UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

Evandro Daniel

ANÁLISE DO PAPEL DA MORFOLOGIA E DO USO DO
SOLO NA GÊNESE E NA DISTRIBUIÇÃO DAS FEIÇÕES
EROSIVAS NA BACIA DO Córrego Espreado,
SÃO PEDRO (SP)

Versão Corrigida
São Paulo
2012

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

Evandro Daniel

ANÁLISE DO PAPEL DA MORFOLOGIA E DO USO DO
SOLO NA GÊNESE E NA DISTRIBUIÇÃO DAS FEIÇÕES
EROSIVAS NA BACIA DO CÓRREGO ESPRAIADO,
SÃO PEDRO (SP)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre.

De Acordo _____

Orientadora: Prof^a Dr^a Bianca Carvalho Vieira
Área de Concentração: Geografia Física
Linha de Pesquisa: Estudos interdisciplinares em pedologia e geomorfologia
Agência Financiadora: CNPq

Versão Corrigida
São Paulo
2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

Daniel, Evandro

Análise do papel da morfologia e do uso do solo na gênese e na distribuição das feições erosivas na bacia do córrego Espraiado, São Pedro (SP) / Evandro Daniel; orientadora: Bianca Carvalho Vieira - São Paulo, 2012.

183 f.; il.

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. Geomorfologia. 2. Feições Erosivas. 3. Morfometria. 4. Uso do Solo. 5. Análise Integrada e Quantitativa

I. Vieira, Bianca Carvalho. II. Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. III. Título de Mestre.

Evandro Daniel	Análise do papel da morfologia e do uso do solo na gênese e na distribuição das feições erosivas na bacia do córrego Espreado, São Pedro (SP)		MESTRADO FFLCH/USP 2012
-------------------	---	--	-----------------------------------

Evandro Daniel

**Análise do papel da morfologia e do uso do solo na gênese e
na distribuição das feições erosivas na bacia do córrego
Espraiado, São Pedro (SP)**

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Geografia Física
da Faculdade de Filosofia, Letras e
Ciências Humanas da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Mestre.

Banca Examinadora

Prof^a. Dr^a. Bianca Carvalho Vieira (Orientadora)
Departamento de Geografia - Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos
Depto. de Geografia – Universidade Federal do Paraná

Prof. Dr. Adilson Avansi de Abreu
Departamento de Geografia – Universidade de São Paulo

São Paulo
2012

Aos meus pais Tino e Gilda, com todo o meu respeito, carinho e admiração, que sempre me apoiaram em todos os momentos da minha vida, e também aos meus irmãos Henrique e Laura, obrigado por tudo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado paz e principalmente saúde por estar aqui hoje presente.

Agradeço especialmente a Professora Bianca pela oportunidade, pelos três anos de convivência, paciência, atenção e pelos conselhos. Obrigado Bianca por tudo, que desde 2003 quando fui seu aluno na graduação, aprendi a respeitá-la e admirá-la. Desejo tudo de bom a sua vida e que Deus sempre ilumine o seu caminho.

Aos meus pais “Tino e Gilda” pelo amparo, pelo carinho, atenção, por entender os momentos de solidão, de dificuldade e da minha escolha de tantas e tantas horas na frente do computador. Também agradeço ao meu pai por ser o meu grande companheiro nos trabalhos de campo quando realizamos as coletas dos pontos de GPS, e também por ter me ajudado quando caí do trator e que acabei me machucando na propriedade do Fernando Serena. A minha mãe dispensa comentário, a preocupação e atenção que tem pelos filhos é infinita.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da FFLCH-USP, pela oportunidade de evoluir profissionalmente e pessoalmente.

A minha família, meus irmãos Henrique (“Zito”) e Laura (“Gatinha”) que são mais que irmãos, amigos, parceiros, companheiros, obrigado por tudo. Agradeço a toda a minha família (tios, tias, primos e primas). Mas agradeço especialmente aos meus padrinhos e tios Antonio e Rose e Dona Marlene que me acolheram a sua casa durante todo esse tempo e que me trataram como se fosse mais um filho. Obrigado por tudo! Agradeço também aos seus filhos e meus primos Renan, Rodrigo e Bianca, pela paciência, por me ajudar e ensinar a viver em São Paulo, os “atalhos” desta cidade! Obrigado por sempre serem atenciosos comigo.

Agradeço também os meus primos Raul e Marcelo, pelas caronas, por também me acolherem quando não queria incomodar o Tio e a Tia, e que sempre foram atenciosos, hospitaleiros e que além de primos somos grandes amigos desde a infância.

Aos colegas e amigos do NUPEG: Túlius, Fabrizio, Rodrigo, Carol, Fabiana, Roger, Henrique, William, Rogério, Mariana, Vivian e que alguns destes acompanharam esta pesquisa desde o início.

Agradeço ao Fabrízio que no começo do meu mestrado me ajudou e muito, como também ao Túlius que também sempre me ajudou, principalmente nesta reta final com os resultados. Obrigado! Sucesso para os dois!

Agradeço também ao Willian, amigo desde a época de Ourinhos e que sempre tivemos uma grande amizade. Obrigado por tudo!

Agradeço a Carol, sempre atenciosa, simpática, tranqüila, que conhecemos em Ourinhos e sempre tivemos uma grande amizade. Obrigado por tudo Carol!

Ao Rodrigo, pela paciência e que me ajudou a trabalhar com os índices, e também sempre dando conselhos, sugestões. Obrigado Rodrigo por tudo! Obrigado mesmo! O seu conhecimento dispensa comentário.

Ao Rogério, que durante um ano e meio esteve sempre me ajudando, nos trabalhos de campo, principalmente nos mapeamentos, e nas diversas reuniões que fizemos visando corrigir as distorções das fotografias aéreas! Pessoa esforçada, responsável, obrigado por tudo e que hoje temos uma grande amizade!

Agradeço ao Rogério Marinho, que me ajudou na ortorretificação das fotografias aéreas e também na leitura a respeito deste procedimento.

Agradeço a Breylla que me orientou na construção do layout das cartas e também por me passar a referência do IBGE sobre atribuição das cores as classes de uso do solo.

Agradeço ao Marcos (Doutorando e Técnico do Laboratório de Pedologia), uma pessoa que dispensa comentário e que me ajudou e muito no processo de ortorretificação, durante dias, semanas e meses! Marcos obrigado por tudo mesmo, desculpe de alguma coisa, sei que alguns momentos atrapalhei as suas tarefas! Marcos é um exemplo de profissional ético, atencioso e educado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de mestrado concedida, que foi de grande importância para o desenvolvimento da pesquisa!

Aos funcionários da Secretaria de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da FFLCH, que sempre me ajudaram quando precisei.

A Marisa doutora e técnica do Laboratório de Geomorfologia.

Ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), pelas fotografias aéreas e também a Base que me ajudou a selecionar as fotografias aéreas e que me deram um desconto na aquisição.

A Secretaria de Obras da Prefeitura Municipal de São Pedro, por ceder as cartas topográficas, e também os mapas dos loteamentos, principalmente ao funcionário Juliano.

Ao Sr. Antonio, Sebastião, Fernando, Kal, Kaká e André proprietários das fazendas que me deram autorização para a realização dos trabalhos de campo. Ao Prof. Leonardo e Prof^a. Lylian por todas as contribuições na banca de qualificação, as quais foram determinantes para o desenvolvimento do meu projeto.

Também agradeço ao Professor Adilson pelas sugestões e contribuições na banca de defesa e que estão incluídas em partes nesta versão corrigida.

Aos meus amigos de São Pedro: Gustavo, Panda, Renato, Cleito, e principalmente aos meus grandes amigos Danilo, Valtão, Agnaldo, que me ajudaram direta ou indiretamente no desenvolvimento da minha pesquisa.

Agradeço ao Bixo (Éder) também Geógrafo, que conheci em Rio Claro, meu amigão, gente boa e que me ajudou e muito no desenvolvimento da pesquisa e sugestões sobre a elaboração dos mapas, no manuseio do ArcGis. Obrigado Bixo por tudo!!!

Agradeço especialmente ao Barretos (Magno), amigo, parceiro, um “irmão” que conheci em 2003 em Ourinhos, mas ficamos amigos de verdade em 2006 em Rio Claro, e que sempre me incentivou a fazer o mestrado. Tenho uma grande gratidão por esse cara! Tudo de bom nessa vida!

A Karen Batista, que surgiu na minha vida em novembro de 2011, e que a cada dia aumenta a minha admiração e o meu respeito por essa pessoa. Obrigado por me ensinar a valorizar novos hábitos, e que vem acompanhando e compreendendo a minha rotina, ao meu momento de solidão, que me ajudou na leitura do meu projeto, obrigado Karen! Obrigado pela paciência e por respeitar os finais de semana que queria ficar sozinho para estudar e principalmente escrever os resultados.

RESUMO

Os fatores condicionantes antrópicos e morfométricos são determinantes na formação do escoamento pluvial, do manejo do solo e na concentração de fluxos e detritos. No município de São Pedro (SP) é notória a ocorrência desses processos, sendo classificado, segundo o mapa de erosão do Estado de São Paulo como de alta suscetibilidade. Desta forma, a bacia do córrego Espreado, localizada neste município, foi selecionada com objetivo de analisar a gênese e a distribuição das feições erosivas a partir da influência dos parâmetros morfométricos (curvatura, declividade e hipsometria) e antrópicos numa escala evolutiva (1962, 1972, 2000 e 2006) e também numa análise integrada e quantitativa (feições erosivas, uso do solo e parâmetros morfométricos), por meio do cálculo dos seguintes índices: Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). O primeiro índice é a razão entre o número de células em cada classe afetadas pela erosão e o número total de células na bacia, enquanto o segundo índice é a razão entre o número de células em cada classe afetadas pela erosão e o número total de células na mesma classe. Nos mapas das feições erosivas, observou-se que a partir do cenário de 1962 até 2006 a área total das feições erosivas registrou uma redução, no qual a cabeceira das drenagens revelou o setor com maior ocorrência e concentração de feições. O mapa do uso do solo revelou que o aumento do percentual de mata, da área urbana consolidada e da silvicultura, e a redução do solo exposto e da pastagem tiveram um papel determinante para a diminuição das feições erosivas, embora a classe de área urbana consolidada tenha influenciado diretamente para o surgimento de novas feições e a evolução de outras. A análise integrada mostrou que a curvatura côncava, a declividade entre 20 e 40% e as classes de solo exposto e de pastagens foram as mais suscetíveis e que estão presente principalmente nas áreas das cabeceiras de drenagens, setor que está associado a solos pouco espesso. Os índices também indicaram que mesmo as áreas com a presença de curvatura convexa ou retilínea e declividades entre 0 e 15% com baixos índices de PE mas com alterações antrópicas significativas, obtiveram aumento do potencial de ocorrência de feições erosivas, assim como, as classes de uso com baixo índice de PE quando associados aos parâmetros morfométricos de alto índice, propiciaram aumento da formação de feições erosivas.

ABSTRACT

The anthropic and morphometric factors are significant in the formation of runoff, soil management and concentration flows and debris. In the São Pedro city (SP) is recognized to exist of these processes, being classified, according to the erosion map of São Paulo state as high susceptibility. Thus, the Espirado basin, located in this city, was selected to analyze the genesis and distribution of erosional features by the influence of morphometric parameters (curvature, slope and elevation) and anthropic in the evolutionary scale (1962, 1972, 2000 and 2006) and also an integrated and quantitative analysis (erosional features, land use and morphometric parameters), by calculating the following index: Erosion Concentration (EC) and Erosion Potential (EP). The first index is the ratio of the number of cells in each class affected by the erosion areas to the total number of cells in the basin, while the second index is the ratio of the number of cells in each class affected by the areas of erosion to the total number of cells in the same class. In the erosional features maps, we observed from 1962 to 2006 scenario, that the total area of erosional features decrease, in which the head drainages revealed the sector with the highest occurrence and concentration of features. The land use map showed that the increase of the percentages of the forest, of the urban area consolidated and the forestry, and the reduction of exposed soil and pasture were the role played on the reducing the erosive features, although the class of urban area consolidated was directly influenced in the new features and developments of the others. The integrated analysis showed that the concave curvature, the slope between 20 and 40% and the classes of exposed soil and pasture were the most susceptible and are primarily in the headwaters, a sector that is associated with very thick soils. These areas of high concentration runoff flow and debris, with fragile lithology and have a PE high, is related to the presence of curvature concave, in profile and plan, and concentrated flows, as well as high slope that increases the erosive power of the flow, factors that are associated with the erosion formation. The index also indicated that even the areas with the presence of convex or straight curvatures, slopes between 0 and 15%, with low PE but with significant anthropogenic changes, obtained an increase of the potential occurrence of erosional features, as well as classes use with low PE when associated with morphometric parameters of high, caused an increase of erosional features.

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de Material Inconsolidado – Bacia do Córrego Espraiado – São Pedro (SP) (Fonte: Zuquette <i>et al.</i> 2007).	9
Figura 2: Localização da Área de Estudo.....	14
Figura 3: Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo (Fonte: Modificado de Ross e Moroz, 1997).	18
Figura 4: Nota-se apenas resquícios de mata ciliar distribuídos pela bacia, devido a substituição da mata ciliar por atividades agrícolas. Fonte: Base, S.A. (Fotografia Aérea de 1962). (Sem escala).	21
Figura 5: Principais usos do solo no afluente da Bacia do Córrego Espraiado (Imagem de Satélite de 2005). Fonte: Modificado de Araujo (2008). Sem escala.	22
Figura 6: Processos erosivos de estágio avançado (voçoroca) no município de São Pedro (SP). Nota- se taludes e profundidades acentuada, como também presença de solo exposto. Fonte da Foto: Daniel, 2009.	26
Figura 7: Representação das combinações geométricas básicas, em função das associações de formas lineares, côncavas e convexas eventualmente encontradas numa encosta. Fonte: Modificado de Ruhe (1975).	32
Figura 8: Fluxograma correspondente as Etapas Metodológicas da Pesquisa	40
Figura 9: Vista panorâmica da bacia do córrego Espraiado a partir do front da Cuesta. No lado esquerdo da foto a presença de parte da Cuesta, e ao fundo a bacia do córrego Espraiado em destaque (linha em azul) (Figura Sem Escala).	43
Figura 10: Registro de ocorrência de feições erosivas em área rural da bacia do córrego Espraiado São Pedro (SP). Fonte da Foto: Evandro Daniel, Setembro de 2011.	43
Figura 11: Localização dos pontos de GPS e do registro de fotografias. – (A) Feição erosiva no centro e vegetação rasteira (gramíneas) na área circundante. (B e C) Feições erosivas lineares em área de pastagem e próximo ao afluente da bacia. Nota-se o manejo de silvicultura ao fundo como também loteamentos e a presença de cupinzeiro. (D) Feição erosiva próximo ao afluente da bacia. Nota-se vegetação rasteira (gramíneas), e ao fundo o plantio de silvicultura. (E) Feição erosiva no centro e predomínio de gramínea em seu entorno como também mata ciliar dispersa circundante. (F) Registro de feição erosiva, com	

ocorrência de processos subsuperficiais por meio do registro de <i>piping</i> (Figura Sem Escala).....	44
Figura 12: Registro de ocorrência de feições erosivas em área rural da bacia do córrego Espreado – São Pedro (SP) (Figura sem escala).	45
Figura 13: Figura: Exemplo do mapeamento de feições erosivas no setor a montante em diferentes cenários (polígonos em vermelho). Detalhe em escala 1:10.000 (a partir de trechos de Fotografias Aéreas em escala 1:25.000 de 1962 e 1972 e escala 1:30.000 de 2000 e 2006). Fonte da Fotografia Aérea: IBC e BASE, S.A.	46
Figura 14: Detalhe em escala 1:1.000 (a partir de trechos de Fotografias Aéreas em escala 1:30.000 de 2006) exemplo do mapeamento de feições erosivas (polígonos em vermelho). Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A. ...	47
Figura 15: Procedimento para o calculo da área (m ²) das feições erosivas mapeadas.....	48
Figura 16: Modelo de Cadastro de Feição Erosiva utilizado no trabalho de campo. Fonte: Modificado de Mendonça <i>et al.</i> (2001) e Macedo <i>et al.</i> (2004). 49	
Figura 17: Procedimento de medição da largura da feição. Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011 (Figura sem Escala).....	49
Figura 18: Exemplo do deslocamento entre a drenagem da carta topográfica (linha azul) e a posição do rio na fotografia aérea (Escala 1:30.000, Ano 2006): (A) Setor a montante (Cabeceira), (B) Setor da média bacia na margem direita (C) Setor a jusante (D) Setor da média bacia margem esquerda. Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A.	52
Figura 19: Exemplo da distorção da fotografia aérea de 1972 em relação à drenagem da carta planialtimétrica nos seguintes setores: (A) Detalhe 1:2.000 (A partir trecho de Fotografia Aérea em Escala 1:25.000 de 1972) setor a montante (Cabeceira). (B) Detalhe 1.4.000 (A partir trecho de Fotografia Aérea em Escala 1:25.000 de 1972) setor da média bacia na margem direita. Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A.	53
Figura 20: Trecho da planilha de cadastro dos pontos de controle por meio da utilização do GPS.....	54
Figura 21: Coleta de pontos de controle com o GPS em diferentes setores da bacia. Fonte das Fotos: Evandro Daniel, Dezembro de 2011.	55
Figura 22: Trechos de Ortofotos de 2006. (A) Detalhe 1:2.000 (A partir trecho de Fotografia Aérea em Escala 1:30.000 de 2006) setor a montante (cabeceira). (B) Detalhe 1.4.000 (A partir de trecho de Fotografia Aérea em	

Escala 130.000 de 2006) setor da média bacia na margem esquerda. Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A.	56
Figura 23: (A) Detalhe em Escala 1:2.000 (A partir de trecho de Fotografia Aérea de 2000 em Escala 1:30.000) setor a montante (cabeceira). (B) Detalhe em Escala 1:5.000 (A partir de trecho de Fotografia Aérea de 2000 em Escala 1:30.000) setor da média bacia na margem direita. Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A.	57
Figura 24: Detalhe em escala 1:1.000 (a partir de trechos Fotografias Aéreas em escala 1:30.000 de 2006). (A) Representação da classe pasto sujo (B) Representação da classe pasto limpo (Fonte: BASE, S.A.).....	63
Figura 25: Comparativo da dinâmica do uso do solo. (A) Detalhe em escala 1:1.000 (a partir de trechos de Fotografias Aéreas em escala 1:25.000 de 1962) (B) Detalhe em escala 1:1.000 (a partir de trechos Fotografias Aéreas em escala 1:30.000 de 2006) (Fonte: BASE, S.A).	64
Figura 26: Atribuição de Cores – Classes de Uso do Solo. Fonte: Modificado de IBGE (2006).	65
Figura 27: (A e B) Detalhe em escala 1:4.000 (a partir de trechos de Fotografia Aérea em escala 1:30.000 de 2006) exemplo de atribuição de cores para os polígonos das diferentes classes de uso do solo.	66
Figura 28: Mosaico das Cartas Topográficas – com a Bacia do Córrego Espraiado. (Fonte: Secretaria de Economia e Planejamento/ Governo do Estado de São Paulo). (Figura Sem Escala).....	67
Figura 29: Detalhe 1:10.000 do processo de vetorização e delimitação da bacia do córrego Espraiado a partir da carta topográfica digital – escala 1:10.000...	68
Figura 30: Representação da área de estudo em três dimensões no modelo sombreado.	69
Figura 31: Histograma de distribuição das células para classes de declividade (%).	72
Figura 32: Histograma da distribuição das células afetadas (N_f) do cenário de 2006 de acordo com as classes de declividade.	74
Figura 33: (A) Desenho esquemático de feição erosiva do cenário de 2006 mapeada no setor a montante, próximo à cabeceira do canal principal, caracterizada pela união de diversas ramificações (B) Foto registrada em campo da referida feição (Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011).....	77
Figura 34: (A) Desenho esquemático da feição erosiva do Cenário de 2006 mapeada no interior da área urbana em área circundante de canais de primeira	

e segunda ordens. (B) Foto da referida feição, a partir do nível do talvegue da feição. (C) Foto da referida feição a partir da superfície do arruamento (Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011). 77

Figura 35: (A) Desenho esquemático de feição erosiva retilínea mapeada próxima a área urbana (B) Foto da referida feição (Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011). 78

Figura 36: Feições Erosivas (Polígonos Vermelhos) mapeadas em grande parte da alta e média bacia. 80

Figura 37: Feições Erosivas (Polígonos Vermelhos) mapeadas em grande parte da alta e média bacia 81

Figura 38: Mapa das feições erosivas (polígonos em vermelho) do cenário de 1972, Modificado de Yamanouth (2003). 84

Figura 39: Maior registro de ocorrência de feições erosivas (polígonos em vermelho) na margem direita do que na margem esquerda – Cenários de 1962 e 1972. (A) Fotos da margem esquerda que apresentam características de um relevo mais suave. (B) Fotos da margem direita, que apresentam relevo dissecado e maior ocorrência de feições (Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A; Fonte das Fotos: Evandro Daniel. Setembro e Novembro de 2011). 86

Figura 40: (A) e (B) Montante (cabeceira) do córrego Espraiado – Cenários de 1962 e 1972 respectivamente, com presença significativa de feições erosivas (polígonos em vermelho) destacada pelo círculo em amarelo. Nota-se fissuras no solo, sombreamento e o entalhamento do relevo. (C) Registro de ocorrência de feições no setor da cabeceira (Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A; Fonte da Foto: Evandro Daniel. Novembro de 2011). 87

Figura 41: Feições Erosivas (Polígonos Vermelhos) mapeadas em grande parte na alta bacia. 89

Figura 42: Feições Erosivas (Polígonos Vermelhos) mapeadas em grande parte no setor a montante. 91

Figura 43: Vista da Feição Erosiva (polígono vermelho) a partir da margem oposta. (Fonte: Evandro Daniel, Novembro de 2011) 93

Figura 44: Vista da feição erosiva a partir da superfície, com as medidas da largura e da altura do talude. Fonte das Fotos: Evandro Daniel. Setembro de 2011. 93

Figura 45: Comparação dos mapas das feições erosivas de todos os cenários, onde destaca-se a concentração no setor a montante (cabeceira) do canal principal e grande parte da área da bacia, margeando as drenagens afluentes, principal nas áreas circundantes das cabeceiras. Nota-se duas áreas erosivas

em destaque (circulo em amarelo e vermelho) denominadas de setor 1 (S1) e setor 2 (S2)..... 95

Figura 46: O histograma apresenta uma tendência decrescente da área total. O cenário de 1962 possui a maior área, seguido pelo cenário de 1972, depois 2000 e 2006. 96

Figura 47: Histograma de perda de solo de todos os cenários, com linha decrescente, a partir do primeiro cenário que foi registrado o maior volume estimado de perda de solo, até o cenário de 2006 que registrou o menor volume..... 96

Figura 48: Histograma dos menores polígonos de feições erosivas de todos os cenários. Nota-se que nos primeiros cenários (1962 e 1972) há uma semelhança entre as áreas dos menores polígonos, porém, no cenário de 2000, esse tamanho aumenta significativamente até o cenário de 2006. 97

Figura 49: Histograma dos maiores polígonos de feições. Nota – se que no primeiro cenário (1962), foi registrado o maior tamanho, sendo que nos cenários intermediários (1972 e 2000) a feição diminui e depois aumenta no cenário posterior..... 98

Figura 50: Setor da alta bacia do córrego Espraiado na Carta Geomorfológica de São Pedro (SP) Escala: 1.50.000. Fonte: Modificado de Queiroz Neto e Journaux (1978) 100

Figura 51: Nota-se que a classe hipsométrica 540 – 580m foi a que obteve o maior índice de FD e a classe 600 – 623m o menor índice. Estão destacados o setor 1 (S1) em polígono preto e o Setor 2 (S2) em polígono amarelo. As feições erosivas do cenário de 1962 (polígonos em preto) estão em grande parte localizada na classe entre 540 a 580m. 102

