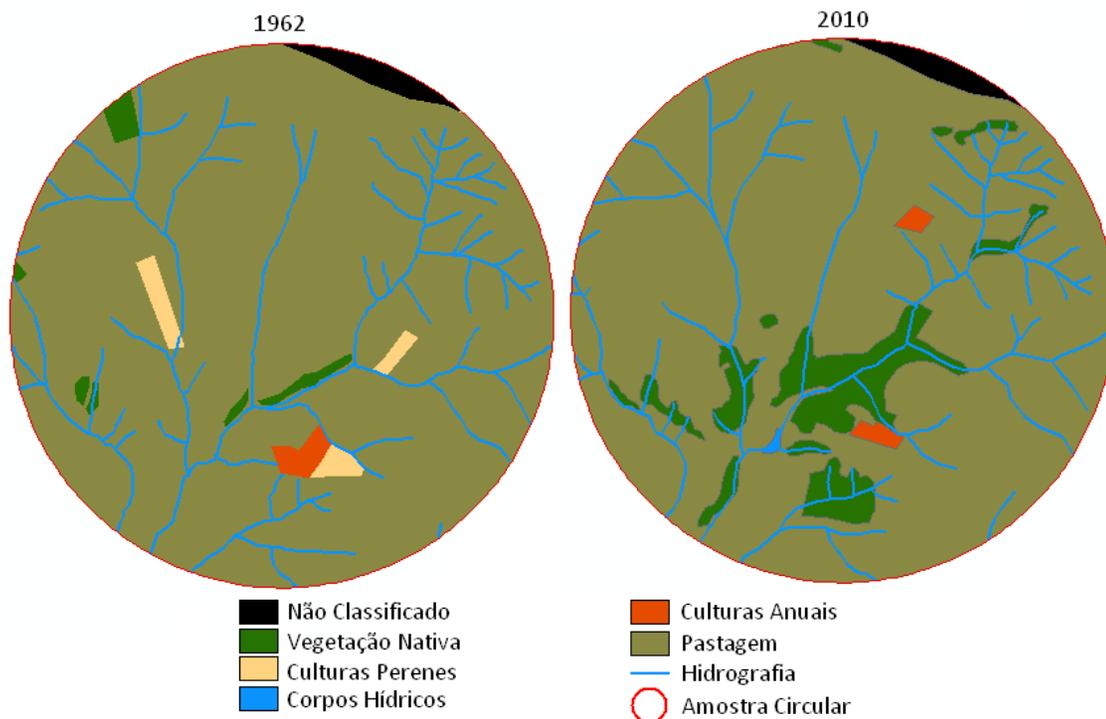


Figura 6.22: Uso e ocupação das terras nos anos de 1962 e 2010 – Amostra 02.

Pela análise da figura 6.22, pode-se verificar que em 1962 a cobertura vegetal natural do interior da amostra fora removida e substituída especialmente por pastagem. O cenário de 2010, embora também apresente um predomínio de uso por pastagem, revela substancial reconstituição da vegetação nativa. A vegetação nativa em 1962 correspondia a um total de $0,136\text{km}^2$, ou o equivalente a 1,36% da área da amostra. Já em 2010, este tipo e uso representava $0,8969\text{ km}^2$, ou o equivalente a 8,969% do total da amostra. Tais números indicam incremento de 559,48% de cobertura vegetal natural em 2010, se comparado a 1962.

O surgimento dos novos canais não pode ser explicado pela alteração do uso e ocupação entre os anos analisados, uma vez que nas áreas do entorno dos novos canais, não foram verificadas alterações significativas nesta variável (Figura 6.23)

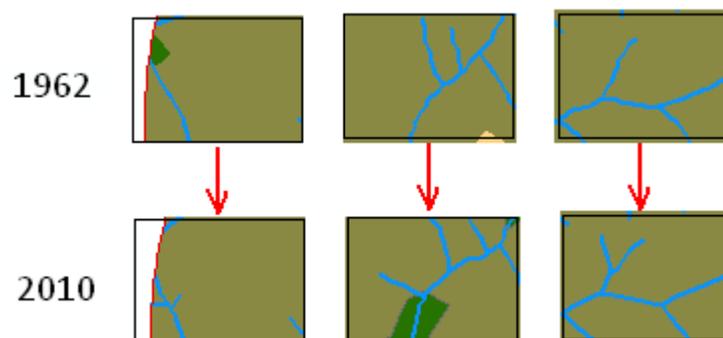


Figura 6.23: Evolução do uso e ocupação das terras no entorno de novos canais fluviais (1962/2010) – Amostra 02.

A observação da figura 6.23 permite verificar que as áreas do entorno dos novos canais apresentaram uso por pastagem em ambos os anos avaliados.

Apesar da comparação dos anos considerados não indicar relações com os processos geomorfológicos de interesse ao presente trabalho, a remoção quase total da cobertura vegetal natural, incluindo as matas ciliares, nas primeiras décadas do século XX, e evidenciada a partir das fotografias aéreas de 1962, provocou modificações consideráveis no equilíbrio do geossistema.

O sistema antrópico, ao remover quase totalmente e de forma acelerada a cobertura vegetal natural, expôs os solos frágeis do baixo curso da bacia do Santo Anastácio aos agentes erosivos, os quais também se tornaram mais intensos, tendo em vista o desequilíbrio hidrológico local, resultante de menor interceptação de água de chuva e do aumento significativo dos volumes de escoamento superficial. Tal desequilíbrio provocou incrementos no número e profundidade de incisões lineares.

Apesar de todas as amostras sofrerem tais alterações, o desenvolvimento dos processos erosivos com conseqüente surgimento de novos canais na amostra 02 pode ser explicado pelas suas características peculiares que caracterizam o setor geomorfológico diferenciado ao qual pertence. Assim, sua maior densidade de drenagem e hidrográfica dentre as amostras

apresentadas e suas encostas com maiores declividades constituem variáveis favoráveis à instalação e retomada de processos erosivos influenciados pela ação do sistema antrópico.

AMOSTRA 05

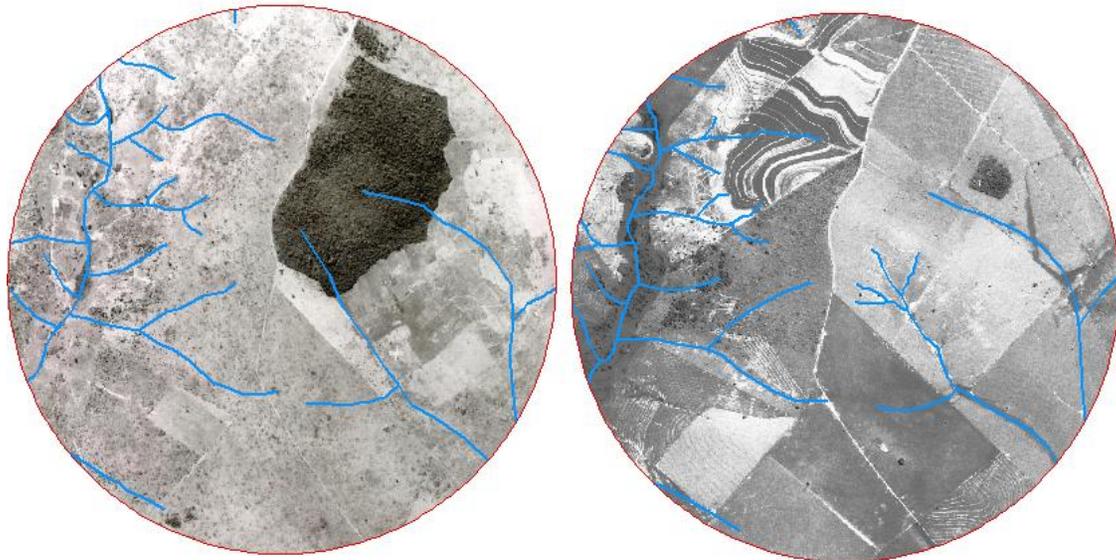


Figura 6.24: Canais fluviais pertencentes à amostra 05 – cenários de 1962 e 2010

Fontes: Da esquerda para a direita – fotografias aérea 5884/IAC e imagem do satélite ALOS/Prism nº 062714040 – IBGE.

AMOSTRA 05					
Nº CANAIS DE 1ª ORDEM		DENSIDADE HIDROGRÁFICA		DENSIDADE DE DRENAGEM	
1962	2010	1962	2010	1962	2010
21	25	2,1	2,5	1,62	1,69

Tabela 6.4: Comparativo de número de canais de 1ª ordem e dos índices Dd e Dh em amostra 05 entre os anos de 1962 e 2010.

A tabela 6.4 permite verificar que a amostra 5 apresentou aumento de 4 canais fluviais de primeira ordem entre os anos avaliados, o que representou um incremento de 19,05% no número de canais por km².

Com relação à densidade de drenagem, verifica-se um aumento de 0,07 km/km² no comprimento de canais. Novamente, é necessário tomar certos cuidados em relação a este dado, pois variações como essa em escala regional, representando 70m de canais por km², podem

refletir pequenas divergências ao longo do processo de vetorização da rede de drenagem, as quais poderiam induzir a interpretações errôneas da realidade.

As características referentes aos setores geomorfológicas e formações geológicas da amostra 5 são semelhantes às das amostras 1, 7, 4, 8, 9 e 11, dentre estas, somente a última apresentou aumento de número de canais (Figura 6.25).

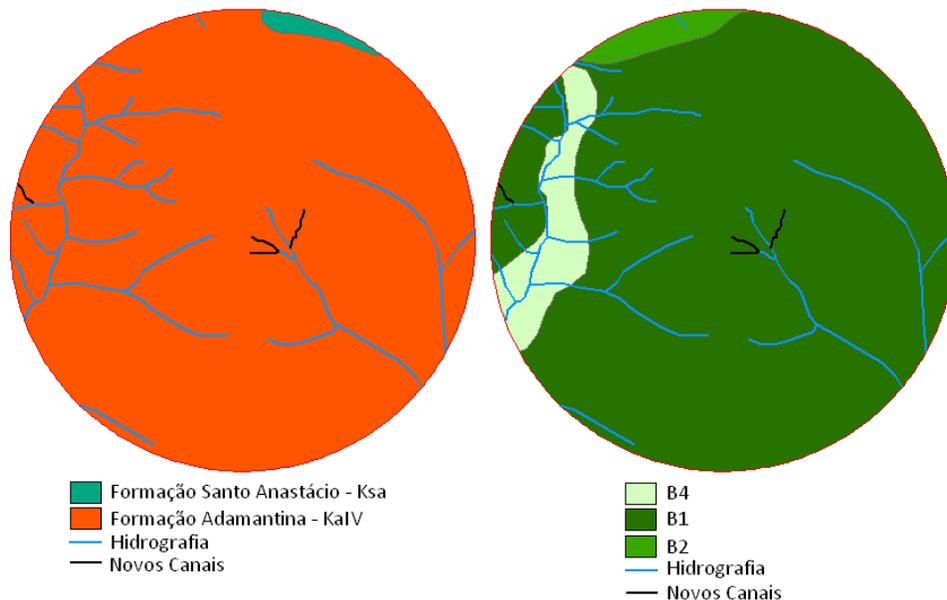


Figura 6.25: Características Litológicas (esquerda) e Geomorfológicas (direita) - Amostra 05.

Fonte: (STEIN, 1999) Adaptado por: Quaresma. C.C.

Com relação às formações geológicas, pode ser verificado a partir da figura 6.25, o predomínio da Formação Santo Anastácio, cujas características foram apresentadas anteriormente. Tendo em vista esta informação, pode-se afirmar que a distribuição dos novos canais não responde a variações litológicas no interior da amostra em estudo.

De acordo com a figura 6.25, o setor geomorfológico predominante na amostra trata-se do B1, intitulado Setor Baixo Santo Anastácio, que segundo Stein (1999), engloba as vertentes do baixo vale em ambas as margens, excetuando-se as cabeceiras de erosão acelerada e os terraços fluviais. Tal setor é caracterizado por apresentar colinas de topos achatados, muito amplos, subarredondados em alguns divisores de água secundários, com encostas longas, retilíneas e suavemente convexas. Suas declividades são baixas e diminuem em direção à foz.

A rede de drenagem do setor, segundo Stein (1999), possui baixa densidade, o que pôde ser comprovado pelos dados de densidade hidrográfica apresentados pela figura 6.8, segundo a qual, todas as amostras pertencentes ao setor compõem o primeiro grupo com densidades inferiores a 1,5 canais/km², exceção para a amostra 9.

Outro setor expressivo na amostra é o B4 (Terraços), que representa o conjunto de níveis associados à rede de drenagem. No caso da presente amostra, refere-se ao Terraço T2, que, no baixo curso, possui sua inserção marcada em cotas variando de 320 a 330m, no limite com o médio curso da bacia, até cerca de 305m de altitude nas proximidades da embocadura. Além disso, apresenta coberturas arenosas espessas, sem evidências de caráter aluvial.

De maneira geral, pela observação da figura 6.25, não se pode estabelecer relações de causa e efeito entre as variáveis expostas e o surgimento dos novos canais fluviais.

O mesmo ocorre em relação às declividades verificadas no interior da amostra. Pela observação da figura 6.26, percebe-se que, apesar da existência de áreas com maiores declividades, a localização dos novos canais fluviais não coincide com as mesmas. Assim, os quatro novos canais possuem nascentes em áreas cujas declividades variam de 0 a 3%. Sendo que um deles está inteiramente inserido em tal classe de declividade e os outros fluem sobre área cujas declividades se apresentam entre 3 e 6%.

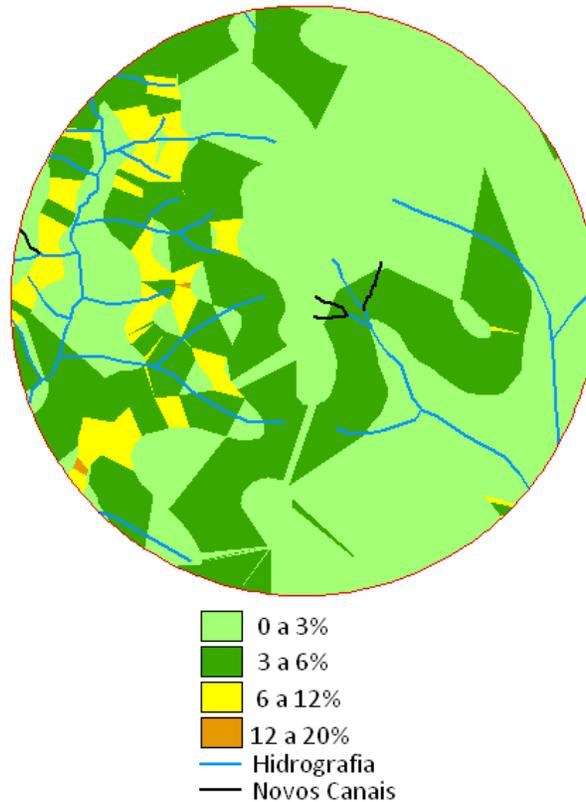


Figura 6.26: Classes de declividade - Amostra 05.

Com relação aos solos, os Latossolos Vermelhos são predominantes na amostra, ocorrendo também uma mancha de Neossolos Flúvicos no entorno do canal principal do Córrego da Serrinha (Figura 6.27). As unidades referentes aos Latossolos, identificadas por Carvalho et. al. (1997), são LEa8, LEe3, LEd2 e LEd3.

A unidade LEa8, de ocorrência em relevo ondulado, apresenta A moderado subdividido em Ap, A3 e AB, com espessura de 20 a 60cm, textura areia franca, franco arenosa ou franco argilo arenosa, estrutura fraca e moderada pequena e média muito friável. A transição deste horizonte para o B é difusa ou gradual plana, sendo este com espessura maior do que 220cm. No geral, são solos bastante friáveis com mais de 70% de areia, chegando a 88% desta fração no sub-horizonte Ap. A unidade LEe3, de ocorrência em relevo suave ondulado, apresenta horizonte A moderado, com 35 cm de espessura, textura areia franca, estrutura fraca pequena granular, consistência macia, muito friável, não plástica e não pegajosa e transição difusa e plana para o horizonte B. Este possui espessura maior do que 80cm, textura franco arenosa, estrutura maciça porosa que se desfaz em fraca muito pequena granular, consistência macia, muito friável,

ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa. No horizonte Ap, tal unidade apresentou 88% de fração areia. A unidade LEd2, de ocorrência em relevos suavemente ondulados e com declividades entre 3 e 8%, caracteriza-se por apresentar A moderado, subdividido em Ap e A3, com espessura de 26 a 60cm, textura areia franca, franco arenosa ou franco argilo arenosa, estrutura composta fraca pequena granular. Seu horizonte Ap apresenta 85% areia. A unidade LEd3 apresenta horizonte A moderado, subdividido em Ap e A3, com espessura de 26 a 60cm, textura areia franca, franco arenosa ou franco argilo arenosa, estrutura composta fraca pequena granular e grãos simples, consistência muito friável, ligeiramente plástica e transição gradual e plana para o horizonte B. Sua ocorrência relaciona-se a relevo suave ondulado, com declividades de 3 a 8% e seu horizonte Ap, dentre os perfis descritos e analisados por Carvalho et.al (1997), apresenta totais da fração areia entre 70 e 85%.

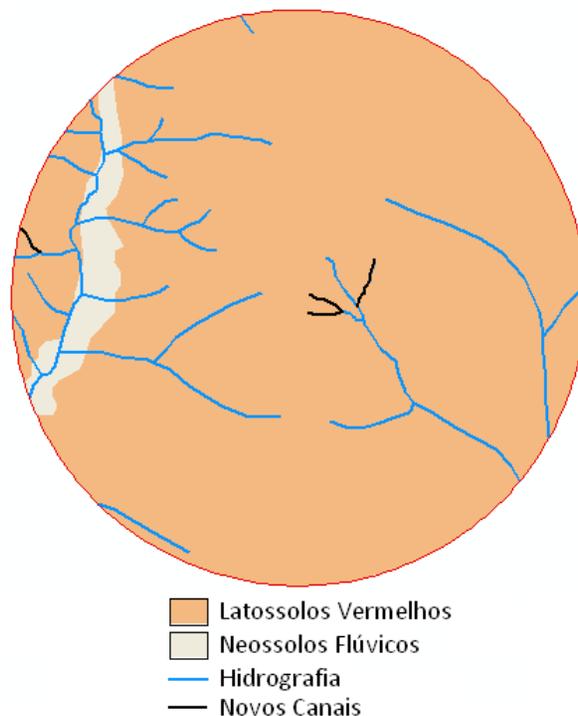


Figura 6.27: Solos em amostra 05

Fonte: (CARVALHO, et. al., 1997) Adaptado por: Quaresma, C.C.

As informações anteriores demonstram que tais solos pertencentes à amostra 5, quando associados às declividades mais acentuadas, tornam-se susceptíveis ao desenvolvimento de processos erosivos.

Entretanto, observando a distribuição dos novos canais fluviais, não é possível verificar relações diretas entre o surgimento destes e as unidades de solos supracitadas.

Resta a análise da evolução do uso e ocupação das terras no interior da amostra em estudo, para que sejam verificadas possíveis relações entre este elemento e o surgimento dos novos canais fluviais apontados.

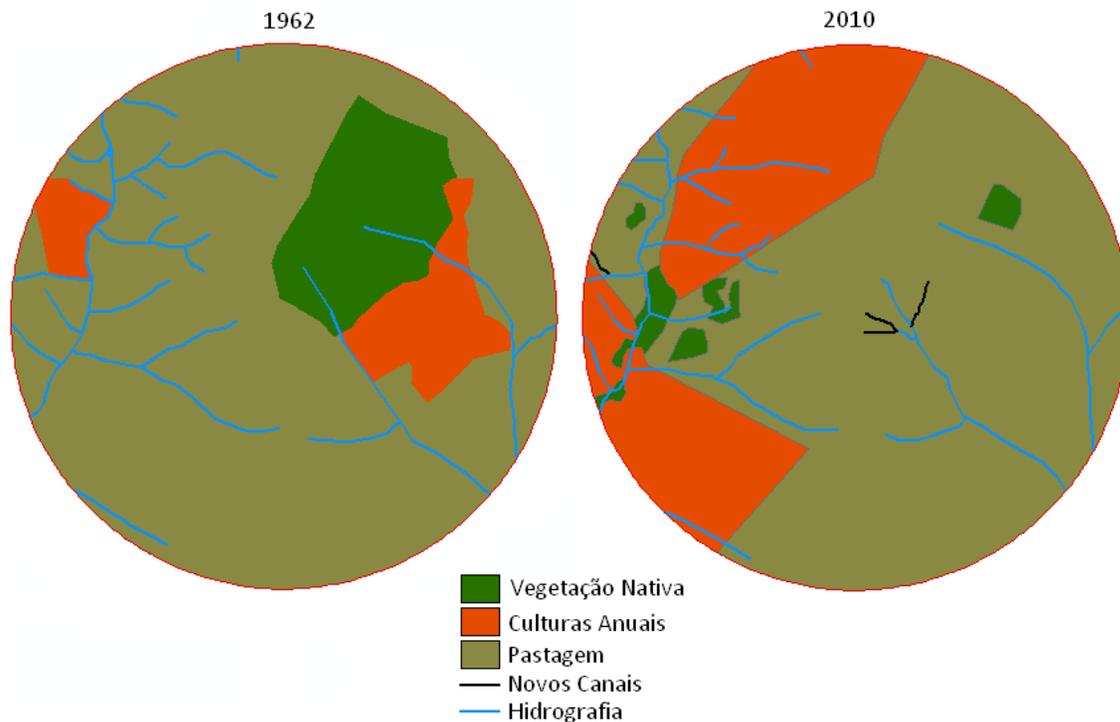


Figura 6.28: Uso e ocupação das terras na amostra 05 – cenários de 1962 e 2010

A figura 6.28 representa dois cenários referentes ao uso e ocupação das terras na amostra 05. O primeiro, para o ano de 1962, foi obtido a partir de fotointerpretação em fotografias aéreas pancromáticas de números 5883, 5884 e 5885. O segundo, para o ano de 2010, foi obtido a partir de interpretação de imagem do satélite do ALOS, sensor Prism (Imagem 65714040) e sensor Avnir-2 (Imagem 59004040).

Por meio da figura 6.28, verifica-se que houve significativa alteração no uso e ocupação das terras entre os anos avaliados. O que chama a atenção é o surgimento atual de três novos canais em área recoberta por gleba significativa de vegetação nativa em 1962. Assim, a remoção da cobertura vegetal natural, ocorrida no pós década de 60, pode ter sido responsável pelo

surgimento dos novos canais apontados. Tal fato se justificaria pela redução da interceptação da precipitação pluviométrica; maior desagregação da camada superior dos solos; evolução do escoamento superficial para o tipo linear; aprofundamento da incisão vertical, que de pequenas ravinhas, evoluíram voçorocas, gerando assim os novos canais identificados (Figura 6.29).

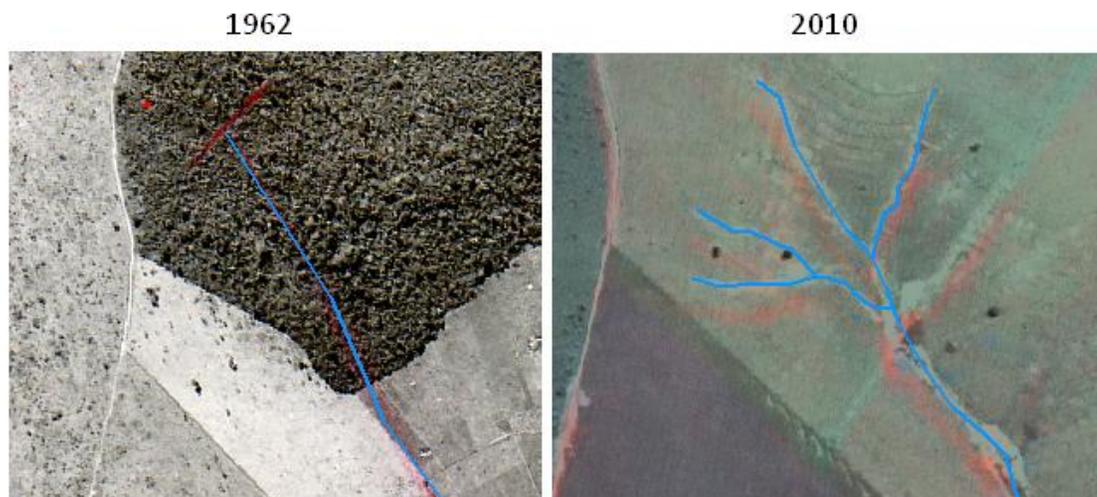


Figura 6.29: Recorte sobre novos canais – Amostra 05

Fontes: À esquerda, fotografias aéreas nº 5883, 5884 e 5885/1962 – IAC; À direita, fusão de imagens do satélite ALOS, sensores Prism/2010 – nº 65714040 e AVNIR2/2010 – nº 59004040 - IBGE. Coordenadas centrais: UTM 394017,425 / 7577748,459

Outra explicação, que não deve ser desprezada, para o aparecimento dos novos canais representados na figura 6.29 e que aparecem nas imagens atuais, poderia ser a de que a cobertura vegetal natural existente em 1962 dificultou a fotointerpretação e, deste modo, a identificação dos referidos canais em tal época. Entretanto, é importante mencionar que foram tomados os devidos cuidados ao longo de tal atividade e o único canal traçado em 1962 reflete o que foi possível de ser identificado.

Outras amostras relevantes

A figura 6.30 representa dois recortes sobre mesma área envolvendo o interior e o entorno da amostra 8. As imagens, da esquerda e da direita, referem-se, respectivamente, às situações

registradas pela fotografia aérea de 1962 (n° 5890) e pela imagem do satélite ALOS/Sensor Prism de 2010 (65714040).

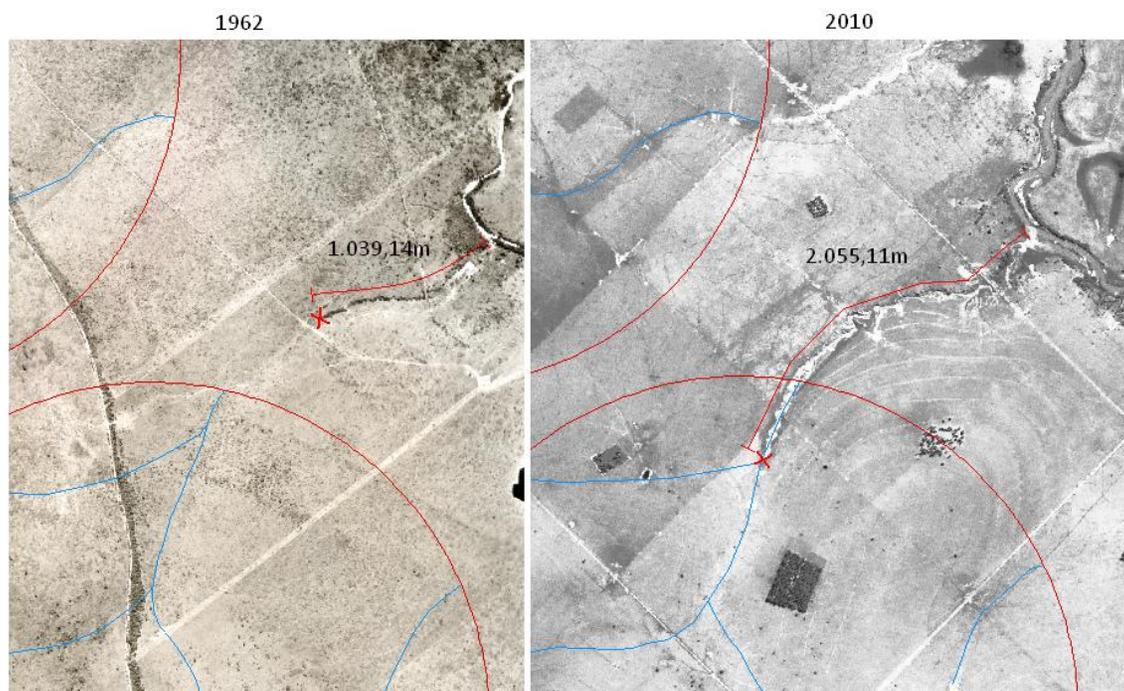


Figura 6.30: Recorte sobre erosão remontante – Amostra 08

Fontes: À esquerda, fotografia aérea n° 5890/1962 – IAC; À direita, imagem do satélite ALOS/ Prism/ 2010 n° 65714040 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM 382201,026 / 7577817,218

Verifica-se que a erosão remontante acelerada e atualmente localizada no Norte da amostra 8 não se fazia presente no ano de 1962. Tendo em vista que os canais fluviais pertencentes ao interior da amostra em estudo apresentavam-se pouco entalhados, inclusive de difícil identificação, mesmo por estereoscopia, poderia ser concluído que a erosão verificada no presente tratar-se-ia de evento recente, sem indícios de origem no ano mais antigo considerado.

No entanto, a observação da área externa à amostra permitiu localizar, em 1962, a existência de trecho do Baixo Curso do canal fluvial que já apresentava maior incisão vertical, em comparação às demais partes do perfil longitudinal. Desse modo, no ano de 1962, observa-se a existência de rápido, identificado pela letra “x” em vermelho, e localizado a 1.039,14 m de distância da foz.

A imagem referente ao ano de 2010 permite verificar que o entalhamento da rede de drenagem evoluiu em direção de montante, refletindo a busca do canal fluvial pelo restabelecimento de seu perfil de equilíbrio. Desta forma, o rápido apresentou deslocamento de 1.015,97m na direção das cabeceiras, atingindo a distância total de 2.055,11m em relação à embocadura.

Outra informação relevante referente aos recortes pertencentes à figura 6.30 trata-se da grande carga sedimentar transportada pelo canal principal já em 1962, o que ressalta a existência de processo erosivo intenso naquele ano.

Além disso, pode-se observar que no presente o canal principal apresenta-se mais alargado do que no ano mais antigo. Essa situação pode ser considerada característica geral em muitos canais de todas as amostras pertencentes ao baixo curso

Os recortes existentes na figura 6.31 demonstram o maior aprofundamento do leito e alargamento do perfil transversal do Córrego da Alegria no ano de 2010 (imagem da direita) em comparação ao ano de 1962 (imagem da esquerda), no interior da amostra 09.

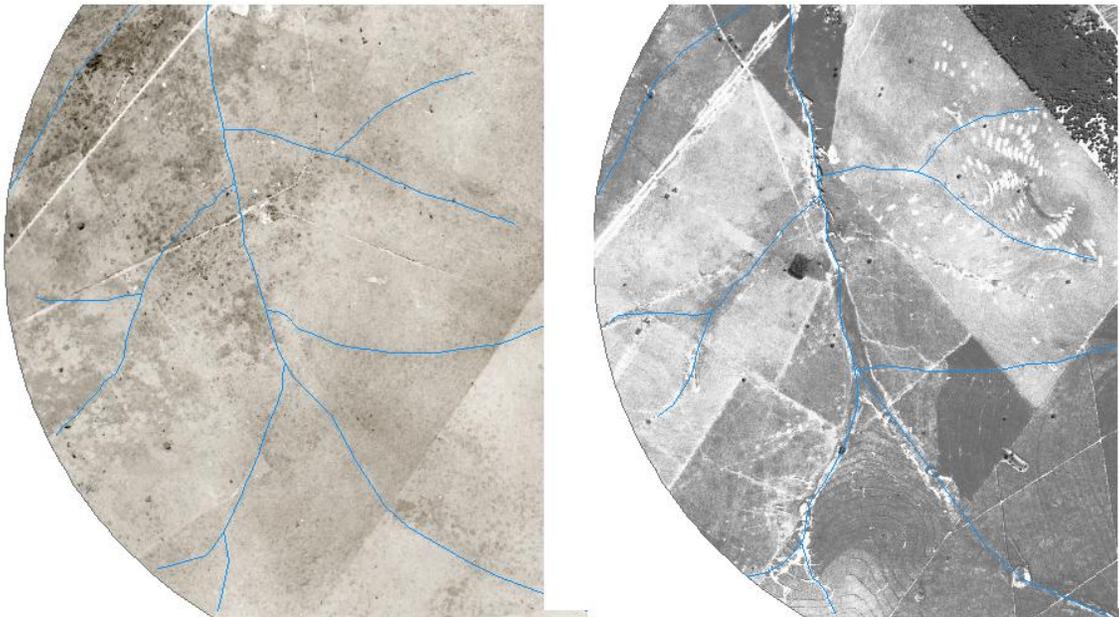


Figura 6.31: Maior incisão e alargamento de canais no cenário atual – amostra 09.

Fontes: À esquerda, fotografia aérea nº 5779/1962 – IAC; À direita, imagem do satélite ALOS/ Prism/ 2010 nº 65714045 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM 386247,620 / 7570143,259

Não foram verificados aumentos no número e comprimento dos canais entre os anos estudados. Entretanto, é notável o aumento da erosão vertical e lateral dos canais fluviais, uma vez que a rede de drenagem, de fácil identificação visual no ano de 2010, em 1962, se apresentava quase imperceptível nas fotografias aéreas, haja vista serem muito superficiais. Atualmente, apesar de certas dificuldades, em especial na parte leste da amostra, no geral, a drenagem pôde ser mais facilmente identificada.

Esta característica foi destacada uma vez que se trata de exemplo de situação observada em grande parte das amostras inerentes aos três cursos da bacia em estudo, cujas redes de drenagem, em 2010, apresentaram-se muito mais entalhas e alargadas do que no cenário de 1962. Tal constatação revela que as mesmas evoluíram ao longo de 40 anos tendo estabelecido perfis longitudinais e transversais mais eficientes no transporte da maior quantidade de matéria e energia, que lhes é transferida.

6.4 O Médio Santo Anastácio

6.4.1 Classes de declividade

Segundo Stein (1999), o médio Santo Anastácio apresenta a maior diversidade de conjuntos de formas de relevo dentre os demais cursos pertencentes à bacia em estudo, haja vista a maior variedade de tipos de rochas e presença de fatores estruturais. Como não poderia ser diferente, a distribuição das classes de declividade refletem essa diversidade.

Assim, conforme poderá ser observado a partir da figura 6.32, verifica-se a concentração da classe de declividades de 0 a 3% ao longo dos baixos e altos terraços, e apesar das altas declividades se distribuírem por todo o Médio Curso, ocorrem concentrações em certos locais correspondendo a setores específicos.

Como exemplos podem ser citadas as maiores declividades pertencentes ao setor M6 (Alto e médio ribeirão Areia Dourada), o qual fora definido como setor de erosão acelerada e cujo rio que lhe deu nome encontrava-se com grande carga sedimentar, e evidente início de assoreamento no ano de 1962. Além disso, observa-se que a rede de drenagem encontra-se mais entalhada e alargada, com processos erosivos e assoreamentos mais intensos no cenário de 2010, se comparado ao anterior. Tais evidências podem ser apontadas nas amostras 46, 45, 48, 49, 50 e

51. A intensidade de tais processos pode ser atribuída à associação de Argissolos Vermelhos com as altas declividades características do setor.

Nos setores M4 (Bacias do Favorita, Guarapu e afluentes do Santo Anastácio) e M5 (Cabeceiras do Cerrado), verificam-se declividades também elevadas e nítido controle litológico sobre as mesmas. Assim, nos topos, constituintes dos divisores da bacia no segundo setor mencionado, a formação Adamantina representada pelas unidades KaI e KaIV dão origem a relevo plano, cujas declividades encontram-se entre 0 e 3%. Ao passo, que nos divisores secundários do mesmo setor, onde predomina a Formação Santo Anastácio, o relevo apresenta-se mais movimentado, com declividades que superam 20%. A este setor, Stein (1999) também atribui a qualidade de cabeceiras de drenagem com erosão acelerada, cuja morfologia apresenta elementos favoráveis à retomada de erosão linear, tais como maior densidade e entalhe da drenagem e encostas mais declivosas. Dentre as amostras pertencentes aos setores destaca-se o noroeste da de número 14, cujas declividades associadas aos Argissolos Vermelhos permitiram o desenvolvimento, desde 1962, de série de sulcos e ravinas que partiam dos topos das vertentes em direção aos canais. Além dessa, a amostra 28, referente ao setor M4, em sua porção Sul, caracterizado por apresentar declividades de até 12% e Argissolos Vermelhos, apresentou indícios de reativação da rede de drenagem, com nítido entalhamento desigual ao longo de perfis longitudinais de canais.

Destaca-se no médio curso uma grande área plana, com declividades inferiores a 3%. Trata-se do setor M8 (Planalto das Lagoas), bloco limitado pelas grandes discontinuidades crustais que cortam a bacia e que fora apresentado e discutido no item “Material e Método”. Tendo em vista suas baixas declividades e o predomínio dos Latossolos Vermelhos, tal setor não apresentou processos erosivos em nenhum dos anos avaliados, apesar de ter-se verificado uso intenso desde 1962.

Relações entre declividades, solos e processos erosivos na área de estudo também foram apontadas por Espíndola (1999), para o qual, na zona de confluência do Córrego do Cerrado com o Rio Santo Anastácio, às vertentes de declividades mais intensas, de até 20%, caracterizadas por Argissolos Vermelho-Amarelos abruptos, associam-se intensos ravinamentos.

**MAPA DE DECLIVIDADES DO MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO
SP - BRASIL**

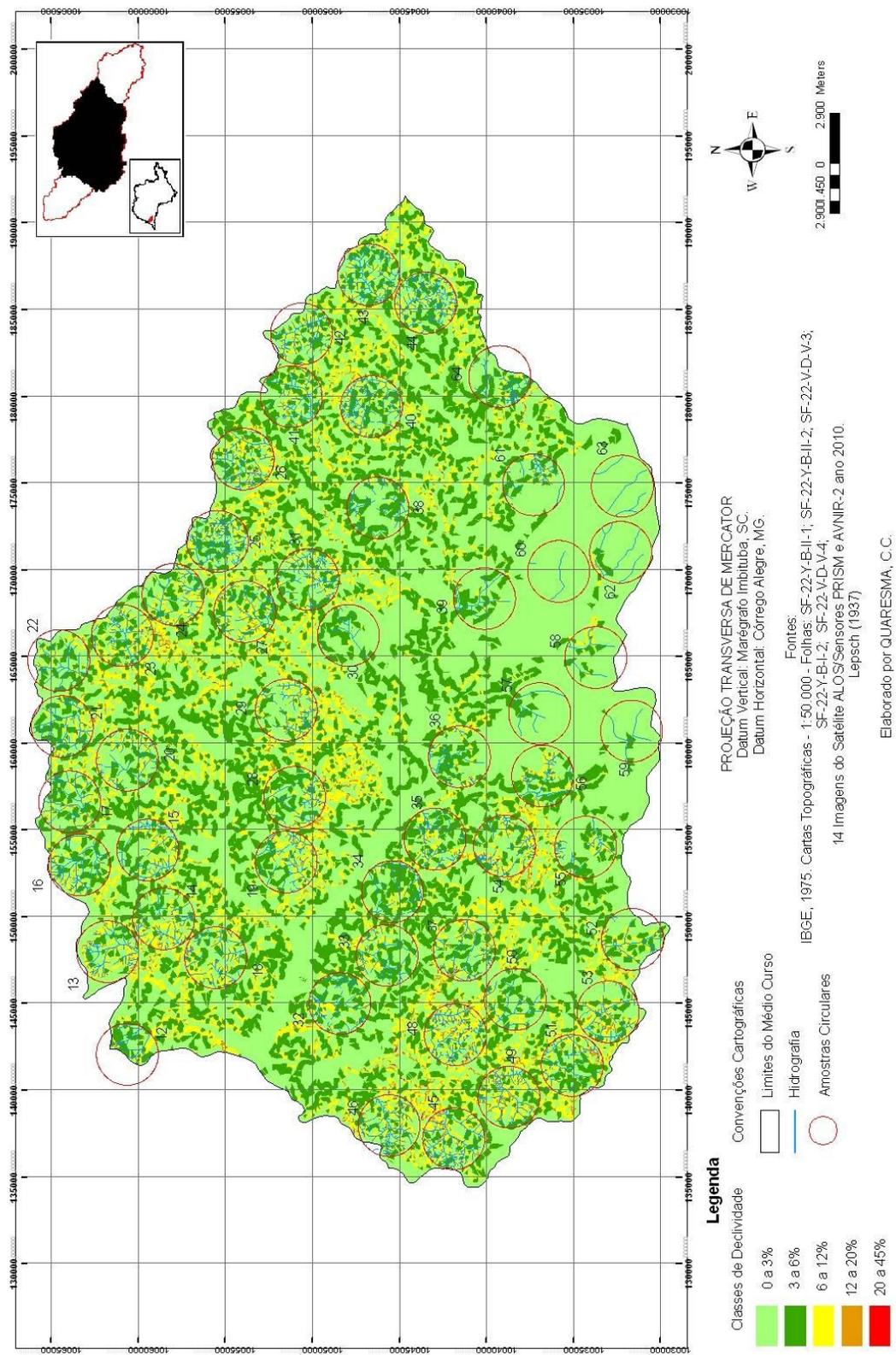


Figura 6.32: Mapa de declividades do Médio Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil

6.4.2 Hipsometria

Com relação à classificação altimétrica do médio Santo Anastácio, as análises permitiram verificar que as altitudes, mínima e máxima, correspondem aos valores de 260m e 500m, respectivamente (Figura 6.33).

Baseando-se nas descrições das superfícies erosivas e níveis fluviais realizadas por Stein (1999), foram definidas quatro classes altimétricas para o Médio Santo Anastácio.

A primeira delas, englobando altitudes entre 260m e 300m, corresponde aos baixos terraços (T1), caracterizados como pedimento recente; Os altos terraços (T2) corresponderiam à classe entre 300m e 350m; O Planalto II, predominante no médio curso, possui ocorrência entre altitudes de 350m e 440m; Finalmente, a superfície cimeira, ou Planalto III, cujas altitudes estão inseridas na classe entre 440m e 500m, aparece em setores específicos, tais como no M1, prolongando-se pelo interflúvio Santo Anastácio/Peixe e contornando as cabeceiras dos ribeirões Guaiçara e Vai-e-Vem. Nos setores M6 e M10, tal superfície constitui o divisor entre as bacias do Santo Anastácio e do Paranapanema, além de contornar as cabeceiras do Areia Dourada, Caixão da Onça e do Santo Antônio.

**MAPA HIPSONMÉTRICO DO MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO
SP - BRASIL**

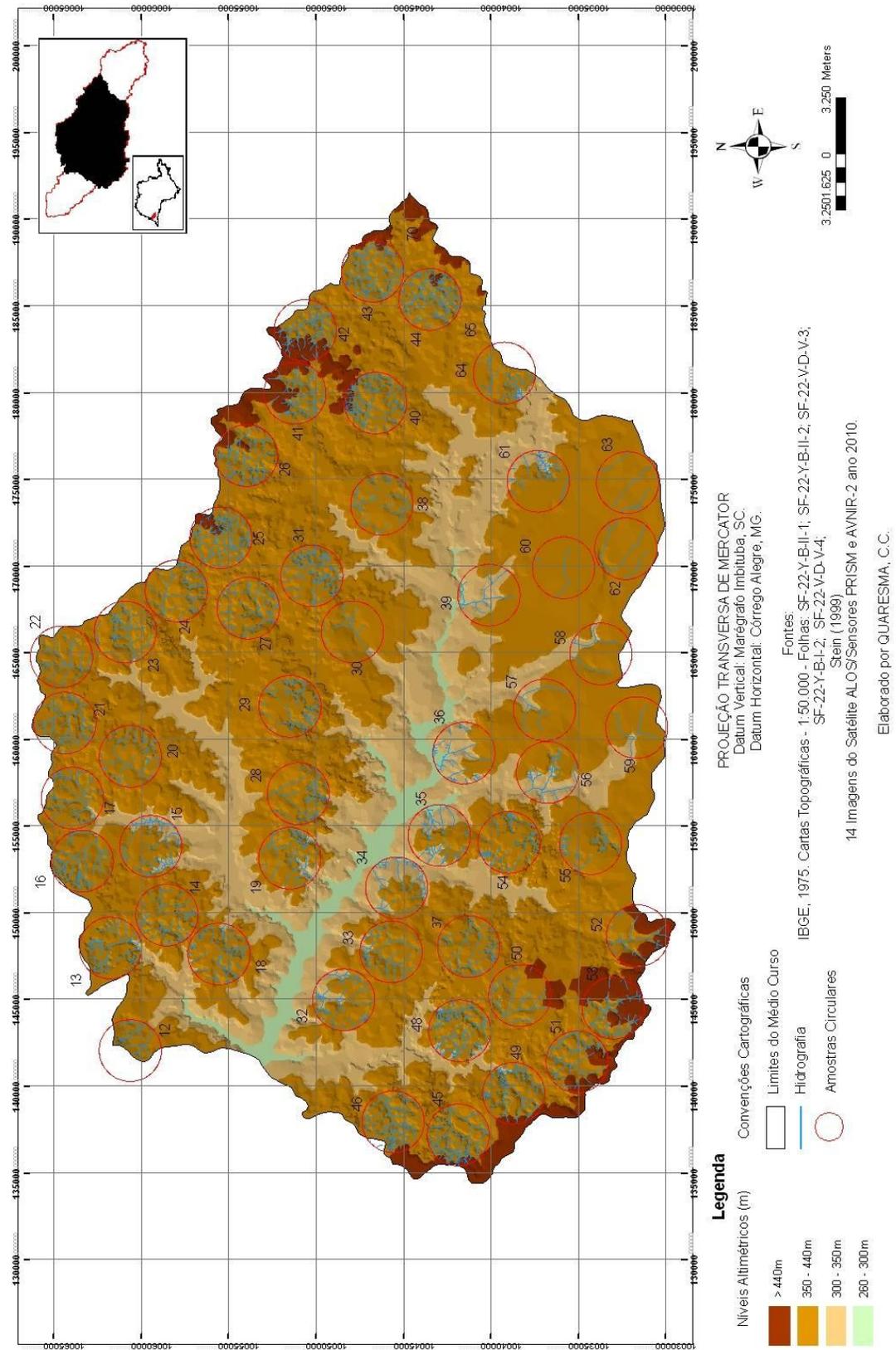


Figura 6.33: Mapa hipsométrico do Médio Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil

6.4.3 Uso e Ocupação nos anos de 1962 e 2010.

As classes de uso e ocupação das terras identificadas para o Médio Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio , bem como suas respectivas áreas nos anos de 1962 e 2010, são apontadas na tabela 6.5.

CLASSES	1962		2010	
	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)
Áreas Edificadas	-	-	-	-
Culturas Anuais	217,25	43,53	141,70	28,50
Culturas Perenes	-	-	0,92	0,18
Corpos d'água	0,10	0,02	1,17	0,24
Silvicultura	-	-	0,37	0,07
Pastagens	256,56	51,41	316,85	63,72
Solo Exposto	0,10	0,02	0,30	0,06
Mata perturbada	0,67	0,13	12,47	2,51
Mata remanescente	24,39	4,89	23,46	4,72

Tabela 6.5: Classes de uso e ocupação das terras e respectivas áreas – amostras do Médio Curso da Bacia do Santo Anastácio – Anos 1962 e 2010.

Para o Médio Curso, pode-se perceber que houve aumento de 91,45% da classe corpos d'água no cenário de 2010, em comparação ao ano de 1962. Entretanto, a área total deste tipo de uso não é significativa, uma vez que representa apenas 0,24% do total da área analisada.

Com relação à “Silvicultura”, não foram verificadas ocorrências em 1962 e, no ano de 2010, apenas 0,07% da área total das amostras se apresentou ocupada por esse tipo de uso.

Com relação às culturas perenes, no cenário mais antigo, foram identificadas apenas pequenas glebas, principalmente de café e laranja, as quais não foram destacadas, tendo em vista sua baixa representatividade espacial. Tal fato corrobora observações de Leite (1970) que apontam a grande queda na produção de café devido à crise cafeeira, que atingiu o estado de São Paulo nos meados da década de 30. Desta forma, esse tipo de uso, que somente em Presidente Prudente, no auge de sua produção, atingiu a soma de cerca de 10 milhões de pés de café, em 1962, nas amostras analisadas, praticamente inexistiu.

Os dados também permitem corroborar observações realizadas por Stein (1999) de que no final da década de 50 e início da de 60, a cultura predominante na bacia em estudo tratava-se do algodão.

De fato, grande parte do total da área analisada no cenário de 1962 para o Médio Curso corresponde à cultura algodoeira, que somada às pequenas participações de culturas de milho e amendoim, ocupou 217,25km², ou 43,53% do total da área analisada.

No ano de 2010, verificou-se a diminuição das áreas ocupadas por culturas anuais, as quais passaram a atingir 25,50% do total da área analisada, correspondendo à redução superior a 34%. Esta não foi maior, haja vista a expansão da cultura de cana-de-açúcar, a qual tem ampliado seu domínio espacial nos últimos anos sobre grandes áreas do Médio Curso do Santo Anastácio.

As pastagens, no contexto do Médio Curso, representam o tipo de uso mais expressivo dentre os demais, tendo em vista ocuparem já em 1962, 256,26km², ou 51,41% do total da área estudada. Esse tipo uso, que, segundo Stein (1999), inicia sua expansão desde a década de 60, ocupando áreas antes cultivadas pelo café e, sobretudo pelo algodão, passa a representar, em 2010, 316,85km² do total da área em estudo, correspondendo assim, a incremento na ordem de 23,5%, em relação ao ano de 1962.

É importante lembrar que, segundo o mesmo autor citado no parágrafo anterior, as pastagens auxiliaram na melhoria do quadro de degradação das terras, estabelecido pelo desmatamento e pelas culturas agrícolas, os quais depauperaram os solos e aceleraram sua erosão.

No entanto, conforme pôde ser observado nas atividades de fotointerpretação em fotografias aéreas de 1962, as áreas ocupadas por pastagens não adotavam práticas de manejo conservacionistas. Este quadro se apresenta modificado no cenário de 2010, onde são verificadas tais práticas em grande parte da área analisada.

A figura 6.34 compara três principais classes de uso dos anos 1962 e 2010.

Evolução de três principais classes de uso e ocupação no Médio Curso da Bacia do Santo Anastácio - SP (1962-2010)

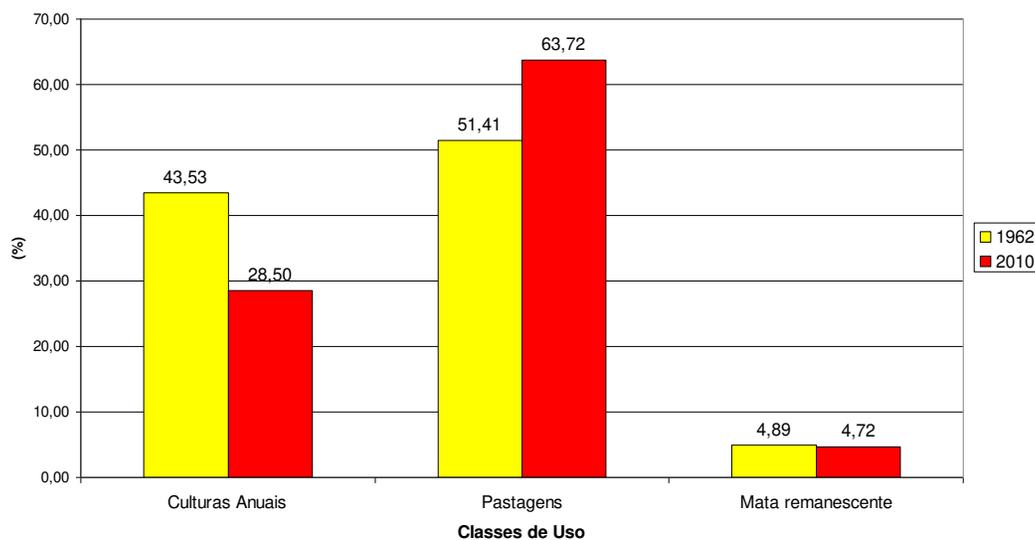


Figura 6.34: Evolução de três principais classes de uso e ocupação no Médio Curso da Bacia do Santo Anastácio-SP/Brasil – (1962-2010)

A classe “Mata Remanescente” abarca a vegetação conservada desde os primórdios da ocupação da bacia e áreas formadas por vegetação natural em estágio secundário.

Segundo os dados apontados, o quadro de devastação da cobertura vegetal original, verificado em 1962, piorou ainda mais em 2010. Deste modo, foi verificada redução de 3,8% em tal classe de uso, apesar de parcelas significativas de matas ciliares, praticamente inexistentes em todos os cursos do Santo Anastácio no ano de 1962, terem apresentado maior ocorrência em 2010.

O quadro, porém não é de todo decepcionante, uma vez que a classe de uso “Mata perturbada” que se refere à vegetação natural modificada pela ação antrópica ou em estágios iniciais de desenvolvimento, apresentou aumento em 2010, superior a 1700%, em relação ao ano de 1962. Esse fato indica melhorias nas práticas de conservação na bacia em estudo, e maior conscientização ambiental no processo de uso e ocupação, os quais, embora ainda insuficientes, demonstram avanços em relação à lógica desregrada empregada nos primeiros 40 anos de ocupação de todo o Pontal do Paranapanema.

As figuras 6.35 e 6.36 referem-se aos mapas de uso e ocupação das terras no interior das amostras pertencentes ao Médio Curso da Bacia do Santo Anastácio.

MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS DO MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL - ANO 1962

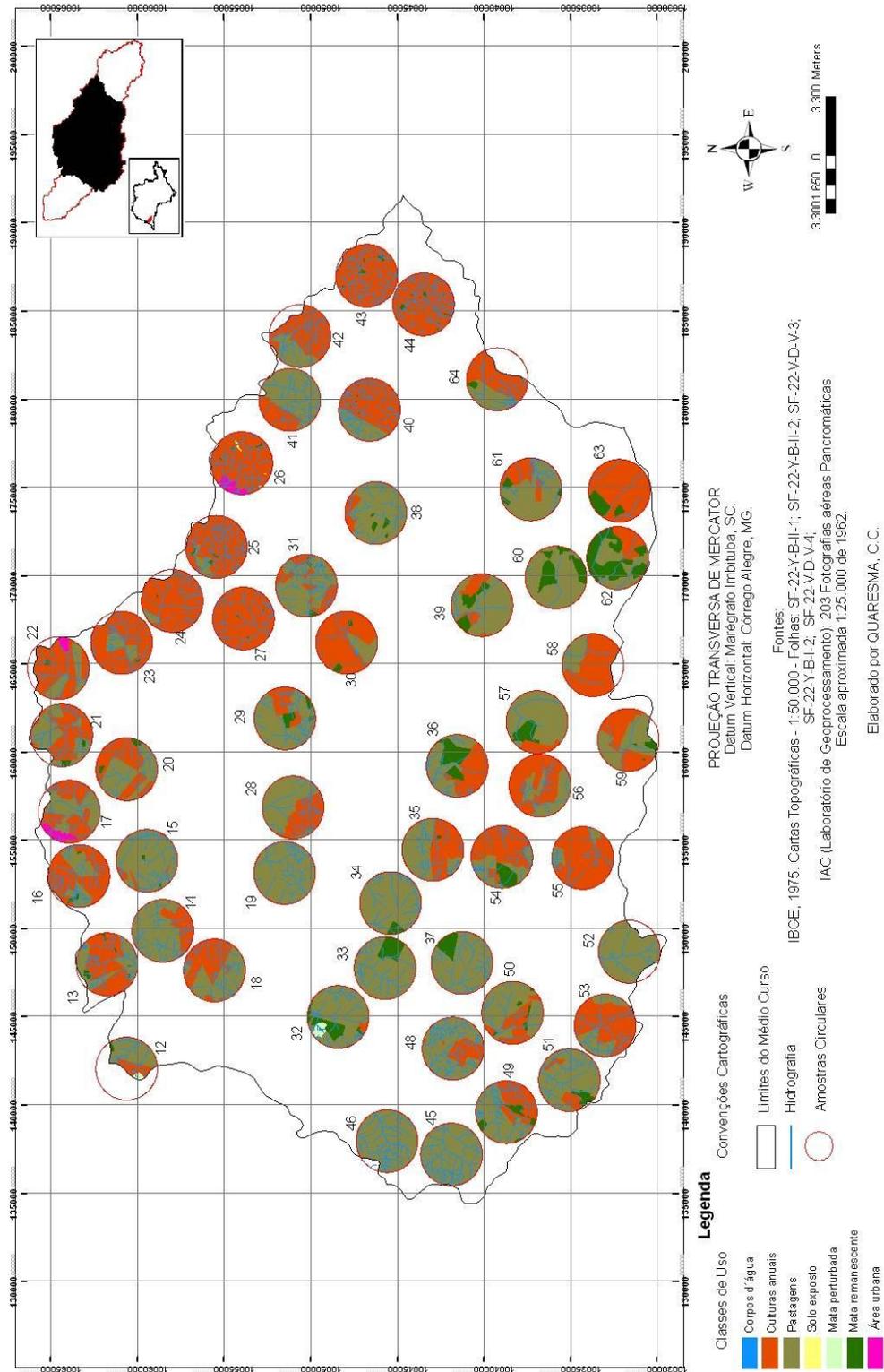


Figura 6.35: Mapa do uso e ocupação das terras em amostras circulares do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 1962

MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS DO MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL - ANO 2010

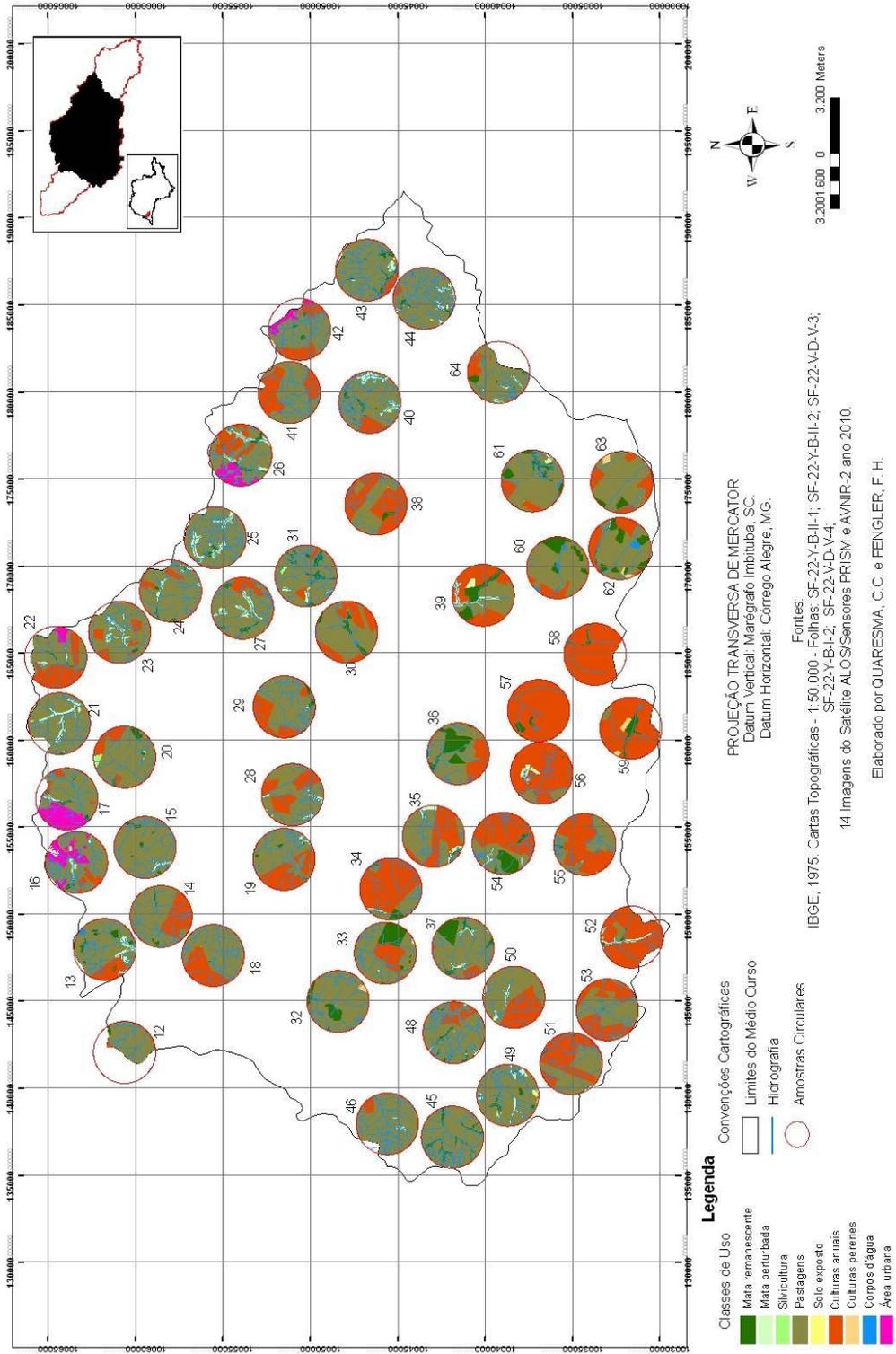


Figura 6.36: Mapa do uso e ocupação das terras em amostras circulares do Baixo Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 2010

6.4.4 Análise Mofométrica da rede de drenagem

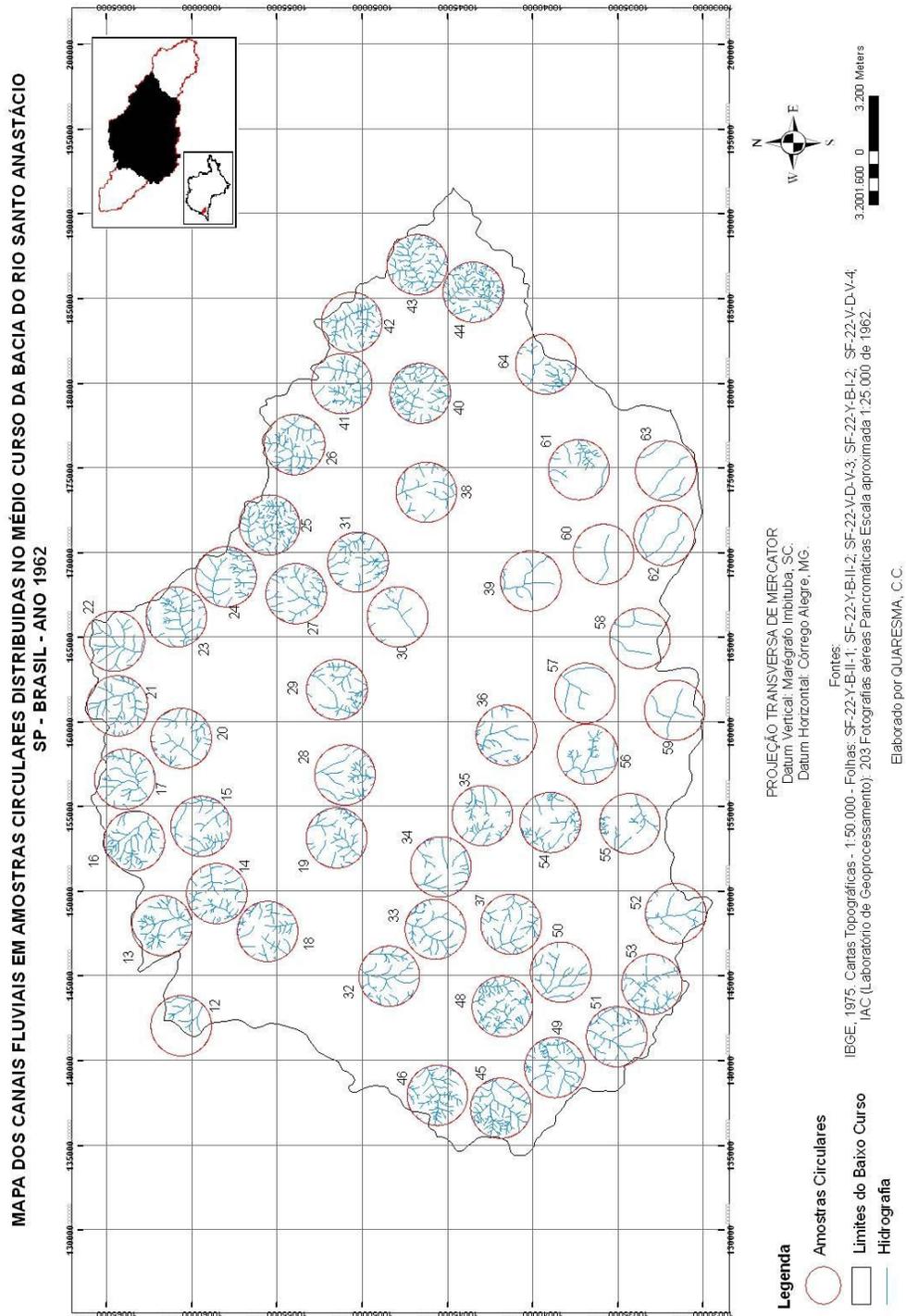


Figura 6.37: Mapa da rede de drenagem em amostras circulares distribuídas no Médio Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 1962

**MAPA DOS CANAIS FLUVIAIS EM AMOSTRAS CIRCULARES DISTRIBUÍDAS NO MÉDIO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO
SP - BRASIL - ANO 2010**