Figura 52: O histograma apresenta os índices de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota-se que a classe 540 – 580m obteve o maior PE (5,43%) assim como o maior CE (54,55%). A classe 510 – 540m obteve o segundo maior PE (5,17%) e CE (32,04%)..... 103

Figura 53: O histograma apresenta a Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e o Potencial de Erosão (PE). Nota-se no histograma que o PE teve um aumento diretamente proporcional com o aumento da declividade. O maior índice de PE (6,03%) foi obtido no intervalo 20 – 40%, porém com FD e CE de apenas 8,10% e 12,85% respectivamente. O segundo maior PE registrou no intervalo 10 – 20%, com o maior CE (39,58%). 104

Figura 54: Nota-se que o intervalo 5 – 10% foi o que obteve o maior FD e a classe > 40% o menor FD. Também estão destacados o Setor 1 (S1) em polígono preto e o Setor 2 (S2) em polígono em amarelo. As feições erosivas do cenário de 1962 (polígonos em preto) estão em grande parte localizada no intervalo entre 10 - 40%. 105

Figura 55: Faixa da carta morfoestrutural de São Pedro (SP), no qual situa-se a bacia do córrego Espraiado. Nota-se que as feições erosivas (polígonos em vermelho) do cenário de 1962, possuem em alguns trechos uma semelhança com os lineamentos estruturais. Fonte: Modificado de Facincani (1995). 111

Figura 56: Faixa da carta de descontinuidade estrutural de São Pedro (SP), no qual situa-se a bacia do córrego Espraiado. Nota-se que alguns trechos da bacia, as feições erosivas (polígonos em vermelho) do cenário de 1962, possuem semelhanças na direção das descontinuidades estruturais. Fonte: Modificado de Facincani (1995). 112

Figura 57: Nota –se que a curvatura convexa obteve o maior FD (42,54%), seguido da côncava (36,56%) e a retilínea (20,90%). Também estão destacados o setor 1 (S1) em polígono vermelho e o Setor 2 (S2) em polígono em amarelo. As feições erosivas do cenário de 1962 (polígonos em preto) estão em grande parte localizada na curvatura côncava. 115

Figura 58: O histograma mostra que a curvatura côncava obteve o maior o índice de PE (5,43%) e também o maior CE (52,20%).....114

Figura 59: Feição erosiva localizada na cabeceira de drenagem afluyente da média encosta, com profundidade variada que chega atingir o regolito. Nota-se fundo plano, taludes acentuados, presença de *piping* em horizontes, indícios de evolução nas ramificações por meio da presença de patamares (degraus). . 116

Figura 60: Histograma de curvatura do setor 1 (1962), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura côncava foi a classe mais susceptível registrando o maior índice de PE (9,14%) e o maior índice de CE (38,23%). 118

Figura 61: Histograma de declividade do setor 1 (1962), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que o intervalo 5 – 10% e 10 – 20% foram as classes mais susceptíveis com os maiores índices de PE, 10,36% e 10,08%, respectivamente..... 118

Figura 62: Histograma de curvatura do setor 1 (1972), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura côncava foi a classe mais susceptível com o maior PE (6,88%)..... 119

Figura 63 Histograma de declividade do setor 1 (1972), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que o intervalo 5 – 10% e 10 – 20% foram as classes mais susceptíveis registrando os maiores índices de PE, 7,23% e 6,43%, respectivamente. 119

Figura 64: Histograma de curvatura do setor 1 (2000), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura convexa foi a classe mais susceptível com o maior valor de PE 1,69%. 120

Figura 65: Histograma de declividade do setor 1 (2000), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que o intervalo 5 – 10% e 10 – 20% foram as classes mais susceptíveis, registrando os maiores índices de PE, 2,12% e 1,99%, respectivamente. 120

Figura 66: Histograma de curvatura do setor 1 (2006), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura côncava foi a classe mais susceptível com o maior índice de PE (1,77%). 121

Figura 67: Histograma de declividade do setor 1 (2006), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota – se que o intervalo 10 – 20% foi a classe mais susceptível com o maior índice de PE (2,35%). O intervalo 5 – 10% registrou o segundo maior PE (1,96%). 121

Figura 68: Histograma de curvatura do setor 2 (1962) que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura côncava foi a classe mais susceptível com o maior índice de PE (17,54%). 123

Figura 69: Histograma de declividade do setor 2 do cenário de 1962, que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota – se que o intervalo 20 – 40% foi a classe mais susceptível com PE = 17,24%. O segundo maior índice de PE foi na classe 10 – 20% com 17,40%. 123

Figura 70: Histograma de curvatura do setor 2 (1972), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura côncava foi a classe mais susceptível a com o maior índice de PE (16,72%). 124

Figura 71: Histograma de declividade do setor 2 (1972), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de

Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota – se que o intervalo 10 – 20% foi a classe mais susceptível com o maior índice de PE (16,31%). 124

Figura 72: Histograma de curvatura do setor 2 (2000), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura côncava foi a classe mais susceptível a com, o maior índice de PE (2,31%). 125

Figura 73: Histograma de declividade do setor 2 (2000), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota – se que o intervalo 20 – 40% foi a classe mais susceptível com o maior índice de PE (6,71%). 125

Figura 74: Histograma de curvatura do setor 2 do cenário de 2006, que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura côncava foi a classe mais susceptível a com o maior índice de PE (1,27%). 126

Figura 75: Histograma de declividade do setor 2 do cenário de 2006, que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota – se que o intervalo 20 – 40% foi a classe mais susceptível a ocorrência com o maior PE (1,58%). 126

Figura 76: Nota - se que a classe pasto sujo foi a que obteve o maior FD=31,69% e que está distribuída por toda área da bacia, principalmente na parte alta da mesma. O solo exposto que obteve o segundo maior FD = 16,04%, está presente no setor da cabeceira (montante) do canal principal e dos afluentes, área que estão localizadas grande parte das feições erosivas (polígonos em vermelho). Na sequência o pasto limpo com 14,90%, situado principalmente na média bacia. Posteriormente, a mata com 14,74% localizada margeando a extensão das drenagens e alguns trechos das cabeceiras destes. Na sequência a classe áreas agrícolas está em sua maioria distribuída na margem esquerda da média bacia, margeando o limite da bacia, e para completar a classe vegetação e sedimentos em planície margeando toda a extensão do canal principal. 129

Figura 77: Histograma das classes de uso do solo do cenário de 1962, com os percentuais de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota - se que as classes mais susceptíveis a ocorrência de feições erosivas são o solo exposto e pasto sujo, que possuem os maiores índices de PE com 9,79% e 3,97% respectivamente, classe estas que também possuem os maiores índices de CE. 130

Figura 78: Feição erosiva ramificada em área de pasto sujo, com presença de água e sedimentos no talvegue da feição. Nota-se no lado esquerdo da foto a presença de degraus (patamares) no talude, indício de instabilidade. Ao fundo na cabeceira da feição a presença de bambu, provavelmente uma prática de conter a o avanço da feição. Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011. 131

Figura 79: Vista do trecho do setor 1 a partir da margem oposta. Nota-se o anfiteatro e a ocorrência de feições erosivas (polígonos em vermelho) nas cabeceiras dos afluentes. Também observa-se que a vegetação estão apenas margeando as drenagens, as áreas circundantes há apenas gramineas, decorrente da prática de pastagens neste setor, no qual a declividade é de aproximadamente 14%. Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011..... 131

Figura 80: Dados pluviométricos do município de São Pedro, a partir de 1960 até 2010. Nota-se neste intervalo de tempo, que a precipitação média está entre 1300 e 1500mm/ano, com intensidade de até 2.300mm em 1983. (Fonte: SIGRH, 2011)..... 137

Figura 81: Nota –se que o pasto sujo, novamente foi a classe que obteve o maior FD = 32,46% situação semelhante ao cenário anterior. Entretanto, a distribuição espacial neste cenário está localizada principalmente na média bacia, e das drenagens afluentes. O pasto limpo expandiu nesse cenário e registrou o segundo maior FD = 20,79%, situado principalmente a montante (cabeceira) do canal principal e na média bacia, setores de ocorrência de feições erosivas. O solo exposto obteve o terceiro maior FD = 13,10% que está localizado trechos no setor da cabeceira do canal principal e dos afluentes por toda a área da bacia, setores que foram registrado ocorrência significativas de feições erosivas. A mata com 11,05% possui trechos margeando o sopé das encostas na alta e média bacia, como também as drenagens afluentes. A silvicultura com 7,65% está localizada principalmente na margem direita da média bacia. A classe areias agrícolas está situadas na foz da bacia, e também na margem esquerda da margem esquerda, margeando o limite da bacia. A classe vegetação e sedimentos em planície está localizado margeando a extensão do canal principal 139

Figura 82: Histograma das classes de uso do solo do cenário de 1972, com os percentuais de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota - se que o solo exposto foi a classe mais susceptível a ocorrência de feições erosivas, em que registrou-se o maior índice de PE com 11,59% como também o maior índice de CE com 43,35%, embora tenha o FD tenha sido de apenas 13,10%. 140

Figura 83: Nota-se neste cenário que a mata foi a classe que obteve o maior FD = 29,07%, situadas desde trechos a montante (cabeceira) do canal principal e também de afluentes da alta até a baixa bacia. O pasto sujo que obteve o segundo maior FD, está localizados principalmente na alta bacia (setor a

montante) cabeceira do canal principal, em que registrou ocorrência significativa de feições erosivas. O pasto limpo que registrou o terceiro maior FD possui trechos na alta bacia, como também na margem esquerda da média bacia. O solo exposto que apresentou o quarto maior FD, possui trechos na cabeceira do canal principal e também de afluentes, onde foi registrado ocorrência significativas de feições erosivas. Na sequência a silvicultura, quinto maior FD está situada na margem direita da média bacia. A classe áreas agrícolas continua registrada margeando o limite da bacia na margem esquerda. Para completar, a classe vegetação e sedimentos em planície que margeia toda a extensão do canal principal, depois o surgimento das áreas urbanas consolidada com 4,36% na baixa bacia, e a área urbana consolidada que está margem direita da média bacia. 145

Figura 84: Histograma das classes de uso do solo do cenário de 2000, com os percentuais de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota - se que a classe de solo exposto foi a mais susceptível a ocorrência de feições erosivas, (PE = 11,97%) e também o maior índice de CE (36,76%), embora tenha registrado baixo FD (4,13%). Também vale ressaltar a classe de pasto sujo com o segundo maior índice de PE (1,81%) e índice de CE (28,30%)..... 146

Figura 85: Levantamento demográfico do município de São Pedro. Nota - se uma tendência crescente da população do município (Fonte: IBGE e SEADE). 150

Figura 86: (A) Faixa da fotografia aérea do cenário de 1972, destacado pelo círculo em amarelo e a ocorrência de feições erosivas (polígonos em vermelho). (B) Faixa da fotografia aérea do cenário de 2000, que se destaca o arruamento e as edificações dos loteamentos implantados (círculo em amarelo) e a redução, porém, ainda existente, das feições erosivas (polígonos em vermelho) (Fonte: Base, S.A)..... 151

Figura 87: Vista em maior detalhe da encosta soterrada no interior da área urbana e que está destinada a pastagem. Fonte: Evandro Daniel, Janeiro de 2012. 151

Figura 88: Nota –se que a mata foi novamente a classe dominante, situada no setor a montante (cabeceira) do canal principal e também de afluentes ao longo da área da bacia, como também no sopé das encostas. O pasto sujo que obteve o segundo maior FD, situa-se margeando a extensão dos afluentes, trechos do setor a montante (cabeceira) do canal principal. O pasto limpo que obteve o terceiro maior FD, está localizada principalmente na alta e média bacia da margem esquerda. A silvicultura que expandiu significativa e que aparece como o quarto maior FD, está situado em grande parte na margem direita da alta e baixa bacia. A classe área urbana expandiu na margem direita da alta bacia. A classe áreas agrícolas, aparece novamente margeando o limite

da bacia da margem esquerda, desde a alta até a baixa bacia. O solo exposto possui trechos distribuídos pela área da bacia, desde o setor a montante, como também cabeceiras de afluentes, até próximo a foz. A classe vegetação e sedimentos em planície aparece margeando o canal principal, situação encontrada em todos os cenários. 153

Figura 89: Histograma das classes de uso do solo do cenário de 2006, com os percentuais de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota - se que a classe de solo exposto foi a mais susceptível a ocorrência de feições erosivas, devido ter registrado o maior índice de PE (8,18%) e o segundo maior índice de CE (28,12%), embora tenha registrado uma baixa frequência 4,21%. Também vale ressaltar a classe de pasto sujo com índice de PE (2,32%). 154

Figura 90 (A) Faixa da fotografia aérea do cenário de 1972, que destaca em círculo em amarelo as feições erosivas (polígonos em vermelho) na cabeceira dos afluentes. (B) Faixa da fotografia aérea – cenário de 2006, que destaca em círculo amarelo as técnicas (curvas de nível) para o plantio de eucaliptos (silvicultura) e a o desaparecimento das feições erosivas (Fonte: BASE, S.A157

Figura 91: Vista da encosta a partir da margem oposta. Nota –se a classe área urbana consolidada ao fundo, o plantio de eucaliptos para fins econômicos que provavelmente vem obtendo colaborando para a redução principalmente das feições erosivas iniciais e mais próximo ao canal principal registro de ocorrência de feição erosiva. Localização: 201792W 7505448 S. Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011, 158

Figura 92: Vista da drenagem afluente ao fundo, e da feição no interior da área urbana, e do escoamento do arruamento circundante voltado para a direção da feição (Fonte da Fotografia Aérea: Base, S.A. Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011 159

Figura 93: Dinâmica das classes de uso do solo, representado pela Frequência de Distribuição (FD). 160

Figura 94: Nota-se que o solo exposto se destaca nos quatro cenários como a classe mais susceptível a ocorrência de feições erosivas, portanto a que obteve o maior índice de PE. A classe pasto sujo foi a segunda classe mais susceptível, ou seja, obteve o segundo maior índice de PE. 161

Figura 95: Vista da feição erosiva Linear acelerada (voçoroca). No centro da foto é possível verificar a profundidade ($P = 10,60\text{m}$) como também a largura ($L = 42\text{m}$). Também observa-se taludes suavizados, solo exposto (solo hidromórfico), não aparece a drenagem, mas observa-se que o processo chegou até o regolito. No setor a direita da foto, precisamente na parte superior do talude a presença de eucaliptos, situação essa que se repete ao fundo da

foto. Também identifica-se a presença de degraus (patamares) por toda a área do talude, coberto de serrapilheira, o que pode ser indício de que a feição não está estabilizada. Localização: 202.977 W; 7.503.813 S. Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011..... 162

Figura 96: No centro da foto apresenta o depósito de lixo no talvegue da feição, como também a presença de manilhas (tubulação de água) que foram destruídas pelo processo erosivo. Também é possível registrar a presença de vegetação rasteira no fundo da feição. Tanto no setor esquerdo quanto no direito da foto observa-se a degraus (patamares) na feição, provavelmente indício de que a feição não está estabilizada..... 163

Lista de Tabelas

Tabela 1: Padrão de Exatidão Planimétrico e Erro Padrão para as Classes A, B e C.	58
Tabela 2: Padrão de Exatidão Altimétrico e Erro Padrão para as Classes A, B e C.	59
Tabela 3: Resultado do PEC da Ortofoto feita a partir dos pontos coletados com GPS de navegação	60
Tabela 4: Resultado do PEC da Ortofoto (2006) feita a partir dos pontos coletados na Carta Planialtimétrica	60
Tabela 5: Resultado do PEC da Fotografia Aérea (2006) Georreferenciada.	61
Tabela 6: Classes de Uso do Solo	62
Tabela 7: Intervalos das classes dos mapas morfológicos	70
Tabela 8: Frequência de Distribuição (FD) correspondente as células para as classes do Mapa de Declividade	72
Tabela 9: Concentração de Erosão (CE) correspondente as células para as classes do Mapa de Declividade	73
Tabela 10: Número de polígonos de feições erosivas mapeadas e as respectivas áreas (m^2) e o volume (m^3) referidas de cada polígono, cenário de 1962.	82

Tabela 11: Número de polígonos de feições erosivas mapeadas e as respectivas áreas (m^2) e o volume (m^3) referidas de cada polígono, cenário de 1972.	83
Tabela 12: Número de polígonos de feições erosivas mapeadas e as respectivas áreas (m^2) e o volume (m^3) referidas de cada polígono, cenário de 2000.	88
Tabela 13: Número de polígonos de feições erosivas mapeadas e as respectivas áreas (m^2) e o volume (m^3) referidas de cada polígono, cenário de 2006.	92
Tabela 14: Número de feições erosivas mensuradas (largura e profundidade) e as respectivas áreas (m^2).	92
Tabela. 15: Intervalo de declividade média das ocorrências de feições erosivas registradas em diversas localidades e os respectivos autores.	108
Tabela 16: Distribuição das áreas classes de solo exposto e pasto sujo nas classes de curvatura.	132
Tabela 17: Distribuição das áreas das classes de solo exposto e pasto sujo nos intervalos de declividade	134
Tabela 18: Associação das áreas das classes de curvatura e declividade com o uso do solo.	135
Tabela 19: Distribuição das áreas do solo exposto e pasto sujo nas classes de curvatura.	141
Tabela 20: Distribuição das áreas do solo exposto e pasto sujo nos intervalos de declividade	141
Tabela 21 Associação das áreas das classes de curvatura e declividade com o uso do solo.	142
Tabela 22: Distribuição das áreas do solo exposto e pasto sujo nas classes de curvatura.	146
Tabela 23: Distribuição das áreas do solo exposto e pasto sujo nos intervalos de declividade	147
Tabela 24: Associação das áreas das classes de curvatura e declividade com o uso do solo.	148
Tabela 25: Distribuição das áreas do solo exposto e pasto sujo nos intervalos de curvatura.	154

- Tabela 26: Distribuição das áreas do solo exposto e pasto sujo nos intervalos de declividade. 155
- Tabela 27 Associação das áreas das classes de curvatura e declividade com o uso do solo. 156
- Tabela 28: Valores de PE de cada classe de uso do solo e a distribuição de classes de declividade e de curvatura no setor 01. Em vermelho as classes de uso do solo com os maiores valores de PE. Em destaque (amarelo) os maiores percentuais para cada um dos tipos de uso. Obs. Somente as classes com valores de PE > 0 foram avaliadas. 167
- Tabela 29: Valores de PE de cada classe de uso do solo e a distribuição de classes de declividade e de curvatura no setor 02. Em vermelho as classes de uso do solo com os maiores valores de PE. Em destaque (amarelo) os maiores percentuais para cada um dos tipos de uso. Obs. Somente as classes com valores de PE > 0 foram avaliadas. 168

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA	1
2. OBJETIVOS	13
3. ÁREA DE ESTUDO.....	14
3.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	15
3.2. CARACTERÍSTICAS PEDOLÓGICAS	16
3.3. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS	17
3.4. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E DO USO DO SOLO	20
4. PROCESSOS EROSIVOS.....	24
4.1 CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS	27
4.2. CARACTERÍSTICAS DO SOLO	28
4.3. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS	30
4.4. CARACTERÍSTICAS DA COBERTURA VEGETAL	34
4.5 ENERGIA CINÉTICA DAS CHUVAS.....	35
4.6 FATORES ANTRÓPICOS	37
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
5.1 SELEÇÃO DA ÁREA PILOTO - JUSTIFICATIVAS	41
5.2 MAPEAMENTO DE FEIÇÕES EROSIVAS	45
5.2.2. ORTORRETIFICAÇÃO.....	50
5.2.2.1 Georreferenciamento pelos Pontos da Carta Topográfica	50
5.2.2.2 Ortorretificação pelos Pontos de GPS.....	53
5.2.2.3 Ortorretificação pelos pontos da Base Cartográfica	56
5.2.2.4 Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC.....	57
5.3 MAPEAMENTO DO USO DO SOLO	61
5.4 MAPEAMENTO MORFOMÉTRICO.....	66
5.5 ANÁLISE INTEGRADA/QUANTITATIVA.....	70
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
6.1. MAPAS DAS FEIÇÕES EROSIVAS.....	76
6.1.1. Cenários de 1962 e 1972	78
6.1.2. Cenários de 2000 e 2006	87
6.1.3 Mapa das Feições Erosivas – Comparação entre os cenários	94
6.2. MAPAS MORFOMÉTRICOS	98
6.2.1. Hipsometria e Declividade.....	101

6.2.2 Curvatura	113
6.3. ABORDAGEM DETALHADA – SETOR 1	118
6.4. ABORDAGEM DETALHADA – SETOR 2	123
6.5. MAPAS DO USO DO SOLO	128
6.5.1. Cenário 1962	128
6.5.2. Cenário 1972	138
6.5.3 Cenário 2000	144
6.5.4 Cenário 2006	152
6.6 Mapa do Uso do Solo – Comparação dos Cenários	160
6.7 ANÁLISE DE DETALHE – SETORES 1 e 2	164
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	169
8. REFERÊNCIAS	171

1. INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA

A erosão é um processo muito antigo que está relacionado com a escala geológica (Riser, 1995). Entretanto, se tornou mais evidente devido ao início da prática da agricultura e a intensificação do uso da terra (Bertoni e Lombardi Neto, 2008; Braimoh e Vlek, 2007).

As principais causas dos processos erosivos estão relacionadas a fatores antrópicos, por meio do uso e manejo do solo (Goudie 1990; Sidorchuk, 1999, Tamene e Vlek, 2007, Kuhnet *et al.* 2009, entre outros), além das mudanças climáticas, das características litológicas, morfológicas, do solo, da vegetação, entre outros (Brady, 1989, Casasnovas 2003, Tamene e Vlek 2007, Kuhnet *et al.*, 2009, entre outros).

Diversos autores como Brady (1989); Casasnovas, (2003); Marcotullio *et al.*, (2007) comentam que os processos erosivos constituem um problema de âmbito mundial, e que nenhum outro fenômeno de solo é mais destrutivo que a erosão. Tamene e Vlek (2007) ressaltam que a erosão é uma questão global que ameaça a subsistência humana e a civilização.

No campo da geomorfologia os processos erosivos são considerados como indícios de instabilidade dos sistemas geomorfológicos (Oliveira e Queiroz Neto, 1993), uma vez que o equilíbrio de um sistema representa o ajustamento completo das suas variáveis internas às condições externas. Assim, quando ocorre uma ruptura do equilíbrio, conseqüentemente ocorre um desencadeamento da trajetória de readaptação (Christofolletti, 1980). Posto o sistema em equilíbrio, os processos morfogenéticos pluviais são importantes na esculturação das encostas, sendo que o impacto da chuva é a primeira fase da morfogênese pluvial, e o escoamento pluvial o mais importante processo de transporte (Christofolletti, 1980).

Os processos erosivos podem ser investigados por meio dos parâmetros morfológicos (declividade, hipsometria, curvatura, entre outros) que influenciam nas características do solo e principalmente na velocidade dos agentes erosivos (energia cinética da chuva, vento) (Brady 1989; Torri 1996; Braimoh e Vlek, 2007, entre outros). Assim, as declividades mais acentuadas favorecem a

concentração e maiores intensidades de escoamento das águas, principalmente quanto maior o comprimento da encosta. Selby (1993) afirma que o aumento do escoamento superficial/subsuperficial, são grandes responsáveis pela formação da grande maioria dos processos erosivos.

Na década de 1980 estimava-se a existência de 3.000 feições erosivas no Estado de São Paulo, e em aproximadamente 80% das terras cultiváveis havia processos erosivos, além dos limites de recuperação natural do solo, representando uma perda anual de aproximadamente 200 milhões de toneladas de solo. O custo para a correção e para estabilização dessas voçorocas seria de aproximadamente 20% do orçamento do Estado naquele período (DAEE, 1989; Santoro, 1991, Kertzman *et al.*, 1995, entre outros).

Em 1997 foi realizada uma nova estimativa, cujo resultado foi o registro de aproximadamente 6.700 feições erosivas no Estado de São Paulo (aumento de 123% em relação ao período anterior), sendo que a maioria de médio a grande porte, consequência da prática de parcelamento do solo inadequada e deficiente, segundo DAEE (1997).