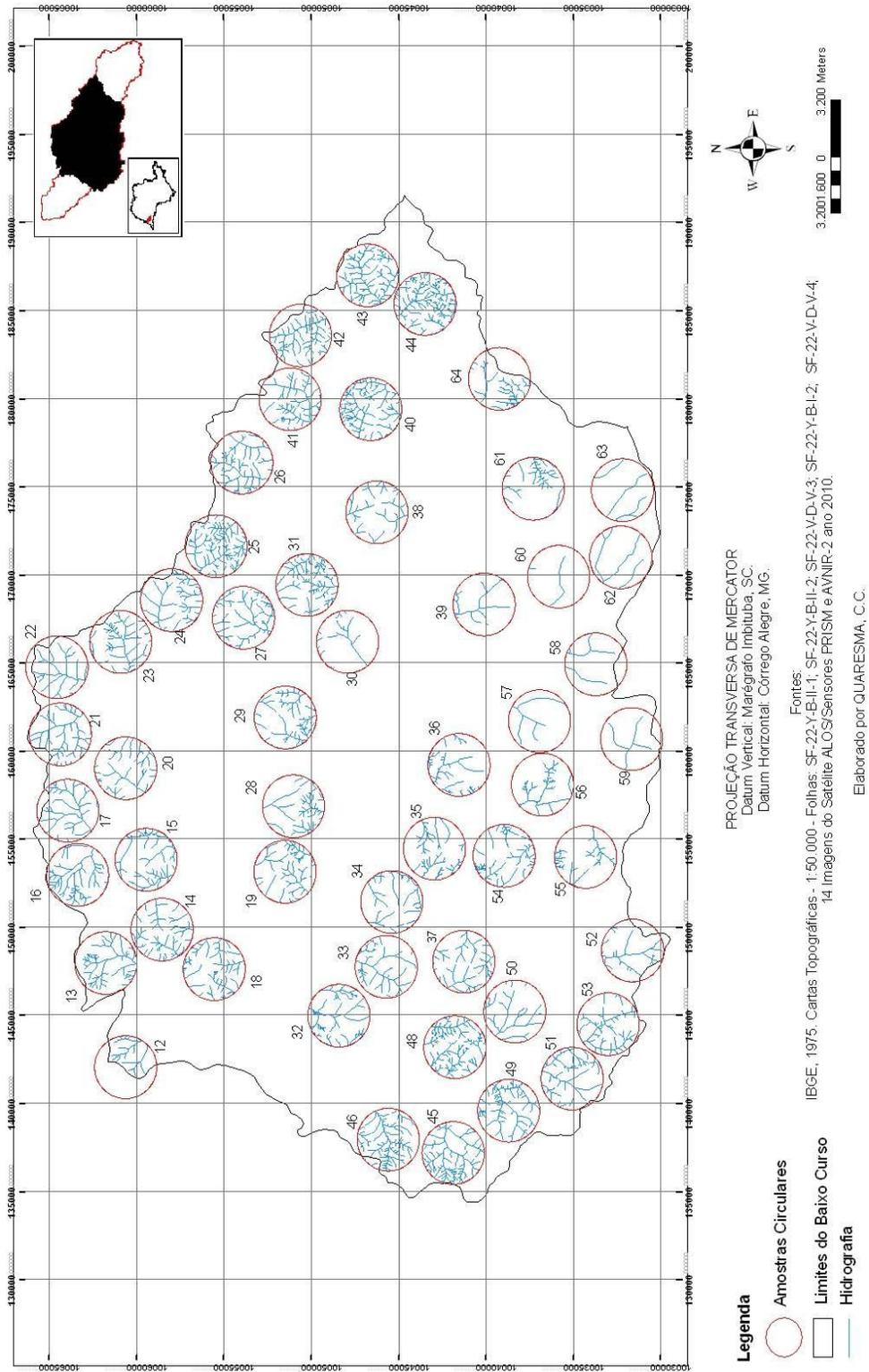
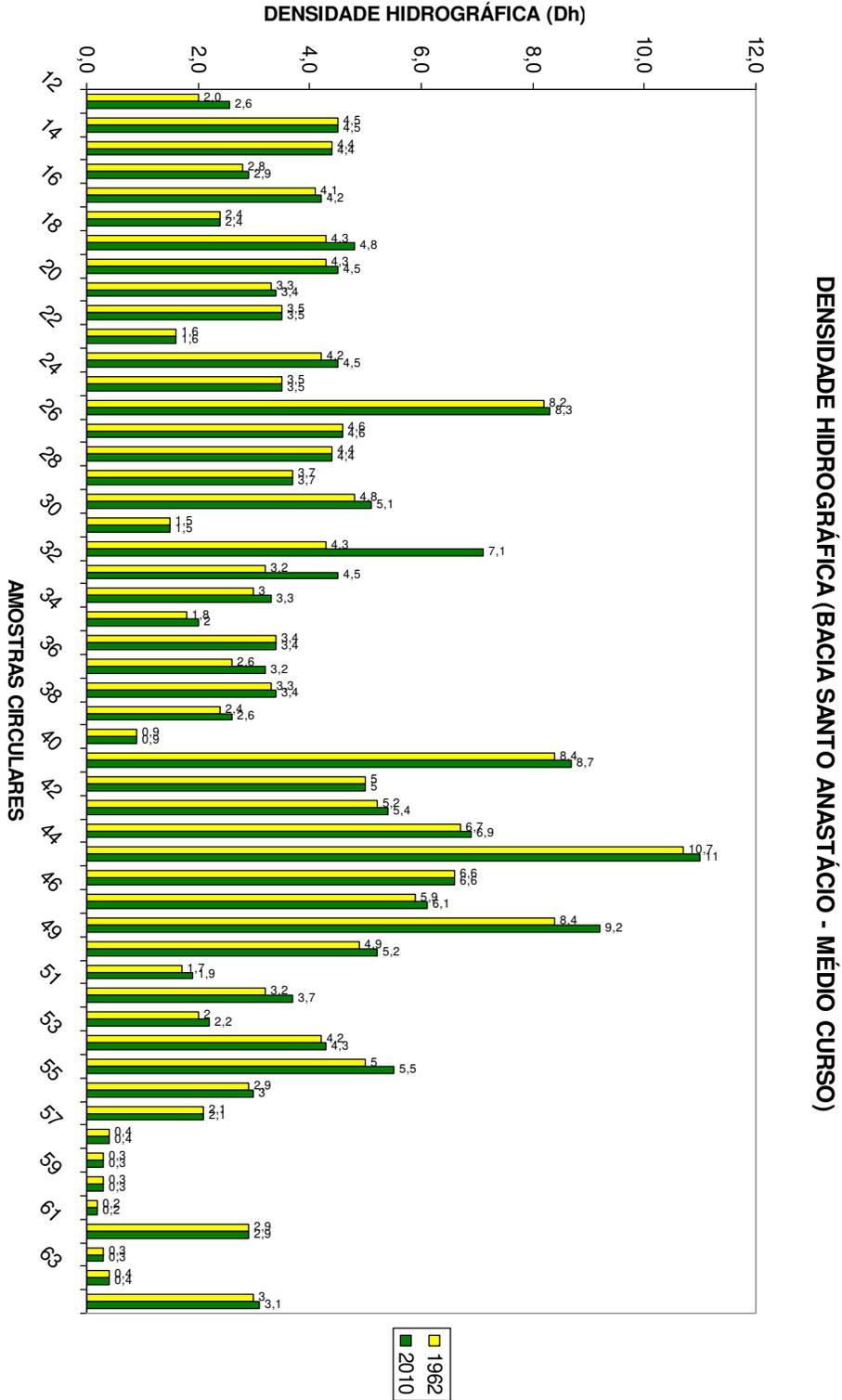


Figura 6.38: Mapa da rede de drenagem em amostras circulares distribuídas no Médio Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 2010

Figura 6.39: Densidade hidrográfica de amostras do Médio Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – (anos



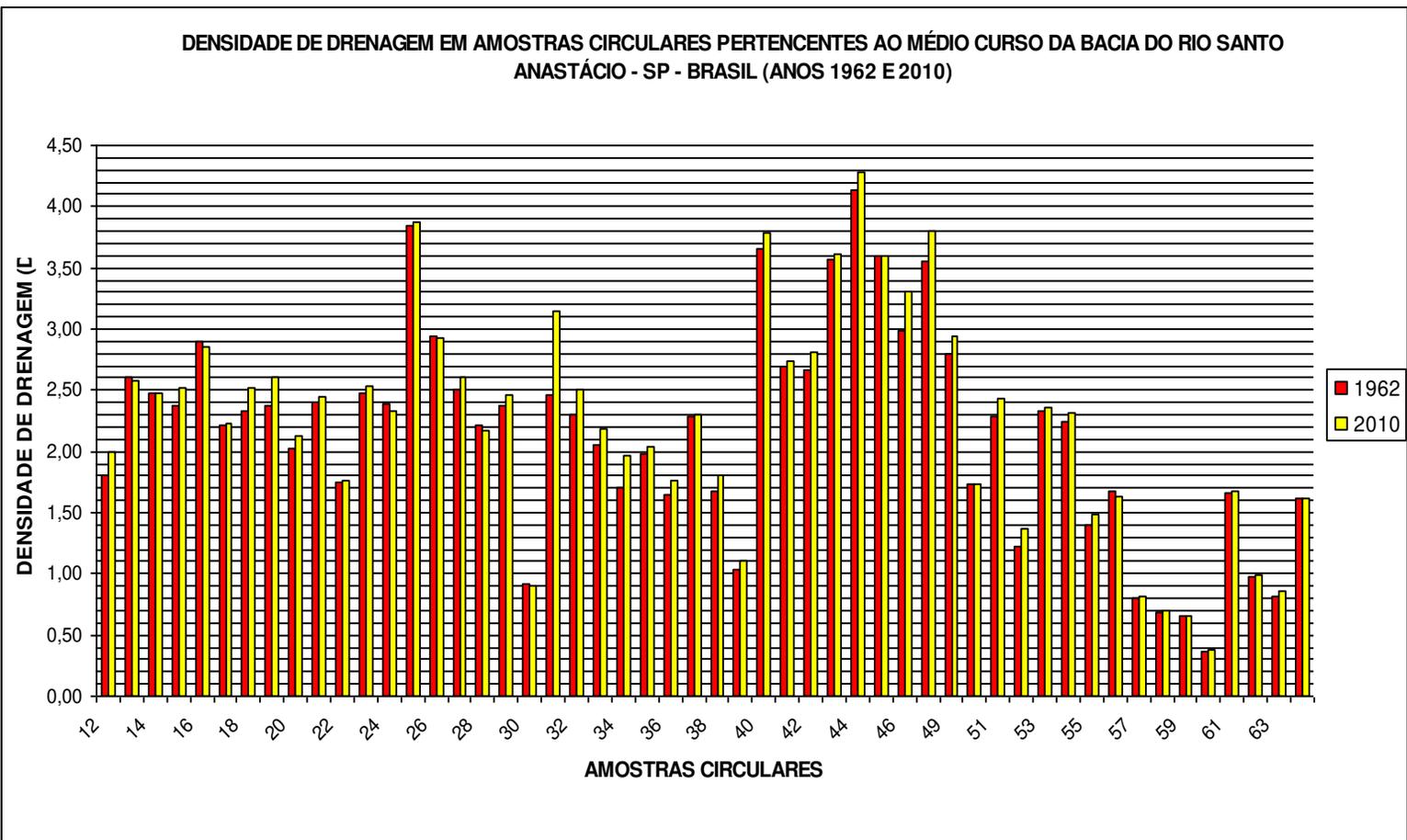


Figura 6.40: Densidade de drenagem de amostras do Médio Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – (anos 1962 e 2010)

A análise do gráfico (Figura 6.39) iniciou-se com agrupamentos de amostras em intervalos semelhantes de densidade hidrográfica. No entanto, não foram verificadas relações significativas entre tais agrupamentos e suas respectivas características geossistêmicas. Desse modo, não levando em consideração comparações entre os valores dos dois anos avaliados, podem-se destacar ao menos dois grupos relevantes. O primeiro, formado pelas amostras 57, 58, 59, 60, 62, 63 e 39, corresponde às amostras que apresentaram os menores valores de densidade hidrográfica, com variações entre 0,2 e 1,0 canal de primeira ordem por km². Tal agrupamento coincide com o setor de relevo definido por Stein (1999) como M8, ou Setor Planalto das Lagoas. Este é condicionado por bloco tectônico, que apresenta basculamento de inclinação inversa à das camadas Bauru. Seu relevo pode ser caracterizado por colinas de encostas retilíneas longas e suaves, com topos tabulares amplos.

As análises realizadas no presente trabalho permitiram corroborar a caracterização da rede de drenagem do setor, realizada por Stein (1999). Desse modo, no geral, esse setor apresenta vales pouco entalhados e bem espaçados, além de baixo número de canais fluviais.

Com relação aos solos, é verificado o predomínio de Latossolos Vermelhos, segundo Carvalho et. al. (1997), unidade LEa3, que se caracteriza por apresentar horizonte A moderado, de textura franco arenosa, consistência muito friável, com 40 cm de espessura, subdividido em Ap e A3, cujas estruturas podem ser definidas como fraca pequena granular e maciça porosa que se desfaz em fraca pequena granular. O horizonte B, subdividido em B1 e B2, apresenta espessura superior a 160cm, textura franco argilo arenosa e estrutura maciça porosa que se desfaz em moderada muito pequena granular. No geral, trata-se de solo com mais de 75% de areia na composição granulométrica de seus horizontes.

Apesar dessa fragilidade e do uso intenso desde a década de 60, principalmente por pastagens e culturas anuais, pode-se afirmar que, nos dois anos considerados, 1962 e 2010, não foram verificados processos erosivos significativos, que pudessem significar qualquer nível de reativação da rede de drenagem. Isso se deve às baixas declividades que caracterizam o setor, onde predomina a classe 0 – 3%.

Tal variável inibe a ocorrência de processos erosivos lineares e de reativação da rede de drenagem, não possibilitando o surgimento de novos canais de primeira ordem, o que pode ser comprovado pela comparação das densidades hidrográficas de 1962 e 2010 no interior das amostras destacadas, conforme figura 6.39.

O segundo grupo, formado pelas amostras circulares 25, 40, 44, 48, 41, 42, 43, 45, 46 e 54, merece destaque por apresentar os maiores valores de densidade hidrográfica do médio curso, sendo superiores a 5,0 canais por km². A análise da distribuição dessas amostras indica relações com os setores de relevo definidos por Stein (1999), conforme figura 5.10.

Das dez amostras destacadas verifica-se que 50% estão localizados no setor M1, intitulado Alto Guaíçara e Alto Vai-e-Vem, a saber, amostras 40, 41, 42, 43 e 44; 30% estão localizados no setor M6, intitulado Alto e médio ribeirão Areia Dourada, sendo as amostras 45, 46 e 48. Das duas amostras restantes, uma se localiza no setor M2 (Alto Sei-Lá e Alto Saltinho) e a outra em área limítrofe entre os setores M10 (Santo Antonio), M8 (Planalto das Lagoas) e M7 (Santa Helena). Entretanto, as duas últimas amostras fogem ao padrão encontrado nos setores aos quais pertencem, tendo em vista que estes apresentam médias de densidades hidrográficas mais reduzidas.

A análise do gráfico pertencente à figura 6.40 permite verificar que das dez amostras destacadas, oito apresentaram aumentos de canais de primeira ordem, sendo em números absolutos, 1, 3, 4, 5 e 8, para as amostras 25, 40, 44, 54 e 48, respectivamente. As amostras 42, 43 e 46 apresentaram aumento de 2 canais de primeira ordem cada.

Em todas as amostras do presente grupo e diferentemente do grupo anterior, pode-se verificar o predomínio de Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos. De acordo com Carvalho et. al. (1997), foram identificadas as unidades PVe1, PVe2, PVe4, PVd2, PVa1, PEe2, PEe3, PEe5, PEe8, PEe10, PEd1, PEd2 e PEa5. No geral, para fins de simplificação, tais solos podem ser caracterizados como de textura areia, areia franca ou franco arenosa no horizonte A e franco argilo arenosa para o horizonte B. A baixa capacidade de agregação de partículas e a maior permeabilidade do horizonte A associados à transição abrupta para o horizonte B e aos relevos de sua ocorrência, predominantemente com declividades entre 6 e 20%, favorecem maior susceptibilidade à erosão destes solos.

Com relação à figura 6.40, se atendo às variações de densidade de drenagem entre os anos estudados, verifica-se que mais de 80,8% das amostras pertencentes ao médio curso apresentaram aumento no comprimento de canais, 15,4% diminuição e 3,9% não apresentaram variações no índice considerado.

Como discutido em relação ao baixo curso, apesar dos dados revelarem aumentos nos valores dos comprimentos dos canais fluviais na maior parte das amostras do médio curso, tais

variações não são consideradas, pelo presente trabalho, como significativas, podendo, deste modo, não condizerem com a realidade.

Tendo em vista a escala regional de estudo da presente pesquisa, as pequenas variações verificadas podem ser resultantes da somatória de erros devidos às discordâncias dos materiais base, tais como cartas topográficas, fotografias aéreas, fotomosaicos semicontrolados e imagens de satélite, no que se referem a seus próprios erros de confecção e divergências de sistemas de orientação. Somam-se a isso, pequenos e compreensíveis erros ao longo do processo de vetorização, que em conjunto podem ter contribuído para as variações verificadas em relação ao índice densidade de drenagem.

Mudanças reais poderiam ser indicadas caso os valores das variações encontradas fossem superiores aos verificados.

Para exemplificar, aponta-se que das 52 amostras pertencentes ao médio curso, trinta e três apresentaram variações inferiores a 0,1 na densidade de drenagem entre os anos avaliados; oito obtiveram variações entre 0,1 e 0,15; três, entre 0,15 e 0,20; duas, entre 0,20 e 0,25; E apenas três superaram 0,25 de variação no referido índice.

Levando-se em consideração unicamente o processo de vetorização em fotografias aéreas, tendo em vista sua escala aproximada de 1:25.000, erros de 1 mm correspondem a cerca de 25m na realidade. Caso esse erro de 1mm seja projetado para pelo menos dez canais no interior de uma amostra circular de 10km², haverá variação de cerca de 250m, ou 0,25km/km² nos valores da densidade hidrográfica.

Tendo o conhecimento de que trinta e três amostras apresentaram variações inferiores a 0,1 km/km², erros de 4mm no processo de vetorização poderiam responder pela ocorrência desses números.

Em suma, foram verificados aumentos no comprimento de canais fluviais em praticamente todas as amostras do médio curso da bacia do Santo Anastácio, o que pode indicar o alargamento da bacia, característica definida por Davis (1899) como pertencente à fase de juventude do ciclo geográfico. Entretanto, os valores das variações, positivos ou negativos, entre os anos analisados, não foram considerados como significativos a ponto de condizerem com a realidade, tendo em vista a escala de análise e possíveis erros e divergências das fontes utilizadas e do processo de vetorização.

Deste modo, o índice densidade de drenagem deixa de ser relevante ao presente trabalho e indica a necessidade de estudos em escala local que permitam maior detalhamento da rede de drenagem, para que enfim os dados sejam comprovados ou refutados.

A análise da figura 6.39 permite verificar que duas amostras circulares se destacaram dentre aquelas que apresentaram aumento no número de canais de primeira ordem, a saber, amostras 32 e 31. Estas apresentaram, respectivamente, aumento de 13 e 11 novos canais em 2010, comparando com 1962.

A seguir, será realizado detalhamento das duas amostras citadas e, na seqüência, serão destacados aspectos relevantes ao presente trabalho, pertencentes a outras amostras componentes do médio curso da bacia do Santo Anastácio.

6.4.5 Detalhamento de amostras circulares selecionadas

Amostra 32

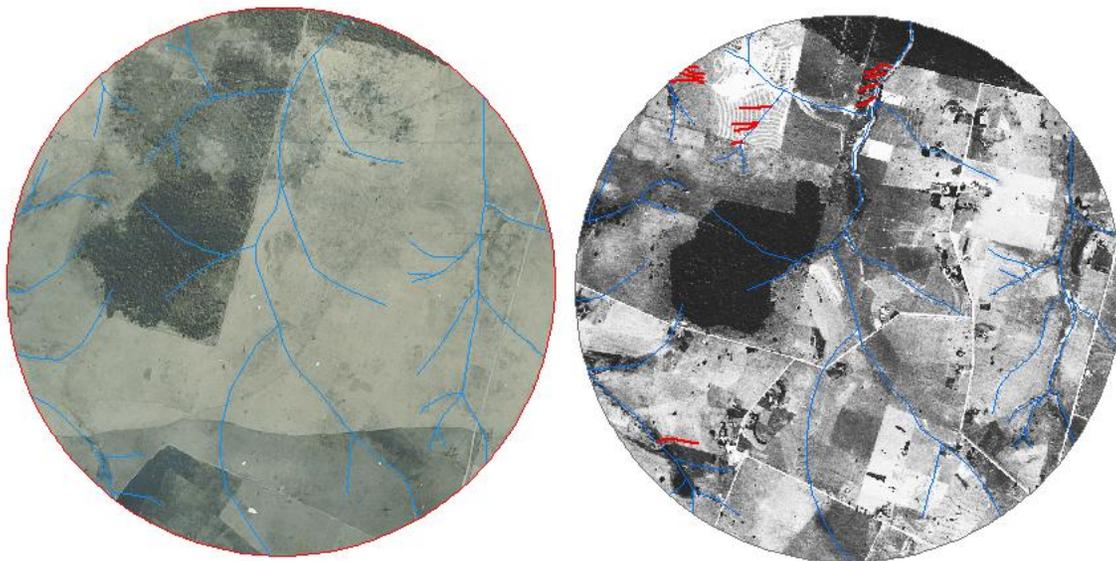


Figura 6.41: Canais fluviais pertencentes à amostra 32 – cenários de 1962 e 2010

Fontes: Da esquerda para a direita - fotografia aérea nº 5574/1962 – IAC e imagem do satélite ALOS/Prism/Nadir/2010 nº 72424045 – IBGE.

AMOSTRA 32					
Nº CANAIS DE 1ª ORDEM		DENSIDADE HIDROGRÁFICA		DENSIDADE DE DRENAGEM	
1962	2010	1962	2010	1962	2010
32	45	3,2	4,5	2,30	2,50

Tabela 6.6: Comparativo de número de canais de 1ª ordem e dos índices Dd e Dh em amostra 32 entre os anos de 1962 e 2010.

Com relação à amostra 32, as atividades de fotointerpretação, realizadas nas fotografias 5573, 5574, 5575, 6110, 6111 e 6112, e de interpretações das imagens de satélite utilizadas permitiram identificar, para os anos de 1962 e 2010, a existência de 32 e de 45 canais de primeira ordem, respectivamente (Tabela 6.6).

Assim, na amostra em estudo, houve incremento de 13 canais fluviais de primeira ordem entre os anos avaliados. Esses valores resultaram em aumento superior a 40% no índice densidade hidrográfica, passando de 3,2 para 4,5 canais por km².

O aumento em 0,20km/km² no índice densidade de drenagem pode ser explicado pelo surgimento dos novos canais, bem como pela existência dos possíveis erros anteriormente mencionados.

As análises permitiram verificar que, em 1962, a rede de drenagem se apresentava pouco entalhada, sendo os vales abertos e pouco profundos. Além disso, não foram identificadas ocorrências de processos erosivos relevantes, apenas alguns sulcos próximos à rede de drenagem, visivelmente referentes a pisoteio de gado.

Para o ano de 2010, observou-se que a rede de drenagem encontrava-se mais entalhada e, ao norte da amostra, verificou-se a ocorrência de intensos e numerosos processos erosivos lineares e surgimento de doze canais de primeira ordem. Além disso, a parte jusante do Córrego do Sucuri, localizado ao norte da amostra, apresentava-se bastante assoreado, o que não ocorria em 1962, indicando que os processos citados e que originaram os novos canais tratar-se-iam de eventos mais recentes.

Analisando as características pedológicas das áreas de ocorrências dos referidos processos observou-se se tratar de Argissolos Vermelhos, mais especificamente, segundo Carvalho et. al. (1997), unidade PEa2, caracterizada por apresentar horizonte A moderado, com 25 cm de espessura; textura franco arenosa; estrutura composta, fraca, pequena, média granular e grãos

simples; consistência macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa e transição clara e plana para o horizonte B. Este apresenta espessura superior a 155cm, textura franco argilo arenosa; estrutura fraca, pequena, em blocos subangulares ou maciça que se desfaz em fraca, pequena, em blocos subangulares; consistência ligeiramente macia ou ligeiramente dura, muito friável ou friável, ligeiramente pegajosa e transição gradual e plana entre os subhorizontes B1, B21 e B22 (Figura 6.42).

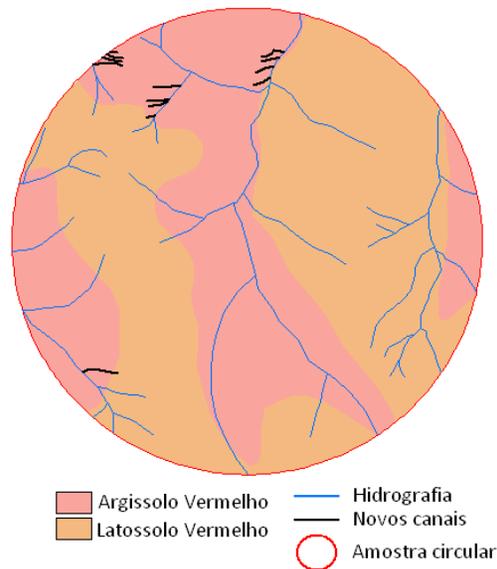


Figura 6.42: Solos em amostra 32

Fonte: (CARVALHO, et. al., 1997) Adaptado por: Quaresma, C.C.

Segundo os referidos autores, pelo fato de ocorrer em relevo suavemente ondulado, com declividades de 3 a 8%, e por apresentar textura média ao longo do perfil, a unidade PEa2 é menos susceptível à erosão do que outras.

Entretanto, a partir da observação da figura 6.43, verifica-se que os processos erosivos e os novos canais ocorrem em áreas de declividades entre 6 e 20%, com predomínio da classe entre 6 e 12%.

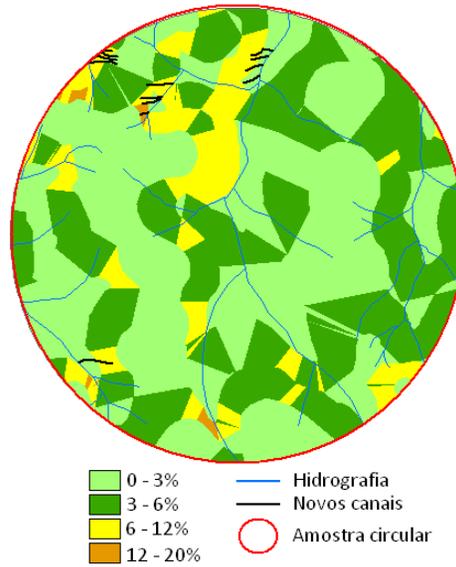


Figura 6.43: Classes de declividade - Amostra 32.

A associação desse tipo de solo as maiores declividades encontradas torna essas áreas mais frágeis em relação às demais pertencentes ao seu entorno.

Geomorfologicamente, a amostra 32 envolve dois setores de relevo, a saber, M11 (Setor terraços) e M09 (Setor baixos cursos de tributários da margem esquerda), sendo este último o predominante e mais relevante para as discussões pertinentes ao presente trabalho (Figura 6.44).

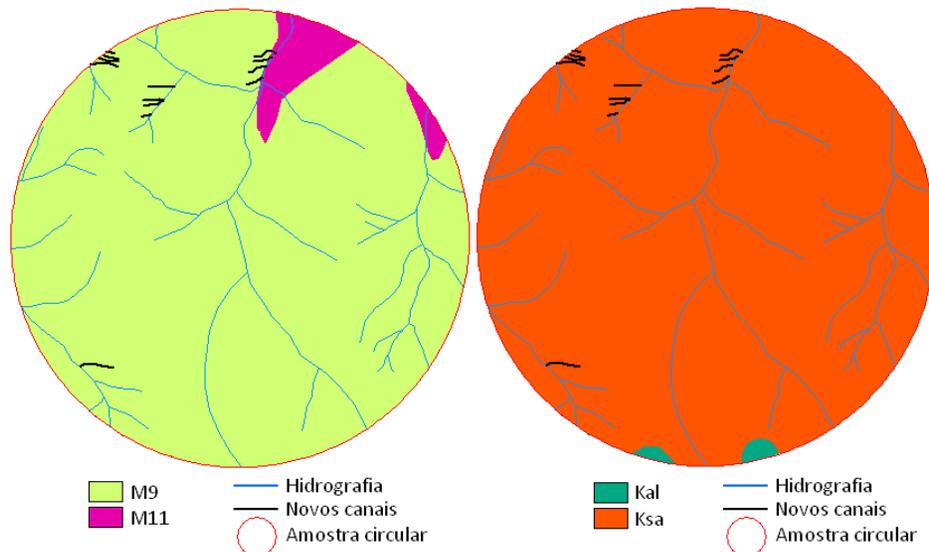


Figura 6.44: Características Geomorfológicas (esquerda) e Litológicas (direita) - Amostra 32.

Fonte: (STEIN, 1999) Adaptado por: Quaresma. C.C.

Segundo Stein (1999), nas encostas do setor M09, processos erosivos são raros e tendem a ser condicionados localmente por tênues rupturas de declives associadas a contatos entre unidades litológicas. O mesmo autor destaca a existência de ravinamentos em concentrações locais, determinados pela inserção do Terraço T2 no planalto PII.

Tendo em vista que o setor M11 abarca os altos terraços T2, baixos terraços T1 e Planícies Aluviais associados à calha do rio Santo Anastácio, e que o setor M09, na amostra em estudo, encontra-se desenvolvido no âmbito do Planalto II, verifica-se que a maior parte dos novos canais evoluiu a partir de erosões lineares localizadas no contato entre PII e T2, corroborando assim as observações do referido autor (Figura 6.45).

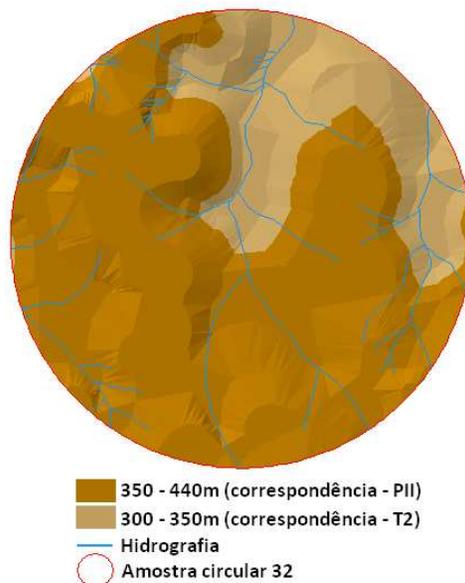


Figura 6.45: Hipsometria – Amostra 32

Tendo sido expostas as características de elementos físico-ambientais, torna-se oportuna a análise da evolução do uso e ocupação das terras pelo sistema antrópico, a fim de identificar possíveis relações entre este sistema e o desencadeamento dos processos erosivos lineares acelerados que originaram os novos canais de primeira ordem (Figura 6.46)

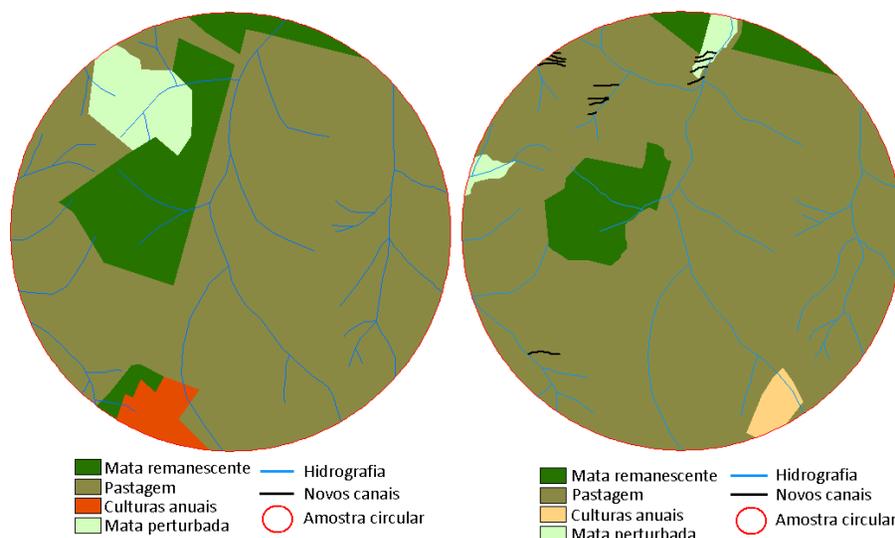


Figura 6.46: Uso e ocupação das terras nos anos de 1962 e 2010 – Amostra 32.

Pelas análises das fotografias aéreas, verificou-se que em 1962 não havia indícios de processos erosivos e dos novos canais identificados claramente e de forma bem entalhada nas imagens de satélite de 2010.

A localização da maior parte dos novos canais no norte da amostra indica correlação destes também com alterações no uso e ocupação, representadas pelo desmatamento e substituição da vegetação nativa por pastagens.