O município de São Pedro (SP), localizado no centro-oeste de São Paulo, é bastante representativo deste cenário paulista devido à grande concentração de voçorocas, pois de acordo com Kertzman *et al.* (1995), está inserido na classe de alta susceptibilidade à erosão. Essa representatividade pode justificar a existência de inúmeros trabalhos realizados no município, nos mais diversos objetivos, principalmente para o enfoque de erosão.

Sanchez (1969) realizou um estudo sobre os aspectos da geografia agrária dos municípios de São Pedro e de Charqueada, no qual fez uma análise das características naturais da área dos dois municípios e relatou a ocorrência de voçorocas no primeiro município, decorrente da ação humana (substituição da vegetação natural pelo sistema de cultivos inadequado e a formação do escoamento concentrado).

Barreto (1970) fez uma caracterização minuciosa sobre a geomorfologia, características geológicas, hidrográficas da área de São Pedro (SP) e analisou os falhamentos pós-cretácicos e sua implicação na morfogênese da área de São Pedro. A mesma autora também relatou a ocorrência de erosões e concluiu que esses processos estão relacionados a fatores antrópicos (construção de estradas, cultivo de terras por métodos primitivos, criação extensiva de gado) e litológicos (Arenito Neocenoico).

Bósio (1973) caracterizou a geologia da área de São Pedro por meio de trabalhos de campo, ensaios de laboratório e ferramentas estatísticas. O autor concluiu que a formação Botucatu na área subdivide-se em duas fácies individualizáveis: uma inferior, denominada Pirambóia e a outra, superior, chamado Botucatu; depósitos lacustres são raros dentro da sequência eólica; a incidência de minerais pesados na Formação Botucatu é inferior a 1%, sendo normal ao redor de 0,5%; o fenômeno da silicificação que ocorre no conglomerado Itaqueri e nos arenitos da fácies Botucatu acha-se correlacionada com o intemperismo de rochas básicas, entre outros.

Queiroz Neto e Journaux (1978) elaboraram a carta geomorfológica de São Pedro numa escala 1:50.000, no qual foram identificadas e mapeadas informações a respeito dos aspectos lito-estruturais e da tectônica, formas associadas às ações fluviais e antrópicas (“voçorocas” e “*bandlands*”) e também aspectos da estratigrafia. Os autores ressaltaram que na zona menos dissecada do glaciais, os afloramentos de rochas restringem-se às encostas mais íngremes ao longo dos vales principais, onde a erosão é mais acentuada.

Duarte (1980) realizou um estudo sobre a ocupação do meio físico, mas com um enfoque hidrogeológico, na área do quadrilátero formado pelas cidades de Brotas, Itirapina, Santa Maria de Serra e São Pedro, desde a formação Estrada Nova até a Formação Bauru. O mesmo autor esclarece que a área estudada está sujeita a grandes riscos de degradação geoambiental, no que diz respeito à qualidade e à quantidade das águas subterrâneas, caso se instale um complexo urbano sem um necessário planejamento e ocupação, devido à alta vulnerabilidade dos solos oriundos das Formações Pirambóias,

Botucatu, Serra Geral e Bauru, assim como do diabásio presente em quase 90% da área.

Perez Filho *et al.* (1986) estudaram a correlação das variações dos processos erosivos acelerados na região com as variações pluviométricas e do uso da terra. Para o desenvolvimento desse trabalho foram instalados pluviômetros em áreas agrícolas urbanas com leituras diárias, como também demarcações de transectos em pequenas bacias hidrográficas (1º ordem), por meio de estacas a cada 25m para leituras mensais do nível do solo, visando analisar a perda de solo e também a granulometria de acordo com a profundidade. Assim, as medições realizadas no campo resultaram em variações granulométricas decorrentes das diferentes precipitações pluviométricas, associadas às construções de estradas vicinais e às linhas de contorno em áreas de reflorestamento. O uso de solos arenosos (areia quartzosas) para reflorestamento (eucalipto) também provocaram processos erosivos, mesmo em declividades abaixo de 10%.

Santoro (1991) analisou voçorocas próximas aos bairros Jardim São Dimas e Recantos das Águas, a partir de uma caracterização geotécnica dos sedimentos em 10 pontos de amostragem (5 indeformadas e 5 deformadas), obtendo valores de resistências ao cisalhamento, índice de vazios e permeabilidade. O autor concluiu que as características obtidas e falta de infraestrutura dos loteamentos favoreceram a erosão superficial e subsuperficial em encostas convexas côncavas, apresentando uma rápida evolução de grandes dimensões devido ao fluxo de águas por interceptação do lençol.

Alarsa (1994) realizou uma descrição e uma caracterização da distribuição da cobertura pedológica e sua associação com as formas do relevo do interflúvio dos Ribeirões Araquá e Samambaia, numa escala de semi-detalle (1:25.000), visando encontrar elementos que pudessem subsidiar a definição da evolução do *glacis* de São Pedro. A autora identificou uma evolução dos graus de dissecação de norte para sul, cuja intensidade encontra-se na faixa oriental (Ribeirão Araquá) e que os sistemas podzólicos acompanham este processo.

Capellari (1995) produziu um esboço cartográfico das áreas de risco a erosão do setor centro norte dos interflúvios dos Ribeirões do Meio e Samambaia a partir de uma proposta de Nóbrega *et al.* (1992). O autor avaliou que a metodologia empregada seguiu os critérios propostos quanto ao estudo geral do meio físico (relevo, solo, clima) e da ocupação humana (uso do solo), e permitiu visualizar o risco à erosão por meio de suas sobreposições. O autor também apontou que os esboços morfológicos e morfopedológicos revelaram-se importantes, visto que, o primeiro esboço permitiu um maior detalhamento das formas de encostas, possibilitando associar as mudanças e rupturas à declividade e analisar o escoamento superficial quanto a sua aceleração e concentração.

Fancicani (1995) avaliou a influência da estrutura tectônica no desenvolvimento de voçorocas da região de São Pedro. A autora fez levantamentos geológicos, identificou as feições e elencou os lineamentos estruturais, utilizando observações de campo e fotointerpretação (Escala 1:25.000). Além disso, delineou dois perfis pedológicos e caracterizou os materiais destes perfis, sendo um perfil na voçoroca do Córrego Tucum (5m) e outro do córrego Espreado (2,40m), obtendo medidas da direção das juntas e das falhas na região do município de São Pedro e de Águas de São Pedro. A autora averiguou que os processos erosivos ocorrem preferencialmente ao longo das discontinuidades NW – SE.

Carpi Junior (1996) explorou a importância dos documentos cartográficos em estudos ambientais, com ênfase na dinâmica erosiva presente na bacia do ribeirão Araquá. O autor elaborou e organizou cartas temáticas relativas aos atributos do meio ambiente da área, selecionou duas sub-bacias com erosão e evidenciou os setores de maior suscetibilidade erosiva, propiciando a realização de um prognóstico.

Santoro e Fúlfaro (1996) desenvolveram um estudo geotécnico nas voçorocas do córrego Tucum e por meio da caracterização dos sedimentos analisaram os fatores condicionantes no processo erosivo e estabeleceram a contribuição de certas feições e características observadas, tanto no campo como em laboratório, que interferiram na gênese e na evolução das erosões

aceleradas Os sedimentos analisados apresentaram homogeneidade granulométrica, baixos valores de parâmetros de resistência ao cisalhamento e valores relativamente elevados dos índices de vazios. Os valores da permeabilidade (K_{20}°) foi aproximadamente de $4,27 \times 10^{-3}$ cm/s, os da porosidade 42%, e sobre os limites de consistência, as amostras caracterizam-se como não plásticas.

Dias Ferreira (1997) fez uma análise de reconhecimento das características pedológicas e dos arranjos geométricos entre os horizontes, o que permitiu a espacialização da dinâmica da circulação interna da água (vertical e lateral), determinando a movimentação de matéria, e conseqüentemente, compreendeu o processo de evolução dos solos e das encostas em “degraus” sobre o arenito Pirambóia com lentes de argila.

Oliveira (1997) caracterizou as organizações macro e micro morfológico de uma topossequência na bacia do córrego do Retiro e identificou a presença de bandas onduladas superpostas e anastomosadas em perfis de solos situados na borda do glacis, responsáveis pela transformação das Areias Quartzosas em Podzólicos Vermelho-Amarelo através da formação do horizonte Bt.

Buzato (2000) pesquisou os ferricretes e a sua relação com o relevo na Serras de São Pedro e Itaqueri, por meio de um inventário na escala de reconhecimento semidetalhado (1:40.000), onde constam a localização e caracterização morfológica, as ferricretes e a sua relação com as formas de relevo atuais da paisagem. Os tipos de ferricretes identificados foram amostrados e submetidos a análises micromorfológicas e químicas. Os resultados cartográficos, morfológicos e analíticos foram correlacionados, visando uma interpretação genético-evolutivo dos ferricretes no contexto geomorfológico. A autora concluiu que os principais solos apresentaram nódulos e concreções ferruginosas residuais das ferricretes. Ainda neste trabalho a autora observou que a área possui um forte controle estrutural, evidenciado pelo padrão e direção da rede de drenagem e pela ocorrência de fortes rupturas e dissimetria das encostas, além de outros tipos de modelado do relevo, em grande parte associado à ocorrência de ferricretes.

Furquim (2002) identificou feições macro e micromorfológicas, em escala de campo e do microscópio óptico, respectivamente, e evidências analíticas (parâmetros físicos e químicos) que indicassem possíveis mecanismos de translocações, perdas e acumulações de matéria no interior da cobertura pedológica. A autora discutiu que a cobertura pedológica do transecto Espraiado caracteriza-se principalmente pela perda generalizada de matéria, provavelmente associada a uma perda de volume dos solos e a um rebaixamento do modelado local, como descrito em outras áreas tropicais. Assim, os resultados apresentados discordam com a idéia de oposição entre os processos pedogenéticos e morfogenéticos, comumente presente na visão tradicional das relações solo-relevo, uma vez que os processos deduzidos são possivelmente responsáveis não apenas por mudanças de características morfológicas da cobertura pedológica, mas também por mudanças no modelado. Além disto, a presença destes processos na área estudada parece estar de acordo com os princípios da teoria de *etchplanação*.

Silva (2003) investigou os fatores influentes nos processos erosivos na bacia do córrego Tucum – São Pedro (SP). Para isso, realizaram-se ensaios geotécnicos de caracterização dos solos e ensaios de erodibilidade, onde se constatou que as áreas que apresentavam alta susceptibilidade aos processos estavam associadas principalmente ao material geológico constituinte da bacia. Foram utilizadas fotografias aéreas para o estudo da evolução das feições erosivas (1972, 1995 e 2000) como também o SIG. A análise das informações obtidas permitiu o estabelecimento da susceptibilidade à erosão que associada às informações de uso e ocupação conduziu a definição de prognósticos acerca da evolução dos processos erosivos na área e classificou as cabeceiras do córrego Tucum como classe alta e muito alta susceptibilidade.

Yamanouth (2003) realizou a caracterização e a identificação dos elementos do terreno, dos materiais inconsolidados, da evolução espacial e temporal das feições erosivas, e das técnicas de controle de campo e reabilitação empregada nas áreas da bacia do córrego Espraiado. A autora concluiu que as feições estavam geralmente nos setores de solos poucos espessos, e que algumas das técnicas de controle e reabilitação não tiveram

eficiência, tendo como consequência o aparecimento de novas feições nas áreas reabilitadas.

Almeida Filho *et al.* (2004), estudaram a voçoroca do bairro São Dimas, que consistiu na caracterização e no entendimento dos processos erosivos, relacionando-os com as características do meio físico e do uso e ocupação do solo, por meio de fotografias aéreas e visitas técnicas. Os autores sinalizaram que em 1962 já havia registro de ocorrência de processos erosivos, mas que depois de algumas décadas, a expansão urbana circundante e ainda não totalmente consolidada foi responsável pela maioria dos novos ramos das erosões. Os autores debateram que a principal causa foi a ausência ou deficiência de obras de infra-estrutura e a disposição do sistema viário e da drenagem superficial, que permitiram a concentração do escoamento, aliado à inexistência de estruturas adequadas de adução e condução e lançamentos das águas pluviais para o ramo principal do talvegue. Os mesmos autores também concluíram que os projetos de loteamentos ou conjuntos habitacionais deveriam ser concebidos a partir de planejamento urbanístico integrado, que contemplasse um eficiente e adequado sistema de drenagem, como também a concepção correta de obras de correção, quanto ao processo erosivo já está instalado.

Ferreira (2004) estudou os processos erosivos e as feições erosivas das cabeceiras da bacia do córrego do Tucum – São Pedro (SP) desde 1962 até os dias atuais, assim como das várias técnicas de controle de controle e recuperação na área. A autora realizou fotointerpretação, ensaios de caracterização básica do solo, erodibilidade e cisalhamento direto, mapeamento dos materiais geológicos, cadastro das feições e também do uso e ocupação e por fim ensaios de infiltração. A autora classificou as feições em três estágios evolutivos: 1º Estágio – feições pré 1962, 2º Estágio feições 1962 e 1988, e 3º Estágio 1988 – 2003. Os resultados de campo classificaram os materiais inconsolidados como arenosos, muito permeáveis, com alta erodibilidade, ângulo de atrito 23 a 25° , coesão 11 a 18kPa , e que novas feições tem sido instaladas apesar das várias tentativas de controle.

Zuquette *et al.* (2007), apresentaram um estudo dos fenômenos de erosão na área da bacia do Córrego Espriado, por meio de observações realizadas em quatro situações temporais diferentes (1972, 1978, 1995 e 2002) e das características do terreno. Os autores elaboraram um mapa geotécnico da área, com a caracterização sumária (clima, vegetação, geomorfologia e geologia) e também um mapa dos materiais inconsolidados. Nesse último mapa (Figura 1), os autores explicaram que as unidades de materiais inconsolidados foram classificadas quanto a sua gênese e textura. Quanto à gênese os materiais foram classificados como residuais, quando os solos são produtos da alteração *in situ* do substrato rochoso, e materiais retrabalhados, quando os materiais inconsolidados são oriundos de outros lugares. Vale ressaltar que a classificação da textura baseou-se na realização de ensaios granulométricos.

Figura 1: Mapa de Material Inconsolidado – Bacia do Córrego Espriado – São Pedro (SP) (Fonte: Zuquette *et al.* 2007).

Guimarães (2008) avaliou os efeitos da compactação do solo em diferentes usos agrícolas por meio da utilização de um penetrômetro de impacto, e correlacionou esses dados com o inventário de erosões lineares realizados na bacia do córrego da Barra - São Pedro - (SP). Para atingir esse objetivo, foi necessário um mapeamento geotécnico (mapa de documentação, mapa de inventário de erosões, mapa de declividade, mapa de substrato rochoso e mapa de materiais inconsolidados) como forma de levantar informações do meio físico da área. Os resultados obtidos apontaram que as erosões ocorrem em grande parte em materiais retrabalhados, e que a resistência a penetração varia inversamente proporcional a umidade média.

Pinheiro (2009) realizou um inventário das feições erosivas lineares da alta bacia do Ribeirão Araquá, com base em técnicas cartográficas e aerofotogramétricas analógicas e digitais. O autor realizou documentos cartográficos em escala de semi-detalhe e também levantamento do uso da terra e das formas erosivas lineares numa escala evolutiva (1962, 1978, 1995 e 2006), no qual deu origem a um mapa de suscetibilidade a erosão e uma avaliação da evolução temporal das feições erosivas. Os resultados mostraram que as ravinas e voçorocas se instalaram preferencialmente em setores côncavos da encosta e declividades acima de 10%, como também, as técnicas de interpretação e restituição aerofotogramétricas digitais se mostraram superiores as analógicas.

Mathias (2010) monitorou os processos erosivos lineares em área peri-urbana, tendo como estudo de caso a bacia do córrego Tucunzinho. A técnica empregada foi a de estaqueamento com pinos de ferro sugerido por Guerra (1996), implantadas diretamente no solo a uma distância variável, obtendo como resultado que o monitoramento aplicado contribuiu para o entendimento da dinâmica evolutiva de processos de erosão linear acelerado.

Araujo (2011) propôs índices que indicam o limiar topográfico para predição do desencadeamento de canais de erosão no ribeirão do Meio. Para a elaboração dos parâmetros utilizados nos índices, foram utilizados as ferramentas Hydrology do Programa ArcGis, também fotografias aéreas ortorretificadas, mapas das características físicas, entre outros. O resultado

obtido pelo autor foi que todos os pontos com problemas de erosão da área utilizada para a validação dos índices localizam-se numa área de declividade crítica para o desencadeamento do processo erosivo. Isto é, os índices exprimem o limiar topográfico para as erosões lineares nas condições encontradas na área de estudo e em áreas com características físicas semelhantes.

É importante destacar que, mesmo considerando a existência de inúmeros trabalhos na área de estudo, ainda há algumas questões sobre a gênese e a distribuição das feições erosivas lineares que devem ser analisadas de forma minuciosa, por meio do auxílio dos recursos tecnológicos como, por exemplo, o Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Câmara e Medeiros (2001) discutiram importância da utilização do SIG, na integração de dados georreferenciados, na elaboração de mapeamento temático, no diagnóstico ambiental, na avaliação de impacto ambiental, no ordenamento ambiental e nos prognósticos ambientais. Veiga e Silva (2004) discorreram ainda que o SIG trata-se de um sistema de *software* computacional no qual a informação pode ser capturada, armazenada e analisada, combinando dados espaciais de diversas fontes em uma base unificada, representando fenômenos espaciais também variados, por meio de uma série de planos de informação que se sobrepõe corretamente em qualquer localização. Zaidan e Silva (2004) relataram que a tecnologia do geoprocessamento é uma ferramenta eficaz no diz respeito à precisão, à confiabilidade e à velocidade na geração de dados relativos à avaliação ambiental, permitindo a modelagem da realidade ambiental, tornando viável a manipulação de grande volume de dados, o seu tratamento e a sua disponibilização rápida de um universo de informações. Coltrinari (2000) destacou que a integração de pesquisas mediante a adoção de técnicas e linguagens especializadas, converge e possibilita a reflexão conjunta e a produção de resultados integrados, contribuindo para o avanço da geomorfologia.

Com base no exposto dos trabalhos já realizados sobre o município de São Pedro (SP), a bacia do córrego Espraiado foi selecionada para este estudo. Localizada a centro leste deste município, destaca-se pela quantidade e pela distribuição de feições erosivas lineares em diferentes setores e ambientes (rural e urbano), como também pelos diferentes formatos (retilínea, ramificada, entre outros) (Furquim, 2002; Zuquette *et al.*, 2007, entre outros).

Neste contexto, esse trabalho propõe analisar o papel da morfometria (curvatura, declividade e hipsometria) e o uso do solo sobre a gênese e a distribuição das feições erosivas na bacia do córrego Espraiado (SP), por meio de uma análise integrada e quantitativa entre as feições erosivas, morfometria e uso do solo, com a utilização dos índices de PE (Potencial de Erosão) e CE (Concentração de Erosão).

Assim a utilização do SIG será de extrema importância para auxiliar no estudo da ocorrência das feições erosivas lineares na bacia do córrego Espraiado - São Pedro (SP), uma vez que essa ferramenta poderá contribuir significativamente para a elaboração dos mapeamentos dos parâmetros morfométricos e as correlações com as feições erosivas e as classes de uso do solo.

2. OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo central analisar os parâmetros morfométricos e o uso do solo na gênese e na distribuição das feições erosivas da bacia do córrego Espraiado - São Pedro (SP).

Visando alcançar o objetivo principal, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- a) Identificar, quanto ao estágio evolutivo, às principais feições erosivas referente à geometria e às direções de desenvolvimento.
- b) Selecionar as feições ramificadas em diferentes setores da bacia e mensurar (largura e profundidade) para calcular a estimativa de perda de solo (m^3) de todos os polígonos de feições erosivas mapeados em cada cenário.
- c) Analisar o papel dos parâmetros morfométricos na gênese e na distribuição das feições erosivas.
- d) Analisar o papel do uso do solo na gênese e na distribuição das feições erosivas.
- e) Realizar uma análise integrada e quantitativa das feições erosivas, dos parâmetros morfométricos e do uso do solo.

3. ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Córrego Espraiado (Figura 2) está geograficamente localizada a centro leste do município de São Pedro (SP). A cabeceira da drenagem fica ao norte da área territorial do município, com direção NW-SE e o seu canal principal deságua no Ribeirão Araquá, afluente do Rio Piracicaba.

Figura 2: Localização da Área de Estudo

3.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

A bacia tem como substrato rochoso a Formação Pirambóia do Grupo São Bento, de idade Triássico - Jurássica, pertencente à Bacia Sedimentar do Paraná (Zuquette *et al.* 2007). Esta formação está assentada sobre a Formação Estrada Nova, na qual o contato se manifesta por meio de uma brecha sedimentar cuja espessura pode variar de 0,2 a 1,5 metros (Duarte, 1980). A mesma ocupa vasta área na Depressão Periférica Paulista, principalmente na borda oriental, com espessura máxima de 300 m (Dias Ferreira, 1997).

Santoro (1991) comentou que a Formação Pirambóia, devido as suas características litológicas e estruturais, possui depósito de ambiente continental úmido, oxidante, sobretudo fluvial, em canais meandantes e planícies de inundação, com pequenas lagoas esparsas.

Os arenitos da Formação Pirambóia, pela posição estratigráfica inferior da Formação Botucatu, ocupam a maior parte da região de São Pedro. Essa Formação possui encostas dissecadas, patamares resultantes da resistência diferencial à erosão pelos bancos mais resistentes, constituindo terraços estruturais que podem ser confundidos com terraços fluviais (Oka Fiori, 1980; Santoro e Fúlfaro, 1996).

Bósio (1973) caracterizou a geologia da área de São Pedro, por meio de trabalhos de campo, ensaios de laboratório e ferramentas estatísticas. O autor encontrou os seguintes dados: a formação Botucatu na área subdivide-se em duas fácies individualizáveis: uma inferior, denominada Pirambóia e a outra, superior, chamado Botucatu; depósitos lacustres são raros dentro da sequência eólica; a incidência de minerais pesados na Formação Botucatu é inferior a 1%, sendo normal ao redor de 0,5%; o fenômeno da silicificação que ocorre no conglomerado Itaqueri e nos arenitos da fácies Botucatu acha-se correlacionada com o intemperismo de rochas básicas, entre outros.

As estruturas predominantes da Formação Pirambóia são estratificações cruzadas de pequeno a médio porte, intercaladas com maior quantidade de materiais finos (níveis sílticos-argilosos – fração representativa do Neossolos Quartzarênicos) na parte inferior e outras de areia, que se encontram nas áreas mais altas, onde ocorrem arenitos grossos, conglomeráticos (Coutard *et al.*, 1978; Santoro, 1991; entre outros). Suas estratificações caracterizam-se por serem cruzadas ou plano-paralelas que se localizam nas zonas mais baixas atribuída à origem flúvio – lacustre (aquoso¹), de espessura que chega atingir até 3 m; níveis de folhelhos e arenitos argilosos de cores variadas e raras intercalações de natureza arenoconglomerática (Bósio, 1973; Coutard *et al.*, 1978; entre outros). Estes arenitos encontram-se recobertos por pacotes de materiais inconsolidados residuais e retrabalhados, com textura predominantemente arenosa e espessuras variando de 1 até 5m (Araujo e Zuquette, 2009).

3.2. CARACTERÍSTICAS PEDOLÓGICAS

Em relação às características pedológicas, predominam Argissolos, Latossolo vermelho-amarelos, fase arenosa e algumas manchas isoladas de Latossolo vermelhos (antigo latossolo roxo) nas proximidades no qual atingem em média espessura de 15 a 20 metros, derivados de rochas básicas, mais argiloso (Sanchez, 1971; Silva, 1993; Santoro e Fúlfaro, 1996, Furquim, 2002, entre outros).

Os solos do tipo Argissolos são na realidade poligenéticos com superposição de um horizonte A, mais arenosos e friáveis, sobre um horizonte B iluvial. As estruturas em bandas são comuns nos horizontes A, porém com maior frequência na transição A/B, onde são mais espessas e concentradas. Esses horizontes mostram, freqüentemente, estruturas onduladas, contraste textural com transição abrupta entre A e B, principalmente, pela ocorrência de linhas de pedra no limite solo/rocha, e que devido a essa cobertura arenosa e areno argilosa foi denominada de colúvio (Dias Ferreira, 1997). O Argissolo é

¹ Os sedimentos aquosos são formados por depósitos de canais e de planícies de inundação que se repetem ciclicamente (Bósio, 1973).

pedologicamente pouco desenvolvido, constituído essencialmente por minerais de quartzo, excessivamente drenados, profundidade variável, e com estruturação muito frágil (Embrapa, 2009; Canil, 2000). Entretanto, de forma geral, a maioria dos solos é pouco fértil, ácido, marcado pela presença de horizonte subsuperficial arenoso e espesso, oriundo de rochas arenosas, apresentando elevado teor de acidez, com bandas onduladas intercalares e lentes arenosas eluviadas, passando na base dos perfis, a um horizonte profundo similar aos Neossolos Quartzarênicos (Sanchez, 1971; Kawakubo *et al.*, 2006; entre outros).

Oka Fiori (1980), com auxílio de fotografias aéreas e de trabalhos de campo, fez uma caracterização espacial das formações superficiais da área de São Pedro e Piracicaba (SP) e estabeleceu a sua fonte de origem, e correlacionou com os níveis topográficos da área. A autora concluiu que na área podem ser classificados três grupos principais conforme o tipo de material predominante: coluvial, aluvial e aluvião. A mesma autora compreendeu que a gênese destes depósitos implica na existência de duas fontes distintas: a primeira teria fornecido detritos arenosos, enquanto que a segunda teria fornecido sedimentos finos, especialmente argila vermelha.

3.3. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

De acordo com a classificação geomorfológica do Estado de São Paulo (Figura 3), o município de São Pedro, faz parte da unidade geomorfológica conhecida por Depressão Paleozóica, também chamada de Depressão Periférica Paulista (Sanchez, 1969), ou segundo Ab'Saber (1949) de Zona de Circundesnudação Periférica. A mesma é considerada, de acordo com Ab'Saber (1969), como o principal e mais característico compartimento topográfico de origem predominantemente denudacional do Estado de São Paulo, largamente embutida entre as áreas serranas elevadas e acidentadas (750 – 1600m) e as escarpas e festões das altas *cuestas* basálticas 850m – 1100m.

A Depressão Periférica Paulista, na região do município de São Pedro,

apresenta um relevo suave com colinas de encostas convexas e colinas de formato côncavo-convexo, esculpidas em rochas sedimentares da Formação Pirambóia e Botucatu, apresentando encostas com declives predominantemente entre 7° e 10° , podendo chegar até 22° (raramente maiores), nas quais as altitudes variam de 400 a 710 metros. Os interflúvios de topo plano se prolongam numa superfície contínua e ou inclinação suave, desde a escarpa da “cuesta” até o vale do Rio Piracicaba, que funciona como nível de base regional (Barreto, 1970; Santoro, 1991, entre outros).

Figura 3: Divisão Geomorfológica do Estado de São Paulo (Fonte: Modificado de Ross e Moroz, 1997).

A Depressão Periférica Paulista está dividida, em três províncias: Zona do Médio Tietê, Zona do Paranapanema e Zona do Mogi Guaçu, cuja área está localizada, mais precisamente, na primeira província. Esta província está localizada entre o Planalto Atlântico (Planalto de Jundiaí) a leste, o Planalto Ocidental Paulista (Planalto Centro Ocidental e Planalto Residual de Botucatu e de São Carlos) a oeste e a Depressão de Mogi-Guaçu ao norte (Almeida, 1964; Ross & Moroz, 1997; entre outros). Conforme Oka Fiori (1980) a Depressão Periférica Paulista para área da região de São Pedro, pode ainda ser subdividida em 3 níveis geomorfológicos, cuja cotas variam de: 610 – 710 metros (Alto Terraços); 520 – 610 metros (Baixos Terraços) e por fim de 460 – 520 metros (Planície Aluviais).

A Zona do Médio Tietê, que compreende cerca de 15.200 km² e aproximadamente 2/5 da área total da Depressão Periférica Paulista, e uma pequena porção da área pertence à Zona de Cuestas Basálticas (Almeida, 1964). A mesma apresenta formas de relevo denudacionais, com modelado que se constitui basicamente por colinas de topos amplos, tabulares e convexos, altimetrias predominantes entre 500 e 600m, em que estão presentes os típicos “almofadões”, resultantes do trabalho erosivo dos rios e das águas pluviais nos terrenos predominantemente arenosos. Vale ressaltar que essa província apresenta declividades entre 5% e 10%, forma de dissecação média, com vales entalhados e densidade de drenagem² média e alta, o que implica, portanto um nível de fragilidade potencial médio a baixo (Sanchez, 1969; Almeida, 1974; Carpi Junior, 1996; Ross & Moroz, 1997).

A Bacia do Córrego do Espraiado estende-se na direção noroeste-sudeste. Seu vale é aberto em formato plano, com exceção da cabeceira, onde é fechado e encaixado. Ao longo do córrego há presença de terraços, que compõem a planície aluvionar. As encostas da margem esquerda são côncavas na parte superior e convexas nas médias - inferior. Da margem direita são retilíneas na sua parte superior e côncavas no terço intermédio inferior, apresentando maior número de feições erosivas (Zuquette *et al.*, 2007).

² Rede de drenagem da Zona do Médio Tietê apresenta-se bem organizada e nela destacam-se o rio Tietê e seus dois afluentes, o rio Piracicaba e o Sorocaba (Ross & Moroz 1997).

3.4. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E DO USO DO SOLO

De acordo com a classificação de KÖPPEN e a divisão climática do Estado de São Paulo, predomina o tipo CWa, representando clima mesotérmico (verão quente e úmido com inverno seco) tropical de altitude, com pluviosidade média anual de aproximadamente de 1200 mm a 1370 mm. As temperaturas médias mensais do período mais quente (outubro a março) oscilam entre 22 °C e 27 °C, e as do período mais frio (abril a setembro) entre 16°C e 19°C, isto é, uma notável moderação em relação à amplitude térmica, cujas médias anuais são superiores a 22°C (Conti, 1971). Desta forma, o município de São Pedro apresenta basicamente um período chuvoso nos primeiros e nos últimos meses do ano, e um período sensivelmente mais seco nos demais meses (Santoro, 1991), em que o total de chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm (Silva, 1977).

Há influência da altitude e da configuração do relevo (serra de São Pedro³) nas oscilações térmicas e pluviométricas da área de estudo, uma vez que as alterações das características gerais do clima da maior parte do município (diminuição normal da temperatura com o aumento da altitude da cidade de São Pedro 550m em média, e alto da “serra”, aproximadamente 900 m) geram conseqüentemente o efeito orográfico e as alterações nos deslocamentos das massas de ar, com chuvas mais abundantes nos rebordos escarpados e no seu reverso imediato (Sanchez, 1971; Facincani, 1995, entre outros). Observa-se que a área do presente estudo está inserida numa área de transição, onde se verifica o campo de conflito das massas de ar vindas do leste, a Tropical Atlântica, do noroeste, a Equatorial e Tropical Continental, e as do sul, as Polares (Santoro, 1991).

A vegetação original (mata latifoliada) encontra-se em grande parte substituída por pastagens, cana-de-açúcar, culturas anuais e reflorestamento (eucalipto), mas é possível encontrá-la ainda em locais restritos, como nas áreas de drenagem e na parte superior de algumas encostas (Sanchez, 1971;

³ O Clima na Serra de São Pedro conforme a classificação do KÖPPEN trata-se do CWb - temperado com inverno seco e temperatura do mês mais quente inferior a 22°C (Buzato, 2000).

Zuquette *et al.*,2007; Araujo e Zuquette, 2009, entre outros). Grande parte da mata ciliar encontrada atualmente deve-se ao replantio de mudas (Araujo e Zuquette, 2009), e que de forma geral, a distribuição da vegetação está condicionada principalmente pela presença de solos de tipos diferenciados tais como as características de fertilidade e de profundidade (Carpi Junior, 1996).

A substituição das matas ciliares por atividades econômicas agrícolas já foi registrada em 1962 (Figura 4), e depois de algumas décadas, a implementação de loteamentos também começou a se destacar em alguns setores da bacia (Figura 5).

Figura 4: Nota-se apenas resquícios de mata ciliar distribuídos pela bacia, devido a substituição da mata ciliar por atividades agrícolas. Fonte: Base, S.A. (Fotografia Aérea de 1962). (Sem escala).

Figura 5: Principais usos do solo no afluente da Bacia do Córrego Espreado (Imagem de Satélite de 2005). Fonte: Modificado de Araujo (2008). Sem escala.

3.5 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS

Em relação às características hidrográficas da Depressão Periférica Paulista mais precisamente na região do Município de São Pedro, a densidade de drenagem é baixa a média, caracterizado por uma distribuição muito homogênea (Oka Fiori, 1980), apresentando cursos d'água com vales alongados, com destaque para o Vale do Rio Piracicaba (como nível de base regional) direção geral norte-sul e seus afluentes são: Ribeirão do Meio, Ribeirão Vermelho, Ribeirão Araquá e Ribeirão Samambaia. Esses rios apresentam-se encaixados em vales muito largos com fundo chato (plano) e encosta geralmente abrupta e com alto poder erosivo (Duarte, 1980; Oka Fiori, 1980; entre outros). Próximo a escarpa da Serra de São Pedro, alguns cursos d'água, como o Ribeirão Samambaia, Ribeirão do Meio e o Ribeirão Vermelho, apresentam nos seus vales, seixos, cascalhos e blocos de basalto, indicando um curto transporte (Oka Fiori, 1980).

Conforme Duarte (1980), a competência atual dos ribeirões é suficiente apenas para transportar sedimentos arenosos, no entanto o autor advertiu que a presença de níveis de seixo nos terraços fluviais indica maior competência desses ribeirões em passado geológico não muito remoto. Barreto (1970) informou que é possível observar em fotografias aéreas, certo paralelismo nos trechos de alguns desses rios, o que torna óbvio a estrutura fraturada e possivelmente falhada da rede de drenagem local.

As direções NE–SW e NW–SE, como é o caso do alto curso dos rios Passa Cinco, da Lapa e Cantagalo no sopé da escarpa da Serra de Itaqueri são mais freqüentes na região do município de Charqueada, devido à litologia quase impermeável, propiciando uma drenagem em evidência (Duarte, 1980). O paralelismo existente na drenagem, os vales suspensos dos riachos que descem a escarpa, o traçado retilíneo das indentações (depressões) da “cuesta” e a dissimetria das margens de alguns rios da depressão indicam uma estrutura fraturada e possivelmente falhada no traçado da rede de drenagem local (Barreto, 1970; Duarte, 1980, entre outros).

4. PROCESSOS EROSIVOS

Para o entendimento dos processos erosivos, essa pesquisa partiu do pressuposto de Ab'Saber (1969) que estabelece três níveis de abordagem para uma pesquisa geomorfológica: a) 1º nível: compartimentação da topografia regional, assim como da caracterização e descrição das forma de relevo estudada. b) 2º Nível: obter informações sistemáticas sobre a estrutura superficial das paisagens referentes a todos os comportamentos e forma de relevo observado, ou seja, a interpretação da sequência de processos paleo-climáticos e morfoclimáticos quartenários da área de estudo. c) compreender a fisiologia da paisagem, através dos processos morfoclimáticos e pedogênicos atuais, em sua plena atuação.

Tricart (1965) também discutiu que a carta geomorfológica em escala de maior detalhe, é fundamental para a realização de uma pesquisa em geomorfologia, uma vez que constitui-se num documento de alto grau de complexidade, por apresentar grande quantidade de informações registradas: morfometria, morfografia, morfogênese e morfocronologia. O mesmo autor considera que as fontes de dados necessárias baseiam-se na interpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas, mapeamentos geológicos, base cartográfica, visando o fornecimento de uma análise de todos os elementos do relevo, e enfatizando, principalmente as ações antrópicas, conforme os princípios dos sistemas controlados.

A abordagem das variáveis formas, processo e fluxo e também da influência externa, fatores fundamentais para entender a gênese e a esculturação do relevo (sistemas de processos - respostas), são enfatizadas pelos sistemas controlados, que, de acordo com Christofletti (1979), examinam a intervenção humana nas relações entre o processo e as formas e, consequentemente, as modificações produzidas na distribuição da matéria e energia, dentro dos sistemas.

Chorley (1971) também afirma que a relação entre os processos e as formas coloca-se no âmago da geomorfologia e, na prática, as duas estão ligadas como causa e efeito. Assim, o conhecimento da forma auxilia a compreensão dos processos, e os estudos sobre os processos ajudam a entender os aspectos significantes das formas.

Neste contexto, a formação de feições erosivas apresenta comportamento diferenciado, de acordo com a fisiografia da paisagem de cada região. Ao mudar as dimensões do tempo e do espaço, também mudam as relações múltiplas causais e o sistema morfogenético precisa ser reconsiderado (Cruz, 1985; Canil, 2000, entre outros). Desta forma, existe uma grande quantidade de denominações referentes aos processos erosivos, tais como: erosão natural, erosão acelerada, erosão em lençol e erosão linear.

A **erosão natural** tem causas relacionadas à própria natureza, como a erosividade das chuvas, à declividade, ao comprimento e à forma das encostas, erodibilidade dos solos, ao tipo de cobertura vegetal, entre outros (Amaral, 1939; DAEE, 1989; Grissinger, 1996; entre outros).

A **erosão em lençol (laminar)** pode ser provocada pelo escoamento superficial difuso, erodindo, em uma camada fina e paralela toda a superfície do solo, como se fosse uma lâmina. Trata-se de uma remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo por meio do impacto das gotas de chuva na superfície do terreno (Amaral, 1939; Kirkby e Morgan, 1980; Lepsch, 2002; Bertoni e Lombardi Neto, 2008, entre outros).

A **erosão linear** é produzida pelo escoamento superficial concentrado e contínuo das águas correntes na superfície terrestre, sobretudo em encostas côncavas, solos desprotegidos, e em terrenos com declives regulares ou acentuados, com relação à superfície desnivelada (Figura 6). A interferência antrópica pode proporcionar uma maior velocidade nas alterações das propriedades dos solos, por meio do crescimento urbano inadequado, de práticas agrícolas inadequadas, entre outros (Amaral, 1939; Kirkby e Morgan, 1980; Baptista 2003; Araújo *et al.*, 2007; entre outros).

A erosão acelerada é provocada pela ação do homem, por meio do uso e do manejo do solo, como por exemplo, o desmatamento, a construção civil, a implantação de estradas, a expansão urbana, entre outros (Kirkby e Morgan, 1980; Bigarella 2003; Bertoni e Lombardi Neto, 2008, entre outros).

O surgimento dos processos erosivos e a sua evolução são inerentes às características do meio físico, cujo solo, a morfologia, a cobertura vegetal, o vento, a litologia, a ação humana (uso do solo) e a energia cinética das chuvas, são fatores determinantes na análise da evolução desses processos.

Figura 6: Processos erosivos de estágio avançado (voçoroca) no município de São Pedro (SP). Nota-se taludes e profundidades acentuada, como também presença de solo exposto. Fonte da Foto: Daniel, 2009.

4.1 CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS

A composição mineralógica exerce influência na ocorrência dos processos erosivos, devido à ação no grau de alteração, como também na suscetibilidade de alteração dos minerais presentes. A granulometria dos minerais também influencia a alteração, já que quanto menor o grão, maior a razão entre sua superfície e o seu volume, e conseqüentemente, maior a sua exposição aos agentes intempéricos (Bigarella, 2003).

Goudie (2004) afirma que a litologia tem forte influência na tipologia e na velocidade dos processos erosivos. O autor citou exemplos de escarpas, superfície irregular, afloramento de rochas mais resistentes, resultados da erosão diferencial. No entanto, o mesmo autor faz uma ressalva de que a erosão diferencial não depende somente da litologia, mas também de suas propriedades físicas e mecânicas, uma vez que rochas litologicamente semelhantes têm ampla gama de propriedades físicas e mecânicas que refletem a diagênese, deformação tectônica, descarga e intemperismo.

Box e Bruce (1996) explicam que a presença de fragmentos de rochas na superfície do solo pode influenciar na taxa de infiltração, de forma negativa quanto positiva, o que difere dos fragmentos já existentes na superfície. Coelho Netto (2003) analisou, em trabalho realizado no médio Vale do Paraíba do Sul (SP/RJ) que devido à infiltração da água nas fraturas subverticais há formação dos túneis erosivos e o colapso dos taludes. A evolução destes túneis foi constatada pelos avanços remontante e lateral a partir de mensurações entre agosto de 1990 e setembro de 1991, obtendo-se uma taxa erosiva ordem de $0,092\text{m}^3/\text{ano}$, como também foi observado o colapso do teto no ano de 2000.

Drumond e Bacellar (2006) realizaram um trabalho em relevo de rochas gnáissicas no Alto Rio das Velhas (MG), onde os processos de erosão hídrica atuam sobre os saprolitos, que são mais erodíveis, com destaque para a erosão laminar, em sulcos e por salpicamento. No entanto, nos setores com rochas mais resistentes ao intemperismo, ao redor de níveis de base, predominaram escorregamentos planares em descontinuidades da rocha alterada.

4.2. CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Os solos são conseqüências das alterações das rochas e de processos pedogenéticos (agentes físicos, químicos e orgânicos), contrabalanceados pelo processo de erosão. Quando ocorre o desequilíbrio entre a velocidade do processo de erosão e o processo de formação dos solos, origina-se conseqüentemente, os processos erosivos (Daee, 1989; Daee, 1990, entre outros).

Auzute *et al.* (2004) explicam que compreender como a variabilidade espacial e temporal das características do solo influencia os processos erosivos é uma questão fundamental para analisar as ocorrências dos processos erosivos em diferentes escalas (maior e menor detalhe).

Neste contexto, é pertinente destacar a importância da erosividade que remete a capacidade potencial do processo em causar erosão, e a erodibilidade que engloba as características do solo, e determina a resistência ou vulnerabilidade (desprendimento e transporte) quanto aos processos erosivos (Selby, 1993). Essas duas características variam com a textura, estabilidade de agregados, resistência, capacidade de infiltração e teor de matéria orgânica e química (Morgan, 2005).

Na maioria das vezes, solos mais arenosos se desagregam mais facilmente que os solos argilosos, sendo a textura (tamanho das partículas) uma das principais propriedades que condicionam a erosão, pelo fato de que algumas frações granulométricas são removidas mais facilmente do que outras (DAEE, 1989; Baptista 2003; Ab' Saber, 2006; Araújo *et al.*, 2007; Bigarella, 2003, entre outros).

O teor de matéria orgânica (horizonte diagnóstico de superfície) que depende, sobretudo, da fauna e flora, das raízes ou dos microorganismos sobre ou dentro do solo, é considerada um elemento importante para agregação das frações granulométricas, e conseqüentemente para auxiliar a estabilidade dos agregados. Esse elemento possui uma correlação inversamente proporcional com a erodibilidade, principalmente em solos com alto teor de silte e areia. Essa situação se justifica pelo fato que os solos com

menos de 3,5% de matéria orgânica apresentam agregados instáveis (Ab'Saber, 2006). É importante salientar a importância da acidez e alcalinidade (reação do solo), que influencia diretamente no desenvolvimento de microorganismos, como também na disponibilidade de nutrientes às raízes das plantas (Kiehl, 1979).

Leguédois e Bissonais (2004) realizaram um trabalho experimental baseado em simulações de chuva e em testes de estabilidade de agregados com dois tipos de solos: um franco-argiloso pouco suscetível à erosão e outro solo argiloso mais suscetível e concluíram que a estabilidade dos agregados é um fator chave para explicar a baixa erodibilidade dos solos franco argilosos.

A estrutura do solo (arranjo das partículas do solo em grupos ou agregados), que está relacionada com as unidades estruturais, com a combinação maciça ou arrumação global das frações granulométricas primárias do solo em agrupamento secundário, denominados de “agregados” ou “pedos” num horizonte, determina a descrição morfológica dos perfis de solos (Brady, 1989). Desta forma, há evidência imediata de que a movimentação da água, a transferência de calor, a aeração, a densidade aparente e a porosidade, são consideravelmente influenciadas pela estrutura (Grohmann, 1972; Brady, 1989; Prado, 1995). A instabilidade dos grãos nos solos arenosos também está relacionada à estrutura, devido esse tipo de solo estar classificado como solos sem estrutura ou também como solos de grãos simples (Kiehl, 1979).

A porosidade dos solos é um fator preponderante na formação dos processos erosivos, uma vez que os espaços porosos possibilitam a percolação de água e de ar (Grohmann, 1972; Brady, 1989). Há dois tipos específicos de porosidade: macroporosidade e microporosidade, sendo que os solos arenosos apesar de ter porosidade total reduzida, a movimentação do ar e da água é rápida face à predominância dos macroporos. Em solos argilosos apesar da maior quantidade de espaços porosos, ocorre uma movimentação lenta de gases e água, devido à predominância de microporos, que se mantém frequentemente preenchidos por água (Brady, 1989).

Kiehl (1979) reforçou afirmando que a tendência da distribuição de partículas em formato piramidal, com menor espaço vazio, também contribui para a rápida percolação de água e do ar em solos arenosos. No entanto, em solos argilosos as partículas não se arranjam de maneira tão compactada, visto que a distribuição em formato cúbico possui um maior espaço vazio.

4.3. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

A morfometria, sobretudo as encostas, por meio da declividade, do comprimento e da forma de encostas, tem uma relação relevante com a formação dos processos erosivos. Almeida (2002 p.22) elucidou que “[...] esses atributos são utilizados para avaliar o grau de energia e a suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos e deposicionais, além das potencialidades à ocupação [...]”. Desta forma, o transporte de água e de sedimentos é determinado pela geometria das encostas, uma vez que maiores velocidades de erosão podem ser mais freqüentes em relevos acidentados, como morros, do que em relevos suaves, como colinas amplas.

As declividades mais acentuadas favorecem a concentração e as maiores velocidades de escoamento das águas, aumentando sua capacidade erosiva e sendo uma das grandes responsáveis pela energia cinética das águas (Torri, 1996). Assim, a compreensão de como cada parâmetro de uma encosta influencia na distribuição dos focos erosivos é de grande importância para o entendimento dos processos.

Buscando compreender estes parâmetros, Ruhe (1975) propôs que uma encosta pode ser definida espacialmente por três componentes geométricos: o gradiente, o comprimento da encosta e a largura da encosta. Assim, três formas são possíveis ao longo do comprimento (perfil) e largura (forma) das encostas: linear, convexa e côncava, compondo nove geometrias básicas que condicionam diferentes direções dos fluxos hídricos (Figura 7).

A partir das diversas combinações, formam configurações específicas de escoamento superficial, são elas: encosta linear – linear, onde a água não

consegue convergir em canais, e o escoamento em lençol (*sheet wash*) predomina; encosta convexa – linear, onde o escoamento em lençol predomina, mas a velocidade aumenta com o gradiente encosta abaixo, induzindo maior erosão; encosta côncava – linear, onde o escoamento em lençol tem grande efeito. O gradiente mais íngreme da encosta acima proporciona maior velocidade de escoamento e erosão, enquanto o menor gradiente abaixo produz menor velocidade e promove a deposição; encosta linear – convexa, onde o escoamento é divergente e a água tende a se dispersar; encosta linear - côncava, onde o escoamento é convergente, através de canais, possivelmente contribuindo para a formação de voçorocas e canais de primeira ordem. Lembrando que as outras combinações formam sistemas muito complexos de escoamento superficial em termos de padrão e velocidade (Ruhe, 1975).

Selby (1993) e Bigarella (2003) colaboraram com estas informações, ao atestarem a importância da declividade e do comprimento das encostas para o aumento da energia do *runoff* e conseqüente ampliação dos efeitos erosivos e da perda do solo. A primeira, refletindo o gradiente hidráulico da encosta e, a segunda, permitindo o incremento no potencial energético.