A figura 6.46 permite observar que, no local de surgimento de doze dos treze novos canais, ocorria, em 1962, a presença de mata nativa conservada e de parcela significativa de mata perturbada, para fins prováveis de exploração de madeira. Em 2010, nesta mesma área, as pastagens se apresentaram como tipo de uso predominante.

Deste modo, trata-se de um exemplo local do que se percebeu na escala regional. Assim, interpretações permitiram corroborar parcialmente conclusões de Stein (1999), no sentido em que possibilitaram presumir que o desmatamento e as mudanças no tipo de uso e ocupação causaram desequilíbrio hidrológico local, o qual, associado às fragilidades dos elementos naturais anteriormente explicitadas, resultou na reativação da rede de drenagem, expressa pela ocorrência de processos erosivos lineares e pelo surgimento dos novos canais de primeira ordem.

A não identificação de focos de erosão e de registros de reativação nas fotografias aéreas de 1962 se explica pelo fato de que as alterações na cobertura vegetal natural se tratavam de

ações relativamente recentes ao ano citado, conforme pôde ser constatado por fotointerpretação a partir do uso de estereoscopia.

Deste modo, a manutenção de parte da cobertura vegetal natural e o desmatamento relativamente próximo a 1962, o que pôde ser evidenciado pela área classificada como ocupada por vegetação perturbada, não permitiram o desencadeamento dos processos erosivos em estudo.

A continuidade no desmatamento, a substituição do uso por pastagens e a evolução temporal geraram os referidos processos geomorfológicos, resultando assim, no cenário existente em 2010.

Amostra 31

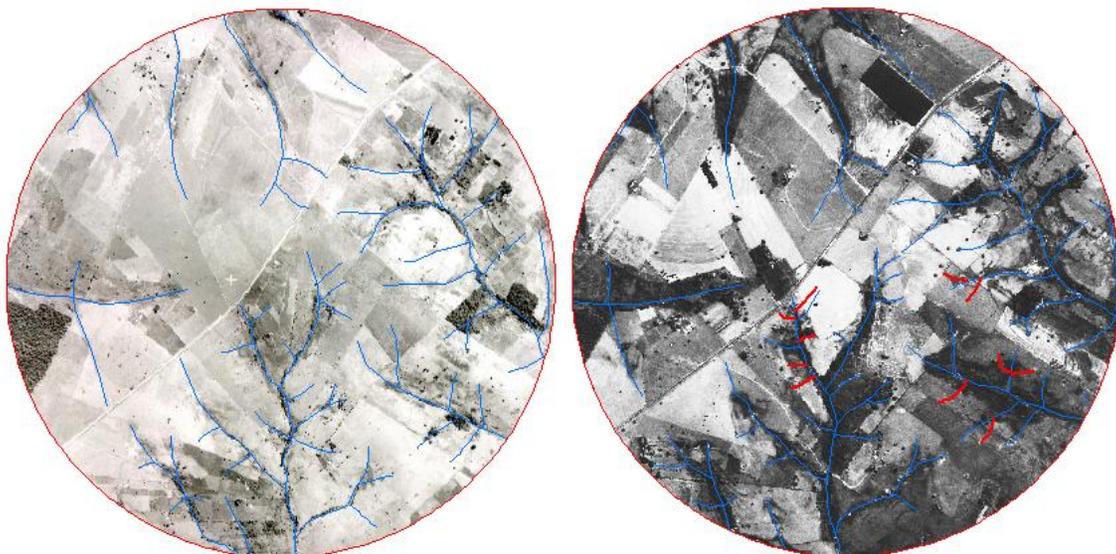


Figura 6.47: Canais fluviais pertencentes à amostra 31 – cenários de 1962 e 2010

Fontes: Da esquerda para a direita - fotografia aérea nº 5563/1962 – IAC e imagem do satélite ALOS/Prism/Nadir/2010 nº 063234040 – IBGE.

AMOSTRA 31					
Nº CANAIS DE 1ª ORDEM		DENSIDADE HIDROGRÁFICA		DENSIDADE DE DRENAGEM	
1962	2010	1962	2010	1962	2010
56	67	5,6	6,7	2,83	3,10

Tabela 6.7: Comparativo de número de canais de 1ª ordem e dos índices Dd e Dh em amostra 31 entre os anos de 1962 e 2010.

Com relação à amostra 31, as atividades de fotointerpretação, realizadas nas fotografias 5562, 5563 e 5564, e de interpretações das imagens de satélite utilizadas permitiram identificar, para os anos de 1962 e 2010, a existência de 56 e de 67 canais de primeira ordem, respectivamente (Tabela 6.7).

Assim, na amostra em estudo, houve incremento de 11 canais fluviais de primeira ordem entre os anos avaliados. Esses valores resultaram em aumento superior a 19% no índice densidade hidrográfica, passando de 5,6 para 6,7 canais por km².

O aumento em 0,27km/km² no índice densidade de drenagem pode ser explicado pelo surgimento dos novos canais, bem como pela existência dos possíveis erros anteriormente mencionados.

As análises realizadas permitiram identificar relações entre os novos canais, características geossistêmicas e mudanças no uso e ocupação das terras.

Tomando-se como base o trabalho de Stein (1999), geomorfologicamente, a amostra 31 compreende dois setores de relevo. O primeiro, Setor Alto Sei-lá e Alto Saltinho (M2), localizado no N e NO da amostra e o segundo, Setor Médios e Baixos cursos de tributários da margem direita (M3), sendo este predominante espacialmente na amostra (Figura 6.48). Todos os novos canais se localizam no setor M3.

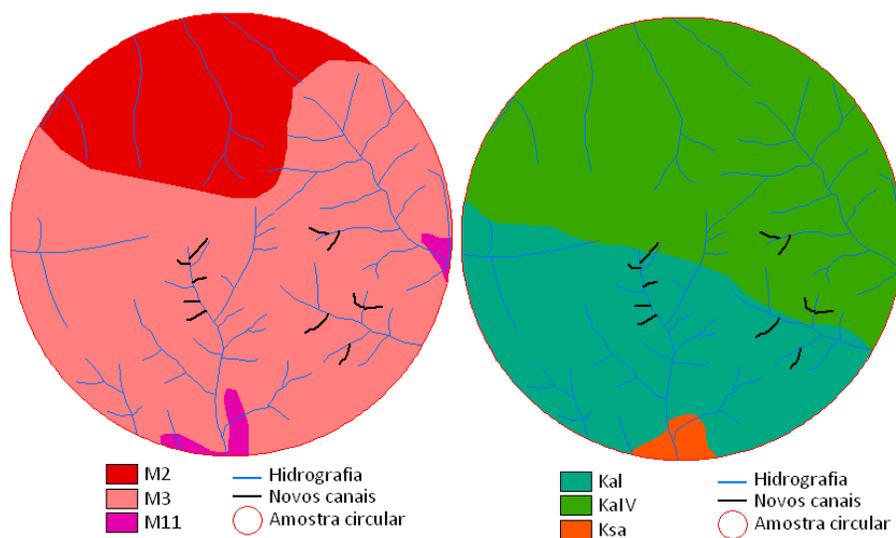


Figura 6.48: Características Geomorfológicas (esquerda) e Litológicas (direita) - Amostra 31.

Fonte: (STEIN, 1999) Adaptado por: Quaresma. C.C.

Com relação à litologia, 63,3% dos novos canais estão localizados na unidade Kal, e, com base em suas características apresentadas no item “Material e Método”, tal elemento não pode explicar diretamente a ocorrência dos referidos processos.

Em relação aos solos, três subordens ocorrem no interior da amostra 31, a saber, os Argissolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelhos e Neossolos Flúvicos. Os Argissolos Vermelhos possuem maior relevância para o presente estudo, tendo em vista que os novos canais se situam nessa subordem, conforme Figura 6.49.

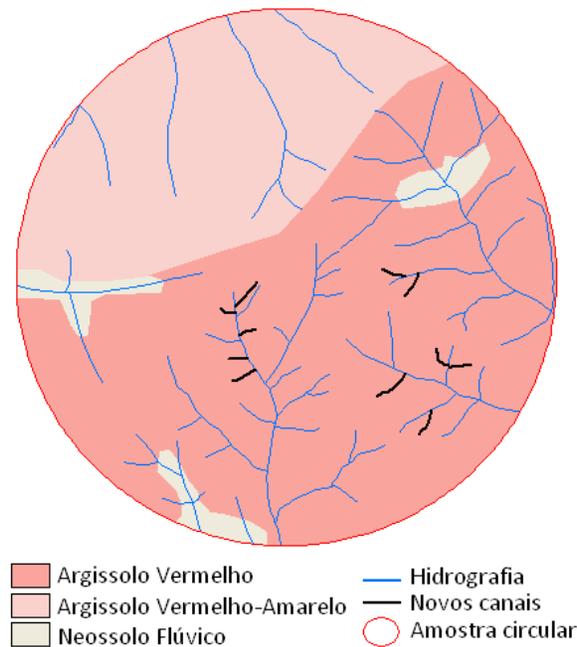


Figura 6.49: Solos em amostra 31

Fonte: (CARVALHO, et. al., 1997) Adaptado por: Quaresma, C.C.

Para os Argissolos Vermelhos pertencentes à amostra 31, Carvalho et al. (1997) identificaram a unidade PEE3. Esta apresenta horizonte A moderado, subdividido em Ap e A2, com espessura entre 17 e 60cm. Fisicamente, este horizonte pode ser descrito da seguinte forma: textura areia, areia franca ou franco arenosa; Estrutura composta fraca pequena granular; Consistência macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; E transição abrupta para o horizonte B. Este possui espessura superior a 260cm, e apresenta textura franco argilo arenosa, estrutura fraca e moderada e consistência dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

A ocorrência da referida unidade, segundo Carvalho et al. (1997), associa-se a relevo ondulado, com declividades entre 8 e 20%. Este atributo foi corroborado, tendo em vista que as declividades calculadas no presente trabalho, para a amostra 31, variaram de 0 a 20%, conforme figura 6.50.

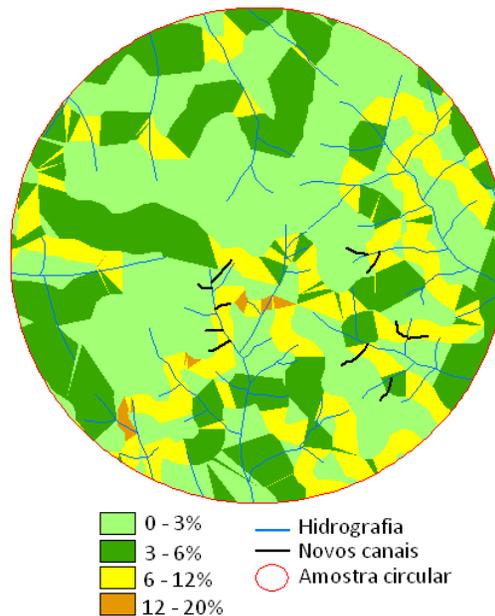


Figura 6.50: Classes de declividade - Amostra 31.

Pela análise da figura 6.50, verifica-se que a ocorrência dos novos canais encontra-se relacionada à área onde predominam classes de maior declividade no interior da amostra circular.

Levando-se em consideração as características e inter-relações dos elementos componentes do sistema físico ambiental, pode-se presumir que a fragilidade aparente natural do solo, verificada em suas características físicas tais como textura areia, ou franco arenosa, alta friabilidade, permeabilidade superior do horizonte A em relação ao B, e transição abrupta entre tais horizontes, além da baixa capacidade de agrupamento de partículas no horizonte A, quando associada às maiores declividades inerentes à área, pode resultar na ocorrência de processos erosivos lineares que evoluem para o surgimento de novos canais.

Essa fragilidade é exposta e acelerada também pela ação do uso e ocupação das terras por parte do sistema antrópico. A figura 6.51 trata-se de dois recortes da amostra 31 realizados nos mapas de uso e ocupação elaborados para os anos de 1962 e 2010.

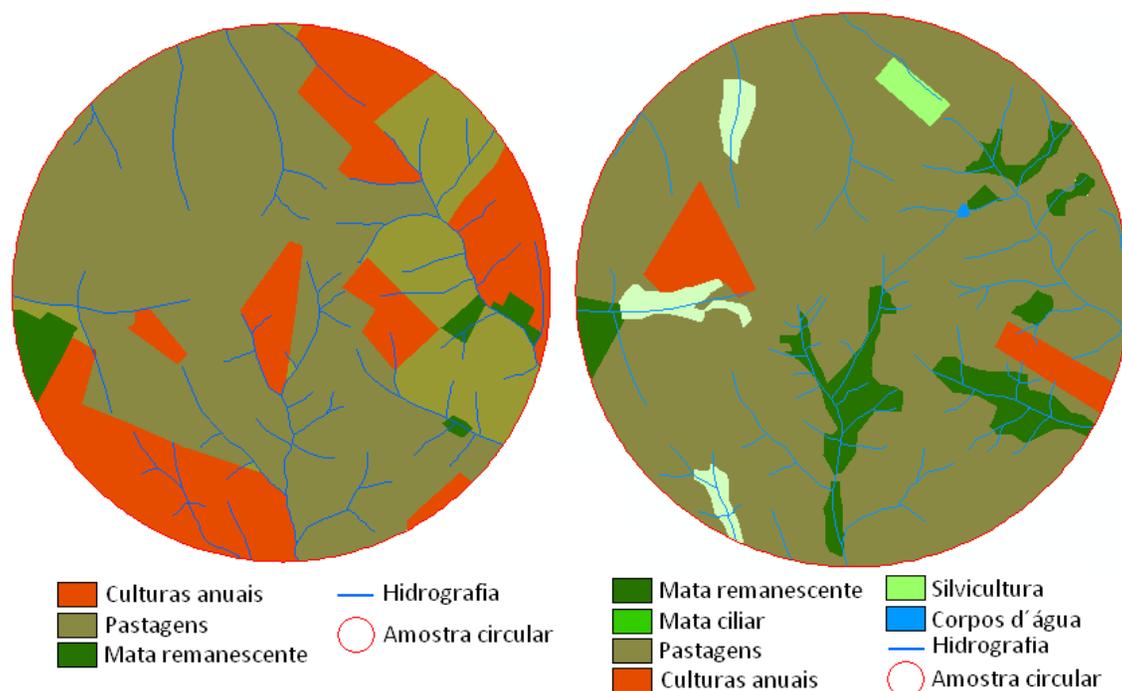


Figura 6.51: Uso e ocupação das terras nos anos de 1962 e 2010 – Amostra 31.

O recorte da esquerda refere-se ao uso de 1962, quando se verifica o predomínio de pastagens (71,6%), além de significativa presença de culturas anuais (24,1%). Para essa época, apesar de conter quatro pequenos fragmentos de mata remanescente, o que correspondeu a 4,3% da amostra, verificou-se a quase completa remoção da cobertura vegetal natural, inclusive das matas ciliares.

O recorte da direita refere-se ao uso de 2010 e demonstra o avanço das pastagens sobre as áreas antes ocupadas por culturas anuais. Desse modo as pastagens passaram a ocupar 80% da área total da amostra. Além disso, pode-se verificar que houve recomposição de significativa parcela de mata ciliar no entorno do Córrego do Calango, o que resultou em uma participação de cerca de 8,6% desse tipo de vegetação em relação ao total da amostra, sem levar em consideração outras áreas em regeneração, agrupadas na classe “mata perturbada”. Esta informação corrobora observações em demais amostras que apontam para incrementos na vegetação natural no ano de 2010, em comparação ao cenário mais antigo apresentado.

Desse modo, foram verificadas alterações no uso, resultando na substituição quase completa das culturas anuais por pastagens. Embora este uso proporcione recobrimento dos solos,

sabe-se que pode originar processos erosivos lineares intensos devido à compactação do horizonte pedológico superficial e ao pisoteio que tende a formar sulcos no sentido morro abaixo, concentrando o escoamento superficial, que amplia e aprofunda as incisões lineares.

As análises realizadas permitiram verificar que a maior parte dos novos canais fluviais de primeira ordem, pertencentes à amostra 31 e identificados nas imagens de satélite de 2010, se desenvolveu em locais específicos, onde se verificava, em 1962, a ocorrência de grande número de incisões lineares provocadas pela ação provável de pisoteio de gado e do escoamento superficial, conforme figuras 6.52 e 6.53.

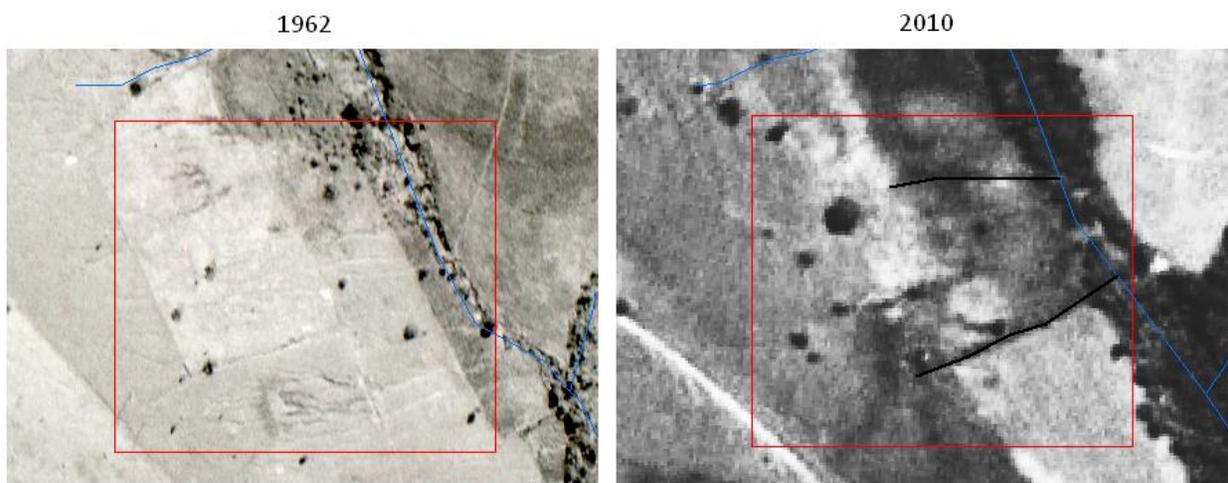


Figura 6.52: Novos canais e antigas erosões – Amostra 31

Fontes: À esquerda, fotografia aérea nº 5563/1962 – IAC; À direita, imagem do satélite ALOS/ Prism/ 2010 nº 63234045 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM 427191,058 / 7564867,290

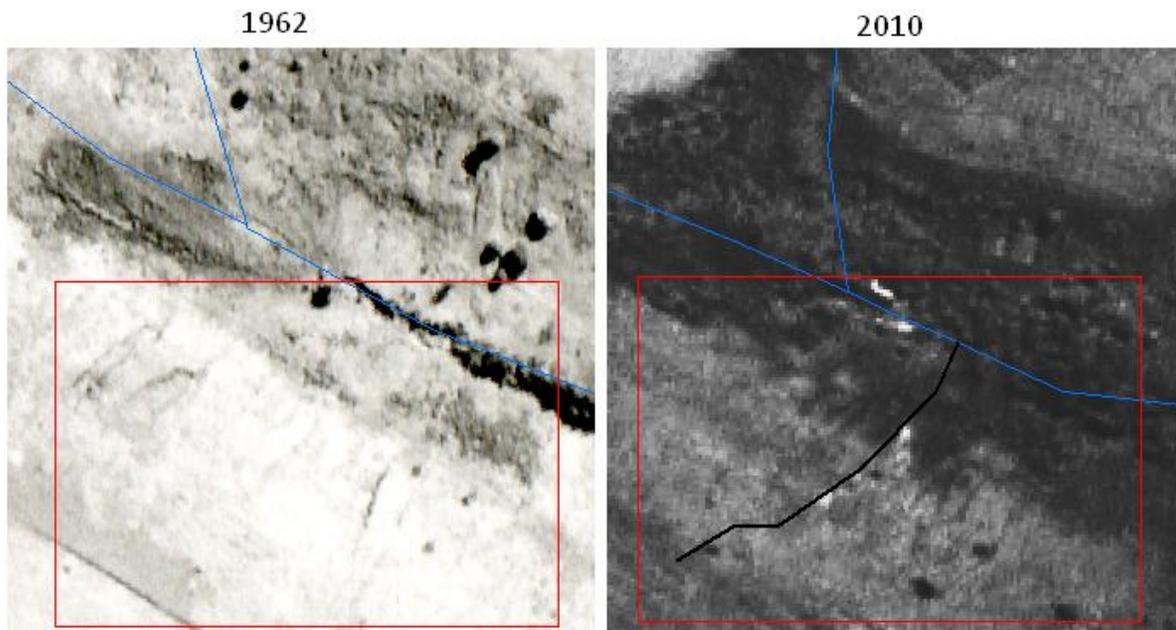


Figura 6.53: Novo canal e antigas erosões – Amostra 31

Fontes: À esquerda, fotografia aérea nº 5563/1962 – IAC; À direita, imagem do satélite ALOS/ Prism/ 2010 nº 63234045 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM 428167,091 / 7564788,901

As figuras 6.52 e 6.53 representam recortes realizados na amostra 31, sendo as imagens da esquerda referentes à fotografia aérea 5563 de 1962 e as da direita referentes à imagem do satélite ALOS sensor PRISM (63234045 Nadir). Em ambas procura-se demonstrar que as áreas onde surgiram novos canais no cenário de 2010 (destacados em cor preta), apresentavam-se afetadas por incisões lineares dos tipos sulcos e ravinas, em grande número e em profundidades variadas. Tais constatações corroboram observações em outras amostras, as quais apontam para relações entre novos canais fluviais e o rompimento de equilíbrio dinâmico no geossistema, ocasionado pela ação transformadora e acelerada do uso e ocupação das terras por parte do sistema antrópico nas primeiras décadas do século XX.

Amostra 14

As análises das imagens de satélite inerentes à amostra 14 permitiram identificar dois setores bastante diferenciados em relação à rede de drenagem e à ocorrência de processos erosivos.

A figura 6.54 trata-se de recorte de imagem do satélite IKONOS de 18/06/2002, obtida a partir do Google Earth – Geoeye, 2002.



Figura 6.54: Setores de diferentes intensidades erosivas – amostra 14

Fontes: Imagem satélite IKONOS de 18/06/2002 – GoogleEarth – Geoeye, 2002.

Conforme pode ser observado, foi traçado uma reta dividindo a amostra em duas partes, as quais receberam os nomes de Lado A e Lado B.

O primeiro trata-se de área escoada por afluentes do Córrego do Cerrado, os quais nitidamente se diferem dos demais canais fluviais pertencentes ao Lado B da amostra em estudo. Dentre as diferenças mencionadas, as mais relevantes ao presente trabalho referem-se à maior ocorrência de processos erosivos, ao mais intenso entalhamento dos leitos e maior alargamento das margens dos canais fluviais, principalmente daqueles localizados no noroeste da amostra.

Geomorfologicamente, a amostra comporta as unidades de relevo M3 (Setor Médios e baixos cursos de tributários da margem direita) e M5 (Setor Cabeceiras do Cerrado).

Assim, os referidos afluentes do Córrego do Cerrado estão localizados neste último setor de relevo, conforme figura 6.55.

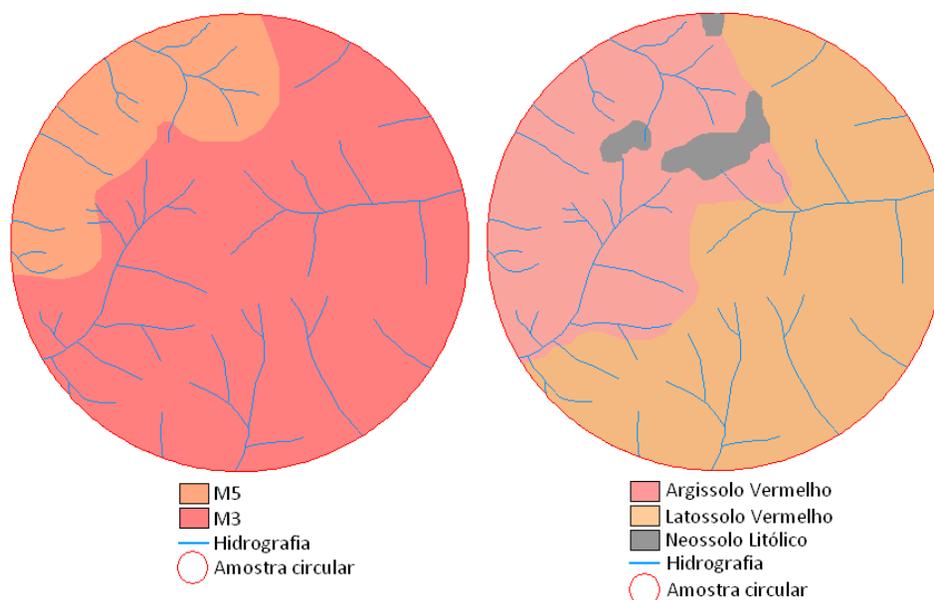


Figura 6.55 Características Geomorfológicas (esquerda) e Pedológicas (direita) – Amostra 14

Fontes: (STEIN, 1999) e (CARVALHO, et. al., 1997) Adaptado por: Quaresma, C.C.

Segundo Stein (1999), o setor M5, trata-se de conjunto de relevo do Médio Santo Anastácio onde se encontraram cabeceiras de drenagem com erosão acelerada, cursos d'água com forte entalhamento, vales apresentando anfiteatros de cabeceiras com canais de escoamento em berço, passando a cursos d'água com incisão em V aberto. Segundo o mesmo autor, ravinas e boçorocas afetavam todos os canais de primeira ordem e encostas de maior declividade, e o alargamento de calha por solapamento das margens ocorria generalizadamente nas diferentes cabeceiras.

A figura 6.55 também permite observar as subordens dos solos pertencentes à amostra em estudo. Visualmente é possível verificar que a divisão da amostra em Lados A e B, conforme figura 6.54, possui correspondência também com as características pedológicas da amostra.

No Lado A, onde se verifica a ocorrência dos processos de maior interesse ao presente trabalho trata-se de Argissolo Vermelho, cuja unidade identificada por Carvalho et. al. (1997) trata-se de PEa6. Esta unidade apresenta A moderado, com espessura de 23cm; textura areia; estrutura composta, fraca, pequena, granular e grãos simples; consistência macia, muito friável, não plástica e não pegajosa, sendo a transição clara e plana para o horizonte B.

Este apresenta espessura superior a 120cm; textura franco arenosa e franco argilo arenosa; estrutura fraca, pequena e média, em blocos subangulares; cerosidade fraca e pouca; consistência ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa;

Os referidos autores ressaltam que devido à sua ocorrência em relevo ondulado, com declividades de 8 a 20%, além de sua textura arenosa no horizonte A, com baixa capacidade de agregação de partículas, tal unidade se torna muito susceptível à erosão.

A figura 6.56 demonstra o predomínio das maiores declividades no Lado A da amostra, corroborando as informações anteriores.

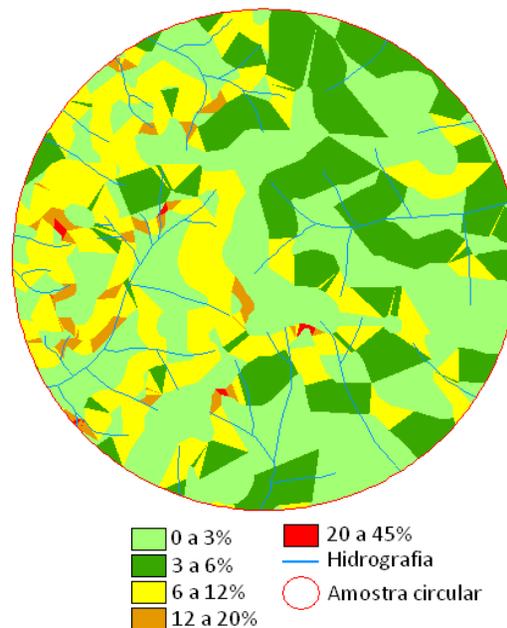


Figura 6.56: Classes de declividade - Amostra 14.

A observação da figura 6.57 permite presumir que a origem da erosão remontante verificada nos afluentes do Córrego do Cerrado não possui relações diretas com a alteração do nível de base local causada pela construção da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, sobretudo ao considerar a data de aquisição da imagem do satélite IKONOS utilizada (18/06/2002).

Ainda na figura 6.54, pode-se verificar que foi realizado destaque em retângulo de cor amarela de um canal específico para fins de comparação com o cenário de 1962. A ampliação da área envolvida pela seleção mencionada pode ser observada por meio da figura 6.57.

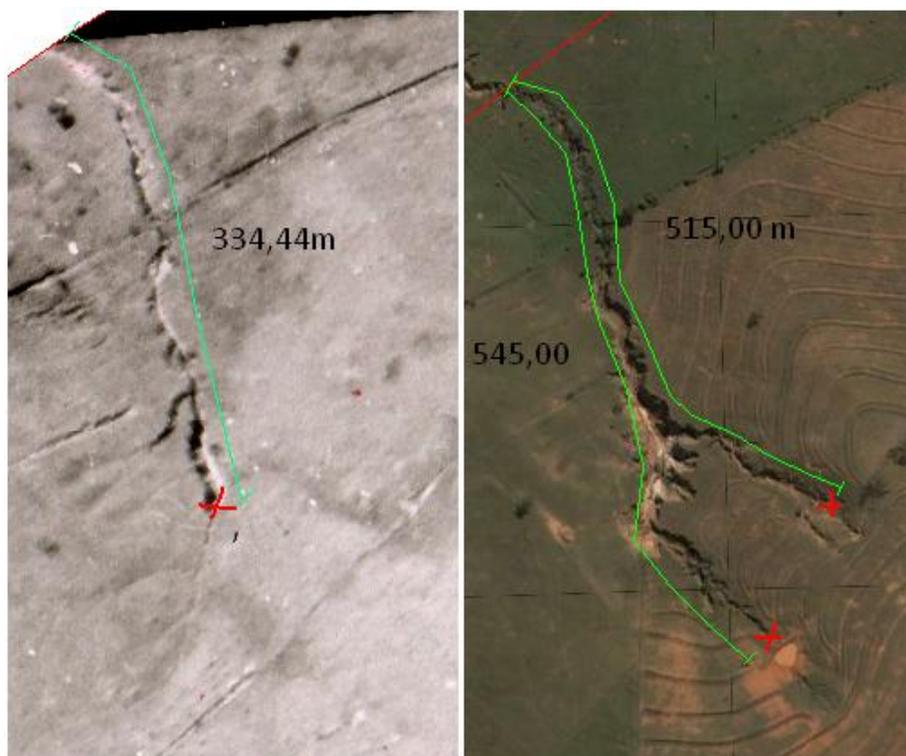


Figura 6.57: Evolução de erosão remontante em afluente do Córrego do Cerrado – Amostra 14

Fontes: À esquerda, fotografia aérea nº 5920/1962 – IAC; À direita, imagem do satélite IKONOS de 18/06/2002 – GoogleEarth – Geoeye, 2002. Coordenadas centrais: UTM 407119,692 / 7575235,344

A figura 6.57 busca demonstrar a evolução remontante dos canais em destaque. A imagem da esquerda trata-se de recorte em fotografia aérea de 1962 (nº 5920) e a da direita trata-se de recorte na imagem do satélite IKONOS utilizada na figura 6.54.

A marcação do “x” em vermelho refere-se à formação de rápido pela maior incisão vertical do leito fluvial nas partes mais a jusante do perfil longitudinal.

Pela observação comparativa das imagens componentes da figura 6.57 pode-se concluir que o rompimento do estado de equilíbrio da drenagem já se fazia presente no ano de 1962, haja vista o nítido estabelecimento de nova fase de entalhamento, formando vale em garganta, além da erosão diferencial ao longo do perfil longitudinal, responsável pelo surgimento da referida ruptura de declive.

O cenário atual demonstra que a erosão regressiva desloca o rápido em direção de montante, fazendo com que este se aproxime das cabeceiras.

Desse modo, em 50 anos, o maior entalhamento do leito fluvial, iniciado a partir da desembocadura, se deslocou a uma distância equivalente a 210,56 m e a 180,56m em direção das cabeceiras dos afluentes da esquerda e da direita, respectivamente.

Com relação ao uso e ocupação, foram mantidas as mesmas condições para os dois anos avaliados, a saber, pastagens. Desse modo, presume-se que as alterações da cobertura do solo, realizadas nas décadas anteriores à de 60, e que resultaram na substituição da vegetação nativa do tipo mata e cerradão por pastagens, romperam o estado de equilíbrio dinâmico preexistente da rede de drenagem.