Brady (1989) também preconizou que o comprimento da encosta assume importância primordial, pois quanto maior for a extensão da área em desnível, maior será a concentração da enxurrada. O mesmo autor abordou que em pesquisas no sudoeste do Iowa/EUA a duplicação do comprimento da encosta em 9% de desnível, aumentou em 2,6 vezes as perdas de solo e o escoamento da água em 1,8 vezes. Essa influência do desnível é, por certo, modificada pelo tamanho e pela topografia geral da drenagem. Para o autor outro fator que ocasiona modificações nas perdas de solo e no escoamento é a presença de canais, não só na área erodida, como também na bacia de captação, sendo que o assentamento desses canais regula a finalidade de concentração da água.

Figura 7: Representação das combinações geométricas básicas, em função das associações de formas lineares, côncavas e convexas eventualmente encontradas numa encosta. Fonte: Modificado de Ruhe (1975).

Salomão (1994), estudando parte da bacia do médio e baixo Tietê (SP), observou maiores concentrações de ravinas e de voçorocas em relevos mais movimentados, mostrando a grande influência da declividade no favorecimento da concentração das águas superficiais.

Tamene e Vlek (2007) reiteraram que a variação na inclinação das bacias hidrográficas aumenta o processo de transporte das partículas do solo, resultado do aumento do fluxo de energia. Segundo os autores, a variação na inclinação também provoca a diminuição da distância do escoamento e a possibilidade do depósito ser mais baixa. Ainda esses autores citam trabalhos realizados em bacias hidrográficas no planalto do norte da Etiópia por meio da aplicação de modelos e concluem que a erosão é maior do que a deposição, o que significa que a perda de solo é maior que a quantidade que pode ser

redistribuída na captação, resultando no aumento do potencial para a exportação de sedimentos.

Alguns autores definem que a ação dos processos erosivos pode provavelmente ser mais freqüente em encostas com mais de 15% de declive (DAEE, 1990; Bigarella, 2003, entre outros). Brady (1989) acrescentou que na teoria, a duplicação da velocidade possibilita à água movimentar partículas de tamanhos até 64 vezes maiores, carregar material em suspensão em quantidade 32 vezes maior e proporcionar um poder total de erosão 4 vezes maior.

Sobre as curvaturas das encostas, Kirkby e Chorley (1967) afirmam que a curvatura côncava, em perfil, potencializa os fluxos hídricos e a curvatura côncava em planta, produz a convergência destes fluxos, e que estes fatores estão entre os principais associados aos processos erosivos.

Castro (2005), analisando a alta bacia do Rio Araguaia, observou que o processo de voçorocamento é fortemente condicionado pela suscetibilidade dos solos e do relevo, particularmente em zonas concavizadas, com declividade entre 8 e 12%, e também por direções estruturais dominantes ligadas ao acamamento e ao sistema de fraturas. Tais fatores, segundo a autora, influenciam tanto o seu surgimento quanto a sua evolução, pois favorecem fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais concentrado e convergente para a base das encostas.

Derosé *et al.*, (1998) relataram, por exemplo, que na Nova Zelândia a grande maioria das voçorocas de menor porte ocupa áreas topograficamente convergentes em bacias canalizadas. Já as maiores voçorocas têm o anfiteatro (curvatura côncava) como forma principal, e ocupam praticamente toda a bacia de drenagem, e se desenvolvem associadas à prática de cortes de do terreno.

Em relação ao aspecto das encostas, Ruhe (1975) relatou que este parâmetro permite explicar as diferenças na temperatura, na umidade do solo e na cobertura vegetal. Jones (1997) apresentou um caso empírico, afirmando que na Grã-Bretanha existe uma predominância da freqüência de *piping* nas

encostas voltadas para sul, sugerindo um importante papel das rachaduras de secamento na iniciação dos *piping*.

Torri (1996) explicou que o vento possui uma direção predominante, o que faz com que ocorra uma maior evaporação na encosta de barlavento (encostas voltadas para o sul). Essa tendência gera uma frequência maior de umidade que provoca uma menor resistência do solo ao deslocamento, consequência da desorganização das partículas e do rápido processo de secagem. Contudo, o mesmo autor ressalta que na encosta de sotavento, o efeito do vento em desprender o material será menor do que na encosta de barlavento. Concomitantemente, as diferenças de deslocamento inicial, aumentam ainda mais pela distribuição irregular da chuva, e consequentemente na velocidade e na intensidade do seu impacto.

4.4. CARACTERÍSTICAS DA COBERTURA VEGETAL

A cobertura vegetal (agente natural predisponente) protege o terreno por meio da interceptação da folhagem, reduzindo e dissipando o impacto direto das gotas de chuva no solo, como também o escoamento superficial (Box e Bruce, 1996; Morgan, 2005).

Muitos estudos concordam que 30% da cobertura vegetal protegem o solo contra a erosão (Goudie, 2004), uma vez que a água circula ao redor dos troncos e das raízes (DAEE, 1989; Santoro, 1991; Selby, 1993; Almeida, 2002; Bigarella, 2003) e age como responsável pela estruturação do solo, por meio do sistema radicular, ou seja, as raízes aumentam a resistência mecânica do solo, sobretudo na defesa da ação erosiva das águas (Almeida, 2002; Morgan, 2005, entre outros).

Greene e Hairsine (2004) elucidaram que a vegetação mantém um maior conteúdo de umidade superficial no solo, por uma proporção de tempo significativa, o que corresponde ao aumento na gama de condições para a estabilização da superfície, e, portanto, diminui a probabilidade de formação da crosta ou da selagem do solo. No entanto, Riser (1995) advertiu que a

transpiração das plantas pode provocar a perda de umidade do solo, como também pode isolar o solo contra as altas e as baixas temperaturas, limitando a sua dissecação e o congelamento.

No entanto, a eficácia da cobertura vegetal depende da sua densidade, como também da altura e da continuidade do dossel, visto que as gotas de água caindo de uma altura de 7 m podem atingir mais de 90% da sua velocidade terminal, como também as gotas de chuva interceptadas pelo dossel podem coalescer sobre as folhas e formar gotas maiores, e, portanto, mais erosivas (Morgan, 1995).

A importância da cobertura vegetal é comprovada, quando ocorre a sua retirada nas áreas, sobretudo para as práticas agrícolas, principalmente em culturas temporais de ciclo anual, pois este período é o mais crítico em função da preparação do solo para cultivo, onde o solo é arado e torna-se exposto por várias semanas às precipitações, o que aumenta a possibilidade de ocorrer os processos. Desta forma, a retirada da cobertura vegetal, leva à ação direta das chuvas, que onde, além dos efeitos mecânicos, ocorre a eliminação da reserva da matéria orgânica - húmus (DAEE, 1989; Baptista 2003; Araújo *et al.*, 2007; Bigarella, 2003, entre outros).

4.5 ENERGIA CINÉTICA DAS CHUVAS

A magnitude e a frequência da chuva constituem parâmetros essenciais na análise da deflagração e da evolução dos processos erosivos. Uma chuva de mesma intensidade tem capacidade de acelerar, de forma mais acentuada, os processos de dinâmica superficial em terrenos arenosos com alta declividade e sem cobertura vegetal, do que em terrenos planos e com vegetação (Santoro, 1991; Canil, 2000, entre outros).

Greene e Hairsine (2004) enfatizaram que as consequências da chuva na superfície do solo e as mudanças físico-químicas, como também o poder de dispersão no solo, são aspectos fundamentais para entender o potencial de

erosão, pelo fato de ser o principal controlador da superfície da crosta, da selagem e do desprendimento de partículas.

A energia cinética da chuva por meio da intensidade, da duração, da massa, do diâmetro e da velocidade é a expressão mais importante para entender o poder erosivo da chuva (Morgan, 2005). Uma precipitação anual, mediante numerosas chuvas suaves, poderá ocasionar pequenas erosões, e uma precipitação menor e torrencial poderá causar sérios prejuízos, ou seja, a distribuição sazonal das chuvas é decisiva na determinação das perdas de solo por erosão (Brady, 1989).

O escoamento superficial pode ser capaz de arrastar grande quantidade de solo dependendo da resistência das rochas, da exposição do solo, entre outros. O desprendimento das partículas e a sua movimentação pelo impacto das gotas de chuvas são de grande importância na erosão dos solos, representando muitas vezes a fase erosiva inicial dos processos.

Os impactos das gotas de chuva exercem influência sob três aspectos importantes: fracionamento do solo, destruição da granulometria, e salpicos que, sob certas condições, produzem o transporte de quantidade apreciável de solo. Segundo Brady (1989), em algumas situações é tão grande a força exercida pelo impacto da chuva, que os grãos do solo, além de fracionados, podem ser reduzidos e ocasionar salpicos num total de 225 Mg/ha de solo, uma vez que as gotas se elevam a 0,7 m e se deslocam na horizontal de 1 a 2 m.

Além disso, Bryan (2000) destacou a influência do vento que pode aumentar a velocidade de impacto e a mudança do ângulo das gotas de chuvas, como também a interferência no dossel, que também pode alterar a queda, o tamanho e a velocidade do impacto da água no solo.

Já em relação à infiltração da água do solo, a mesma alimenta o lençol freático e colabora para que outros mecanismos atuem na dinâmica de evolução dos processos erosivos. A ocorrência de uma chuva prolongada e a conseqüente saturação do solo provoca, bem como o escoamento superficial, o

escoamento subterrâneo, e a partir deste, deslizamento e desmoronamento dos taludes instáveis das encostas internas das voçorocas (Canil, 2000).

Augustin e Aranha (2006) analisaram que os dutos (*piping*) ou túneis se formam a partir do carreamento de pequenos grãos do solo (argila, colóides) ou mesmo por meio da remoção do solo por solução. Assim o transporte ocorre por meio da condução de sólidos ou de componentes dissolvidos em rotas preferenciais, o que lhes confere atuação de forças físicas e químicas. O desenvolvimento das rotas preferenciais de escoamento sub-superficial pode levar a formação de uma rede interligada de fluxos e o surgimento das voçorocas, por meio do colapso do teto dos túneis e consequentemente o alargamento por escoamento superficial.

4.6 FATORES ANTRÓPICOS

Além das características naturais, é importante a análise do uso do solo, uma vez que intervenção humana pode ser decisiva para evolução dos processos erosivos. Esta exige a determinação das formas e das práticas de uso mais adequadas possíveis, para que essa evolução seja minimizada e para que os processos sejam controlados (DAEE, 1989; Baptista, 2003 entre outros).

A ocupação urbana inadequada (ex. o corte de encostas para a construção de casas, prédios e ruas), práticas agrícolas (ex. monocultura por meio do uso da mecanização, a utilização de fertilizantes, o desmatamento), e a mineração, são exemplos de atividades humanas que desestabilizam encostas e podem promover o surgimento de processos erosivos.

Na área urbana as alterações ambientais são mais intensas e significativas, em decorrência do maior adensamento populacional e do uso sem adoção de critérios adequados (Santoro, 1991; Almeida, 2002, entre outros). As causas mais comuns das voçorocas envolvem ações humanas, por meio do desmatamento, pastagem próxima a encostas, desvio ou

concentração do escoamento através da construção de estradas (Goudie, 2004).

As diferentes classes de uso do solo apresentam uma variável dinâmica, que exercem papel importante na evolução dos processos erosivos, ou seja, os diferentes tipos de uso do solo podem contribuir, em diferentes níveis, para o potencial de indução à erosão (Canil, 2000). Toda atividade humana, em suas diferentes formas de uso do solo, é modificadora do meio ambiente, alterando os processos, e conseqüentemente a elaboração das feições da paisagem e evolução do ambiente, que são resultados da interação entre os componentes bióticos e abióticos (Almeida, 2002).

Lohmann e Santos (2005), no trabalho realizado na Bacia Hidrográfica do Arroio Guassupi – São Pedro do Sul/RS por meio da abordagem morfopedológica, observaram o desequilíbrio entre infiltração e escoamento superficial, provocado pelo uso intensivo do solo e o manejo inadequado, que conseqüentemente ocasionou a desestruturação e compactação em superfície e subsuperfície, o que dificultou a infiltração das águas das chuvas e facilitou a ativação dos processos erosivos por fluxos superficiais concentrados.

As ações errôneas submetem o meio físico à ação dos processos geomorfológicos, que são resultado do rompimento do equilíbrio morfodinâmico, visto que, a intensidade da intervenção antrópica é capaz de desestabilizar um ou mais elementos do sistema, por meio das formas de uso do solo (Canil, 2000). Entretanto, é pertinente comentar a importância dos instrumentos de planejamento que ordenam e disciplinam o uso do solo, tais como Lei de Uso do Solo, Leis Ambientais e Plano Diretor. São ações ou diretrizes que visam amenizar e prevenir o surgimento ou a evolução de problemas ambientais.

Gutierrez *et al.* (2009), realizaram uma pesquisa sobre os processos erosivos no fundo de vale de uma bacia localizada no sudoeste da Espanha, visando analisar a evolução dos processos associada ao uso do solo e à cobertura vegetal. Os autores utilizaram fotografias aéreas em diferentes cenários (1945, 1956, 1989, 1998, 2002 e 2006) para fazer o mapeamento das

voçorocas junto com o uso do solo e a cobertura vegetal. Os mesmos autores concluíram que o aumento das áreas prejudicadas pela erosão, estava diretamente relacionado ao uso da terra, especialmente a quantidade de áreas cultivadas e a intensidade de pastagem. Ressaltam ainda que não encontraram nenhuma relação clara entre a erosão e a chuva, provavelmente devido à escala temporal dos dados, grandes períodos entre cada observação das erosões e também a alta variação das chuvas.

Nyssen *et al.* (2002), apresentaram um estudo sobre o impacto da construção de estradas nas montanhas da Etiópia. Os autores analisaram que a construção da estrada entre 1993 e 1994, entre Makalle e Adwa nas terras altas do Tigre (norte da Etiópia), provocou a formação de voçoroca devido à maior concentração do escoamento superficial e do desvio do mesmo para outras bacias hidrográficas.

O trabalho de Meyles *et al.* (2006), na bacia do Ribeirão Venford, sudoeste da Inglaterra, investigou os impactos da pastagem na encosta, nas propriedades hidrológicas e na descarga de fluxo. Os autores perceberam que durante a chuva, o movimento de água no solo pode ter ocorrido mais rapidamente em áreas de pastagens mais intensa, uma vez que aumentou a velocidade do fluxo de canais efêmeros. No entanto, apesar da pastagem nas terras altas estar geralmente associada à perda de vegetação e erosão, concluíram que mesmo antes da vegetação ser completamente removida, já existia uma resposta hidrológica, devido à mudança mais sutil nas propriedades hidrológicas do solo. Os autores compreenderam que a pressão da pastagem foi insuficiente para induzir diretamente a erosão, mas que sua influência sobre os solos e a hidrologia pode estar relacionada a processos geomorfológicos, como no caso a erosão e a sedimentação, que aumentaram ainda mais a jusante.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar o objetivo principal desta pesquisa, que consistiu em analisar as influências do uso do solo e morfométricas na gênese e na distribuição das feições erosivas, os procedimentos e materiais utilizados foram divididos em cinco etapas: Mapeamentos de Feições Erosivas (5.2); Mapeamentos do Uso do Solo (5.3); Mapeamentos Morfométricos (5.4) e Análise Integrada e Quantitativa (feições erosivas x parâmetros morfométricos x uso do solo) (5.5) (Figura 8).

Figura 8: Fluxograma correspondente às Etapas Metodológicas da Pesquisa

5.1 SELEÇÃO DA ÁREA PILOTO - JUSTIFICATIVAS

A região do município de São Pedro apresenta um significativo volume de ocorrência de feições erosivas em áreas urbanas e agrícolas. Embora os trabalhos já realizados no município tenham contribuído significativamente para o conhecimento das feições erosivas na área, conforme já citado ao longo deste trabalho, é de suma importância que se faça uma investigação integrada dos condicionantes destas feições, considerando numa escala de bacia hidrográfica o papel da morfometria e do uso do solo, por meio de uma perspectiva histórica. Desta forma, para melhor analisar as principais feições erosivas no município de São Pedro, e se tratando de uma escala de detalhe 1:10.000, é primordial selecionar uma bacia hidrográfica significativa quanto às feições erosivas no município.

Os critérios para a seleção da área foram estabelecidos por meio de consultas bibliográficas e discussões a respeito dos trabalhos já realizados no município de São Pedro, sobre feições erosivas. São eles:

- a) Volume significativo de feições erosivas em diversos estágios evolutivos, distribuídos ao longo da área e não somente feições erosivas em estágios avançados e em menor volume;
- b) Presença de feições erosivas em diferentes classes de uso (área urbana consolidada, área consolidadas, áreas rurais, entre outras).
- c) Análise de trabalhos sobre feições erosivas já realizados em São Pedro, tais como: Perez Filho *et al.* (1986), Santoro (1991), Santos e Fulfaro (1996), Silva (2003), Yamanouth (2003), Almeida Filho *et al* (2004), Ferreira (2004), Zuquette *et al* (2007), Guimarães (2008), Pinheiro (2009), Mathias (2011), Araujo (2011), entre outros.
- d) Análise de cartas geomorfológicas de São Pedro (Queiroz Neto e Journaux, 1978), mapa geomorfológico do Estado de São Paulo (Ross e Moroz, 1997), esboço pedológico de São Pedro (Furquim, 2002), entre outros.

Referente às etapas de laboratório foi realizado o levantamento e posteriormente a utilização de vários materiais. Dentre os materiais, utilizaram-se fotografias aéreas em diferentes cenários (1962, 1972, 2000 e 2006) nas respectivas escalas: 1:25.000, 1:25.000, 1:30.000 e 1:30.000; Cartas Topográficas de Escala 1:10.000 datada de 1979; Mapas Pedológicos, Geológicos e Geomorfológicos e Sistema de Posicionamento Global (GPS). Os mapas foram obtidos por meio de alguns trabalhos como os de: Furquim (2002), Yamanouth (2003) e Zuquette *et al.*, (2007).

Foram realizadas visitas técnicas em grande parte da extensão territorial do município de São Pedro/SP. Essas visitas se constituíram por meio da utilização dos materiais de laboratório, principalmente mosaico de cartas topográficas e fotografias aéreas. É pertinente relatar que em todas as visitas técnicas foram registrados pontos por meio de fotografias e GPS. Esse registro visou obter as primeiras observações *in loco* a respeito das feições erosivas, da morfometria e do uso do solo. O procedimento também serviu como subsídio na elaboração do mapa de distribuição dos pontos visitados nas cartas topográficas.

A partir de todos esses procedimentos, algumas bacias hidrográficas foram visitadas, e a bacia do córrego Espriado foi selecionada (Figuras 9 e 10), para o desenvolvimento deste trabalho, uma vez que a sua escolha justifica-se por atender todos os critérios formulados anteriormente (Figuras 11 e 12).

Figura 9: Vista panorâmica da bacia do córrego Espraiado a partir do front da Cuesta. No lado esquerdo da foto a presença de parte da Cuesta, e ao fundo a bacia do córrego Espraiado em destaque (linha em azul) (Figura Sem Escala).

Figura 10: Registro de ocorrência de feições erosivas em área rural da bacia do córrego Espraiado São Pedro (SP). Fonte da Foto: Evandro Daniel, Setembro de 2011.

Figura 11: Localização dos pontos de GPS e do registro de fotografias. – (A) Feição erosiva no centro e vegetação rasteira (gramíneas) na área circundante. (B e C) Feições erosivas lineares em área de pastagem e próximo ao afluente da bacia. Nota-se o manejo de silvicultura ao fundo como também loteamentos e a presença de cupinzeiro. (D) Feição erosiva próximo ao afluente da bacia. Nota-se vegetação rasteira (gramíneas), e ao fundo o plantio de silvicultura. (E) Feição erosiva no centro e predomínio de gramínea em seu entorno como também mata ciliar dispersa circundante. (F) Registro de feição erosiva, com ocorrência de processos subsuperficiais por meio do registro de *piping* (Figura Sem Escala).

Figura 12: Registro de ocorrência de feições erosivas em área rural da bacia do córrego Espreado – São Pedro (SP) (Figura sem escala).

5.2 MAPEAMENTO DE FEIÇÕES EROSIVAS

Para a realização do mapeamento de feições, primeiramente foi obtido o mosaico das fotografias aéreas junto ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC), ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e também à Base Aerofotogrametria, S.A. Os dados sobre as fotografias aéreas estão apresentados a seguir:

- Cenário de 1962 – Escala 1:25.000. Fonte: Base Aerofotogrametria, S.A. VW AST – 10; 1370OPMW R – 306. Faixas 2435 e 2436.

- Cenário de 1972 Escala 1:25.000. Fonte: IBC – GERCA (Instituto Brasileiro do Café). Faixas: 35085, 36087, 36086, 36088 e 35087.

- Cenário de 2000 – Escala 1:30.000. Fonte: Base Aerofotogrametria, S.A. Faixa: 038 nº 0059; 0060; Faixa: 037 nº 0058, 0059 e 0060.

- Cenário de 2006 – Escala 1:30.000. Fonte: Base Aerofotogrametria, S.A. Faixa: 132 nº 5960, 5961, 5962, 5963, 5964, 5965, 5966.

Na sequência foi necessária, a realização da ortorretificação das fotografias aéreas com o objetivo de corrigir as distorções geométricas delas e,

desta forma, não comprometer a qualidade e a confiabilidade dos mapeamentos (feições erosivas, uso do solo e morfométricos), dos dados e informações levantadas a partir das fotos. Assim, a fotografia que originalmente possuía uma projeção cônica, passou a ter uma projeção ortogonal.

Os aspectos visuais adotados para a realização do mapeamento de feições erosivas de todos os cenários (1962, 1972, 2000 e 2006) foram: sombreamento, solo exposto, entalhamento do relevo, fissuras no solo e declividade acentuada. Assim, foi criado um *layer* (no formato *shape*) para cada cenário, por meio do programa *ArcCatalog* 9.3.1 (*Arcgis* 9.3.1), especificamente para as feições erosivas mapeadas e delimitadas por polígonos correspondentes às suas áreas (Figuras 13 e 14).

Figura 13: Figura: Exemplo do mapeamento de feições erosivas no setor a montante em diferentes cenários (polígonos em vermelho). Detalhe em escala 1:10.000 (a partir de trechos de Fotografias Aéreas em escala 1:25.000 de 1962 e 1972 e escala 1:30.000 de 2000 e 2006). Fonte da Fotografia Aérea: IBC e BASE, S.A.

Figura 14: Detalhe em escala 1:1.000 (a partir de trechos de Fotografias Aéreas em escala 1:30.000 de 2006) exemplo do mapeamento de feições erosivas (polígonos em vermelho). Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A.

É importante ressaltar que o mapeamento das feições erosivas não teve como objetivo classificá-las. Assim, o mapeamento restringiu-se apenas a delimitação (polígonos) das formas das feições erosivas, visando à compreensão da gênese e distribuição delas.

Na sequência, foi realizado o cálculo referente à área (m^2) dos polígonos de todas as feições mapeadas de todos os cenários utilizando a ferramenta *Calculate Geometry* do *ArcMap* 9.3.1 (*Arcgis* 9.3.1), para o cálculo automático da área de todos os polígonos registrados (Figura 15).

Os mapas das feições erosivas dos quatro cenários foram comparados, com o objetivo de caracterizar a evolução e distribuição das feições, como também a geometria, as direções, os modos preferenciais de desenvolvimento das feições, a área (m^2) dos polígonos e a área total de todos os polígonos. Esta etapa foi complementada por meio dos trabalhos e observações de campo, com cerca de 90% das feições verificadas, sendo elas dos mais diversos tamanhos e formas, com o propósito de melhor caracterizar e atualizar tais feições do último cenário (2006) para o período atual (2012).

Figura 15: Procedimento para o calculo da área (m^2) das feições erosivas mapeadas.

Em campo foi realizado um cadastro (Figura 16), para algumas feições erosivas previamente mapeadas. Esse cadastro teve como objetivo criar um banco de dados, no qual foram registradas as características geométricas, geológicas, geomorfológicas, forma, posição.

Durante o trabalho de campo também foi realizado a medição da profundidade e largura (Figura 17), de nove feições erosivas em diferentes setores e ramificações, como forma de calcular sua área (m^2). Assim foi obtido um total de 27 valores de profundidades, no qual foi realizada uma média ponderada, que resultou numa profundidade média de 9,72m. Esse valor foi utilizado para o cálculo da estimativa da perda de solo em volume (m^3) de cada polígono de feição mapeada em todos os quatros cenários.

Ficha de Cadastro da Feição Erosiva			
Localização/identificação da voçoroca - nº			
Município: São Pedro	UF: SP	Coord. EO:	
Bairro/Distrito:		Coord. NS:	
Acesso:			
Folha Topográfica:		Data:	
Dados do meio físico			
Bacia Hidrográfica: Córrego Espreado		Geologia:	
Geomorfologia:		Drenagem:	
Unidade Morfoestrutural:		Solo:	
Unidade Morfoescultural:			
Tipo de Forma:			
Morfometria:			
Dados Geométricos da Feição Erosiva			
Comprimento:		Largura:	
Profundidade:		Volume:	
Forma:		Área de Contribuição:	
Caracterização da Feição Erosiva			
Tipo de Feição:		Posição na Encosta:	
Classe de uso:		Presença de Corpo de Água:	
Materiais Presentes			
Aterro Sanitário	Lixo	Entulho	

Figura 16: Modelo de Cadastro de Feição Erosiva utilizado no trabalho de campo. Fonte: Modificado de Mendonça *et al.* (2001) e Macedo *et al.* (2004).

Figura 17: Procedimento de medição da largura da feição. Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011 (Figura sem Escala).

5.2.2. ORTORRETIFICAÇÃO

Para a realização da ortorretificação é necessária uma série de informações sobre a câmera de voo (distância focal da lente, coordenadas das marcas fiduciais, coordenadas do ponto central da câmera e parâmetros de distorção) utilizada no aerolevanteamento. A ausência das informações técnicas das câmeras utilizadas nos vôos antigos impede que essas fotografias sejam ortorretificadas. Como alternativa, opta-se pelo georreferenciamento de fotografias aéreas na tentativa de minimizar os problemas geométricos que são inerentes às fotos.

Além das informações relativas à câmera utilizada no recobrimento aerofotogramétrico, são necessárias coordenadas de campo para a realização da ortorretificação. Essas coordenadas podem ser obtidas em campo por meio de GPS geodésico, GPS de navegação e cartas base. O MDT também é um produto imprescindível na ortorretificação e pode ser gerado a partir das curvas de nível das cartas base. Com esses dados é possível produzir uma ortofoto num software aerofotogramétrico. A ortofoto constitui um retrato fidedigno da paisagem com a qualidade geométrica de uma carta base.

Neste trabalho foram elaboradas ortofotos com as fotografias aéreas dos anos de 2000 e 2006. Como as fotos de 1962 e 1972 não dispunham dos dados das suas respectivas câmeras utilizadas nos recobrimentos aerofotogramétricos, elas foram apenas georreferenciadas.

5.2.2.1 Georreferenciamento pelos Pontos da Carta Topográfica

A priori as cartas planialtimétricas digitais (formato TIF) foram inseridas no programa *ArcMap 9.3.1* (*ArcGis 9.3.1*). Posteriormente foi atribuída a coordenada original da base cartográfica (Córrego Alegre, Zona 23S) na ferramenta *Coordinate System* no *Data Frame Properties* do *Layer* do programa *ArcMap 9.3.1* (*ArcGis 9.3.1*) e georreferenciada por meio da ferramenta *Add Control Points*, na qual foram atribuídos os valores registrados na carta topográfica.

As fotografias aéreas foram georreferenciadas a partir do reconhecimento de pontos homólogos entre elas e a carta (IGC, Escala 1:10.000, ano 1979). Cada ponto homólogo constituiu um ponto de controle. Entretanto, esse procedimento não obteve sucesso para as fotografias aéreas recentes (2000 e 2006) devido à dificuldade de se encontrar pontos de controle comuns entre essas fotos e a base cartográfica de 1979. Em função disso, as fotografias aéreas georreferenciadas apresentaram muitas distorções, fato este comprovado inclusive visualmente pela sobreposição da rede de drenagem da base cartográfica (que é livre de distorções) com a mesma extraída da fotografia aérea (Figura 18).

Devido a esses problemas, a correção geométrica das fotografias aéreas por meio apenas do georreferenciamento foi descartada para as fotografias mais recentes (2000 e 2006), sendo adotada nesses produtos a técnica da ortorretificação.

O produto final dessas fotografias apenas georreferenciadas (1962 e 1972) foi satisfatório (Figura 19) considerando somente o aspecto visual do deslocamento entre a posição do canal na foto e a drenagem da carta. Apesar disso, a confiabilidade desses produtos e dos dados extraídos deles é menor que a das fotografias mais recentes submetidas ao processo de ortorretificação.

Figura 18: Exemplo do deslocamento entre a drenagem da carta topográfica (linha azul) e a posição do rio na fotografia aérea (Escala 1:30.000, Ano 2006): (A) Setor a montante (Cabeceira), (B) Setor da média bacia na margem direita (C) Setor a jusante (D) Setor da média bacia margem esquerda. Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A.

Figura 19: Exemplo da distorção da fotografia aérea de 1972 em relação à drenagem da carta planialtimétrica nos seguintes setores: (A) Detalhe 1:2.000 (A partir trecho de Fotografia Aérea em Escala 1:25.000 de 1972) setor a montante (Cabeceira). (B) Detalhe 1.4.000 (A partir trecho de Fotografia Aérea em Escala 1:25.000 de 1972) setor da média bacia na margem direita. Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A.

5.2.2.2 Ortorretificação pelos Pontos de GPS

O segundo procedimento realizado, visando à correção geométrica das fotografias aéreas, foi o levantamento de pontos de controle em campo por meio da utilização de um GPS de navegação (Garmin Vista)⁴. Primeiramente foi realizado um planejamento em laboratório, no qual foram selecionados pontos de controle da fotografia aérea de 2006 que fossem reconhecidos em campo tais como: cruzamento de estrada ou carreadores, edificações, cerca de propriedade, esquina de arruamento, porteira ou cancela de propriedades rurais, entre outros. Posteriormente foi criada uma planilha (Figura 20), como forma de cadastrar todos os pontos registrados. Em cada ponto cadastrado foram coletadas em campo as coordenadas (latitude e longitude) e a altitude. O GPS ficou apoiado sob um tripé (Figura 21) e os dados das coordenadas e da

⁴ Embora o GPS Geodésico possua uma maior precisão, a escolha do GPS *Garmin* é justificada pelo alto custo do primeiro instrumento (aquisição ou aluguel), e também pelo fato de que os ensaios e testes realizados com o segundo instrumento obtiveram resultado satisfatório para a necessidade e a finalidade deste trabalho.

altimetria de cada local foram coletados em 3 momentos diferentes: 10 min, 15 min e 20 min após o início do rastreo.

<u>Pontos de Controle – Ortorretificação – Bacia do Córrego Espraiado – São Pedro/SP</u>				
Pontos do Campo	Latitude	Longitude	Altitude	Precisão
01 – Canteiro da entrada da gruta dos anões – na ponta do início do canteiro.	0201363	7505809	622.1m	8.4m
	0201364	7505808	621.3m	8.2m
	0201363	7505810	619.5m	8.8m
Média	0201363	7505809	621 m	8,47
02 – Bifurcação da estrada – bem na ponta – na junção entre as duas estradas.	0201581	7505839	586.7m	7.50m
	0201580	7505841	584.7m	6.90m
	0201576	7505835	583,0m	7.70m
Média	0201579	7505838	586,9 m	7,37 m
03 – Bifurcação da estrada vicinal,	0202053	7505751	570.7m	7.90m
	0202053	7505749	571,0m	7.00m
	0202054	7505750	571,0m	7.10m
Média	0202053	7505750	570,9 m	7.33m

Figura 20: Trecho da planilha de cadastro dos pontos de controle por meio da utilização do GPS.

Figura 21: Coleta de pontos de controle com o GPS em diferentes setores da bacia. Fonte das Fotos: Evandro Daniel, Dezembro de 2011.

O valor da média das coordenadas e altitude de cada ponto, as informações da câmera de vôo⁵ e o MDT da bacia (elaborado a partir das curvas de nível da carta planialtimétrica) foram inseridos no software DVP 6.0 para execução da ortorretificação das fotografias de 2000 e 2006. A diferença de qualidade entre as ortofotos e as fotografias apenas georreferenciadas foi significativa (Figura 22).

⁵ Focal, coordenadas das marcas fiduciais e do ponto central da câmera e parâmetros de distorção da lente.

Figura 22: Trechos de Ortofotos de 2006. (A) Detalhe 1:2.000 (A partir trecho de Fotografia Aérea em Escala 1:30.000 de 2006) setor a montante (cabeceira). (B) Detalhe 1:4.000 (A partir de trecho de Fotografia Aérea em Escala 130.000 de 2006) setor da média bacia na margem esquerda. Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A.

5.2.2.3 Ortorretificação pelos pontos da Base Cartográfica

Foi feito um ensaio de ortorretificação utilizando as coordenadas e a altitude dos pontos extraídos diretamente da carta planialtimétrica em vez de usar os valores adquiridos com o GPS de navegação, tal como feito no item anterior. Esses dados foram inseridos no software DVP 6.0 juntamente com as informações da câmera de voo e o MDT. Em termos visualização, a qualidade da ortofoto deste ensaio foi muito semelhante à anterior (Figura 23). Sendo assim, ambos os produtos foram submetidos ao PEC para avaliar a sua precisão e definir qual dos dois produtos apresentavam melhor qualidade geométrica.

Figura 23: (A) Detalhe em Escala 1:2.000 (A partir de trecho de Fotografia Aérea de 2000 em Escala 1:30.000) setor a montante (cabeceira). (B) Detalhe em Escala 1:5.000 (A partir de trecho de Fotografia Aérea de 2000 em Escala 1:30.000) setor da média bacia na margem direita. Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A.

5.2.2.4 Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC

Para avaliar a qualidade geométrica das ortofotos foi empregado o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). O PEC trata-se de um instrumento de avaliação que tem por finalidade verificar a qualidade geométrica, isto é, a precisão posicional e métrica dos elementos existentes no documento cartográfico, sendo que não está incluso os fatores temporal e temático (Galo e Camargo, 1994; Silva e Silva, 2003). O PEC está inserido nas Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, homologado no decreto nº 89817 de 20 de junho de 1984 (Galo e Camargo, 1994). O mesmo foi utilizado por ser o único instrumento legal no país que possibilita a avaliação de documentos cartográficos, ainda que este tenha sido desenvolvido apenas para a avaliação de documentos analógicos e estar aquém dos padrões internacionais (Silva e Silva, 2003).

O decreto em questão explica que o PEC possui um critério de classificação no qual a carta classe A é a que apresenta os melhores padrões de exatidão cartográfica planimétrica e altimétrica. A classe B tem padrões intermediários e a classe C os piores padrões (Silva e Silva, 2003). Os mesmos autores explicam que o critério empregado para tal classificação é a comparação de um valor de um indicador estatístico referente a 90% de probabilidade para pontos-teste bem definidos nas cartas, conhecido como PEC, em relação aos erros absolutos encontrados para a planimetria e altimetria para cada ponto. Entende-se por “erro absoluto” a variação entre o valor da coordenada planimétrica ou altimétrica na carta em relação à coordenada de terreno (verdade de campo). Se 90% dos pontos-teste possuírem erros absolutos inferiores a esse PEC, então é feita a classificação dessa carta dentro da categoria analisada para esse PEC considerado.

A Tabela 1 mostra o Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico (PEC) e o Erro Padrão (EP) para cada uma das classes, expresso em milímetros na escala da carta. Já a Tabela 2 apresenta o Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrico e o Erro em Padrão (em Fração de Eqüidistância) também para cada uma das classes, sendo que os valores mostrados nas tabelas são calculados e os erros toleráveis para os pontos usados como referência do controle (Galo e Camargo, 1994).

Tabela 1: Padrão de Exatidão Planimétrico e Erro Padrão para as Classes A, B e C.

Classe	PEC (mm)	EP (mm)
A	0,5	0,3
B	0,8	0,5
C	1,0	0,6

Fonte: (Galo e Camargo, 1994).

Tabela 2: Padrão de Exatidão Altimétrico e Erro Padrão para as Classes A, B e C.

Classe	PEC (eq)	EP
A	1/2	1/3
B	3/5	2/5
C	3/4	1/2

Fonte: (Galo e Camargo, 1994).

A partir do exposto, o procedimento de análise da exatidão cartográfica consiste na verificação da discordância entre as coordenadas dos pontos obtidos no documento, no caso as ortofotos, e as coordenadas de referência equivalentes em fontes seguras (Galo e Camargo, 1994). Neste caso adotou-se a base planialtimétrica 1:10.000 como a fonte segura e verificou-se o deslocamento de 10 pontos homólogos entre a carta base e as ortofotos feitas com duas fontes distintas: GPS e a base planialtimétrica.

A ortofoto realizada com base nos pontos de controle do GPS obteve PEC = B (Tabela 3), enquanto que a produzida pelos pontos de controle da carta topográfica atingiu o PEC = A (Tabela 4). Desta forma, a ortofoto selecionada para ser utilizada neste estudo é a segunda, cuja qualidade geométrica é comprovadamente superior. Embora a fotografia aérea apenas georreferenciada tenha sido descartada para uso nos cenários de 2000 e 2006, apenas para critério de comparação também foi aplicado o PEC sobre elas, que, como se esperava, obteve o pior resultado: PEC = C (Tabela 5).

Tabela 3: Resultado do PEC da Ortofoto feita a partir dos pontos coletados com GPS de navegação

PONTO	Coordenadas na Ortofoto		Coordenadas na Carta Base (Valor de Referência)		Erro em Relação ao valor de Referência	
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	dE (m)	dN (m)
1	201590,731	7505834,048	201596,000	7505819,416	-5,269	14,632
2	203604,011	7505087,751	203602,000	7505087,428	2,011	0,323
3	202614,244	7504914,731	202619,000	7504898,643	-4,756	16,088
4	202576,583	7502940,090	202583,478	7502930,000	-6,895	10,090
5	203493,563	7503317,081	203495,861	7503317,560	-2,298	-0,479
6	203280,264	7504043,269	203284,671	7504044,223	-4,407	-0,954
9	203319,197	7504567,720	203320,000	7504572,419	-0,803	-4,699
10	202272,806	7503112,257	202278,872	7503105,636	-6,066	6,621
RESULTADO					PEC A - 1:25.000	PEC B - 1:25.000

Tabela 4: Resultado do PEC da Ortofoto (2006) feita a partir dos pontos coletados na Carta Planialtimétrica

PONTO	Coordenadas na Ortofoto		Coordenadas na Carta Base (Valor de Referência)		Erro em Relação ao valor de Referência	
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	dE (m)	dN (m)
1	201590,461	7505830,816	201596,000	7505819,416	-5,539	11,400
2	203606,246	7505090,000	203602,000	7505087,428	4,246	2,572
3	202616,251	7504911,350	202619,000	7504898,643	-2,749	12,707
4	202586,834	7502939,582	202583,478	7502930,000	3,356	9,582
5	203502,103	7503316,560	203495,861	7503317,560	6,242	-1,000
6	203286,420	7504043,500	203284,671	7504044,223	1,749	-0,723
9	203323,187	7504567,423	203320,000	7504572,419	3,187	-4,996
10	202282,221	7503110,970	202278,872	7503105,636	3,349	5,334
RESULTADO					PEC A - 1:25.000	PEC A - 1:25.000

Tabela 5: Resultado do PEC da Fotografia Aérea (2006) Georreferenciada.

PONTO	Coordenadas na Fotografia Georreferenciada		Coordenadas na Carta Base (Valor de Referência)		Erro em Relação ao Valor de Referência	
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	dE (m)	dN (m)
1	201532,674	7505842,590	201596,000	7505819,416	-63,326	23,174
2	203600,645	7505087,638	203602,000	7505087,428	-1,355	0,210
3	202617,293	7504914,421	202619,000	7504898,643	-1,707	15,778
5	203502,047	7503281,051	203495,861	7503317,560	6,186	-36,509
6	203276,674	7504007,769	203284,671	7504044,223	-7,997	-36,454
7	204811,126	7502276,176	204796,153	7502274,035	14,973	2,141
9	203321,016	7504558,930	203320,000	7504572,419	1,016	-13,489
13	206229,597	7503407,154	206201,905	7503448,253	27,692	-41,099
14	204362,950	7502314,706	204328,000	7502281,123	34,950	33,583
RESULTADO					PEC C - 1:25.000	PEC C - 1:25.000

5.3 MAPEAMENTO DO USO DO SOLO

Para analisar o papel da evolução e dinâmica do uso do solo na gênese e na distribuição das feições erosivas foi realizado o mapeamento do uso do solo por meio da fotointerpretação dos pares estereoscópicos de fotografias aéreas nas seguintes escalas (Cenário de 1962: 1:25.000; Cenário de 1972: 1:25.000; Cenário de 2000: 1:30.000 e Cenário de 2006: 1:30.000).

As classes de uso do solo foram baseadas no método proposto por Almeida e Freitas (1996) (Tabela 6) com algumas modificações para adequar a realidade da área de estudo. São elas: cobertura natural vegetal (mata), solo exposto, áreas agrícolas, área urbana consolidada, área urbana inconsolidada, silvicultura, e por fim campos antrópicos/pastagens que foi modificada para pasto sujo e pasto limpo (Figura 24). Essas classes foram identificadas e delimitadas em papel do tipo *overlay* para cada cenário, considerando alguns aspectos visuais tais como: cor, textura e arruamento.

Tabela 6: Classes de Uso do Solo

Formas de Uso do Solo	Características
Áreas Agrícolas	Áreas destinadas a cultivos perenes ou temporários (ciclo estabelecido). Nas áreas urbanas destacam-se a horticultura e as chácaras rurais (que destinam parte dos lotes a pequenos cultivos).
Área Urbana Consolidada	Caracteriza-se por ser densamente ocupada, e pela disponibilidade de infraestrutura básica e equipamentos, atividades de comércio e serviços, etc.
Área Urbana Inconsolidada	Constitui áreas com densidade de ocupação média/alta, apresentando ainda alguns vazios urbanos, e infraestrutura e equipamentos restritos. Destacam-se nessas áreas grandes loteamentos e sistemas de autoconstrução.
Cobertura Vegetal (mata)	Inclui áreas cobertas principalmente por matas, sendo que nas áreas urbanas encontra-se em áreas restritas (relevo mais enérgico) ou áreas de preservação.
Pasto Limpo	Áreas onde predomina apenas vegetação herbácea, sem arbusto e árvores esparsas. Localizam-se próximas as áreas rurais ou de expansão urbanas.
Pasto Sujo	Áreas onde predominam vegetação herbácea, com alguns arbustos e árvores esparsas. Localizam-se próximas às áreas rurais ou de expansão urbanas.
Sedimentos e Vegetação em Planície	Sedimentos e vegetação (taboa, gramíneas) em área de planície fluvial.
Silvicultura	Áreas de recomposição da cobertura vegetal, em sua maioria para fins lucrativos.
Sistema Viário	Vias de comunicação na malha urbana ou para ligação entre áreas mais distantes (rodovias, ferrovias).
Solo Exposto	São aquelas porções onde há exposição do solo, à espera de um uso específico, urbano ou rural. Podem estar associadas a movimento de terra. .

Fonte: Modificado de Almeida e Freitas (1996).

Figura 24: Detalhe em escala 1:1.000 (a partir de trechos Fotografias Aéreas em escala 1:30.000 de 2006). (A) Representação da classe pasto sujo (B) Representação da classe pasto limpo (Fonte: BASE, S.A).

A partir do exposto, foi criado um *layer* (formato *shape*) para os polígonos referentes às áreas dos polígonos das classes de uso do solo para cada cenário por meio do programa *ArcCatalog* 9.3.1 (*Arcgis* 9). Posteriormente, foi realizada a digitalização e a edição final do mapeamento dos polígonos das classes de uso do solo por meio da utilização do programa *ArcMap* 9.3.1 (*Arcgis* 9) (Figura 25). Todos os polígonos registrados tiveram tonalidades atribuídas para cada classe, conforme IBGE (2006), cujo qual foi adaptado para a realidade da área de estudo (Figuras 26 e 27).

Após a realização da digitalização, foi calculada a área dos polígonos referentes às classes de uso do solo de cada cenário. Para isso, foi criada uma coluna na tabela de atributos do *layer* do uso do solo. Em seguida, foram comparados os mapas do uso do solo dos diversos cenários, cujo objetivo foi caracterizar a evolução das classes, a dinâmica da área (m^2), como também identificar as alterações do uso do solo durante o período abordado e, sobretudo, sua influência nas feições erosivas. Tal etapa foi complementada por meio dos trabalhos e observações de campo, para caracterizar tais classes de uso do solo do último cenário 2006 atualizado para o período atual de 2012.

Figura 25: Comparativo da dinâmica do uso do solo. (A) Detalhe em escala 1:1.000 (a partir de trechos de Fotografias Aéreas em escala 1:25.000 de 1962) (B) Detalhe em escala 1:1.000 (a partir de trechos Fotografias Aéreas em escala 1:30.000 de 2006) (Fonte: BASE, S.A).

Classes de Uso do solo	RGB	Cor
Áreas Agrícolas	R - 255 G- 255 B - 0	
Área Urbana Consolidada	R - 255 G- 100 B - 192	
Área Urbana Inconsolidada	R - 255 G- 190 B - 190	
Cobertura Vegetal (Mata)	R - 115 G- 168 B - 0	
Pasto Limpo	R - 255 G- 211 B - 127	
Pasto Sujo	R - 255 G- 170 B - 0	
Sedimentos/ Vegetação em Planície	R - 153 G- 294 B - 230	
Silvicultura	R - 138 G- 115 B - 0	
Solo Exposto	R - 89 G- 89 B - 89	

Figura 26: Atribuição de Cores – Classes de Uso do Solo. Fonte: Modificado de IBGE (2006).

Figura 27: (A e B) Detalhe em escala 1:4.000 (a partir de trechos de Fotografia Aérea em escala 1:30.000 de 2006) exemplo de atribuição de cores para os polígonos das diferentes classes de uso do solo.

5.4 MAPEAMENTO MORFOMÉTRICO

Os mapeamentos morfométricos foram realizados por meio de um mosaico de cartas topográficas de escala 1:10.000, datadas de 1979⁶, com curvas de nível eqüidistante em 5 metros (Figura 28). As cartas foram elaboradas pela Terra Foto (Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo) e cedidas em formato digital (arquivos em extensão TIFF) pela Secretaria de Obras/Prefeitura Municipal de São Pedro/SP⁷.

A partir dessas cartas topográficas foi desenvolvido um Modelo Digital de Terreno (MDT). Para a construção do MDT foram utilizados os seguintes

⁶ Projeção Universal Transversa de Mercator, Datum Horizontal: Córrego Alegre e Datum Vertical: Marágrafo de Imbituba (SC), Meridiano Central: 45° e Fuso Central: 23S

⁷ Fazenda Araquá Mirim (SF - 23 - Y - A - IV - I - NE - A); Ribeirão da Grama (SF-23 - Y - A - IV - I - NE - C); São Pedro I (SF -23 - Y - A - IV - NO - B) e São Pedro III (SF - 23 -Y- A - IV - I - NO - D).

layers elaborados a partir da digitalização e vetorização das cartas topográficas: curvas de nível, drenagem, pontos cotados e limite da bacia (Figura 29). A partir da conclusão do limite foi extraído a bacia do córrego Espraiado da base cartográfica, como forma de trabalhar apenas para a área de interesse.

Figura 28: Mosaico das Cartas Topográficas – com a Bacia do Córrego Espraiado. (Fonte: Secretaria de Economia e Planejamento/ Governo do Estado de São Paulo). (Figura Sem Escala).