Em 1962, toda a cobertura vegetal natural pertencente à amostra em estudo, havia sido removida. Diante das novas condições hidrológicas, os elementos do geossistema buscam se organizar frente às novas condições de entrada de matéria e energia. A busca por um novo estado de equilíbrio se reflete no espaço pelo maior entalhamento vertical e alargamento das margens dos canais fluviais, além da ocorrência de processos erosivos lineares generalizados. Tais processos e formas resultantes se manifestam de maneira mais expressiva em locais que apresentam maiores fragilidades, em função das características de seus elementos constituintes, em especial, pedológicas e geomorfológicas.

Amostra 15

A amostra 15 trata-se de outro exemplo que pode ser citado com relação à ocorrência de erosão remontante atual em canais de primeira ordem, evoluída a partir de gênese anterior a década de 60.

A figura 6.58 é composta por duas imagens, sendo a da esquerda referente à fotografia aérea de 1962 (nº 5922) e a da direita correspondente a recorte em imagem do satélite ALOS/Prism (072424040 Nadir) de 2010. Foram selecionados três canais de primeira ordem, afluentes do Córrego da Paca, os quais se apresentam atualmente com nítido processo de entalhamento vertical e alargamento das margens, que evoluiu da desembocadura em direção às cabeceiras.

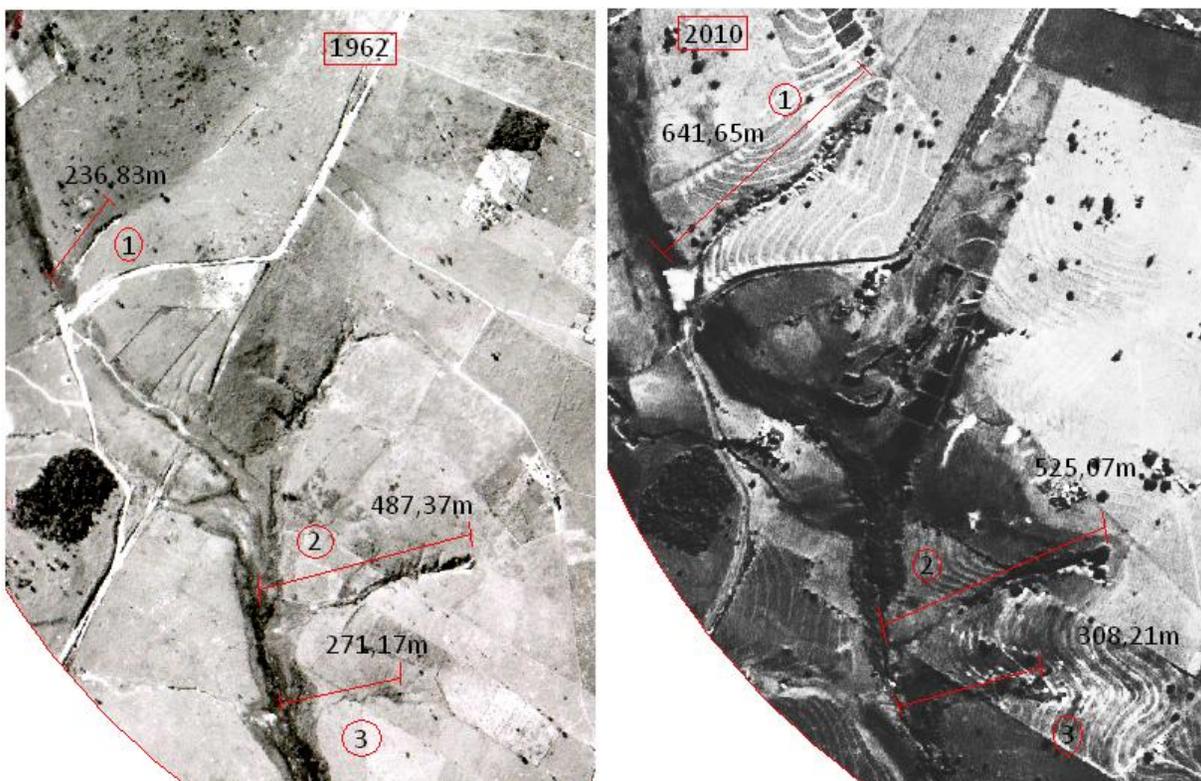


Figura 6.58: Evolução de erosão remontante em afluentes do Córrego da Paca/Amostra 14

Fontes: À esquerda, fotografia aérea nº 5922/1962 – IAC; À direita, imagem do satélite ALOS/ Prism/Nadir 2010 nº072424040 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM 410968,687 / 7574268,862.

As análises por estereoscopia realizadas nas fotografias 5921, 5922 e 5923 permitiram identificar a ocorrência desses processos já no ano de 1962.

As medições dos trechos entre as desembocaduras e os rápidos, identificados em ambos os anos avaliados ao longo dos referidos canais, possibilitaram verificar que o cenário atual é produto da evolução de processos que se iniciaram nas primeiras décadas do século XX.

Deste modo, nos 48 anos que separam 1962 e 2010, foi possível observar que a erosão remontante se deslocou, em relação à desembocadura, 404,82m (de 236,8m a 641,65m), 37,7m (de 487,37m a 525,07m) e 37,4m (de 271,17m a 308,21m) nos canais 1, 2 e 3 respectivamente.

Torna-se importante mencionar que não se trata de aumento do comprimento de canais fluviais, o que resultaria em incrementos no índice densidade de drenagem. Na realidade, conforme pode ser concluído pela observação do gráfico (Figura 6.40), não houve aumento significativo nos comprimentos de canais de primeira ordem, resultando em variação positiva de $0,15\text{km}/\text{km}^2$ para a amostra em estudo.

A figura 6.58, deste modo, busca ressaltar a origem e evolução do aprofundamento e do alargamento dos canais já existentes.

Tendo como base os elementos e conjuntos de elementos analisados no presente trabalho, não foi possível identificar as causas que possam explicar o deslocamento muito superior do rápido no canal 1, em comparação aos demais.

A fotointerpretação realizada nas fotografias aéreas de 1962 permitiu ainda identificar presença de sulcos e ravinas no sentido morro abaixo, muitas destas em processo avançado de evolução para voçorocas. Tais ocorrências pareciam indicar a formação de futuros canais de primeira ordem.

Outra informação relevante trata-se da maior escavação identificada nos canais de primeira ordem, os quais, em alguns casos, se pareciam com verdadeiras voçorocas, evidenciando o quadro instalado de reativação da rede de drenagem no ano de 1962.

As análises permitiram classificar a amostra em estudo como um dos melhores exemplos de que a reativação já ocorria na década de 1960, corroborando as observações realizadas por Stein (1999). Para o referido autor, os processos erosivos tratar-se-iam de resultado das novas condições de escoamento superficial e subterrâneo, associadas ao desmatamento e às práticas pioneiras de uso e ocupação em novas fronteiras (derrubada, limpeza por fogo, destocamento e coivara).

As interpretações das imagens de satélite de 2010 permitiram observar que grande parte dos processos erosivos verificados em 1962 não o foi no presente, indicando estado de maior desequilíbrio da organização espacial no ano mais antigo. Essa característica também foi identificada em outras amostras, e a explicação plausível para reduções no número de incisões lineares no presente em comparação a 1962 trata-se da perceptível mudança nas práticas de manejo, as quais passam a adotar medidas conservacionistas.

Dentre as práticas conservacionistas existentes, algumas de caráter mecânico puderam ser identificadas, tais como plantio em curvas de nível, terraços do tipo camalhão, terraços-patamares e estruturas específicas para desvio e infiltração das águas de escoamento superficial.

De acordo com Lepsch (2002), a adoção de práticas conservacionistas permite o cultivo do solo sem depauperá-lo significativamente, rompendo conflitos ecológicos existentes entre a agricultura e o equilíbrio do ambiente físico, além de permitir controlar a erosão, reduzindo-a a proporções insignificantes.

Outra informação relevante com relação à amostra em destaque trata-se das mudanças no curso do canal principal do Córrego da Fortuna, localizado a leste da amostra, que diferentemente de 1962, apresenta-se atualmente com grande quantidade de pronunciados meandros e de depósitos marginais, do tipo barras de pontal, ao longo de toda a sua extensão no interior da amostra em estudo (Figura 6.59).



Figura 6.59: Mudanças no curso e assoreamento do Córrego da Fortuna – Amostra 14

Fontes: Da esquerda para direita, respectivamente: Fotografia aérea nº 5922/1962 – IAC; Imagem do satélite IKONOS de 2002 – Google Earth – Geoeye, 2002; E imagem do satélite ALOS/ Prism / Nadir 2010 nº 072424040 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM 413483,964 / 7574753,762

A figura apresenta o trecho do canal principal do Córrego da Fortuna nos anos de 1962, 2002 e 2010, e suas características permitem supor a ocorrência de controle estrutural nas mudanças do referido canal, bem como observar o aumento significativo na carga sedimentar transportada e depositada ao longo das margens do mesmo.

Amostra 19

A amostra 19, apesar de ter apresentado o surgimento de apenas dois novos canais de primeira ordem, merece destaque tendo em vista a erosão acelerada e remontante dos afluentes do Córrego Favorita, localizados no sudeste da mesma.

No quadro atual, verifica-se que os rios estão bastante entalhados, formando vales encaixados. Além disso, pode ser observada a ocorrência de ravinamentos e desmoronamentos ao longo das margens tendendo a alargar os canais. Tais feições se constituem em formas e processos que caracterizam o rompimento do estado de equilíbrio dinâmico da rede de drenagem, conforme exposto em discussões anteriores (Figura 6.60).

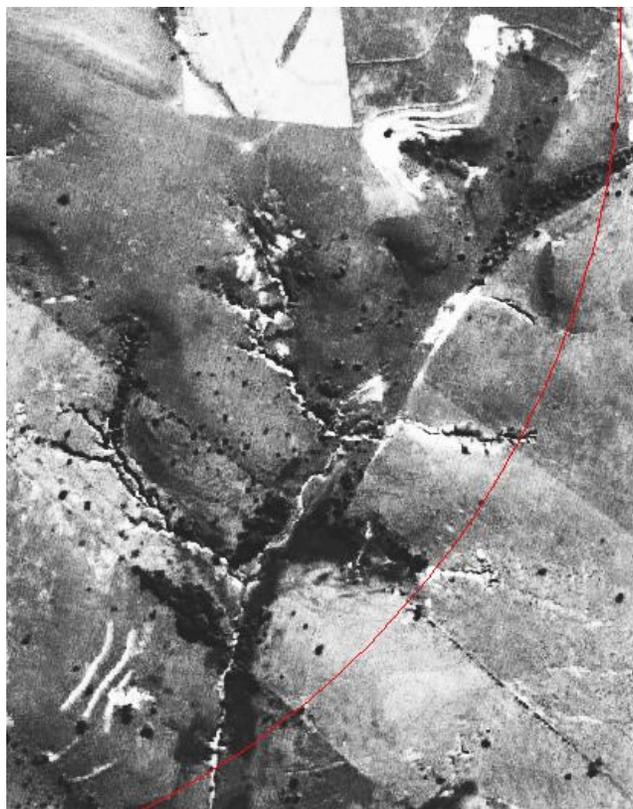


Figura 6.60: Erosão acelerada e remontante em afluentes do Córrego Favorita (ano 2010) – Amostra 19
Fonte: Imagem do satélite ALOS/ Prism/ Nadir/ 2010 n° 126104040 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM
412401,159 / 7565970,139

Propositalmente, não foi traçada a rede de drenagem na figura 6.60 tendo em vista que o traçado prejudicaria a visualização do entalhamento dos canais, bem como das características dos vales fluviais, uma vez que se busca demonstrar, a partir de imagens bidimensionais, características mais facilmente visualizadas em visão tridimensional ou estereoscópica. Caso haja necessidade do leitor, a rede de drenagem poderá ser consultada nos mapas destacados pelas figuras 6.37 e 6.38.

As atividades de fotointerpretação em fotografias aéreas permitiram verificar a ocorrência dos processos mencionados em estágios menos avançados já em 1962. Deste modo, a gênese da fase de maior entalhamento dos referidos canais fluviais não pode ser atribuída a causas recentes, tendo em vista a identificação do estágio de erosão linear acelerada já na década de 60.



Figura 6.61: Erosão acelerada e remontante em afluentes do Córrego Favorita (ano 1962) – Amostra 19
Fonte: Fotografia aérea nº 5570/1962 – IAC; Coordenadas centrais: UTM 412401,159 / 7565970,139

A figura 6.61 trata-se de recorte sobre a mesma área referente à figura 6.60, porém realizado sobre fotografia aérea de 1962 (nº 5570). Os círculos em preto buscam destacar trechos do Córrego Favorita, os quais apresentaram nítido processo de incisão vertical, gerando vales em V profundos, além da formação de rápidos ao longo dos perfis longitudinais, por ação da erosão diferencial ao longo dos mesmos, efetivada de jusante para montante. Segundo as interpretações possibilitadas pela visão estereoscópica, tais ocorrências indicaram formas iniciais do cenário atual, o que permite presumir que o quadro de erosão remontante acelerada verificada em 2010 evoluiu a partir de processos e de formas registrados em estágios iniciais nas fotografias aéreas de 1962.

A figura 6.62 compara as imagens do IKONOS, datadas de 18/06/2002 e de 29/06/2010, obtidas a partir do Google Earth.



Figura 6.62: Erosão acelerada e remontante em afluentes do Córrego Favorita (2002/2010) – Amostra 19
Fonte: Imagens do satélite IKONOS de 18/06/2002 (esquerda) e 29/06/2010 (direita) – Google Earth. Coordenadas centrais: UTM 412401,159 / 7565970,139

Conforme pode ser observado, os processos geomorfológicos verificados na área já se encontravam em estágio evolutivo semelhante ao período mais atual no ano de 2002, ou seja, época próxima do término da construção da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera. Deste modo, presume-se não haver influência direta dessa construção na gênese dos processos identificados. Com relação à possibilidade do represamento ter acelerado os processos erosivos já existentes, os dados e fontes utilizados pela presente tese não permitem averiguações, haja vista o curto período de tempo entre a finalização das obras e o presente.

Por outro lado, o uso intenso por pastagens, identificado desde 1962, com total remoção da cobertura vegetal natural, somado às fragilidades naturais da área, resultantes da associação entre Argissolos (Vermelhos e Vermelho-Amarelos) às declividades predominantes de 6 a 12%, poderia ser apontado como o desencadeador do desequilíbrio verificado.

Amostra 20

Foi realizado recorte no interior da amostra 20 com a finalidade de exemplificar processos, formas e conclusões comuns à maior parte das amostras estudadas (figura 6.63).

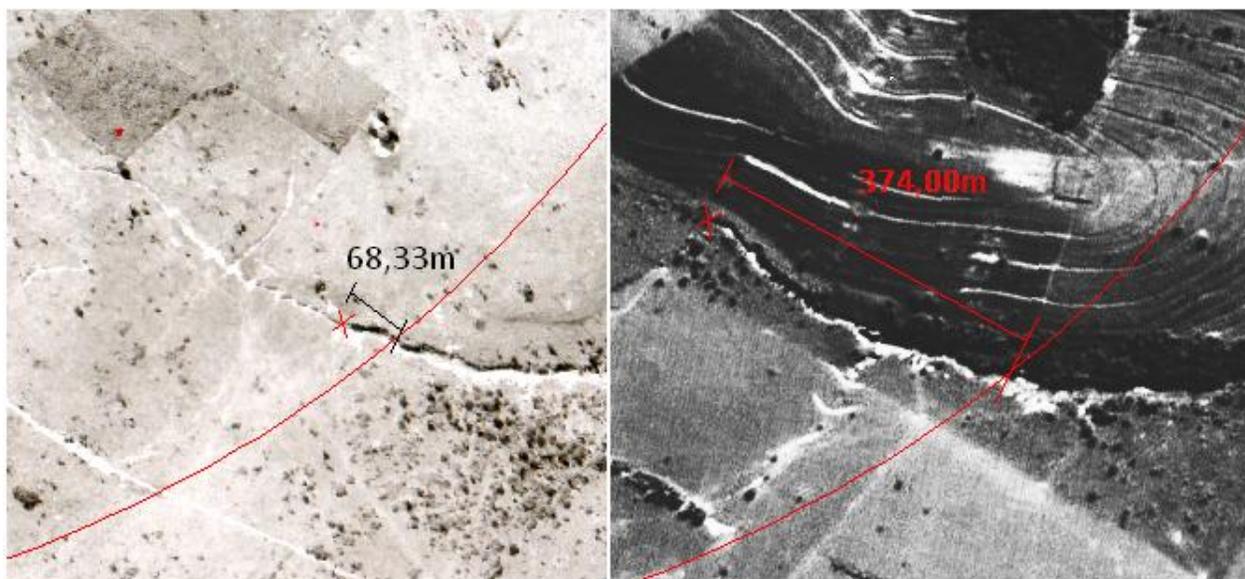


Figura 6.63: Reentalhamento, ruptura de declive e erosão remontante em afluente do Córrego do Rainha –
Amostra 20

Fontes: À esquerda, fotografia aérea nº 5924/1962 – IAC; À direita, imagem do satélite ALOS/ Prism/ Nadir/ 2010
nº 126104040 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM 418125,680 / 7574636,278

A figura 6.63 permite a visualização de um rápido existente em 1962 e que se deslocou por 305,67m, ao longo do perfil longitudinal na direção de montante, o que pôde ser constatado a partir da interpretação estereoscópicas das imagens do satélite ALOS, sensor Prism, de 2010.

As análises permitiram concluir que houve rompimento do estado de equilíbrio na rede de drenagem nos anos anteriores e próximos a 1962. A ocorrência, dentre outras, de rápidos, tais como os identificados na maior parte das amostras e exemplificados por meio da figura 6.63 evidencia o rompimento da resiliência do sistema e a busca da rede de drenagem pelo estabelecimento de novo estado de equilíbrio dinâmico.

O quadro atual ainda reflete condições de desequilíbrio, porém mais próximas da referida estabilidade almejada. Isso pode ser observado a partir do maior aprofundamento e alargamento dos rios, os quais, por erosão regressiva, permitiram maior regularização dos perfis longitudinais e da redução do número de incisões lineares, sendo muito maior em 1962 do que no período atual.

Novamente o cenário é caracterizado por apresentar fragilidades naturais, resultantes da associação de Argissolos Vermelhos, declividades predominantes de 6 a 12% e uso intenso por pastagens, com conseqüente supressão total da cobertura vegetal, verifica já no ano de 1962.

Amostra 35

Foram destacados os afluentes do Ribeirão Feiticeiros, localizados no interior da amostra 35.

Trata-se de mais um exemplo de processos erosivos relacionados à retomada erosiva remontante da rede de drenagem, que apesar de ser observada atualmente a partir de imagens de satélite, foram originadas nas primeiras décadas do século XX, tendo em vista serem identificadas em estágios iniciais nas fotografias aéreas de 1962 (Figura 6.64).

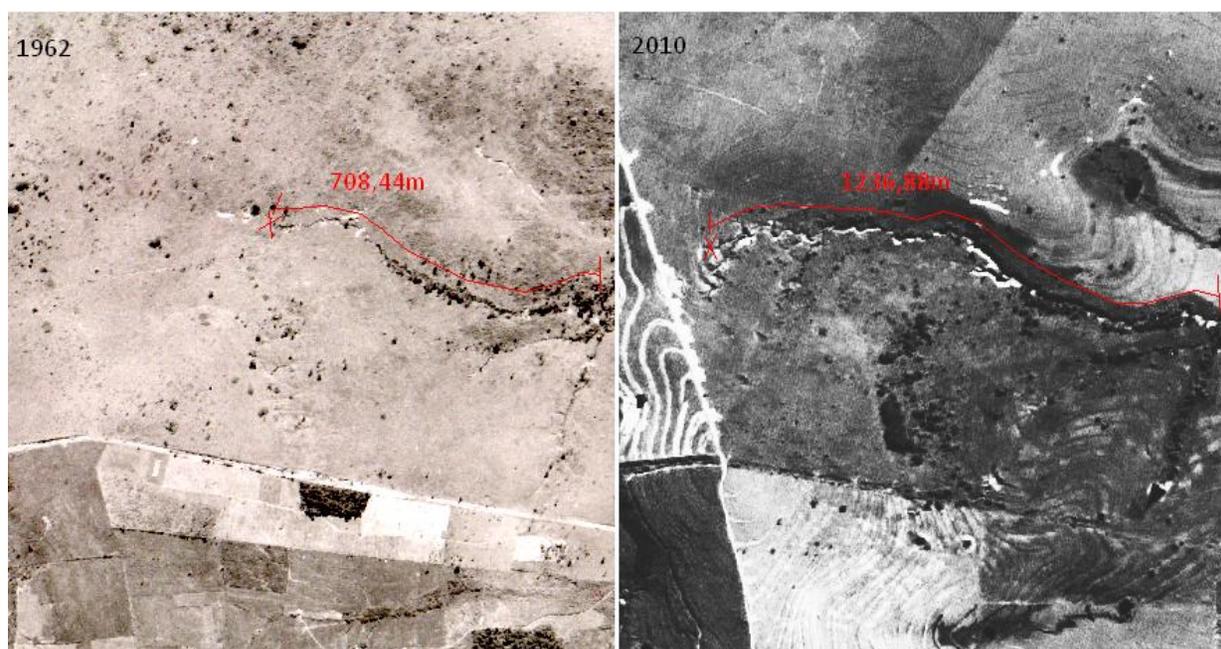


Figura 6.64: Evolução da Erosão remontante em afluentes do Ribeirão Feiticeiros (1962/2010) – Amostra 35

Fontes: À esquerda, fotografia aérea nº 6759/1962 – IAC; À direita, imagem do satélite ALOS/ Prism/ Nadir/ 2010 nº 072424040 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM 412691,009 / 7558912,007

A figura 6.64 representa recorte sobre mesma área no interior da amostra 35, englobando canais afluentes do Ribeirão Feiticeiros.

Em 1962, os canais em destaque apresentavam-se com nítido processo de entalhamento vertical, formando vales em garganta estreita.

A erosão diferencial do leito fluvial, por ser mais intensa nas partes à jusante do perfil longitudinal, próximas das desembocaduras, formou rupturas de declives que se deslocaram para montante. Esse deslocamento reflete a busca da drenagem pelo estabelecimento de perfil de equilíbrio mais condizente com os novos *inputs* de matéria e energia.

Desse modo, a distância do rápido identificado por “x” vermelho em relação à desembocadura era de 708,44m em 1962. Essa distância aumentou para 1236,88m no ano de 2010.

Importante mencionar que as ramificações laterais, verificadas na imagem ALOS, não correspondem a novos canais de primeira ordem, mas sim a maior entalhamento de canais já existentes no ano mais antigo, identificados por meio de estereoscopia nas fotografias aéreas 6758, 6759 e 6760.

Os canais atuais, assim como grande parte dos demais canais que compõem a bacia do Santo Anastácio, apresentam-se mais entalhados e alargados atualmente do que em 1962.

Da mesma forma que em amostras anteriores, os processos erosivos, relacionados à reativação da rede de drenagem e observados atualmente, já se faziam presentes e em estágios semelhantes aos atuais no ano de 2002, conforme figura 6.65.



Figura 6.65: Erosão remontante em afluentes do Ribeirão Feiticeiros (2002/2010) – Amostra 35

Fonte: Imagens do satélite IKONOS de 18/06/2002 (esquerda) e 29/06/2010 (direita) – Google Earth. Coordenadas centrais: UTM 412691,009 / 7558912,007

A figura 6.65 trata-se de recorte da mesma área representada pela figura 6.64, porém foram utilizadas imagens do satélite IKONOS referentes aos anos de 2002 (esquerda) e de 2010 (direita).

Sem necessidade de realizar medições, visualmente, espera-se ser possível ao leitor verificar poucas variações no comprimento, profundidade e largura dos canais imageados.

Tais constatações permitem afirmar que a construção da Usina de Porto Primavera não possui influência na gênese dos processos de reativação da drenagem verificados atualmente, tendo em vista o ano final de sua construção.

Amostra 37

A amostra 37 apresentou surgimento de apenas um canal de primeira ordem no período avaliado. No entanto, foi selecionada por se tratar de bom exemplo representativo dos processos geomorfológicos verificados em grande parte das amostras e de interesse para o presente trabalho.

Com relação aos solos, segundo boletim científico elaborado por Carvalho et al. (1997), puderam ser identificadas três unidades de solos na amostra em estudo, cujas subordens são Latossolos Vermelhos, Argissolos Vermelhos e Neossolos Flúvicos. Tendo em vista que os processos geomorfológicos em estudo ocorrem nas duas primeiras, estas serão detalhadas.

A unidade definida pelos referidos autores para os Latossolos Vermelhos, trata-se da LEd3, a qual apresenta horizonte A moderado, subdividido em Ap e A3, com espessura de 26 a 60cm; textura areia franca ou franco arenosa; estrutura composta fraca pequena granular e grão simples; consistência muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, podendo também não apresentar plasticidade e pegajosidade; transição gradual e plana para o horizonte B. Este apresenta espessura maior que 255cm; textura franco arenosa ou franco argilo arenosa; estrutura maciça porosa que se desfaz em fraca a moderada pequena granular; consistência muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa e transição difusa e plana entre subhorizontes.

Pelas características expressas, tal solo, por si, não apresenta problemas sérios em relação a processos erosivos.

Com relação aos Argissolos Vermelhos, com base em Carvalho et. al. (1997), a unidade identificada na amostra é a PEe7, a qual apresenta horizonte A moderado, subdividido em Ap e A2, com espessura de 50cm; textura areia franca; estrutura composta, fraca, pequena, granular e grãos simples, ou maciça que se desfaz em grãos simples; consistência macia, muito friável, não plástica e não pegajosa e transição abrupta e plana para o horizonte B. Este apresenta espessura superior a 200cm; textura franco arenosa e franco argilo arenosa; estrutura fraca, pequena, em blocos subangulares; consistência friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Como esta unidade possui ocorrência em áreas de declividades acentuadas, e tendo em vista seu caráter abrupto e gradiente textural alto, este solo é muito susceptível à erosão.

A fim de destacar elementos de interesse na amostra em estudo, foram selecionadas três sub-bacias, cujas nascentes se encontram no interior da mesma.

A figura 6.66 trata-se de dois recortes sobre mesma área do interior da amostra 37, realizados na fotografia aérea nº 6756 de 1962 (esquerda) e na imagem do ALOS/Prism - Nadir nº 072424040 de 2010 (direita). A área, localizada no oeste e noroeste da referida amostra, engloba canais do alto curso do Córrego Itapiranga, afluente do Ribeirão da Areia Dourada.

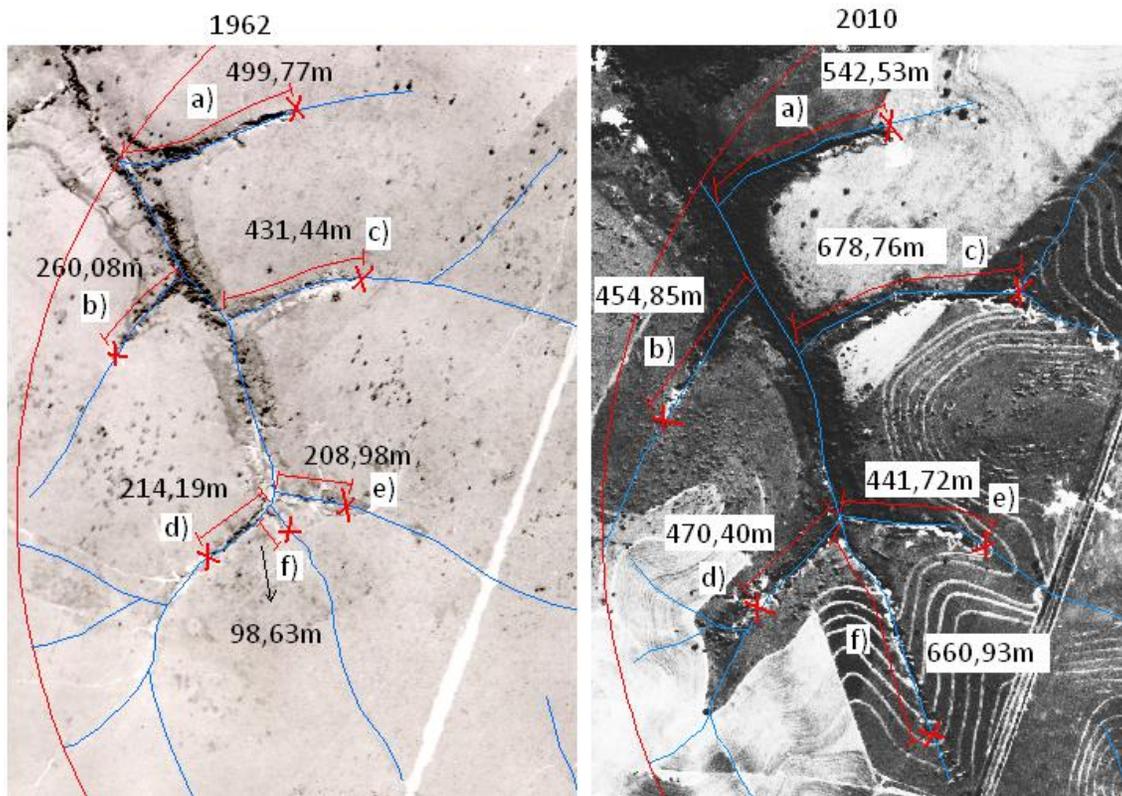


Figura 6.66: Evolução do reentalhamento e erosão remontante no Córrego Itapiranga (1962/2010) – Amostra 37
 Fontes: À esquerda, fotografia aérea nº 6756/1962 – IAC; À direita, imagem do satélite ALOS/ Prism/ Nadir/ 2010
 nº 072424040 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM 405093,913 / 7557147,140

As análises das fotografias aéreas de 1962 permitiram identificar o estabelecimento de nova fase de entalhamento da rede de drenagem, expressa por meio do aprofundamento dos leitos fluviais de alguns canais nas proximidades das desembocaduras, gerando rápidos. Foram realizadas medições das extensões dos perfis longitudinais afetadas pelo entalhamento, em seis canais fluviais, nomeados de “a” a “f”, sendo quatro deles de primeira ordem. Conforme poderá ser verificado a partir da figura 6.66, considerando as medidas de 2010 em comparação a 1962, houve variações positivas em todos os canais analisados, indicando erosão remontante, expressa pelo deslocamento do rápido de jusante para montante ao longo dos perfis longitudinais.

Assim, as variações encontradas, para os canais indicados pelas letras a), b), c), d), e) e f), foram, respectivamente, 42,76m, 194,77m, 247,32m, 256,21m, 232,74m e 562,30m.

Semelhantes feições e processos foram apontados por meio da figura 6.67, cuja área engloba canais do alto curso de uma sub-bacia do Ribeirão Santo Antônio, localizados no leste da amostra, e cujo nome não é mencionado nas cartas topográficas do IBGE.

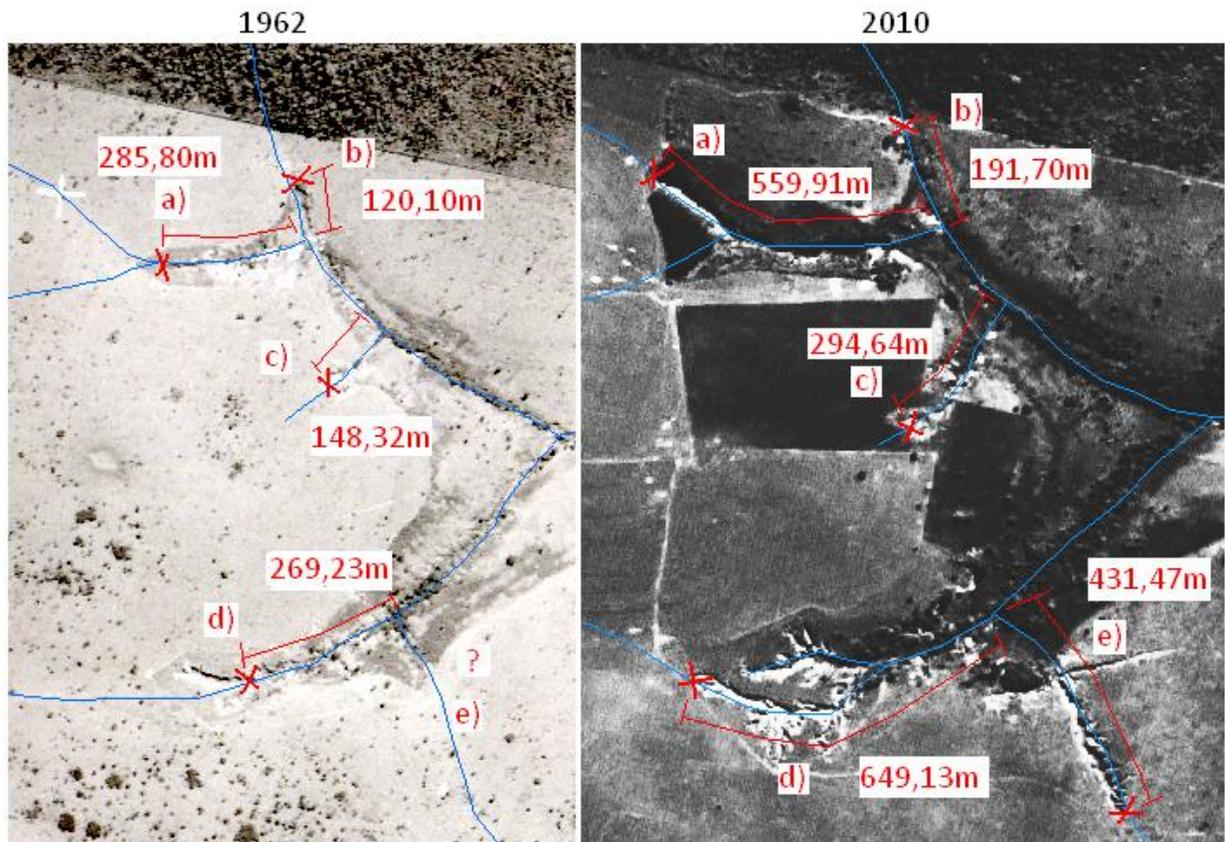


Figura 6.67: Evolução do reentalhamento e erosão remontante em afluentes do Ribeirão Santo Antônio (1962/2010)

– Amostra 37

Fontes: À esquerda, fotografia aérea nº 6756/1962 – IAC; À direita, imagem do satélite ALOS/ Prism/ Nadir/ 2010 nº 072424040 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM 406630,086 / 7556515,726

Foram selecionados cinco canais, identificados, para fins comparativos, pelas letras de “a” a “e”, cujas variações positivas entre os anos avaliados foram de 274,11m, 71,60m, 146,32m, 379,90m, 431,47m, respectivamente.