Figura 29: Detalhe 1:10.000 do processo de vetorização e delimitação da bacia do córrego Espreado a partir da carta topográfica digital – escala 1:10.000.

É importante ressaltar que para o funcionamento da rotina o *layer* correspondente ao limite da bacia tem formato polígono e que para a correta elaboração do modelo as linhas correspondentes a drenagem foram orientadas para jusante. A partir desta figura também é possível compreender o procedimento para as drenagens que estavam voltadas para montante e foi selecionada a linha de drenagem, e depois com o botão direito do *mouse* foi selecionada a ação *Flip*.

Após este procedimento e verificação, foi utilizada a ferramenta *ArcToolBox / 3D Analyst Tools / Raster Interpolation / Topo to Raster* do programa *ArcMap 9.3.1* visando a criação do MDT. Na caixa de diálogo desta ferramenta foram inseridos todos os *layers* e selecionados o tipo correspondente a cada um (Pontos cotados = *PointElevation*; Curvas de Nível = *Contour*; Drenagem = *Stream*; Limite = *Boundary*) que deram origem ao produto final MDT (Figura 30). Além disso, para os parâmetros que têm dados de altitude (Curvas de Nível e Pontos Cotados) foi selecionado o campo correspondente em *Field*. Por fim, foi escolhido o tamanho de célula adequado

ao trabalho em *Output cell size*, sendo que para este trabalho foi utilizado uma resolução espacial de 2m, ou seja, o MDT tem 2x2 metros ou 4m².

Figura 30: Representação da área de estudo em três dimensões no modelo sombreado.

A partir do MDT gerado, o mesmo serviu como base para a elaboração dos mapas de alguns componentes geométricos das encostas (parâmetros morfológicos) tais como: curvatura (planta/perfil), hipsometria (m) e declividade (%), por meio da utilização da ferramenta *ArcToolbox / 3D Analyst Tools / Raster Surface*. Os intervalos considerados previamente (Tabela 7) se basearam nos trabalhos sobre processos erosivos desenvolvidos por Stabile (2009) na região de Bauru e Canil (2000) na região de Franca (SP)

Tabela 7: Intervalos das classes dos mapas morfométricos

Classes dos Mapas de Parâmetros Morfométricos	
Mapa	Classes
Curvatura (Planta/Perfil)	Convexa/Retilínea/ Côncava
Declividade (%):	0-5 / 5-10 / 10-20 / 20-40/ 40 - <
Hipsometria (m):	<490 / 490-525 / 525-550/ 550-575/ 575-625/>625

5.5 ANÁLISE INTEGRADA/QUANTITATIVA

O objetivo desta etapa foi realizar uma correlação integrada e quantitativa entre as feições erosivas lineares e as diferentes classes dos parâmetros morfométricos (curvatura, declividade e hipsometria) e o uso do solo, por meio do cálculo de índices, método proposto por Gao (1993) para escorregamentos e que foi adaptada para os processos erosivos. Para isto, o *layer* (formato *shape*) das feições erosivas foi modificado para o mesmo formato que os mapas gerados pelo MDT (formato matricial ou *raster*). Essa tarefa foi realizada por meio da ferramenta *Conversion Tools (Polygon to Raster)* do programa *ArcMap 9.3.1 (ArcGis 9.3.1)*.

Posteriormente, foram realizados alguns procedimentos importantes, tais como: a seleção das células que há ocorrência de feições erosivas daquelas que não há ocorrência, por meio da criação de um novo campo na tabela de atributos do *layer* correspondente às feições erosivas, que foi preenchido com o valor “1”, conseqüentemente as áreas onde as feições registraram ausência foi atribuído o valor “0”. A partir deste procedimento, a ferramenta *Raster Calculator* do *Spatial Analyst* foi utilizada para a criação dos mapas de cada cenário por meio da correlação (feições erosivas de cada cenário multiplicado por cada parâmetro morfométricos: aspecto, curvatura, declividade e hipsometria). Na seqüência foram gerados histogramas, considerando apenas as classes atingidas pelas feições, por meio da ferramenta *Histogram* do *Spatial Analyst*, e seus dados foram exportados em formato *XLS* e inseridos no

Microsoft Excel, para possibilitar o cálculo dos seguintes índices: Freqüência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE) para cada cenário.

a) Freqüência de Distribuição (FD)

Para a realização do índice FD, primeiramente foi criado o histograma da distribuição do número de células de cada classe para cada parâmetro morfológico, como exemplo: o mapa de curvatura cujas classes são côncavas, convexas e retilíneas. Desta forma, os histogramas foram gerados pela ferramenta *Spatial Analyst* do programa *ArcMap 9.3.1 (ArcGis 9)*, e os dados correspondentes (em forma de tabela) foram exportados para uma planilha gráfica (programa *Microsoft Excel 2007*), na qual foi calculada a Freqüência de Distribuição de cada classe (FD) (Equação 01).

$$FD = \frac{N}{T} \times 100 \quad \text{Equação 01}$$

A partir do exposto, a Freqüência de Distribuição (FD) que é a razão entre o número de células de cada classe (N) e o total de células da bacia (T = 3.000.229 células) (Figura 31). Por exemplo, no Mapa de Declividade, existem 894.501 células correspondentes ao intervalo de 0 a 5%, cujo valor de FD é, portanto, 29,81% (894.501 multiplicado por 100 e, dividido por 3.000.229), ou seja, conclui-se que 29,81% da bacia têm encosta com intervalos de declividade 0 a 5% (Tabela 08).

Figura 31: Histograma de distribuição das células para classes de declividade (%).

Tabela 8: Frequência de Distribuição (FD) correspondente as células para as classes do Mapa de Declividade

Classes de Declividade(%)	Número de Células de Classe (N_i)	Frequência de Distribuição (FD) - (%)
0 - 5	894.501	29,81
5 - 10	1.015.719	33,85
10 - 20	845.296	28,17
20 - 40	243.102	8,10
40 - <	1.611	0,04
Total	3.00.229	100%

Fonte: Modificado de Stabile (2009)

b) Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE)

O CE também é um índice que envolve informações dos mapas de parâmetros morfológicos (aspecto, curvatura, declividade e hipsometria) e da distribuição das feições erosivas. Desta forma, para obtenção deste índice foi utilizado a ferramenta *Raster Calculator (Spatial Analyst)* do programa *ArcMap 9.3.1 (ArcGis 9.3.1)*, que interrelaciona os mapas dos parâmetros morfométricos com a distribuição das feições erosivas e as classes que as sobrepõem gerando um novo mapa. A partir desta sobreposição foram calculados os seguintes índices CE e PE. O CE é a razão entre o número de células, de cada classe, afetadas pelas feições erosivas (N_f) e o total de células afetadas na bacia (T) (Equação 02) e Tabela 9.

$$CE = \frac{N_f}{T} \times 100 \quad \text{Equação 02}$$

Tabela 9: Concentração de Erosão (CE) correspondente as células para as classes do Mapa de Declividade

Classes de Declividade(%)	Número de Células de Classe (N_f)	Concentração de Erosão (CE) - (%)
0 - 5	894.501	9,88
5 - 10	1.015.719	26,66
10 - 20	845.296	45,98
20 - 40	243.102	17,29
40 - <	1.611	0,18
Total	3.00.229	100%

Fonte: Modificado de Stabile (2009)

Potencial de Erosão (PE) é razão entre o número de células, de cada classe, afetadas pelas feições erosivas (N_f) e o total de células dessa mesma classe (N), conforme Equação 03 e que também está representado na Figura 32.

$$PE = \frac{N_f}{N} \times 100 \quad \text{Equação 03}$$

Figura 32: Histograma da distribuição das células afetadas (N_f) do cenário de 2006 de acordo com as classes de declividade.

c) Abordagem Detalhada

Para melhor avaliação das feições erosivas, do uso do solo e da morfometria foram selecionados dois setores na bacia: Setor 1 (S1) e Setor (S2), com ocorrência significativa de feições em todos os quatro cenários.

Primeiramente foi utilizado a ferramenta *Clip* do comando *Data Management Tools* do programa *ArcMap* 9.3.1 (*ArcGis* 9.3.1), para o recorte do *layer* (formato *shape*) das feições e também do uso do solo, como forma de trabalhar apenas com a área desses *layers* localizadas nos setores. Posteriormente, esses *layers* foram convertidos para *raster* no comando *Conversion Tools To Raster* do programa *ArcMap* 9.3.1 (*ArcGis* 9.3.1).

A partir do exposto, foram identificados e calculados a Frequência de Distribuição (FD) das classes de curvatura e de declividade para cada tipo de uso do solo. Desta forma, foram analisados e interpretados os dados, visando compreender as principais características morfométricas (declividade e curvatura) para os maiores valores de PE de cada classe de uso do solo, permitindo assim, melhor avaliar a concentração de erosão em algumas classes de solo e a sua associação com as classes de declividade e de curvatura.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados é fruto dos dados obtidos a partir dos mapas de feições erosivas, do uso do solo, dos morfométricos e das análises integrada e quantitativa. Os dados foram analisados a partir de uma escala evolutiva e comparativa de quatro cenários (1962, 1972, 2000 e 2006), e também de informações obtidas por meio do trabalho *in loco*. Assim, este capítulo apresenta no primeiro momento uma leitura das informações adquiridas com os Mapas das Feições Erosivas (5.1), no segundo momento as informações dos Mapas Morfométricos (5.2) e finaliza com os Mapas do Uso do Solo (5.3).

6.1. MAPAS DAS FEIÇÕES EROSIVAS

As informações levantadas a partir dos mapas das feições erosivas em quatro cenários (1962, 1972, 2000 e 2006) e também de observações e verificações *in loco*, possibilitaram identificar uma combinação de características favoráveis ao desencadeamento das feições, como também ofereceram informações relevantes para análise da dinâmica (evolução e distribuição) das feições, mensuração da perda de solo, identificação do cenário e dos setores de maior ocorrência de feições erosivas, dos diversos tamanhos de polígono de feição erosiva mapeado, entre outros fatores (Figuras 33, 34 e 35).

Figura 33: (A) Desenho esquemático de feição erosiva do cenário de 2006 mapeada no setor a montante, próximo à cabeceira do canal principal, caracterizada pela união de diversas ramificações (B) Foto registrada em campo da referida feição (Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011).

Figura 34: (A) Desenho esquemático da feição erosiva do Cenário de 2006 mapeada no interior da área urbana em área circundante de canais de primeira e segunda ordens. (B) Foto da referida feição, a partir do nível do talvegue da feição. (C) Foto da referida feição a partir da superfície do arruamento (Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011).

Figura 35: (A) Desenho esquemático de feição erosiva retilínea mapeada próxima a área urbana (B) Foto da referida feição (Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011).

6.1.1. Cenários de 1962 e 1972

O mapa das feições erosivas do cenário de 1962 (Figura 36) registrou uma área de $0,45\text{km}^2$ (453.730m^2), ou seja, 3,75% da área total da bacia, totalizando 86 polígonos de feições erosivas. Embora o cenário de 1972 (Figura 37) tenha registrado 89 polígonos de feições erosivas, sua área foi de $0,40\text{km}^2$ (404.073m^2), ou seja, 3,37% da área total, uma redução de aproximadamente 10% em relação ao primeiro cenário, resultado do surgimento de feições menores e redução das maiores neste período.

Ambos os cenários tiveram 40% dos polígonos (1962 = 39 polígonos) e (1972 = 37 polígonos) com área de até 1000m^2 e o restante acima dessa área. É importante ressaltar que no cenário de 1962 o menor polígono em área foi de 65m^2 e o maior 49.163m^2 (Tabela 10), cuja ocorrência dessas feições erosivas resultou num volume estimado de perda de solo de $4.410.000\text{m}^3$. No cenário de 1972 o menor polígono registrado foi de 59m^2 e o maior 46.480m^2 (Tabela 11), totalizando uma perda estimada de solo de $3.928.000\text{m}^3$, ou seja, houve redução na perda do volume estimado de 9,5% (411.000m^3) do ano de 1972 para o ano de 1962.

Yamanouth (2003) também mapeou as feições erosivas do cenário de 1972 na bacia do córrego Espraiado, e atribuiu uma classificação e simbologia para os 50 polígonos de feições erosivas mapeados, são elas: concentração de sulcos (C), ravinas (R), voçorocas (V) e concentração de sulcos e ravinas (CR) (Figura 38). O menor polígono em área foi de 1.161 m^2 e o maior 92.386 m^2 , totalizando uma área de $0,87 \text{ km}^2$, ou seja, 7,3% da área total. Assim, a diferença pode estar relacionada com a interpretação, a precisão geométrica dos mapas e o critério adotado, uma vez que a autora considera os três tipos de feições erosivas (sulcos, ravinas e voçorocas).

Figura 36: Feições Erosivas (Polígonos Vermelhos) mapeadas em grande parte da alta e média bacia.

Figura 37: Feições Erosivas (Polígonos Vermelhos) mapeadas em grande parte da alta e média bacia

Tabela 10: Número de polígonos de feições erosivas mapeadas e as respectivas áreas (m²) e o volume (m³) referidas de cada polígono, cenário de 1962.

Nº de Polígonos	Área (m ²)	Volume (m ³)	Nº de Polígonos	Área (m ²)	Volume (m ³)	Nº de Polígonos	Área (m ²)	Volume (m ³)
1	64,32	625,18	31	639,67	6.217,60	61	3.711,78	36.078,50
2	65,59	637,49	32	684,45	6.652,82	62	3.952,18	38.415,19
3	66,48	646,21	33	709,45	6.895,84	63	4.168,86	40.521,32
4	66,61	647,44	34	716,20	6.961,50	64	4.296,63	41.763,24
5	67,82	659,25	35	753,95	7.328,43	65	4.354,95	42.330,11
6	85,03	826,48	36	785,00	7.630,15	66	4.582,45	44.541,41
7	100,64	978,22	37	970,93	9.437,41	67	4.696,57	45.650,66
8	125,89	1.223,68	38	971,26	9.440,62	68	4.980,29	48.408,42
9	126,41	1.228,71	39	990,37	9.626,41	69	6.198,58	60.250,20
10	128,38	1.247,88	40	1.014,67	9.862,59	70	6.301,68	61.252,33
11	165,21	1.605,83	41	1.046,04	10.167,51	71	6.625,48	64.399,67
12	182,35	1.772,43	42	1.084,88	10.545,03	72	7.081,66	68.833,74
13	210,54	2.046,43	43	1.131,60	10.999,15	73	7.269,90	70.663,43
14	234,23	2.276,73	44	1.183,95	11.507,99	74	8.258,91	80.276,61
15	268,86	2.613,27	45	1.192,47	11.590,81	75	8.687,48	84.442,31
16	291,67	2.835,03	46	1.279,25	12.434,31	76	14.631,90	142.222,07
17	307,35	2.987,43	47	1.448,46	14.079,03	77	15.090,90	146.683,55
18	310,52	3.018,26	48	1.508,86	14.666,12	78	17.590,90	170.983,55
19	323,01	3.139,69	49	1.557,17	15.135,69	79	20.305,60	197.370,43
20	331,38	3.220,97	50	1.781,96	17.320,65	80	20.567,80	199.919,02
21	342,51	3.329,15	51	1.807,11	17.565,11	81	27.974,00	271.907,28
22	361,39	3.512,69	52	1.991,75	19.359,81	82	33.370,00	324.356,40
23	373,81	3.633,40	53	2.043,29	19.860,78	83	35.756,40	347.552,21
24	388,05	3.771,84	54	2.259,92	21.966,42	84	36.494,40	354.725,57
25	472,42	4.591,95	55	2.479,27	24.098,50	85	41.101,30	399.504,64
26	497,58	4.836,45	56	2.652,73	25.784,54	86	49.163,40	477.868,25
27	505,90	4.917,35	57	2.854,90	27.749,63	Total	453.730	4.410.000
28	539,01	5.239,16	58	3.517,33	34.188,45			
29	620,57	6.031,95	59	3.580,34	34.800,90			
30	626,83	6.092,75	60	3.628,85	35.272,42			

Tabela 11: Número de polígonos de feições erosivas mapeadas e as respectivas áreas (m²) e o volume (m³) referidas de cada polígono, cenário de 1972.

Nº de Polígonos	Área (m ²)	Volume (m ³)	Nº de Polígonos	Área (m ²)	Volume (m ³)	Nº de Polígonos	Área (m ²)	Volume (m ³)
1	58,78	571,32	31	757,22	7.360,20	61	3.717,65	36.135,57
2	59,53	578,67	32	802,76	7.802,83	62	3.794,57	36.883,17
3	81,39	791,09	33	847,63	8.238,94	63	3.876,90	37.683,46
4	82,82	804,99	34	910,59	8.850,91	64	4.036,29	39.232,78
5	102,51	996,36	35	924,45	8.985,69	65	4.362,97	42.408,05
6	116,07	1.128,21	36	964,39	9.373,85	66	4.639,19	45.092,96
7	126,37	1.228,29	37	967,23	9.401,49	67	4.783,19	46.492,61
8	154,27	1.499,47	38	1.024,21	9.955,31	68	5.103,27	49.603,80
9	165,08	1.604,57	39	1.042,80	10.136,04	69	5.984,88	58.172,99
10	183,19	1.780,61	40	1.047,98	10.186,41	70	6.223,60	60.493,38
11	202,81	1.971,29	41	1.080,51	10.502,53	71	6.697,11	65.095,94
12	220,44	2.142,68	42	1.146,09	11.139,98	72	7.122,90	69.234,55
13	244,45	2.376,10	43	1.217,56	11.834,73	73	7.230,29	70.278,43
14	251,32	2.442,87	44	1.229,79	11.953,60	74	8.362,44	81.282,96
15	256,47	2.492,89	45	1.266,81	12.313,40	75	8.373,02	81.385,73
16	286,29	2.782,70	46	1.299,00	12.626,26	76	8.661,81	84.192,82
17	318,34	3.094,26	47	1.306,50	12.699,21	77	9.597,93	93.291,92
18	331,22	3.219,48	48	1.322,42	12.853,92	78	11.401,44	110.822,00
19	377,88	3.673,02	49	1.467,87	14.267,70	79	11.895,74	115.626,63
20	398,52	3.873,63	50	1.578,78	15.345,77	80	12.455,16	121.064,18
21	431,79	4.197,05	51	1.586,29	15.418,71	81	12.609,38	122.563,17
22	439,46	4.271,59	52	1.619,84	15.744,87	82	13.782,47	133.965,58
23	443,99	4.315,54	53	1.674,60	16.277,11	83	15.034,96	146.139,80
24	478,18	4.647,91	54	1.749,64	17.006,49	84	18.623,16	181.017,15
25	492,61	4.788,21	55	1.845,16	17.934,98	85	19.082,20	185.479,03
26	527,43	5.126,58	56	2.640,37	25.664,40	86	19.588,50	190.400,21
27	533,25	5.183,18	57	2.693,42	26.180,02	87	22.847,10	222.073,83
28	668,76	6.500,32	58	2.714,47	26.384,67	88	42.732,90	415.363,77
29	728,03	7.076,44	59	3.242,71	31.519,18	89	46.480,96	451.794,96
30	737,30	7.166,56	60	3.501,73	34.036,78	Total	404.073	3.928.000

Figura 38: Mapa das feições erosivas (polígonos em vermelho) do cenário de 1972, Modificado de Yamanouth (2003).

A distribuição espacial das feições erosivas dos cenários de 1962 e 1972 foi semelhante, sempre ocorrendo na alta e média bacia, com registro de ocorrência de feições erosivas mais significativas na margem direita do que na margem esquerda (Figura 39). Essa situação também foi observada por Yamanouth (2003) que ressalta a maior ocorrência de feições erosivas na margem direita, principalmente de voçorocas.

A partir deste contexto, fazendo uma análise mais detalhada da distribuição das feições, no setor a montante (cabeceira) do córrego Espraiado, que possui um relevo dissecado, canais de primeira ordem e vale encaixado foi registrado grande ocorrência de feições erosivas (Figura 40), situação semelhante encontrada por Yamanouth (2003). Em outros setores da bacia também foram mapeadas feições erosivas, principalmente em área circundante de canais de primeira e segunda ordens na margem direita da média bacia. Entretanto, a partir deste trecho sentido a jusante a ocorrência de feições erosivas diminuiu significativamente.

Figura 39: Maior registro de ocorrência de feições erosivas (polígonos em vermelho) na margem direita do que na margem esquerda – Cenários de 1962 e 1972. **(A)** Fotos da margem esquerda que apresentam características de um relevo mais suave. **(B)** Fotos da margem direita, que apresentam relevo dissecado e maior ocorrência de feições (Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A; Fonte das Fotos: Evandro Daniel. Setembro e Novembro de 2011).

Figura 40: (A) e (B) Montante (cabeceira) do córrego Espreado – Cenários de 1962 e 1972 respectivamente, com presença significativa de feições erosivas (polígonos em vermelho) destacada pelo círculo em amarelo. Nota-se fissuras no solo, sombreamento e o entalhamento do relevo. (C) Registro de ocorrência de feições no setor da cabeceira (Fonte da Fotografia Aérea: BASE, S.A; Fonte da Foto: Evandro Daniel. Novembro de 2011).

6.1.2. Cenários de 2000 e 2006

O mapa das feições erosivas do cenário de 2000 (Figura 41) registrou uma área de $0,17 \text{ Km}^2$ (167.000m^2), ou seja, 1,67% da área total. Uma redução significativa (60%) em relação aos cenários anteriores (1962 e 1972), com volume estimado de perda de solo de $1.621.000\text{m}^3$. As feições mapeadas totalizaram 36 polígonos de diferentes tamanhos, desde uma área de 240m^2 até 44.664m^2 (Tabela 12), sendo que 13 polígonos (35% do total) registrados são menores ou iguais a 1.000m^2 .

Tabela 12: Número de polígonos de feições erosivas mapeadas e as respectivas áreas (m²) e o volume (m³) referidas de cada polígono, cenário de 2000.

Nº de Polígonos	Área (m ²)	Volume (m ³)	Nº de Polígonos	Área (m ²)	Volume (m ³)
1	240,03	2.333,11	20	1.791,22	17.410,66
2	241,26	2.345,05	21	1.882,78	18.300,62
3	364,41	3.542,05	22	2.289,93	22.258,12
4	394,87	3.838,13	23	2.785,33	27.073,41
5	471,46	4.582,61	24	2.966,65	28.835,84
6	519,55	5.050,05	25	3.210,95	31.210,43
7	563,98	5.481,85	26	3.215,87	31.258,26
8	806,82	7.842,30	27	3.383,62	32.888,79
9	810,46	7.877,62	28	3.843,83	37.362,03
10	811,58	7.888,59	29	5.540,03	53.849,09
11	840,53	8.169,92	30	9.555,26	92.877,13
12	932,09	9.059,88	31	10.061,80	97.800,70
13	932,64	9.065,28	32	10.868,80	105.644,74
14	1.184,33	11.511,69	33	13.591,70	132.111,32
15	1.204,31	11.705,89	34	13.983,60	135.920,59
16	1.348,39	13.106,35	35	17.002,80	165.267,22
17	1.429,85	13.898,14	36	44.663,90	434.133,11
18	1.466,26	14.252,05	Total	166.749	1.621.000
19	1.548,05	15.047,05

Figura 41: Feições Erosivas (Polígonos Vermelhos) mapeadas em grande parte na alta bacia.

Yamanouth (2003) mapeou três feições erosivas no cenário de 2002, cujo menor polígono em área foi de 9.469m^2 e o maior foi de 75.120m^2 , totalizando uma área de $0,15\text{km}^2$, ou seja, 1,25% da área total da bacia. Essa diferença pode estar relacionada com a precisão geométrica dos mapas e principalmente a interpretação e os critérios adotados, uma vez que a autora apenas considera as feições que surgiram somente nesse período (2002), ou seja, as feições que surgiram nos anos anteriores e que ainda existem não são consideradas neste cenário.