Os mesmos procedimentos adotados na elaboração das últimas duas figuras serviram de base para a construção da figura 6.68.

A área trata-se de recorte do alto curso do Córrego Tamburi, afluente do Ribeirão Santo Antônio, e localizado no sul da amostra.

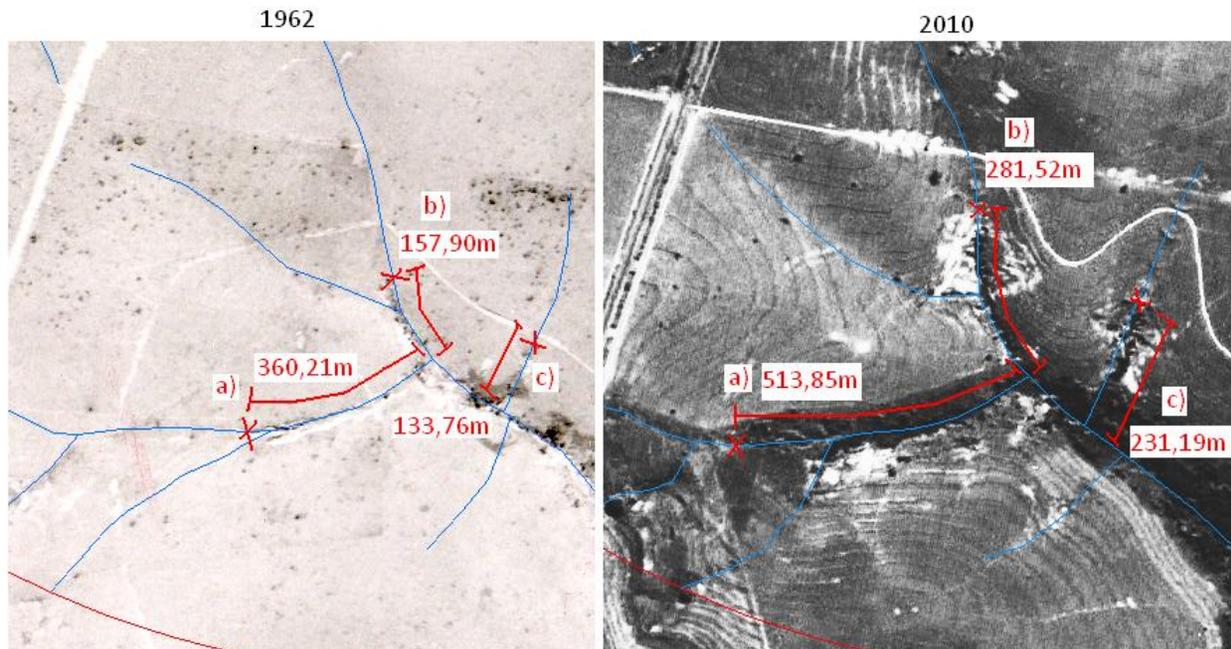


Figura 6.68: Evolução do reentalhamento e erosão remontante no Córrego do Tamburi (1962/2010) – Amostra 37
Fontes: À esquerda, fotografia aérea nº 6756/1962 – IAC; À direita, imagem do satélite ALOS/ Prism/ Nadir/ 2010 nº 072424040 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM 405630,237 / 7555562,527

Conforme pode ser observado, foram selecionados três canais fluviais identificados pelas letras “a”, “b” e “c”, cujas variações positivas das extensões dos trechos dos perfis longitudinais, localizados entre a desembocadura e a ruptura de declive, gerada pelo entalhamento diferencial, foram 153,64m, 123,62m e 97,43m, respectivamente.

Conforme pode ser observado a partir das figuras 6.66, 6.67 e 6.68, a rede de drenagem já se apresentava em fase de intenso entalhamento linear em 1962. O cenário atual (2010) reflete estágio mais avançado do processo de reativação da rede de drenagem.

Alguns dos canais de primeira ordem, por apresentarem-se mais entalhados e alargados, são facilmente identificados em imagens de satélite atuais e, em alguns casos, poderiam gerar conclusões erradas, as quais lhes atribuiriam qualidades de novos canais, resultantes de modificações e/ou interferências recentes no geossistema.

Isso porque, nas fotografias aéreas de 1962, embora tais canais já se fizessem presentes, muitos deles somente puderam ser visualizados por fotointerpretação, com utilização de

estereoscopia, haja vista serem bastante rasos, sobretudo nas partes dos perfis longitudinais, localizadas à montante dos rápidos formados pelo maior entalhamento nas proximidades das desembocaduras.

A seqüência de figuras também permite observar que apesar do tipo de uso e ocupação das terras não ter se alterado significativamente entre os anos considerados, permanecendo pastagens, houve substancial alteração nas práticas agrícolas, evidenciada pela adoção de práticas de manejo conservacionistas registradas nas imagens de 2010. Além disso, pode-se verificar que neste ano houve recomposição de parte da mata ciliar, a qual havia sido totalmente removida em 1962.

Em resumo, pela análise das fotografias aéreas de 1962, pode-se verificar o rompimento do estado de equilíbrio dinâmico no funcionamento do geossistema. Esse desequilíbrio se manifestou espacialmente pela retomada erosiva da rede de drenagem, a qual iniciou nova fase de entalhamento do leito fluvial. Este entalhamento aprofundou os talwegues e modificou as características dos vales fluviais, os quais passaram de vales de fundo côncavo para vales de fundo em V, e em alguns casos, para vales em garganta.

Essas mudanças ocorreram mais efetivamente nas partes à jusante, formando rápidos ao longo dos perfis longitudinais. Tendo em vista o surgimento de tais rupturas de declives, os canais, no presente, ainda procuram restabelecer seus perfis de equilíbrio, e a erosão vertical se projeta em direção de montante, deslocando assim os rápidos para partes mais elevadas dos perfis longitudinais.

As figuras 6.69, 6.70 e 6.71 tratam-se de recortes nas imagens do satélite IKONOS, obtidas do Google Earth, para os anos de 2002, 2010 e 2011, referentes aos mesmos canais representados na figura 6.67.



Figura 6.69: Erosão remontante em afluentes do Ribeirão Santo Antônio (ano 2002) – Amostra 37
Fonte: Imagem do satélite IKONOS de 18/06/2002 – Google Earth. Coordenadas centrais: UTM 406630,086 /
7556515,726

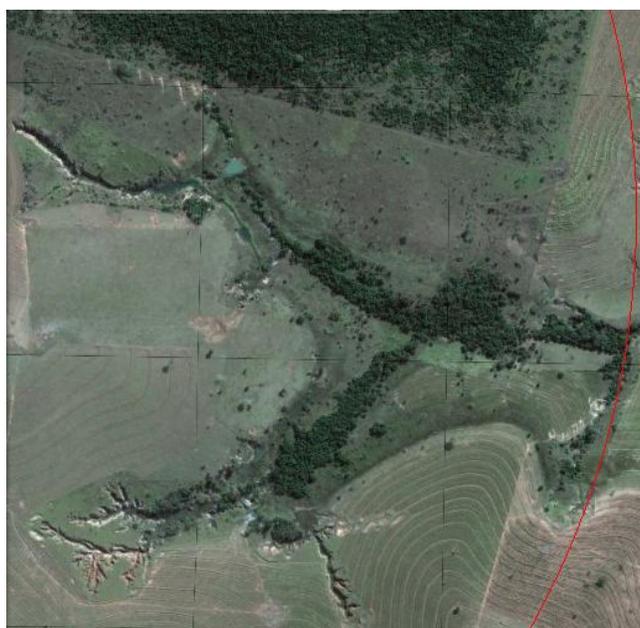


Figura 6.70: Erosão remontante em afluentes do Ribeirão Santo Antônio (ano 2010) – Amostra 37
Fonte: Imagem do satélite IKONOS de 29/06/2010 – Google Earth. Coordenadas centrais: UTM 406630,086 /
7556515,726

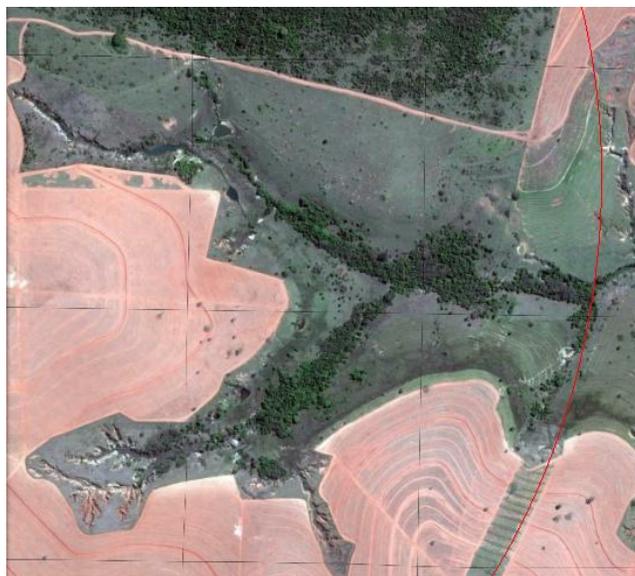


Figura 6.71: Erosão remontante em afluentes do Ribeirão Santo Antônio (ano 2011) – Amostra 37

Fonte: Imagem do satélite IKONOS de 02/09/2011 – Google Earth. Coordenadas centrais: UTM 406630,086 / 7556515,726

A interpretação visual das figuras permite verificar que em 2002, há quatro e há dois anos e meio, respectivamente, da primeira e da segunda etapas de enchimento do reservatório da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, a erosão acelerada e regressiva da rede de drenagem apresentava-se semelhante aos cenários de 2010 e de 2011.

Ao invés de serem observadas atualmente, em comparação a 2002, intensificações dos processos erosivos lineares existentes, foram verificadas, em alguns casos, diminuição dos mesmos, devido à adoção de medidas de controle de erosão e de práticas de manejo conservacionistas, tais como aterramentos, terraceamentos e plantios em curvas de nível.

Desse modo, tais informações, consideradas em conjunto com as demais obtidas a partir dos materiais e das atividades inerentes ao presente trabalho, permitem afirmar que as modificações do nível de base local, ocasionadas pela construção da referida represa, não respondem pela gênese do quadro de desequilíbrio da rede de drenagem verificado na bacia do rio Santo Anastácio. Além disso, os dados não permitiram identificar qualquer influência de tal construção na aceleração dos processos erosivos atuais.

Importante mencionar que todas as feições apontadas por meio das figuras 6.66, 6.67, 6.68 e 6.69 se desenvolvem sobre Latossolos Vermelhos, porém com relevo apresentando declividades predominantes de 6 a 12% e uso por pastagens desde 1962.

Espindola (1999) ressalta a situação do trecho da Bacia do Santo Anastácio, próximo ao Córrego da Prata e ao Ribeirão das Anhumas, no qual, contrariamente a paisagens análogas, de relevos suaves, com solos profundos e permeáveis, como os Latossolos, e sob uso de pastagens bem conduzidas, apresentava graus elevados de risco de degradação por processos erosivos, com desenvolvimento de erosões lineares do tipo voçoroca.

Tal situação, segundo o referido autor, trata-se de processo de rejuvenescimento do relevo, marcado por tendência de densificação da rede de drenagem, acelerado pelo rompimento do equilíbrio dinâmico devido à ação antrópica, pela substituição da cobertura vegetal natural.

Desse modo, a reativação da rede de drenagem, identificada na amostra 37, poderia ser atribuída à associação de fragilidades naturais, resultantes da relação entre solo e altas declividades, com a total remoção da cobertura vegetal natural, para fins agropastoris.

6.5 O Alto Santo Anastácio

6.5.1 Classes de declividades

Conforme poderá ser observado na figura 6.72, o Alto Santo Anastácio é bastante movimentado com grande parte de sua área apresentando declividades entre 6 e 12%, no setor A2 (Divisores escalonados) e, principalmente, nos setores A1 (Cabeceiras do alto Santo Anastácio) e A3 (Guaíçarinha).

Tais declividades encontram-se relacionadas, no âmbito do Planalto II, a mais alta densidade hidrográfica e à presença generalizada de rupturas de declives, proporcionadas pela existência de patamares escalonados, gerados por diferenças nas resistências de litotipos das unidades KaV e KaIV da Formação Adamantina, sendo estas associadas às espessuras dos estratos e à maior ou menor tendência à cimentação carbonática. Além disso, pode-se perceber que as declividades inferiores a 3% encontram-se relacionadas ao setor A4, correspondente aos altos e baixos terraços.

Com relação aos solos, verifica-se, de acordo com Carvalho et al. (1997), que a quase totalidade das amostras pertencentes a este Curso são caracterizadas por apresentar Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos.

Como era de se esperar, a associação entre tais solos e as declividades acentuadas que caracterizam o Alto Santo Anastácio respondem por quadro de fragilidade ambiental elevado.

Dessa forma, pelas atividades de fotointerpretação, foi identificado, para o ano de 1962, quadro de total desestabilidade das vertentes e da rede de drenagem. Em todas as amostras analisadas verificaram-se presença generalizada de ravinas em grande parte das vertentes, canais fluviais em processo acelerado de entalhe dos leitos fluviais, de tal forma que muitos canais de primeira ordem se assemelhavam a verdadeiras voçorocas, presença de rápidos ao longo dos perfis longitudinais, indicando erosão diferenciada ao longo dos mesmos, dentre outros.

Importante ressaltar que no ano de 2010, o quadro, apesar de ainda preocupante em relação aos processos erosivos e de reativação identificados, apresenta-se menos intenso do que no ano anterior. Assim, grande parte das incisões identificadas em 1962, não foram observadas no ano mais recente. Além disso, no geral, a rede de drenagem apresenta-se nitidamente mais entalhada e alargada em 2010, em comparação a 1962.

6.5.2 Hipsometria

Conforme pode ser observado na figura 6.73, o Planalto III se apresenta em cota superior a 450m, altitude esta que demarca a inserção do Planalto II, marcada por presença de couraça limonítica, conforme observações realizadas por Stein (1999), no interflúvio Palmitalzinho/Embiri.

A superfície cimeira possui maior expressão nas proximidades de Regente Feijó, mas também se dispõe em faixa estreita contornando todas as cabeceiras desde Álvares Machado, no interflúvio com o rio do Peixe, até Coronel Goulart, no divisor com o rio Paranapanema.

A classe entre 390 e 450m, corresponde ao Planalto II, caracterizado por conjunto de interflúvios que se rebaixam em direção ao rio Santo Anastácio, pela presença de patamares escalonados, sustentados por litotipos mais resistentes, relacionados a diferenças nos estratos e à tendência maior ou menor à cimentação carbonática (STEIN, 1999).

Os altos terraços se encaixam, segundo o referido autor, no Planalto II, por ruptura de declive negativa de 380m nas partes de jusante e de 400m, nas proximidades das cabeceiras do Alto Curso. Deste modo, para a delimitação de conjunto altimétrico correspondente aos Altos Terraços, no mapa hipsométrico do Alto Santo Anastácio, adotou-se como limite superior o valor de 390m.

A classe entre 260 e 340m corresponde parcialmente aos baixos terraços. A metodologia adotada não permitiu gerar classe capaz de conter a grande variação altimétrica da inserção do T1 no T2, a qual oscila de 330m, nas partes de jusante, a 380m, a partir de sucessão de soleiras, nas proximidades das cabeceiras.

Este problema é indiferente em relação aos resultados do presente trabalho, tendo em vista que tais níveis apresentam tendências de erosão praticamente nulas, e na maior parte associada ao solapamento das margens dos canais devido à ação do escoamento fluvial.

MAPA HIPSOMÉTRICO DO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL

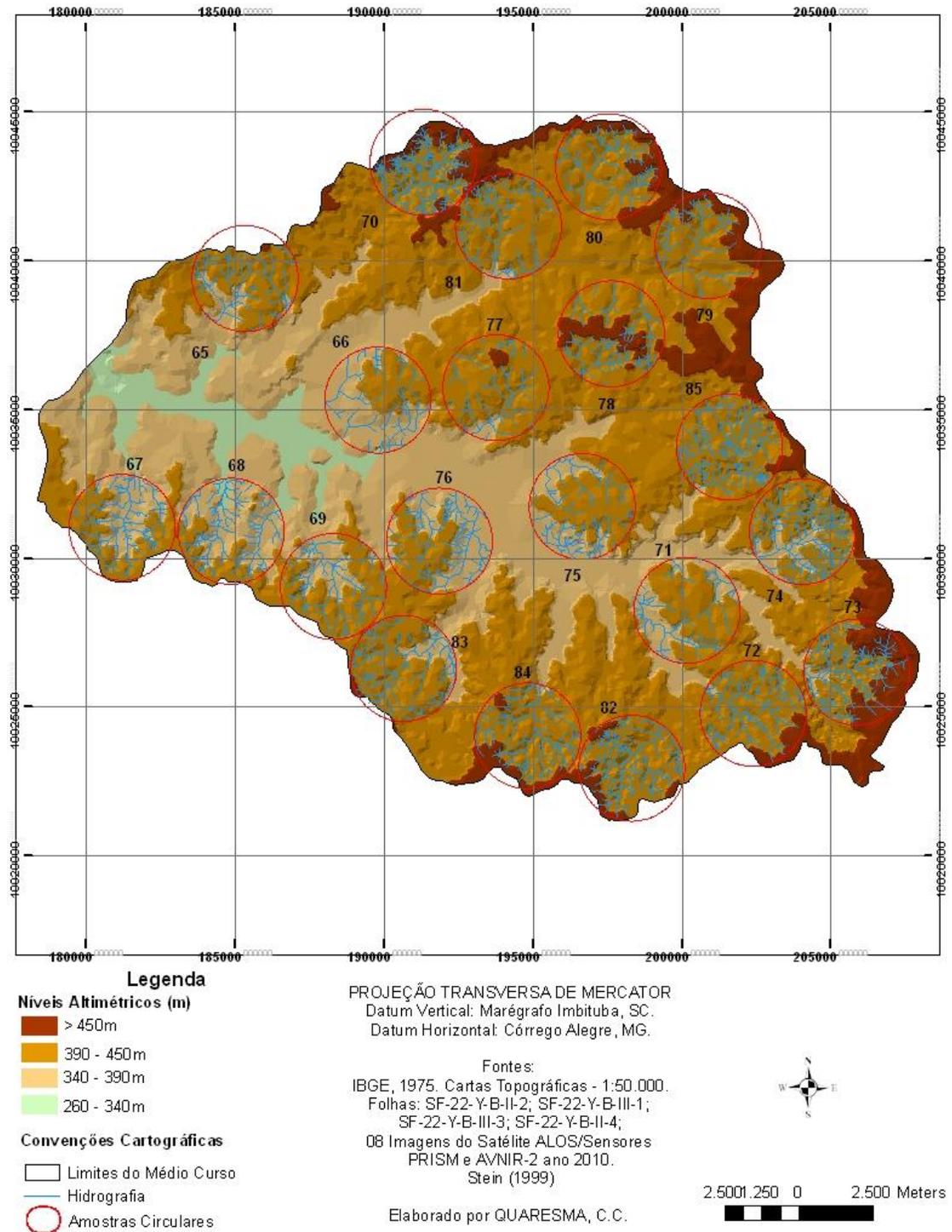


Figura 6.73: Mapa hipsométrico do Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil

6.5.3 Uso e ocupação nos anos de 1962 e 2010

MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS DO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL - ANO 1962

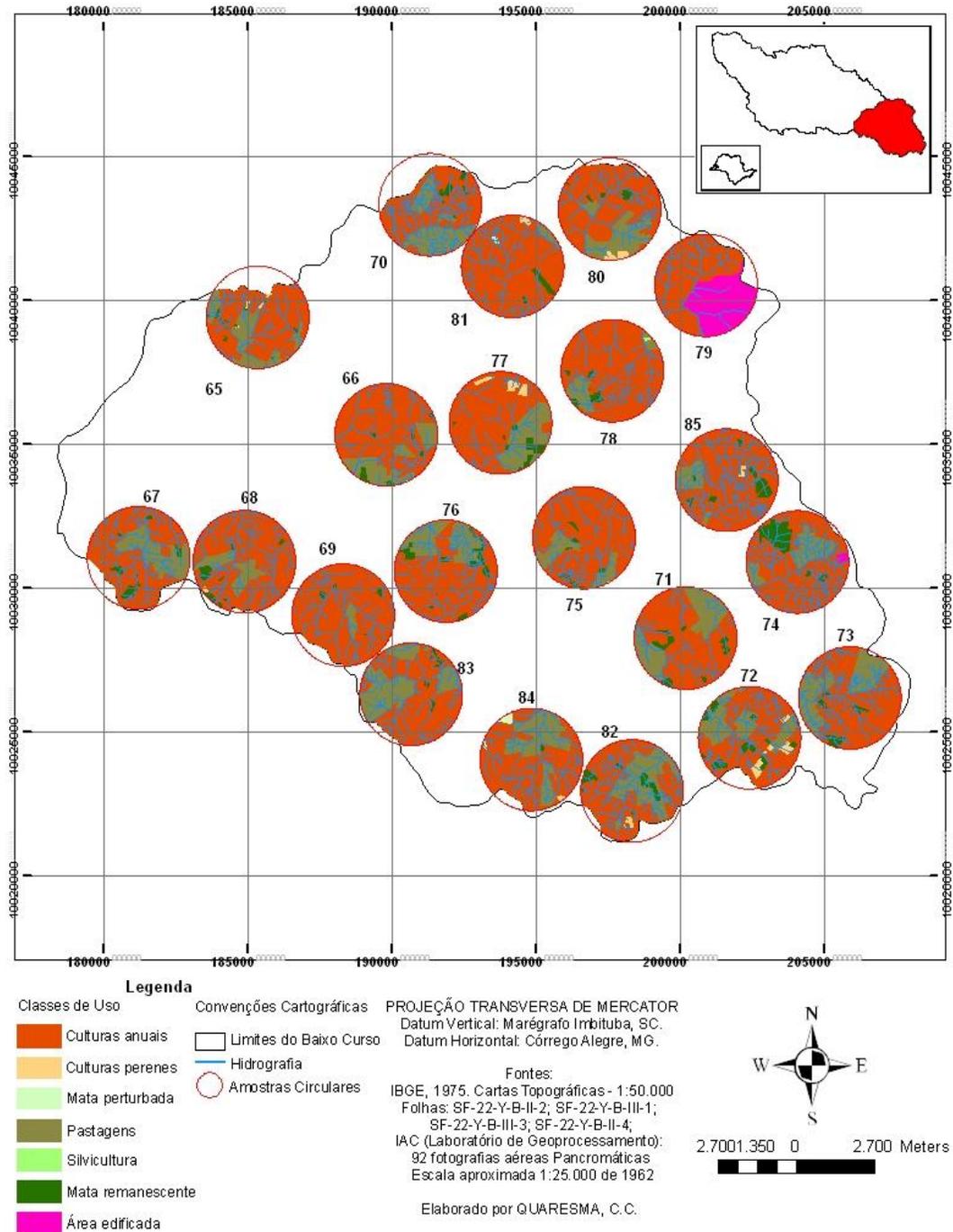


Figura 6.74: Mapa do uso e ocupação das terras em amostras circulares do Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 1962

**MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS DO ALTO CURSO
DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO - SP - BRASIL - ANO 2010**

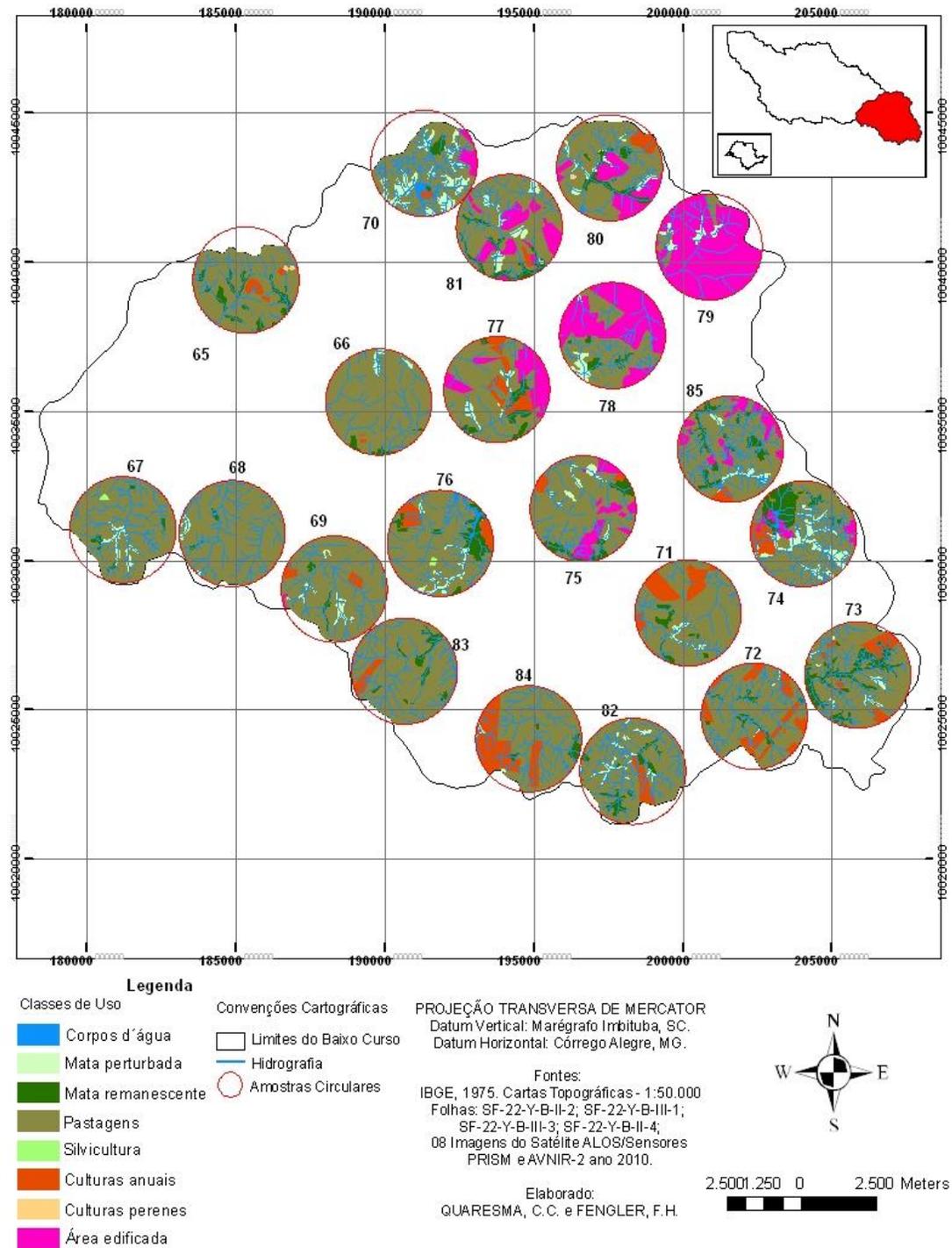


Figura 6.75: Mapa do uso e ocupação das terras em amostras circulares do Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 2010

CLASSES	1962		2010	
	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)	ÁREA (KM ²)	ÁREA (%)
Áreas edificadas	3,82	1,88	22,33	11,15
Culturas Anuais	153,80	75,58	11,52	5,75
Culturas Perenes	1,24	0,61	0,08	0,04
Corpos d'água	-	-	0,69	0,34
Silvicultura	0,03	0,01	-	-
Pastagens	37,37	18,37	144,73	72,26
Solo Exposto	-	-	-	-
Mata perturbada	0,21	0,10	8,56	4,27
Mata remanescente	7,01	3,45	12,39	6,19

Tabela 6.8: Classes de uso e ocupação das terras e respectivas áreas – amostras do Alto Curso da Bacia do Santo Anastácio – Anos 1962 e 2010.

Com base nos mapas e nos dados representados pelas figuras 6.74 e 6.75, bem como pela tabela 6.8, com relação ao uso e ocupação das amostras circulares pertencentes ao Alto Curso, verificou-se que o uso predominante na década de 60 tratava-se das culturas anuais, em especial a cultura de algodão. Tais culturas ocupavam 75,58% do total da área estudada. Ainda para o ano de 1962, observou-se presença pouco significativa de culturas perenes, distribuídas de maneira esparsa, limitando-se a poucas glebas de café, visivelmente em processo de substituição e, a pequenas glebas de culturas de laranja, as quais praticamente irrelevantes. As pastagens, em 1962, tratavam-se do segundo uso mais expressivo nas amostras estudadas, representando 18,37% do total da área.

Comparando-se ao ano de 2010, observou-se que houve inversão da representação das classes pastagens e culturas anuais. Assim, para este ano, as pastagens ocupavam cerca de 72% do total da área, correspondendo a incrementos na ordem de 293,36% em relação a 1962. Em

contrapartida, as culturas anuais, no período mais atual, ocupavam cerca de 5,75% da área analisada, somadas as áreas de cultivo de cana-de-açúcar.

As áreas urbanas também aumentaram sua expressão de forma significativa, especialmente nas amostras 78, 79 e 80, correspondentes à área urbana de Presidente Prudente. Torna-se importante ressaltar que, para o Alto Curso, as áreas urbanas encontram-se contabilizadas na classe Áreas edificadas, tendo em vista a ocorrência de algumas grandes áreas destinadas para fins imobiliários no cenário mais atual.

Assim como observado nos demais Cursos, houve significativa recomposição da vegetação natural. Desse modo, somando-se as classes Mata remanescente e Mata perturbada, conforme explicado anteriormente, verificou-se o aumento de 194,77% das mesmas, na comparação do cenário de 2010 com o de 1962.

As constatações referentes ao aumento da representatividade da cobertura vegetal natural e da maior adoção de práticas de manejo conservacionistas no ano de 2010 podem ter contribuído para o quadro de menor desequilíbrio neste ano em comparação a 1962, embora ainda intenso e preocupante.

A intensidade e evolução mais acentuadas dos processos erosivos no Alto curso, em relação aos demais, no ano de 1962, podem ser explicadas pelo fato do rompimento do equilíbrio dinâmico, nesta parte da bacia, ter sido anterior aos demais, dada a evolução histórica do processo de uso e ocupação.

Deste modo, na década de 60, teria sido verificado o ápice da resposta dos elementos do geossistema em relação às alterações impostas pelo sistema antrópico, ao longo do processo de uso e ocupação.

6.5.4 Análise morfométrica da rede de drenagem

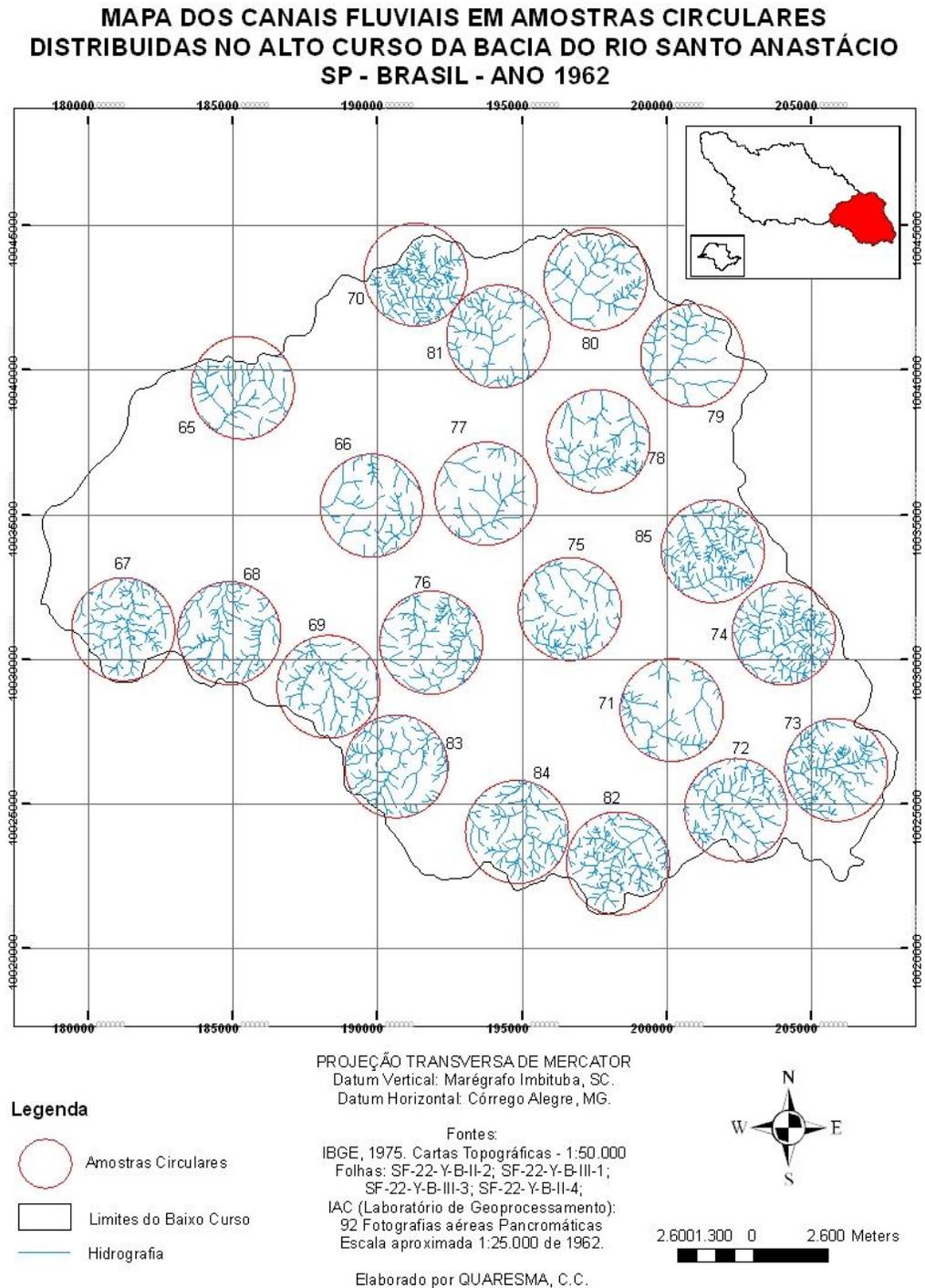
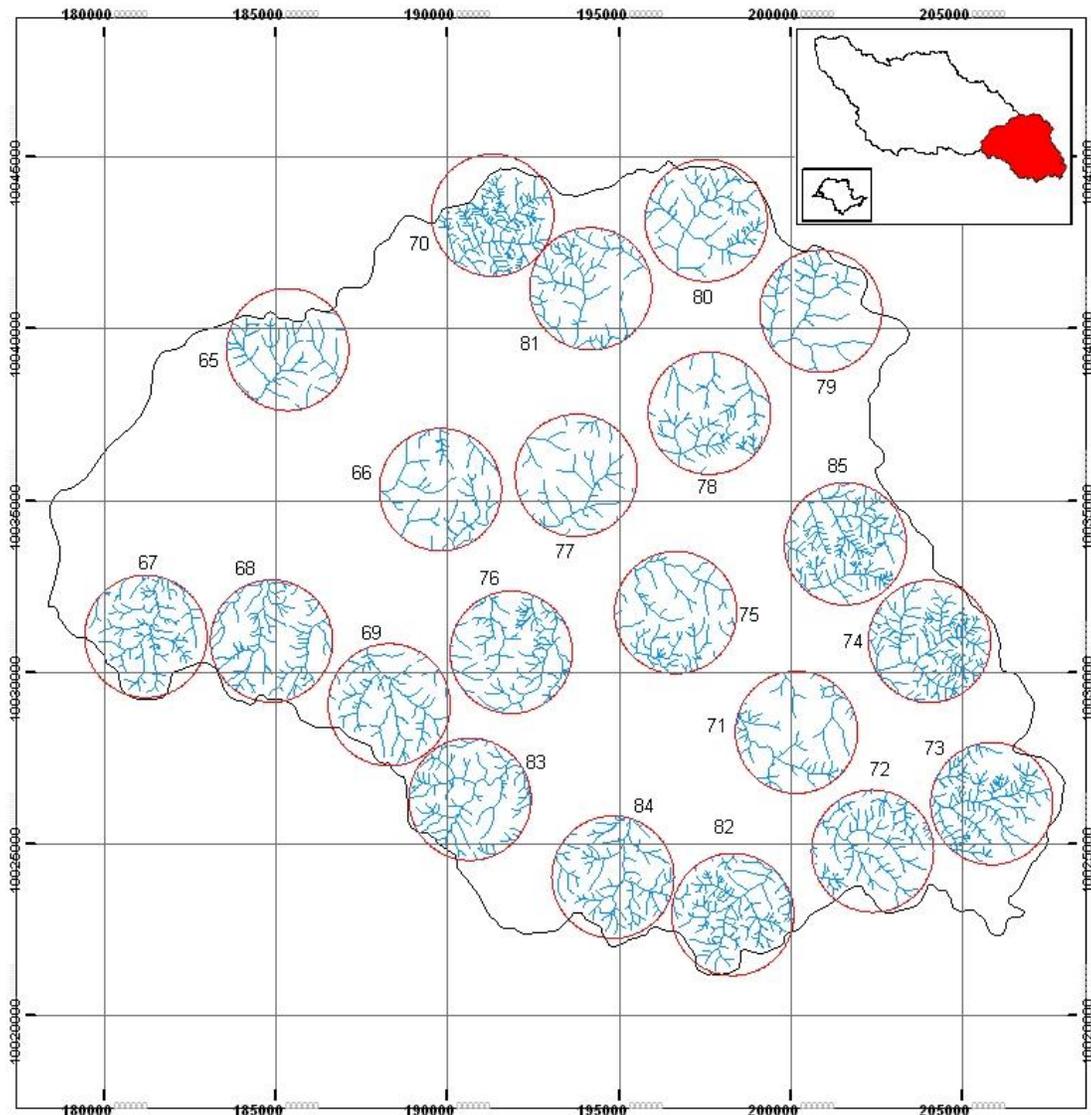


Figura 6.76: Mapa da rede de drenagem em amostras circulares distribuídas no Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 1962

**MAPA DOS CANAIS FLUVIAIS EM AMOSTRAS CIRCULARES
DISTRIBUIDAS NO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO
SP - BRASIL - ANO 2010**



Legenda

-  Amostras Circulares
-  Limites do Baixo Curso
-  Hidrografia

PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR
Datum Vertical: Marégrafo Imbituba, SC.
Datum Horizontal: Córrego Alegre, MG.

Fontes:
IBGE, 1975. Cartas Topográficas - 1:50.000
Folhas: SF-22-Y-B-II-2; SF-22-Y-B-III-1;
SF-22-Y-B-III-3; SF-22-Y-B-II-4;
08 Imagens do Satélite ALOS/Sensores PRISM e
AVNIR-2 ano 2010.



2.6001.300 0 2.600 Meters



Elaborado por QUARESMA, C.C.

Figura 6.77: Mapa da rede de drenagem em amostras circulares distribuídas no Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – ano 2010

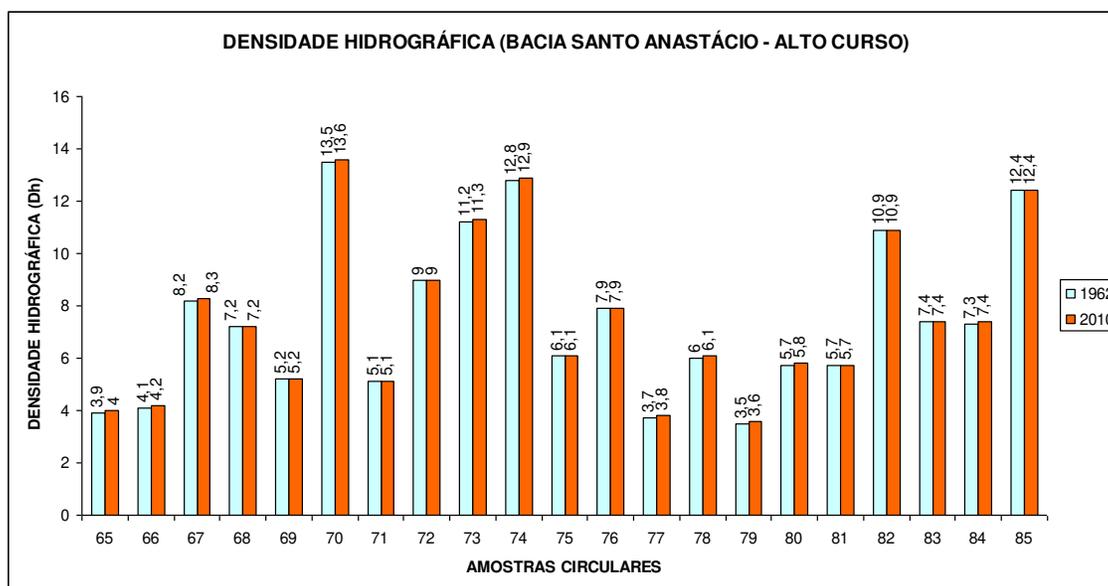


Figura 6.78: Densidade hidrográfica de amostras do Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – (anos 1962 e 2010)

Conforme pode ser observado pela análise do gráfico (Figura 6.78), o Alto Santo Anastácio, diferentemente dos demais cursos, não apresentou aumento significativo no número de canais de primeira ordem.

Pode-se verificar que das vinte e uma amostras analisadas, onze apresentaram aumento de apenas um canal e as demais permaneceram com a mesma quantidade de canais de primeira ordem nos anos avaliados.

Tendo em vista que, segundo Guedes et al. (2006), foi identificado padrão de anomalias positivas para o Alto Santo Anastácio e negativas para o Baixo, e que alguns estudos existentes apontam para a continuidade da ação do basculamento inicial que deu origem à bacia do Paraná, esperava-se encontrar dados contrários aos verificados.

Desse modo, pelo fato do Alto curso ter apresentado o menor incremento médio de canais de primeira ordem em comparação aos demais, os dados analisados permitem questionar a ação tectônica na gênese e aceleração da erosão remontante verificada na rede de drenagem da bacia do Santo Anastácio, sendo que o uso e ocupação das terras indicam maior interferência sobre os processos geomorfológicos identificados.

O gráfico ilustrado pela figura 6.79 refere-se aos índices de densidade de drenagem de cada amostra para os anos de 1962 e 2010.

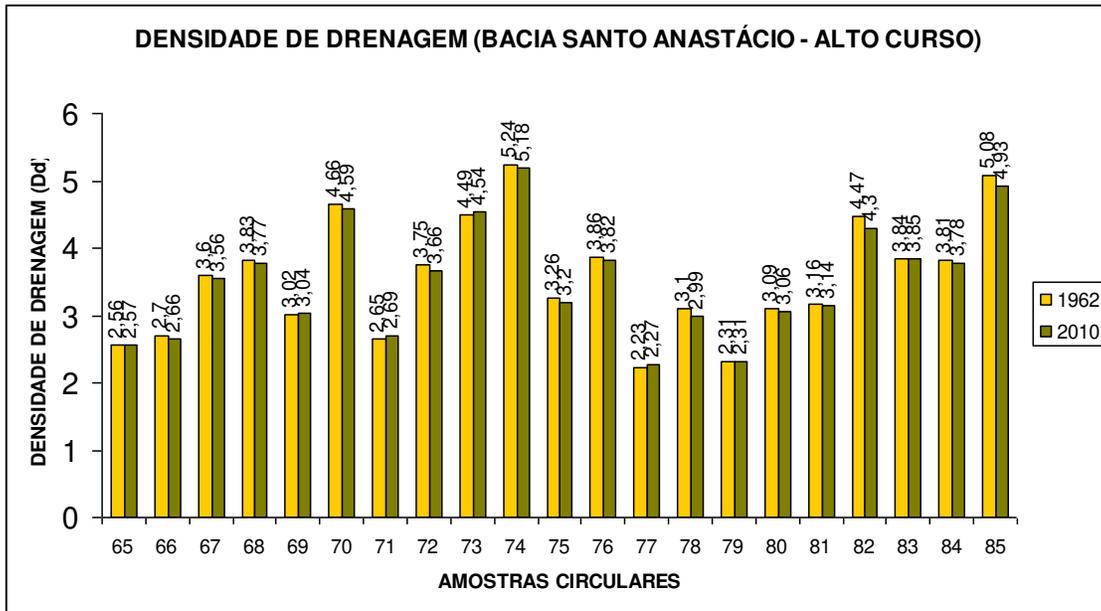


Figura 6.79: Densidade de drenagem de amostras do Alto Curso da Bacia do Rio Santo Anastácio-SP/Brasil – (anos 1962 e 2010)

Como pode ser observado, das vinte e uma amostras pertencentes ao Alto Curso da bacia do Santo Anastácio, uma não apresentou variações no comprimento total de canais por unidade de área entre os anos avaliados; Seis apresentaram variações positivas, indicando aumento nos comprimentos dos canais; E catorze amostras apresentaram variações negativas, indicando que houve redução no comprimento dos mesmos.

Os dados permitem reforçar discussões realizadas no âmbito dos demais cursos, uma vez que os valores das variações não são significativos a ponto de condizerem com a realidade.

Foi verificado que mais de 81% das amostras apresentaram variações inferiores a $0,07\text{km}/\text{km}^2$, ou $70\text{m}/\text{km}^2$, o que corresponderia a menos de 3mm de imprecisão no processo de vetorização em área de $20,95\text{cm}^2$ de fotografia aérea de 1962.

Tendo em vista a escala regional de estudo da presente pesquisa, as pequenas variações verificadas podem ser resultantes da somatória de erros devidos às discordâncias dos materiais base, tais como cartas topográficas, fotografias aéreas, fotomosaicos semicontrolados e imagens

de satélite, no que se referem a seus próprios erros de confecção e divergências de sistemas de orientação. Somam-se a isso, pequenos e compreensíveis erros ao longo do processo de vetorização, que em conjunto podem ter contribuído para as variações verificadas em relação ao índice densidade de drenagem.

Mudanças reais poderiam ser indicadas caso os valores das variações encontradas fossem superiores aos verificados, tal como no trabalho de Rodrigues (2006), que apontou para variações positivas médias superiores a 51% no índice densidade de drenagem entre os anos de 1962 e 2005 para o Baixo Curso do São José dos Dourados – SP - Brasil. Para o caso do presente trabalho, variações no comprimento total de canais por unidade de área entre os anos de 1962 e 2010 não ultrapassaram 2,5% em mais de 95% das amostras localizadas no Alto Curso da bacia em estudo. Assim, reafirma-se que o índice densidade de drenagem deixa de ser relevante ao presente trabalho.

Além disso, as variações negativas registradas para catorze amostras ressaltam ainda mais a necessidade de estudos em escala local, o que permitirá esclarecer as variações reais no comprimento dos canais fluviais ao longo do período analisado.

As análises realizadas nas amostras pertencentes ao Alto Curso, além de revelarem a inexistência de aumentos significativos no número de canais de primeira ordem entre os anos de 1962 e 2010, permitiram verificar o quadro de desestabilidade da rede de drenagem e a maior intensidade e quantidade de processos erosivos lineares no primeiro ano mencionado. Grande parte das numerosas ravinas identificadas em 1962 não aparece nas imagens atuais, o que pode ser atribuído à maior adequação dos canais em relação à entrada de matéria e energia, bem como pela adoção de práticas de manejo conservacionistas e revegetação de áreas de matas ciliares. Além disso, muitos processos erosivos observados no ano de 2010 puderam ser identificados em estágios evolutivos menos avançados nas fotografias aéreas de 1962, indicando que a gênese dos mesmos encontra-se relacionada às primeiras décadas de modificações de elementos do geossistema, devido ao processo de uso e ocupação das terras por parte do sistema antrópico, que desrespeitou as fragilidades naturais, resultando no quadro de degradação verificado.

A seguir, serão destacadas características inerentes a algumas amostras circulares e que são relevantes aos interesses do presente trabalho.

6.5.5 Detalhamento de amostras circulares selecionadas

As figuras 6.80 e 6.81 representam um mesmo recorte no interior da amostra circular 83, a primeira refere-se ao ano de 2010, e a segunda, ao ano de 1962.



Figura 6.80: Erosões lineares - vertentes de afluentes do Córrego do Lajeado (ano 2010) – Amostra 83
Fonte: Imagem do satélite ALOS/ Prism/ 2010 n°150464045, fusionada com imagem do Sensor AVNIR2 / 2010, n° 56524040 – IBGE. Coordenadas centrais: UTM 448871,670 / 7540486,465



Figura 6.81: Erosões lineares - vertentes de afluentes do Córrego do Lajeado (ano 1962) – Amostra 83
Fonte: Fotografia aérea nº 6020 / 1962 - IAC. Coordenadas centrais: UTM 448871,670 / 7540486,465

As figuras demonstram área de ocorrência atual de numerosos e intensos processos erosivos lineares no entorno de afluentes do Córrego do Lajeado. Trata-se de exemplo de erosão acelerada, existente de forma intensa desde a década de 60.

As atividades de fotointerpretação na amostra em estudo permitiram verificar que em 1962 a rede de drenagem apresentava-se completamente desestabilizada e os canais apresentavam-se em fase de nítido entalhamento dos leitos. Além disso, foi observada presença de grande quantidade de ravinas ao redor dos canais e também em áreas de cabeceiras, o que dificultou em alguns casos a distinção entre canais de primeira ordem e ravinas profundas. Tais feições e processos ocorriam tanto em áreas ocupadas por culturas anuais como por pastagens. No primeiro caso, por não haver histórico de ocupação por pastos, pressupõe-se que as erosões lineares evoluíram a partir da associação de fragilidades naturais com mudanças nas condições hidrológicas, devido ao desmatamento acelerado e das práticas de cultivo que, em muitos casos, intensificavam a ação dos agentes de erosão. No segundo caso, tais erosões podem ter se originado também devido ao pisoteio do gado.

As análises das imagens de satélite utilizadas permitiram verificar que as erosões continuaram intensas no ano de 2010, porém houve reduções no número de incisões em comparação ao ano de 1962.

Com relação às fragilidades naturais mencionadas, podem ser destacados atributos referentes aos solos e ao relevo.

Para o caso da área representada pelas figuras 6.80 e 6.81, verifica-se a presença dos Argissolos Vermelho-Amarelo, cuja unidade apresentada por Carvalho et. al. (1997) trata-se da PVe4, caracterizada por horizonte A moderado, com espessura entre 20 e 57 cm; textura areia franca e franco arenosa; estrutura fraca pequena granular e grãos simples e maciça que se desfaz em grãos simples; consistência macia, muito friável, não plástica e não pegajosa e transição abrupta para o horizonte B. Este, com espessura superior a 170cm; textura franco argilo arenosa; estrutura fraca, pequena e média, em blocos subangulares; consistência muito dura, dura ou ligeiramente dura, quando solo seco, firme ou friável, quando úmido e ligeiramente plástica ou plástica e ligeiramente pegajosa ou pegajosa, quando molhado.

Segundo os autores citados, tal unidade é muito suscetível à erosão, tendo em vista sua ocorrência em áreas de relevo ondulado, com declividades entre 8 e 20%, bem como seu caráter abrupto, gradiente textural elevado e baixa capacidade de agregação das partículas no horizonte superficial.

Conforme pode ser observado por meio da figura 6.82, as erosões lineares presentes na área destacada pelas figuras 6.81 se distribuem em locais onde predominam declividades entre 3 e 12%, corroborando parcialmente as observações constantes no parágrafo anterior.

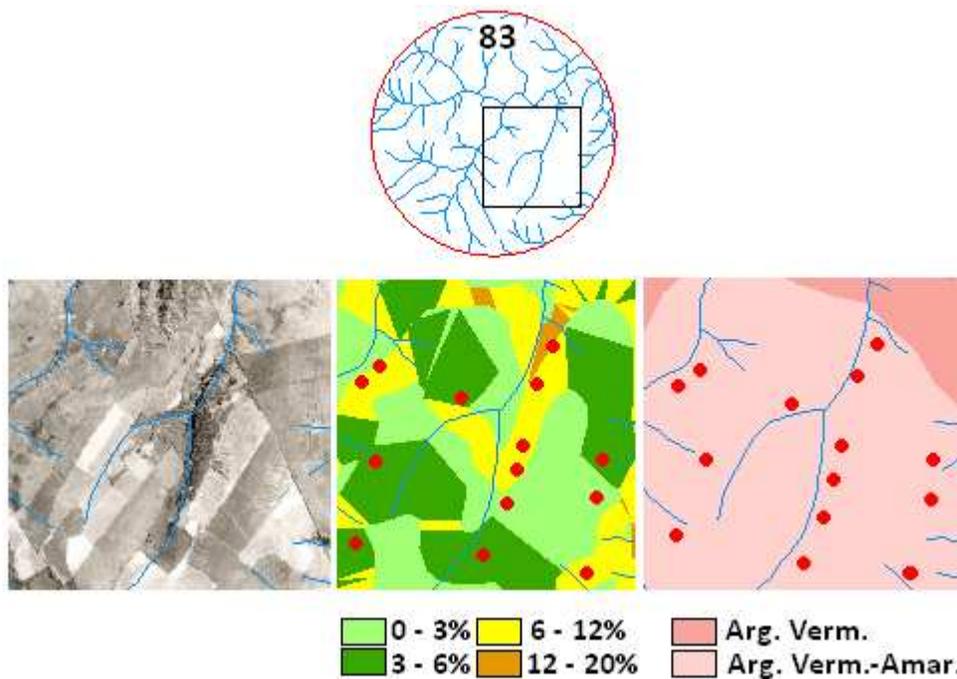


Figura 6.82: Erosões lineares e fragilidade naturais / Córrego do Lajeado – Amostra 83

Pela observação da figura 6.82 verifica-se que as áreas de ocorrência de processos erosivos lineares no recorte referente à amostra 83, destacadas pelos pontos em vermelho, encontram-se distribuídas sobre Argissolos Vermelho-Amarelos e em declividades predominantes de 3 a 12%.

Amostra 70

A amostra em questão permite ilustrar situação comum a grande parte das demais amostras analisadas e pertencentes aos três cursos da bacia em estudo.

As atividades de fotointerpretação realizadas nas fotografias aéreas de 1962 (nº 6773, 6774 e 6775) permitiram a identificação de área cuja rede de drenagem encontrava-se em desestabilidade e em busca de novo estágio de equilíbrio por meio do entalhamento do talvegue, iniciado a partir da desembocadura em direção às cabeceiras.

Naquele ano, percebe-se a total remoção da cobertura vegetal natural, além da ausência de práticas de manejo conservacionistas e de estruturas de combate e minimização de efeitos degradantes da erosão.

Deste modo, as mudanças causadas pelo processo de uso e ocupação das terras expuseram fragilidades naturais e provocaram processos erosivos acelerados, resultando na erosão diferenciada e remontante dos leitos fluviais, e na ocorrência de áreas de assoreamento e de formação de leques aluviais recentes (Figura 6.83).

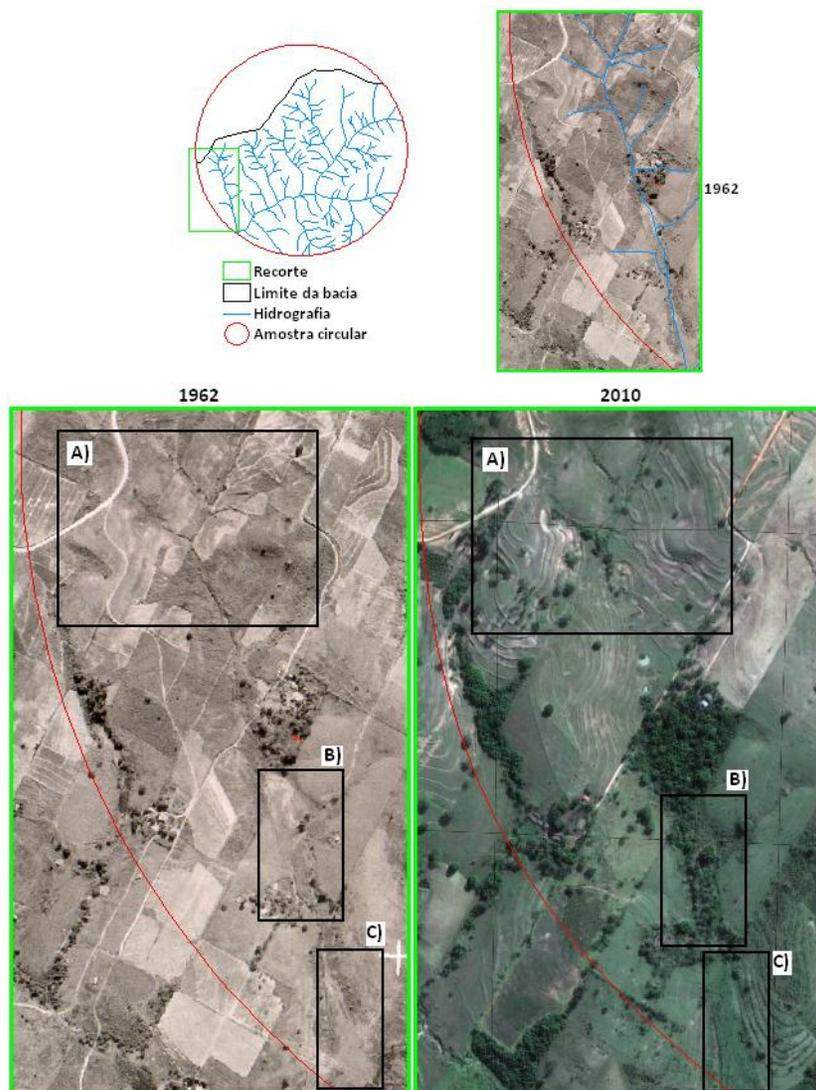


Figura 6.83: Manejo, erosão remontante e cone de dejeção (comparação 1962 e 2010) Córrego Brejão ou Guaiçarinha – Amostra 70

Fontes: Fotografia aérea nº 6774 / 1962 – IAC e Imagem IKONOS/2010 - GoogleEarth

Os recortes A, B e C, presentes na figura 6.83, buscam comparar os cenários de 1962 e de 2010 referentes aos afluentes do Córrego Brejão ou Guaiçarinha. Pode-se perceber que em A, buscou-se demonstrar as maiores preocupações atuais no controle e combate da erosão, pela adoção de práticas de manejo conservacionistas, tais como terraceamentos, plantios em curvas e construção de bacias de contenção, objetivando minimizar o impacto direto do escoamento pluvial superficial. Tal preocupação era praticamente nula no cenário anterior e em quase toda a bacia do rio Santo Anastácio.

O recorte B refere-se a um ponto de menor declividade ao longo do vale, onde se percebe, nas fotografias aéreas de 1962, acúmulo de sedimentos que resultam na formação de vale de fundo chato e na modificação do padrão desse trecho do canal para levemente anastomosado.

Na figura 6.84, é possível verificar a intensa erosão remontante do canal fluvial principal, relacionado às maiores declividades do relevo. Tal erosão se desloca a partir da desembocadura em direção às porções mais elevadas do perfil longitudinal. A escavação se processa mais eficientemente quando encontra tais sedimentos anteriormente depositados, gerando entalhe profundo do talvegue, e resultando em maior declividade das margens, bem como na formação de rápidos ao longo dos perfis longitudinais e na criação de novo terraço fluvial.

A referida erosão remontante contribuiu com elevada carga sedimentar que se depositou na desembocadura formando assim cone de dejeção (Recorte C), nitidamente coincidente com o contraste existente entre áreas de maior e menor declividade (figura 6.84).

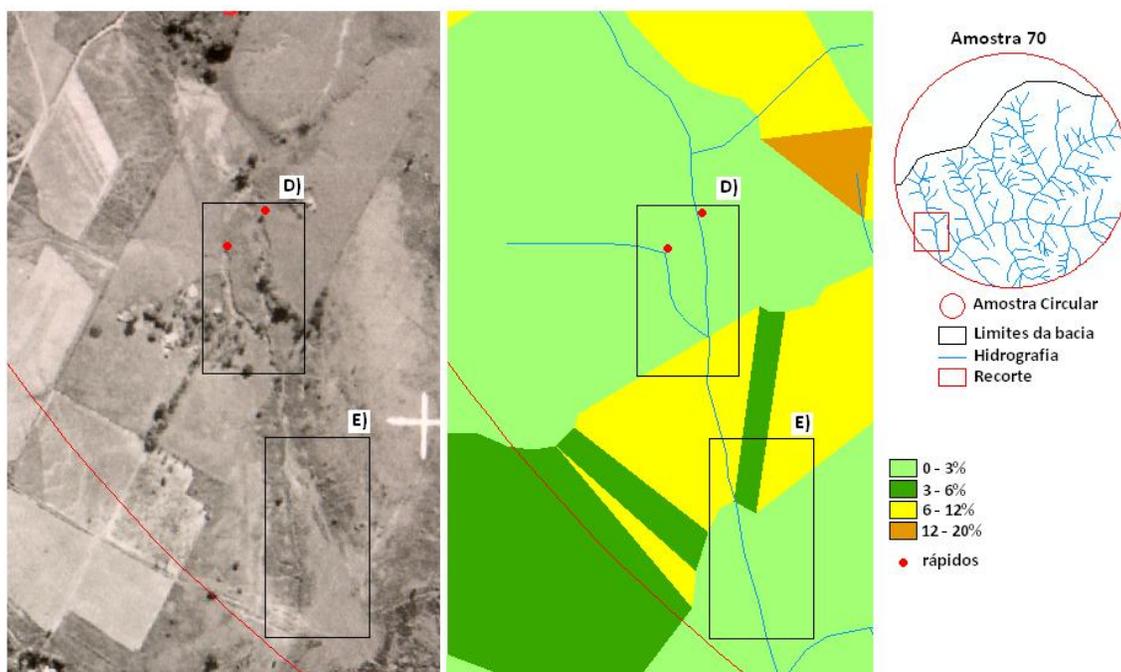


Figura 6.84: Erosão remontante, cone de dejeção e declividades - Córrego Brejão ou Guaiçarinha – Amostra 70

Fonte: Fotografia aérea nº 6774 / 1962 – IAC

Na figura 6.84 foram destacadas duas áreas às quais se deu o nome de D e E. A primeira refere-se à parcela do perfil longitudinal onde ocorre maior incisão do leito, cujas partes de jusante coincidem com declividades mais acentuadas entre 6 e 12%. O entalhamento vertical do canal, iniciado nesta área, se projeta em direção de montante afetando os depósitos sedimentares mais antigos, conforme mencionado em parágrafo anterior, os quais coincidem com baixas declividades entre 0 e 3%.

No detalhe E, pode ser observada a relação entre a deposição do cone de dejeção e a ruptura de declividade negativa no relevo. Assim, a carga sedimentar, gerada pela erosão linear acentuada na parte do perfil com declividades entre 6 e 12%, foi depositada em forma de leque aluvial, tendo em vista a redução nas declividades próximo à desembocadura, as quais se encontram entre 0 e 3%.

A análise realizada por estereoscopia também permitiu verificar o deságüe de afluentes de primeira ordem por meio de rupturas de declive, as quais demonstraram a incapacidade dos tributários em acompanhar o ritmo do entalhamento realizado de forma mais eficiente pelo canal principal.

Todas essas características mencionadas são apontadas por Davis (1899) como processos e formas típicas da fase de juventude do ciclo geográfico, iniciada logo após um rápido soerguimento da área por ação tectônica.

Levando-se em consideração os indícios identificados ao longo das atividades e das análises realizadas no âmbito da presente tese, que apontam para o sistema antrópico como responsável pela ocorrência de tais fenômenos, ressalta-se o poder de interferência deste sistema, tendo em vista ser capaz de manifestar processos na superfície terrestre em escala de tempo histórica, os quais se manifestariam naturalmente apenas na escala de tempo da natureza.

Amostra 68

As análises da amostra 68 permitiram verificar que a rede de drenagem, bastante entalhada em 2010, já se apresentava em nítido processo de entalhamento vertical no ano de 1962.

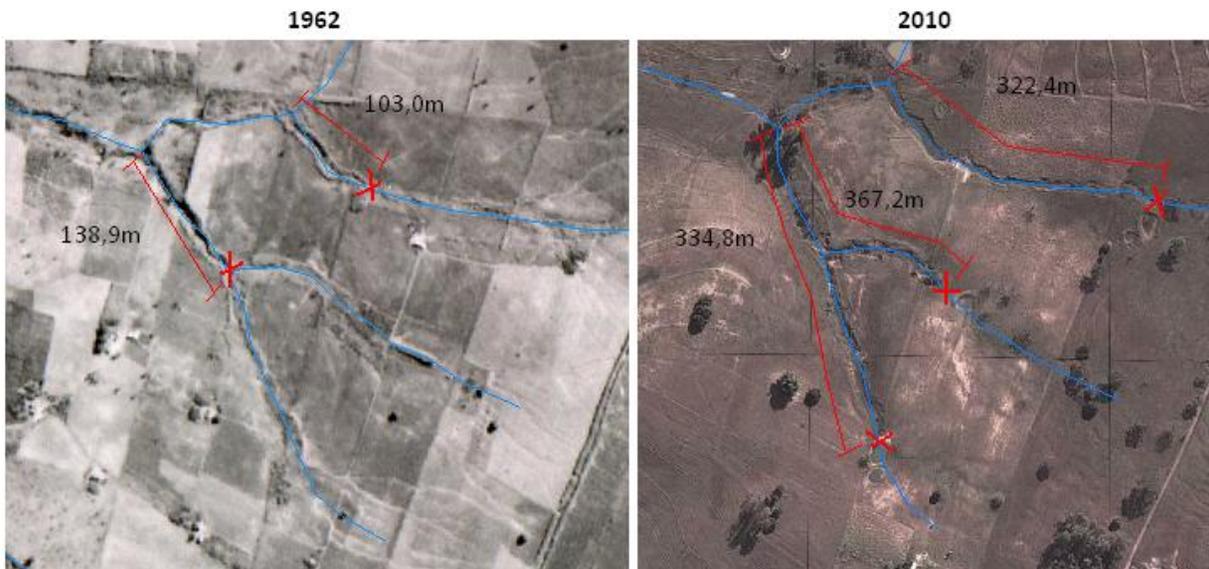


Figura 6.85: Origens e evolução do reentalhamento da rede de drenagem e da erosão remontante – Córrego Catanduva (1962/2010) – Amostra 68

Fontes: À esquerda, fotografia aérea nº 6488/1962 – IAC; À direita, imagem do satélite IKONOS/2010 – Google Earth. Coordenadas centrais: UTM 442824,719 / 7546724,415

A figura 6.85 trata-se de recorte realizado no interior da amostra 68, destacando canais de primeira ordem e afluentes do Córrego Catanduva.

Pode-se verificar que em 1962 a drenagem já se encontrava em retomada erosiva, com maior entalhamento do leito fluvial, nas partes mais a jusante dos perfis longitudinais dos canais. A imagem de 2010 permite verificar que a erosão identificada em estágios menos evoluídos em 1962 se desenvolveu em direção de montante ampliando em mais de 200% a distância entre os rápidos e a desembocadura.

Desse modo, pretende-se demonstrar que a erosão remontante observada em imagens atuais possui gênese anterior à década de 60, podendo ser provavelmente relacionada ao processo de uso e ocupação discutido anteriormente.

Além disso, a amostra, atualmente, apresenta muitos processos erosivos, com ravinas bastante profundas e em alguns casos voçorocas, que se deslocam no sentido morro abaixo e em direção aos canais fluviais. Tal cenário de desequilíbrio no geossistema, já se fazia presente desde 1962, conforme figura 6.86.

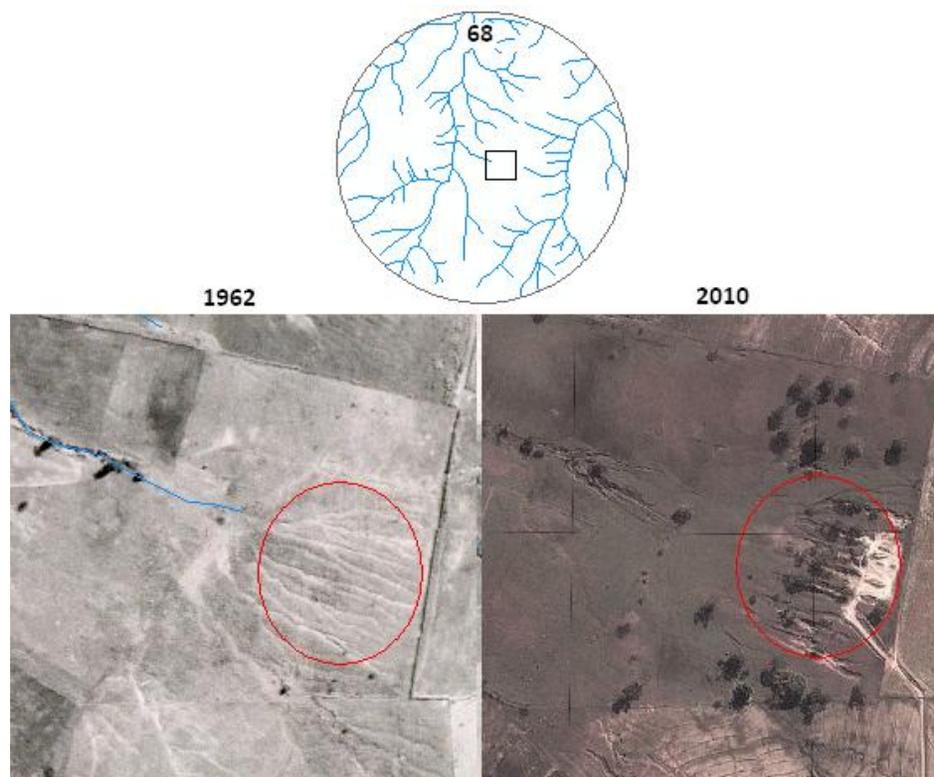


Figura 6.86: Origens e evolução do reentalhamento da rede de drenagem e da erosão remontante – Córrego Catanduva (1962/2010) – Amostra 68

Fontes: À esquerda, fotografia aérea nº 6488/1962 – IAC; À direita, imagem do satélite IKONOS/2010 – Google Earth. Coordenadas centrais: UTM 442599,873 / 7545765,342

Os círculos em vermelho, presentes na figura 6.86, destacam mesma área onde se percebe atualmente ocorrência de processos erosivos lineares, cuja gênese pode ser atribuída a período anterior ao ano de 1962, tendo em vista sua identificação nas fotografias aéreas datadas deste ano.

Como pode ser observado, trata-se de área que sofreu remoção total da cobertura vegetal natural, inclusive ao redor da cabeceira do canal destacado em cor azul na imagem da esquerda.

Essa ação somada às fragilidades naturais (Figura 6.87) contribuiu para o surgimento e desenvolvimento dos processos erosivos identificados.

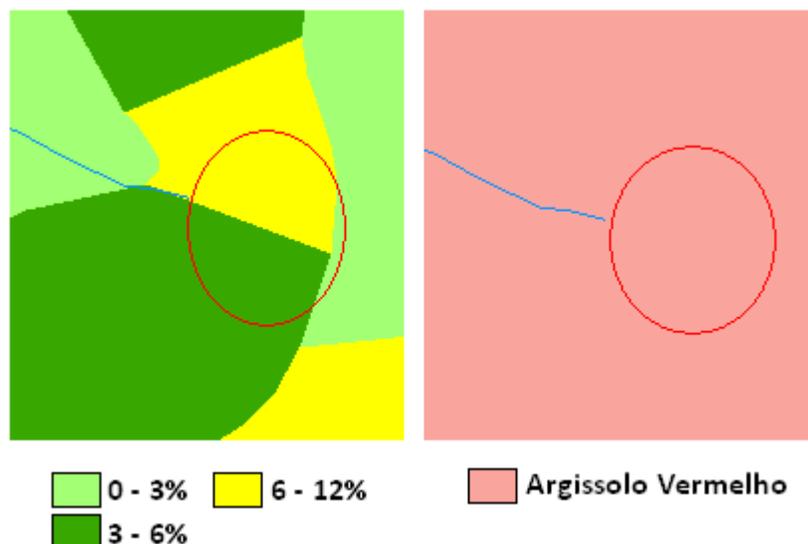


Figura 6.87: Fragilidades naturais em área de ocorrência de erosões lineares – Amostra 68

Fonte: Solos de (Carvalho et al. 1997) Adaptado por Quaresma, C. C.

A figura 6.87 apresenta as declividades e características pedológicas inerentes à área destacada pelo recorte que origina a figura 6.86

Conforme pode ser observado, a área de ocorrência de processos erosivos, destacada pelo círculo vermelho, é caracterizada por apresentar Argissolo Vermelho, mais detalhadamente descrito por Carvalho et. al. (1997) como unidade PEa4, descrita em parágrafos anteriores.

O caráter abrupto, que denota aumento considerável de argila no horizonte B, resultando em gradiente textural em pequeno intervalo vertical e causando permeabilidade diferencial nos horizontes A e B, associado a relevos ondulados e com declividades de 3 a 12% favorece o escoamento superficial das águas pluviais, provocando focos de erosão.

A remoção da cobertura vegetal natural pelo sistema antrópico, expondo esses solos, acelera tais processos, resultando na degradação destacada na amostra 68.

Diante do exposto, a gênese dos processos erosivos intensos identificados em campo e nas imagens de satélite atuais não pode ser atribuída à construção da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, mas sim ao uso e ocupação desordenados que, em menos de quarenta anos

transcorridos a partir de seu início, substituíram quase completamente a vegetação natural por culturas anuais, as quais não adotavam práticas de controle e prevenção de processos erosivos.

Tais práticas, associadas às fragilidades de elementos naturais, romperam os limiares de resiliência do geossistema da bacia do Santo Anastácio, o qual busca novo estado de equilíbrio dinâmico, condizente com as novas características de entrada de matéria e energia. Essa busca se reflete pela reativação e rearranjo da rede de drenagem, bem como pela ocorrência de processos erosivos laminares e lineares nas faces das vertentes.

7 Considerações finais

Na bacia do Santo Anastácio, elementos geossistêmicos possuem características que permitem caracterizá-los como frágeis.

Grande parte dos solos, especialmente os Argissolos, apresenta textura arenosa ou franco-arenosa, a qual, embora resulte em espaços porosos relativamente grandes, permitindo maior infiltração da água proveniente de um evento de chuva de baixa intensidade, é altamente suscetível à erosão por ação do arraste provocado por pequenas quantidades de enxurrada, haja vista seus baixos teores de partículas coloidais. Somam-se a isto, a alta friabilidade e a baixa capacidade de agrupamento de partículas no horizonte A, além da transição abrupta entre os horizontes A e B, caracterizando elevado gradiente textural, cuja redução da permeabilidade do horizonte subsuperficial implica no aumento das enxurradas e na ampliação dos efeitos dos processos erosivos.

A má distribuição das precipitações pluviométricas, verificada a partir dos dados analisados, trata-se de importante atributo para o condicionamento de processos erosivos, uma vez que a ocorrência de eventos de chuva concentrada em poucos dias, com totais diários elevados e em muitos casos após períodos longos de estiagem, quando a deficiência hídrica fragiliza a cobertura do solo, tendem a provocar maior escoamento superficial, resultando em aumento do número e aprofundamento de incisões lineares, especialmente em setores da bacia, caracterizados pelas fragilidades resultantes da associação entre solos e declividades.

Apesar de tais características frágeis, a exuberante cobertura vegetal natural, típica da região do Pontal do Paranapanema, caracterizada como floresta tropical, cuja fisionomia se aproximava da Hiléia, tratava-se de importante elemento no estabelecimento do equilíbrio dinâmico do sistema físico ambiental. Tal cobertura protegia o solo dos processos erosivos por ação direta, interceptando ou dispersando a água proveniente das chuvas e diminuindo a velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície, ou por ação indireta, resultando em maior infiltração e retenção da água no solo, pela formação de canalículos provenientes da decomposição de raízes, ou melhorando a formação de agregados pela adição de matéria orgânica.

Desse modo, apesar da existência de elementos e conjuntos de elementos considerados frágeis, suas inter-relações e permutas de matéria e energia no interior do sistema, realizadas ao

longo do tempo da natureza, podem ter permitido ajustamentos das formas e dos processos, resultando no estabelecimento de estado de equilíbrio dinâmico, manifestado na organização espacial físico ambiental pré-existente.

Tal organização possivelmente permitia o desenvolvimento de processos erosivos em setores específicos no interior da bacia em estudo e em locais favoráveis a tais ocorrências, diferentemente do que se percebe atualmente, tendo em vista que os processos erosivos se distribuem de maneira generalizada por quase toda a bacia em foco.

As atividades de fotointerpretação em fotografias aéreas de 1962 permitiram identificar, em maior ou em menor grau, mas de maneira generalizada, em grande parte das amostras analisadas, ocorrência de grande quantidade de erosões lineares dos tipos ravinhas e voçorocas, cujos detritos produzidos acumularam-se ao longo dos cursos principais e de seus afluentes; intensa erosão dos leitos fluviais, originando terraços fluviais recentes; entalhamento fluvial desigual ao longo de perfis longitudinais, com conseqüente surgimento de rápidos ao longo dos mesmos; indícios de erosão remontante, refletindo a busca dos rios em estabelecer perfis de equilíbrio; modificações dos vales fluviais, com adoção de aspecto em V encaixado; afluentes desembocando por meio de rápidos pouco pronunciados, dentre outros.

No cenário de 2010, as interpretações com base em imagens do satélite ALOS, permitiram verificar a continuidade dos processos erosivos, porém, visivelmente em menor número do que no cenário anterior.

Muitas das erosões verificadas em 2010 já existiam em 1962, indicando gênese anterior a este. Entretanto, ressalta-se que no ano mais recente todos os canais fluviais apresentaram maior profundidade e alargamento. Esse maior entalhamento observado deslocou as rupturas de declives, existentes no cenário anterior, em direção de montante, resultando em maior regularidade dos perfis longitudinais. Porém, como conseqüência da intensa erosão presente e pretérita, grande parte dos canais fluviais, sobretudo os de maiores ordens, encontra-se assoreada.

Com relação aos índices morfométricos utilizados, comparando-se os referidos cenários, foram verificados aumentos de número de canais de primeira ordem em grande parte das amostras circulares analisadas, com maior destaque para amostras pertencentes ao Médio e Baixo Curso. Além disso, apesar de questionada sua relevância, tendo em vista pontos levantados ao longo das discussões, verificou-se aumento no comprimento de canais na maior parte das amostras analisadas.

Diferentemente da ordem expressa no estado e equilíbrio dinâmico natural, cujas fragilidades dos elementos geossistêmicos não se efetivam, tendo em vista o ajustamento interno estabelecido, o quadro, pós 1962, caracteriza-se pela desordem e desequilíbrio, no qual as fragilidades dos elementos são expostas, desdobrando-se em mudanças inesperadas e aceleradas.

O rompimento no estado de equilíbrio provocou mudanças tão intensas, a ponto dos processos geomorfológicos relacionados à reativação da rede de drenagem e observados na bacia em estudo corresponderem àqueles resultantes de movimentos rápidos de origem tectônica ou eustática.

Entretanto, apesar de terem sido observados indícios de atividades neotectônicas recentes influenciando processos geomorfológicos, inclusive a disposição de canais pertencentes à rede de drenagem atual, os menores incrementos médios de canais de primeira ordem (D_h) no Alto curso do Santo Anastácio, em comparação aos demais cursos, permitiram questionar a influência de atividade tectônica na gênese e aceleração da erosão remontante verificada atualmente na bacia do Santo Anastácio.

As análises realizadas, somadas às características do uso e ocupação das terras referentes ao ano de 1962, permitiram comprovar parcialmente a hipótese formulada para o presente trabalho, tendo em vista que os fenômenos identificados constituem-se em exemplos de processos e formas antropogeomorfológicos, uma vez que foram desencadeados pelo uso e ocupação das terras, que desrespeitaram e desestabilizaram as fragilidades e dinâmicas dos elementos geossistêmicos.

Assim, o mapa de uso e ocupação de 1962, no interior das amostras analisadas, permitiu corroborar observações de autores como Fonzar (1981) e Stein (1999), haja vista a verificação da quase total remoção da cobertura vegetal natural da bacia do rio Santo Anastácio no ano de 1962, correspondendo a período de apenas 40 anos após o início da ocupação efetiva da região.

Apesar de não terem sido verificadas mudanças significativas nos padrões de precipitação pluviométrica ao longo do período analisado, para o sistema em foco, a remoção de cerca de 2.000 km² de florestas densas em tão curto espaço de tempo provocou o mesmo efeito de uma modificação severa no clima, porém de forma acelerada e alheia ao tempo da natureza. Desse modo, embora os padrões de precipitação, em si, tenham permanecido semelhantes, para os elementos constituintes da bacia em estudo, ocorreu aumento substancial nas entradas de matéria

e energia, que rompeu seus limiares de resiliência, forçando-os a se reorganizarem em busca de novo estado de equilíbrio, condizente com a nova realidade.

Os maiores volumes de escoamento superficial concentrado modificaram a morfogênese das vertentes, resultando na ocorrência de série de processos erosivos lineares, os quais evoluíram de pequenos sulcos para ravinas profundas e, em alguns casos, para voçorocas, sobretudo em setores caracterizados por solos frágeis, associados a declividades acentuadas ou a fatores estruturais específicos

A enorme quantidade de água que passa a escoar em direção aos canais fluviais forçou-os a estabelecer nova fase de entalhamento dos talvegues, a qual se processou de maneira mais eficiente nas proximidades das desembocaduras, gerando inflexões nos perfis longitudinais dos canais de menores ordens, ou rupturas de declives, as quais, no evoluir do processo, por erosão remontante, se deslocaram na direção das cabeceiras, refletindo a busca da rede de drenagem pelo restabelecimento de seus perfis de equilíbrio.

O maior entalhamento dos canais gerou mudanças nos vales fluviais, os quais adquiriram aspecto de vales em V encaixados e as maiores declividades das margens favoreceram o desenvolvimento de ravinas perpendiculares aos canais e o alargamento dos perfis transversais.

As modificações no fornecimento de matéria para os rios não se limitaram aos volumes de água, mas também ao material inconsolidado erodido das vertentes, cuja quantidade ultrapassou a capacidade e competência de grande parte dos canais fluviais, acumulando-se ao longo das calhas e assoreando-as de maneira generalizada. Além disso, leques aluviais formaram-se nas desembocaduras de cursos d'água.

Todo este cenário de desestabilidade foi agravado por décadas de uso sem qualquer adoção de práticas de manejo coerentes, demonstrando a total desconsideração por parte do Sistema Antrópico em relação às fragilidades dos elementos da Natureza.

A redução na quantidade de incisões lineares no ano de 2010, em relação ao de 1962, visualizada, mas não contabilizada, refletem melhorias significativas nas formas com que o uso e ocupação têm se processado nos últimos anos. Assim, práticas de manejo conservacionistas puderam ser facilmente identificadas em quase todas as amostras em estudo. Além disso, verificou-se também recomposição significativa de parte das matas ciliares, as quais eram praticamente inexistentes em 1962.

No entanto, novas formas de intervenção humana necessitam estudos mais detalhados, a exemplo da modificação do nível de base local/regional causada pelo represamento da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera).

Diferentemente de estudos realizados em outras bacias afluentes da margem esquerda do rio Paraná e localizadas no estado de São Paulo, citados ao longo deste trabalho, não foram verificadas relações entre tal alteração, a gênese e a aceleração dos processos geomorfológicos identificados, exceção para amostra específica, próxima à desembocadura do Santo Anastácio e que sofreu influência direta do alagamento. Na gênese, porque tais processos foram verificados já de forma acelerada na década de 60. Na aceleração, pois, tendo em vista o término da construção da referida usina ser relativamente recente (ano de 2001), os dados e materiais analisados não permitiram verificar, na escala de análise, aceleração de processos já existentes.

Deste modo, ressalta-se a necessidade de estudos futuros e em escala de maior detalhamento, para que esta parte da hipótese, elaborada para a explicação dos eventos tratados no presente trabalho, seja comprovada ou definitivamente refutada.

8 Referências bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, v. 41, p. 169-263, 1964.

ALMEIDA, M. A. et al. Geologia do oeste paulista e áreas fronteiriças dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980, Camboriú. **Anais...** Camboriú: SBG. 1980.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos ; coordenação editorial de Antonio Christofolletti. 13. ed. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil, 2010. 332 p.

AYRES, Q.C. **Soil erosion and its control.** New York: McGraw-Hill, 1936. 365p.

BAULIG, H. **Essais de Géomorphologie.** Publications de la Faculté de l'Université de Strasbourg, n. 114, 1950. 176p.

BENNETT, H. H. **Soil conservation.** New York: McGraw-Hill, 1939. 993p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 4ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.

BIGARELLA, J. J.; ANDRADE, G. O. Contribution to the study of the Brazilian Quaternary. In: WRIGHT JR., H. E.; FREY, D. G. (editors). **International studies on the quaternary.** New York: Geological Society of America, 1965.

BRIGUENTI, E. C. **O uso de geoindicadores na avaliação da qualidade ambiental da bacia do ribeirão Anhumas, Campinas/SP.** Campinas, 2005, 179f. Dissertação (Mestrado) – IG/UNICAMP.

CARVALHO, W. A. et al. Levantamento semidetalhado dos solos da Bacia do Rio Santo Anastácio –SP. **Bol. Ci. FCT/UNESP**, Presidente Prudente. n.2, v.1 e 2, 490p., 1997.

CHORLEY, R.J; KENNEDY, B.A. - **Physical geography: a systems approach**. London: Prentice Hall, 1971.370p.

CRISTOFOLETTI, A. Morfometria das bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica.**, Campinas, v. 9, n. 18, p. 35-64, 1969.

CRISTOFOLETTI, A. **Capturas Fluviais. In: Enciclopédia Mirador Internacional, São Paulo, v. 5, p. 2049-2051, 1975.**

CRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo: Hucitec/Edusp, 1979.106p.

CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.149p.

CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.313p.

CRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1999. 236p.

COOPERATIVA DE SERVIÇOS, PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS. **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos da UGRHI – 22**. Pontal do Paranapanema: Relatório Zero. São Paulo: CPTI, 1999. CD-ROM.

CRUTZEN, P. J. Geology of Mandkind. **Nature**. V. 415, n. 3, 2002.

CULLING, W. E. H. Multicyclic stream profiles and the equilibrium theory of grade. **Journal of Geology**, v.65, n.2, p.259-274. 1957.

CUNHA, C. M. L. A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental. Rio Claro, 2001. 128f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

DAVIS, W. M. The geographical cycle. **The Geographical Journal**, v.14, n.4, p.481-504. 1899.

DYLIK, J. Notion Du versant em Géomorphologie, **Bull. De l'Acad. Polonaise des Sciences**, v.16, n.2, p.125-132. 1968.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306p.

ESPÍNDOLA, C. R. **Relatório técnico: 1999-1999**. Campinas: FEAGRI/Unicamp, 1999.

ESPÍNDOLA, C. R.; GARCIA, G. J. Interpretação fotográfica de redes de drenagem em diferentes categorias e solos. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v.18, n.35, p.71-94, jun. 1978.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). **Anais Acad. Brasileira. Ci.**, v.68, n.2, p.195-205.1996

FERREIRA, A. B. de H. **Minidicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira S.A., 1988.

FONZAR, B. C. **O processo de ocupação regional, o modelo urbano e o conforto térmico na Alta Sorocabana: um teste aplicado a Presidente Prudente**. São Paulo, 1981. 156f. Dissertação (Mestrado) - FFCL/USP.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicadas a solos da região de Piracicaba**. Piracicaba, 1968. 151f. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo.

GARCIA, G. J. **Sensoriamento remoto: princípios e interpretação de imagens**. São Paulo: Nobel, 1982. 357p.

GILBERT, G. K. **Report on the geology of the Henry Mountains**. U. S. Geological Survey Professional Paper, Washington, 1877.

GILBERT, G. K. **The geology of the Henry Mountains**. U. S. Department of the Interior, Washington, EUA, 1880.

GOUDIE, A. **Environmental Change**. New York: Clarendon Press, 1977. 244p.

GUEDES, I. C. et al. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Anastácio (SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas. **Revista UnG – Geociências**, v. 5, n. 1, p.75-102. 2006.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Gemorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 1996. 372p.

GUERRA, A. T; GUERRA, A. J.T. **Novo dicionário geológico-gemorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 4 ed.: 2005. 648p.

HACK, J. T. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. In: **U.S. Geological Survey Prof. Paper** n. 294-B, Washington, 1957.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydorphysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc. Amer. Bulletin**, v.56, n. 4, p.709-717, 1968.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT.
Investigação geológico-estrutural de parte das bacias dos rios Paraná e Paranapanema, estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul (IPT. Relatório 12.385). São Paulo, 1979.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT.
Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo, Bacia do Peixe-Paranapanema. Potencial natural e antrópico à erosão laminar (IPT. Relatório 24.739). São Paulo, 1987.

IWASA, O. Y. et al. **Situação dos recursos hídricos da UGRHI do Pontal do Paranapanema.** São Paulo, CPTI, 1999. CD-ROM.

LEITE, J. F. **A Alta Sorocabana e o espaço polarizado de Presidente Prudente.** Presidente Prudente, 1972. 249f. Tese (Doutorado). Presidente Prudente - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo.

LEITE, J. F. **A ocupação do Pontal do Paranapanema.** São Paulo: Hucitec, 1998. 202p.

LEOPOLD, L.B. Downstream changes of velocity in Rivers. **American Journal of Science.** v. 251, n. 8, p.606-624. 1953.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178p.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário para o meio físico e classificação das terras no sistema de capacidade de uso.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LUEDER, D. R. **Aerial photographic interpretation: principles and applications.** New York: McGraw-Hill, 1959. 462p.

MACKIN, J. H. Concept of the graded river. **Bull. Geol. Soc. America,** v.59, p.463-512, 1948.

MALAVAZZI, A. A. Impacto da formação do lago da Usina Hidroelétrica de Porto Primavera sobre a evolução de processos erosivos nos canais de primeira ordem da rede de drenagem do Ribeirão das Anhumas, afluente do Rio Paraná, SP. Rio Claro, 2012. 190f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UNESP.

MARQUES, J. Q. A. Conservação dos solos no Brasil. In: CONGRESSO PAN-AMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, São Paulo, **Anais...** São Paulo, Secretaria da Agricultura, 1966.

MARSH, G. P. **Man and Nature, or, Physical Geography:** as Modified by Human Action. New York: Charles Scribner, 1864. 563p.

MERRIT, E. The identification of four stages during micro-rill development. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.9, n.5, p.493-496, Set./Out., 1984.

MILLER, J. G. Living Systems: Basic Concepts. **Behavioral Science**, v.10, p.196-237, 1965.

MONBEIG, P. **Pioneiros e fazendeiros de São Paulo.** Tradução: Ary Fança e Raul de Andrade Silva. São Paulo/SP: Hucitec: Polis, 1998. 392p.

MONTEIRO, C. A. de F. **Geossistemas:** a história de uma procura, São Paulo: Contexto, 2000. 127p.

NOGUEIRA, F. de P. **Utilização de fotografias aéreas em três escalas no estudo de redes de drenagem em diferentes unidades de solo.** Piracicaba, 1979. 109f. Dissertação (Mestrado) – ESALQ

NIR, D. **Man, a geomorphological agent.** Jerusalem: David Ashboren, 1983.165p.

NUNES, B. A. et al. **Manual Técnico de Geomorfologia.** Rio de Janeiro: IBGE, 1995. 112p.

PELOGGIA, A. U. G. A ação do Homem enquanto ponto fundamental da geologia do Tecnógeno: proposição teórica básica e discussão acerca do caso do município de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 27, n.3, p.257-268, 1997.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. 2ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1978. 180p.

PEREZ FILHO, A. Sistemas Naturais e Geografia. In: José Bozachiello da Silva; Luiz Cruz Lima; Denise Elias. (org.). **Panorama da Geografia Brasileira**. São Paulo: Annablume, 2006, v. 01, p. 333-336.

PEREZ FILHO, A.; SOARES, P. R. B.; ESPÍNDOLA, C. R. Processos erosivos e reativação de canais de drenagem no planalto ocidental paulista. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 9, 2001, Recife. **Anais...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2001.

PHILLIPS, J. D. Humans as geological agents and the question of scale. **American Journal of Science**. v. 297, p.98 – 115, 1997.

PLAYFAIR, J. **Illustrations of the Huttonian theory of the Earth**. Edinburgh: William Creech, 1802. 528p.

POWELL, J. W. **Exploration of the Colorado river of the West and its tributaries**. Smithsonian Institution, Washington, 1875.

PICHLER, E. Boçorocas. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 2, n.1, p.3-16, 1953.

PRESS, F. et al. **Para entender a Terra**. Tradução Rualdo Menegat et al. 4ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656p.

QUARESMA, C.C. **Organizações espaciais físico/naturais e fragilidades de terras sob Cerrado**: abordagem sistêmica aplicada à escala local. Campinas, 2008. 138f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UNICAMP.

QUARESMA, C. C.; PEREZ FILHO, A. Classificação de Terras como Subsídio ao Planejamento Ambiental: Quadrícula de Descalvado. In: X Encontro de Geógrafos da América Latina., São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2005. p. 11840 – 11853 CD-ROM.

RAY, R.G. **Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológicos**. Tradução: Jenuino Felicíssimo Jr. (U.S. Geological Survey Professional paper 373, 1960). São Paulo: Instituto Geográfico e Geológico. 1963.

RAY, R. G.; FISCHER, W. A. **Quantitative photography**: a geologic research tool. Photogrammetric Engineering, Washington, v. 26. p.143-150. 1960.

RICCI, M.; PETRI, S. **Princípios de aerofotogrametria e interpretação geologica**. São Paulo: Nacional, 1965. 226p

RICCOMINI, C. et. al. Processos fluviais e lacustres e seus registros. In: TEIXEIRA, W. et al. (Org) Decifrando a Terra. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2 ed, p.306-333, 2009.

RICHTA, Radovan. **Economia Socialista e Revolução Tecnológica**. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1972 [*La civilisation au carrefour*. Paris, Anthropos, 1968.

RODRIGUES, T. R. I. **Influência de reservatórios hidrelétricos na gênese e evolução da rede de drenagem no baixo curso do rio São José dos Dourados (SP)**. Campinas, 2006. 218f. Tese (Doutorado) – FEAGRI/UNICAMP.

ROCHA, J. S. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 2ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1991. 181p.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia**: ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 4^a.ed., 1997.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

SANTOS, M. **A natureza do Espaço**: técnica e tempo, razão e emoção. São Paulo, 2002. 384p.

SIMON, A. L. H. Influência do reservatório de Barra Bonita sobre a Morfohidrografia da baixa bacia do rio Piracicaba – SP: Contribuições à Geomorfologia Antrópica. Rio Claro, 2011. 127f. Tese (Doutorado) – UNESP.

SOTCHAVA, V. B. **O Estudo do Geossistema**. Traduzido por Carlos Augusto Figueiredo Monteiro e Dora de Amarante Romariz, São Paulo: IG – USP, 1977.

STEIN, D. P. Avaliação da degradação do meio físico Bacia do rio Santo Anastácio Oeste Paulista. Rio Claro, 1999. 197f. Tese (Doutorado em Geociências) – UNESP.

STEIN, D. P. et al. Geologia de parte dos vales dos rios Paraná e Paranapanema. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, 1979, Rio Claro. **Anais...** Rio Claro,: SBG/Núcleo de São Paulo. V. 2. p. 291-306.

SHREVE, R. L. Statistical law of stream numbers. **Journal of Geology** v.74, n.1, p. 17-37, 1966..

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of Geomorphology, **Geol. Soc. America Bulletin**, v. 63, p.923-938, 1952.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed Geomorphology, **Amer. Geol. Soc. America Bulletin**, v.69, p. 279-300. 1958.

STRAHLER, A. N. **Physical Geography**. 2ed. New York: John Wiley & Sons. 1960. 534p.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. H. **Environmental Geoscience: Interactions between Natural Systems and Man**, Santa Barbara. 1973.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. H. **Physical Geography: Science and systems of the Human Environment**, 3ed. New Jersey: John Wiley & Sons. 2005.

SUAREZ DE CASTRO, F. **Conservación de suelos**. Madrid, Salvat, 1956. 298p.

TER-STEPANIAN, G. Beginning of the Technogene. **Bulletin I.A.E.G.**, v. 38, p.133-142, 1988.

TRICART, J. La géomorphologie et les homes, **Rev. Geom. Dynamique**. v. 4, 1956.

VIEIRA, N. M. **Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca – SP**. Franca, 1978. 226f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de História, Direito e Serviço Social, Universidade Estadual Paulista.

WOEIKOF, A. I. De l'influence de l'homme sur la terre, **Annls. Géogr.** V.10, p. 97-114, 1901.

ZALASIEWICZ, J. et al. Are we now living in the Anthropocene? **GSA Today**. v.18, n.2, p.4-8, 2008.