O mapa das feições erosivas do cenário de 2006 (Figura 42) registrou uma área de $0,15\text{Km}^2$ (147.000m^2), ou seja, 1,25% da área total, uma redução também significativa (70%) em relação aos cenários anteriores (1962 e 1972), cujo volume estimado de perda de solo foi de $1.428.000\text{ m}^3$. Foram registrados 20 polígonos de feições erosivas, desde uma área de 328m^2 até 48.600m^2 (Tabela 13). Porém, de forma geral, 6 dos polígonos (30%) são menores que 1.000m^2 . Cabe destacar que os polígonos das feições erosivas registradas neste cenário, foram atualizados e verificados por meio da realização de trabalhos e observações *in loco*.

As feições erosivas mapeadas nos cenários de 2000 e 2006 estão distribuídas espacialmente na alta e média bacia, margeando canais de primeira e segunda ordens, cujo setor a montante (cabeceira) do canal principal se destaca pela ocorrência significativa de feições, situação semelhante aos cenários de 1962 e 1972. Entretanto, foi observada uma distribuição homogênea das feições em ambas as margens, o que difere dos últimos cenários.

Figura 42: Feições Erosivas (Polígonos Vermelhos) mapeadas em grande parte no setor a montante.

Tabela 13: Número de polígonos de feições erosivas mapeadas e as respectivas áreas (m^2) e o volume (m^3) referidas de cada polígono, cenário de 2006.

Nº de Polígonos	Área (m^2)	Volume (m^3)	Nº de Polígonos	Área (m^2)	Volume (m^3)
1	328,31	3.191,18	12	4.638,85	45.089,65
2	335,30	3.259,12	13	6.281,46	61.055,76
3	419,46	4.077,12	14	7.560,82	73.491,22
4	550,26	5.348,53	15	9.757,39	94.841,82
5	832,58	8.092,72	16	10.069,67	97.877,21
6	838,05	8.145,84	17	14.966,95	145.478,76
7	1.057,72	10.280,99	18	15.421,99	149.901,75
8	1.183,76	11.506,19	19	17.921,51	174.197,07
9	1.475,54	14.342,22	20	48.598,93	472.381,59
10	1.698,89	16.513,23	Total	147.000	1.428.000
11	2.965,39	28.823,54			

Por meio das observações *in loco*, as medidas de algumas feições erosivas (Tabela 14), possibilitaram observar a magnitude das feições e o tamanho da área. As Figuras 43 e 44 exemplificam uma feição localizada na cabeceira de um afluente na média bacia da margem esquerda, em que é possível visualizar a profundidade e largura da mesma.

Tabela 14: Número de feições erosivas mensuradas (largura e profundidade) e as respectivas áreas (m^2).

Nº de Feição Erosiva	Largura (m)	Profundidade (m)	Área (m^2)
1	10,30	13,70	141,11
2	50,00	19,00	950,00
3	18,50	8,80	162,80
4	20,00	21,50	430,00
5	20,00	6,30	126,00
6	12,00	6,00	72,00
7	22,00	7,50	165,00
8	40,00	9,60	384,00
9	25,70	10,70	274,99
10	23,00	8,70	200,10

Figura 43: Vista da Feição Erosiva (polígono vermelho) a partir da margem oposta. (Fonte: Evandro Daniel, Novembro de 2011)

Figura 44: Vista da feição erosiva a partir da superfície, com as medidas da largura e da altura do talude. Fonte das Fotos: Evandro Daniel. Setembro de 2011.

6.1.3 Mapa das Feições Erosivas – Comparação entre os cenários

A partir da correlação dos quatro mapas das feições erosivas (1962, 1972, 2000 e 2006) (Figura 45), foram selecionadas duas áreas com ocorrência significativa de feições erosivas e denominadas de Setor 1 (S1) e Setor 2 (S2), que correspondem a 5% e 11% respectivamente da área total, com objetivo de verificar de forma mais detalhada e elencar fatores sobre a distribuição dessas feições, abordadas nos itens 5.2 e 5.3.

A partir da comparação dos cenários, foi constatado que o cenário de 1962 registrou a maior área total das feições (Figura 46) e, portanto a maior perda de solo (Figura 47), na sequência o cenário de 1972, posteriormente o cenário de 2000 e depois o cenário de 2006.

Figura 45: Comparação dos mapas das feições erosivas de todos os cenários, onde destaca-se a concentração no setor a montante (cabeceira) do canal principal e grade parte da área da bacia, margeando as drenagens afluentes, principal nas áreas circundantes das cabeceiras. Nota-se duas áreas erosivas em destaque (círculo em amarelo e vermelho) denominadas de setor 1 (S1) e setor 2 (S2).

Figura 46: O histograma apresenta uma tendência decrescente da área total. O cenário de 1962 possui a maior área, seguido pelo cenário de 1972, depois 2000 e 2006.

Figura 47: Histograma de perda de solo de todos os cenários, com linha decrescente, a partir do primeiro cenário que foi registrado o maior volume estimado de perda de solo, até o cenário de 2006 que registrou o menor volume.

O cenário de 1972 apresentou a menor área de um polígono de feição (59m^2) (Figura 48). Justamente neste período que surgiram inúmeras feições de menor tamanho e a redução das feições maiores em comparação a 1962, que registrou o maior polígono (49.163m^2) (Figura 49). Tal variação das áreas dos polígonos pode estar relacionada aos parâmetros morfológicos e a dinâmica do uso do solo.

É necessário pontuar que a qualidade das fotografias aéreas pode ter influenciado na interpretação e no tamanho das feições, uma vez que nos primeiros cenários (1962 e 1972) as fotos foram escaneadas em preto e branco e, nos cenários posteriores (2000 e 2006) as fotos são originais e coloridas.

Figura 48: Histograma dos menores polígonos de feições erosivas de todos os cenários. Nota-se que nos primeiros cenários (1962 e 1972) há uma semelhança entre as áreas dos menores polígonos, porém, no cenário de 2000, esse tamanho aumenta significativamente até o cenário de 2006.

Figura 49: Histograma dos maiores polígonos de feições. Nota – se que no primeiro cenário (1962), foi registrado o maior tamanho, sendo que nos cenários intermediários (1972 e 2000) a feição diminui e depois aumenta no cenário posterior.

6.2. MAPAS MORFOMÉTRICOS

A Figura 50 apresenta uma faixa da Carta Geomorfológica de São Pedro (Queiroz Neto e Journaux, 1978), na qual está inserida a alta bacia do córrego Espreado. Por meio deste documento, foi possível analisar e descrever, de forma geral, os aspectos geomorfológicos da área de estudo, como também a área circundante da mesma.

No reverso da *cuesta* apresenta-se como um relevo mais suave, caracterizado por rupturas convexas decorrentes da ação fluvial, e de recobrimento arenoso antigo do glaciais e do platô, que são os arenitos da base da formação Botucatu e os arenitos e siltitos da formação Pirambóia. Segundo Coutard *et al.* (1978) a *cuesta* é um divisor da drenagem, sendo que no reverso, possui direção SE – NW, e a partir do front muda para N-S, onde ambas drenagens são densas e bem desenvolvidas.

Na escarpa as declividades são bastante acentuadas e há inúmeras cornijas que marcam afloramentos de rochas basálticas e areníticas, sendo as rochas areníticas caracterizadas por ser de granulação média e estratificação cruzada de médio a grande porte, de origem eólica (Formação Botucatu).

A partir do sopé da escarpa são encontrados inúmeros blocos de rocha de desmoronamento recente, em graus diversos de alteração, o que sugere uma recorrência dos movimentos de massa que dão origem a esses depósitos.

No glacis o relevo é mais suave composto de colinas alongadas de topos convexos limitados por cornijas que marcam a passagem para as encostas, onde as declividades são mais elevadas e as planícies fluviais estão restritas ao canal principal das drenagens mais importantes da área, como por exemplo, o córrego Espraiado e o Samambaia.

Neste contexto, a bacia do córrego Espraiado situada na parte leste da carta, na zona menos dissecada do glacis, se estabelece a partir do sopé da escarpa e caracteriza-se justamente pelas formas suaves que marcam o seu topo, tendo um aumento relativo da declividade a partir das cornijas que limitam o topo das encostas mais íngremes e abruptas. Essas cornijas são numerosas nas encostas e marcam precisamente os afloramentos de rochas e solos rasos, onde a ocorrência de erosão é mais acentuada (Coutard *et al*, 1978).

Embora a carta geomorfológica contemple apenas um trecho da bacia em estudo, nas demais áreas a dinâmica é basicamente a mesma, isto é, apresenta um relevo suave, com vales alongados, a margem direita mais dissecada do que a margem esquerda, com desníveis altimétricos acentuados em alguns trechos, principalmente no topo das encostas limitadas pela presença de cornijas, em que também há ocorrência de feições erosivas, porém em menor intensidade.

6.2.1. Hipsometria e Declividade

No mapa hipsométrico (Figura 51), a Frequência de Distribuição (FD) constituiu-se pelas seguintes classes em relação ao total da área da bacia: 467 – 480m (4,35%), 480 – 510m (10,59%), 510 – 540m (23,56%), 540 – 580m (38,23%), 580 – 600m (11,28%) e acima de 600m (2,99%).

A hipsometria é, dentre os parâmetros morfométricos analisados, aquele que não apresenta relação direta com a distribuição das feições erosivas, por isso as possíveis relações encontradas são derivadas morfologicamente de fatores como a declividade e curvatura, além dos demais parâmetros como uso do solo, propriedades do solo e litologia. No entanto, por meio das análises correlativas com as feições erosivas do cenário de 1962, observou-se que o índice de PE cresceu a partir das classes mais baixas até atingir um significativo valor na classe 510 – 540m (PE = 5,17%) e o máximo na faixa hipsométrica 540 – 580m (PE = 5,43%) (Figura 52). Contudo, a partir desta classe, o PE diminui de maneira expressiva até atingir 2,40% na classe 600 – 623m.

Figura 51: Nota-se que a classe hipsométrica 540 – 580m foi a que obteve o maior índice de FD e a classe 600 – 623m o menor índice. Estão destacados o setor 1 (S1) em polígono preto e o Setor 2 (S2) em polígono amarelo. As feições erosivas do cenário de 1962 (polígonos em preto) estão em grande parte localizada na classe entre 540 a 580m.

Figura 52: O histograma apresenta os índices de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota-se que a classe 540 – 580m obteve o maior PE (5,43%) assim como o maior CE (54,55%). A classe 510 – 540m obteve o segundo maior PE (5,17%) e CE (32,04%).

A correlação entre as feições erosivas no cenário de 1962 e o mapa de declividade (Figura 53), revelou que quanto mais acentuada a declividade maior é a susceptibilidade de ocorrência de novas feições, isto é, maior será o resultado do Potencial de Erosão (PE) (Figura 54). Os maiores índices de PE e, consequentemente os maiores índices de CE, mesmo apresentando o FD inferior a 30%, estão associados as classes de 5 – 10% (PE = 4,14%) e 10 – 20% (5,34%). Porém, a classe 20 – 40% apresentou o maior índice (PE = 6,03%), e seu FD bem como seu índice de CE representam apenas 8% e 13% respectivamente. Entretanto, é preciso salientar uma exceção em relação a esta tendência do aumento da declividade com o aumento da susceptibilidade, uma vez que o intervalo (>40%) registrou uma redução do índice de PE (4,13%). Essa observação pode estar relacionada à diminuição do desenvolvimento de solo para essas altas declividades, que consequentemente reduz a probabilidade de ocorrência de feições. Além dessa hipótese, também pode estar relacionada com a menor intensidade das atividades antrópicas em tal setor, que neste caso seria a pastagem, o que provavelmente aumenta a

presença de vegetação, pasto sujo, e conseqüentemente à influência na distribuição e na gênese das feições erosivas.

Figura 53: O histograma apresenta a Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e o Potencial de Erosão (PE). Nota-se no histograma que o PE teve um aumento diretamente proporcional com o aumento da declividade. O maior índice de PE (6,03%) foi obtido no intervalo 20 – 40%, porém com FD e CE de apenas 8,10% e 12,85% respectivamente. O segundo maior PE registrou no intervalo 10 – 20%, com o maior CE (39,58%).

Figura 54: Nota-se que o intervalo 5 – 10% foi o que obteve o maior FD e a classe > 40% o menor FD. Também estão destacados o Setor 1 (S1) em polígono preto e o Setor 2 (S2) em polígono em amarelo. As feições erosivas do cenário de 1962 (polígonos em preto) estão em grande parte localizada no intervalo entre 10 - 40%.

A partir do exposto, as classes hipsométricas (510 – 540m e 540m – 580m) que registraram os maiores índices de PE estão em grande parte justamente nos intervalos de declividade entre 10 – 40%, que também obtiveram alto índice de PE. Essas classes estão distribuídas espacialmente no setor da cabeceira (montante) do canal principal, em área circundante (cabeceiras) de canais de primeira segunda e terceira ordem em toda bacia, nos vales encaixados, em áreas próximas a rupturas topográficas da margem direita na alta e média bacia e em trechos margeando o sopé das encostas por toda bacia.

Stabile (2009) aplicou os índices (FD, CE e PE) na bacia do córrego Água da Faca no município de Piratininga (SP) e também identificou que o setor da cabeceira onde predomina curvatura côncava e declividade entre 5 e 15° possui alto índice de Potencial de Erosão (PE), setor onde estão localizadas boa parte das feições erosivas mapeadas na bacia.

Neste contexto, o setor da cabeceira do canal principal onde está localizada grande ocorrência de feições erosivas, a declividade predominante está entre 20 - 40%, e as áreas circundantes entre 10 - 20%, como também a faixa hipsométrica entre 540 – 580m, classes, estas, que alcançaram alto índice de PE. Dylik (1968) discute que uma superfície de inclinação não é apenas uma configuração geométrica da superfície, mas também resultado dos aspectos dinâmicos, da atuação dos processos erosivos. Assim, o autor explica que uma forma de declive pode ser considerada como pequenos sulcos ou voçorocas.

O alto índice de PE no setor a montante provavelmente está relacionado com a ruptura de declive, a proximidade da rocha a superfície e a presença de colúvios arenosos pouco espessos (Coutard *et al*, 1978), que Furquim (2002) classificou como Neossolo Litólico e Gleissolo. Estes solos possuem baixa espessura (cerca de 60cm), são pouco desenvolvidos, limite abrupto entre o horizonte A, poroso e o horizonte C-3 menos poroso, semelhante a rocha sã, devido a proximidade da formação Pirambóia a superfície (Coutard *et al*, 1978 e Furquim, 2002). É provável que tal fato condicionou rapidamente a saturação

do solo, devido à baixa capacidade de infiltração e, conseqüentemente à formação do escoamento superficial de alto poder erosivo.

Essa observação está também diretamente relacionada com os estudos de Yamanouth (2003) que descreveu a presença de solos pouco espessos neste setor a montante, levando com facilidade à saturação do solo e, conseqüentemente, à rápida formação do escoamento superficial, facilitado, sobretudo, pela alta declividade entre 10 – 40%. Segundo Coutard *et al*, (1978) e Carpi Junior, (1996) a ocorrência deste tipo de solo pode ser atribuída à intensa atuação dos processos erosivos, que desde a época pré-atual (Quaternário) tem levado à retirada das camadas superficiais do solo e permitindo o afloramento do substrato rochoso.

Carpi Junior (1996) também identificou, por meio de um estudo de elaboração e aplicação de técnicas cartográficas na bacia do ribeirão Araquá no município de São Pedro, que o setor a montante (cabeceira) do canal principal, bem como, nas zonas de cabeceiras de afluentes na alta e média bacia, são áreas mais susceptíveis à ação de processos erosivos, principalmente em relação à erosão linear acelerada.

A identificação da ocorrência de feições erosivas na cabeceira de drenagem também foi encontrada por outros autores, como Dias Ferreira (1997), que observou na região de São Pedro, que os sulcos, as ravinas e as voçorocas se desenvolvem em quase todas as cabeceiras de drenagem. Situação semelhante encontrada por Oliveira (1997) e Araujo (2011) também na região de São Pedro (SP), Salomão (1994) em Bauru (SP), Salgado *et al* (2008) no interior do Estado do Rio de Janeiro (RJ) e Santana *et al* (2007) no sudoeste de Goiás (GO).

Silva (2003) afirmou que as feições erosivas lineares numa determinada bacia no município de São Pedro (SP) estão relacionadas com a concentração de fluxo de águas pluviais nas cabeceiras da drenagem. Entretanto, a declividade encontrada pelo autor neste setor varia entre 10% e 50%, o que difere do intervalo (20 – 40%) registrado neste presente trabalho. Ainda o

mesmo explica que a alta declividade facilita o escoamento superficial e a conseqüente remoção do material inconsolidado, extremamente arenoso com variações granulométricas de média a fina, porosidades em torno de 40%, valores relativamente elevados dos índices de vazios e baixa taxa de resistência à erosão.

Santoro e Fulfaro (1996) abordaram que as feições erosivas numa determinada bacia de São Pedro estão distribuídas num intervalo de declividade entre 15 e 17%, diferentemente do intervalo de 20 – 40% encontrado na bacia do córrego Espraiado. A Tabela 15 destaca alguns trabalhos que identificaram as classes de declividades, com maior número de feições erosivas.

Tabela. 15: Intervalo de declividade média das ocorrências de feições erosivas registradas em diversas localidades e os respectivos autores.

Bacia	Declividade/ Erosão	Fonte
Água Branca (SP)	12% - 16%	Pinheiro (2008)
Alto Araguaia (GO)	8 - 12%	Castro - (2005)
Córrego da Barra (SP)	10 - 20%	Guimarães (2008)
Córrego Espraiado (SP)	10 - 40%	Yamanouth 2003
Córrego Espraiado (SP)	20 - 40%	Daniel - (2012)
Córrego Tucum (SP)	15 - 17%	Santoro (1991)
Córrego Tucum (SP)	15 - 17%	Santoro e Fulfaro (1996)
Córrego Tucum (SP)	10 - 40%	Silva (2003)
Ribeirão da Cachoeira (TO)	8 - 20%	Silveira e Mendonça (2009)
Ribeirão do Secretário (RJ)	> - 45%	Salgado et al (2008)
Ribeirão do Meio e Samambaia (SP)	12 – 20%	Oliveira (1997)
Bacia do Peixe Paranapanema (SP)	> - 10%	DAEE (1989)

O menor registro de feições erosivas na margem esquerda da média bacia pode estar provavelmente relacionado com o relevo mais suave e menos dissecado, a maior predominância da classe 0 – 5%, confirmado pelo PE baixo 1,36%.

Yamanouth (2003) considerou que as ocorrências de feições erosivas nesta margem são apenas em lugares onde há maior espessura (aproximadamente 3m) de materiais inconsolidados (material arenoso de granulações fina e média), que de acordo com Oliveira (1997) e Furquim (2002) são os Neossolo Quartzarênico e Neossolo Quartzarênicos com bandas. Estes são mais profundos, com textura arenosa ($\geq 85\%$ de areia) ou areia franca (entre 70 e 85% de areia), horizonte A, geralmente moderado ou fraco, seguido por um horizonte C solto ou muito friável (Embrapa, 2009 e Oliveira, 2009).

Perez Filho *et al* (1986) explanam que este tipo de solo é facilmente susceptível aos processos erosivos normais e acelerados, aliadas as condições topográficas e antrópicas. Os mesmos autores realizaram uma análise das modificações dos processos erosivos em função das variações pluviométricas, medidas em campo e do uso da terra numa determinada bacia do município de São Pedro. Os autores concluíram que no período de 30 dias, foi registrada a presença de voçorocas de até 28m de comprimento e 4m de profundidade.

O maior registro de feições erosivas na alta e média bacia, como também nas áreas circundantes da cabeceira de drenagem na baixa bacia da margem direita, pode estar associado à presença das classes de declividades com maior Concentração de Erosão (CE), como também à presença significativa do Neossolo Litólico e Gleissolo, conforme mapeado por Furquim (2002). Esse resultado novamente foi observado por Yamanouth (2003) que também atribui a alta declividade (10 – 20%) como um dos principais fatores para a maior ocorrência de feições erosivas nesta margem.

A partir da média bacia sentido a jusante, o registro de feições foi menor, o que pode estar relacionado com a presença de um relevo mais suave e conseqüentemente à redução da energia, pela substituição do vale encaixado pelo fundo plano, na diminuição e na transição do Neossolo Litólico mais Gleissolo pelo Neossolo Quartzarênico e Neossolo Quartzarênico com bandas, de maior profundidade e capacidade de infiltração e, portanto, menor poder erosivo do escoamento.

Ferreira (2004) analisou os processos erosivos acelerados numa determinada bacia em São Pedro (SP) e observou que a declividade tem influência na formação de processos erosivos desde que associado ao material inconsolidado e geológico presente (alta suscetibilidade à erosão, índice de erodibilidade menor que 1, textura arenosa (areia média e areia fina totalizando até 90%), material fino da ordem de até 15%, baixa coesão do cisalhamento direto). No entanto, a autora ressaltou que a mesma declividade em outros setores da bacia, com maior presença de matéria orgânica, raízes, maior coesão, índice de erodibilidade maior que 1, não foi registrado ocorrência de feições erosivas.

DAEE (1989) identificou por meio de cadastramento e mapeamento na bacia do Peixe Paranapanema/SP, que o desenvolvimento de voçorocas está relacionado a declividades acima de 10%, embaciamentos nas cabeceiras de drenagem e solos podzólicos de textura arenosa.

Castro (2005), em estudo realizado na alta bacia do rio Araguaia, avaliou que a ocorrência de processos erosivos é fortemente condicionada pela associação entre declividade de 8 a 12%, suscetibilidade dos solos (Neossolos Quartzarenos Hidromórficos, espessura de 2 m) e do relevo (processo de dissecação erosiva em bordas de planalto), além das direções estruturais dominantes ligadas ao acamamento e ao sistema de fraturas.

É importante ressaltar que Facincani (1995) atribui a origem e evolução das voçorocas de São Pedro com as estruturas e a tectônica, o que justifica a localização de processos erosivos em áreas de concentração de aquíferos, desníveis altimétricos, maciço fraturado, entre outros. Essa autora elaborou um mapa de lineamentos estruturais (Figura 55), e identificou uma possível orientação preferencial NW-SE para as voçorocas, que são controladas pelas descontinuidades estruturais (Figura 56), representadas pelas falhas, juntas e acamadamento. A mesma autora explica que eventos tectônicos, de caráter ressurgente, teriam provocado a reativação de descontinuidades preexistentes mais propensas à percolação de águas, e à consequente alteração do controle da rede de drenagem e das feições lineares do relevo. A mesma autora, ainda

complementa que a localização das voçorocas em área de baixos estruturais, de concentração de aquífero, deve-se a desníveis altimétricos em relação às áreas vizinhas, que juntamente com o maciço fraturado, geram gradientes hidráulicos condicionantes do fluxo subterrâneo.

Figura 55: Faixa da carta morfoestrutural de São Pedro (SP), no qual situa-se a bacia do córrego Espraiado. Nota-se que as feições erosivas (polígonos em vermelho) do cenário de 1962, possuem em alguns trechos uma semelhança com os lineamentos estruturais. Fonte: Modificado de Facincani (1995).

Figura 56: Faixa da carta de descontinuidade estrutural de São Pedro (SP), no qual situa-se a bacia do córrego Espraiado. Nota-se que alguns trechos da bacia, as feições erosivas (polígonos em vermelho) do cenário de 1962, possuem semelhanças na direção das descontinuidades estruturais. Fonte: Modificado de Facincani (1995).

6.2.2 Curvatura

No mapa de curvatura, a Frequência de Distribuição (FD), apresentou predomínio da curvatura convexa 42,54%, seguido pela classe côncava 36,56% e a retilínea 20,90% (Figura 57). Entretanto, na correlação entre as feições erosivas do cenário de 1962 com a curvatura, observou-se que as curvaturas côncavas, que concentram fluxos de águas e detritos, são as formas mais sujeitas à ocorrência de novos processos, como pode ser verificado pelo alto índice de PE (5,43%) (Figura 58). Esta tendência também pode ser observada no índice de CE para esta mesma classe, mesmo esta apresentando o segundo maior índice de FD na bacia.

Kirkby e Chorley (1967) discutem que a curvatura côncava, em perfil, potencializa os fluxos hídricos e a curvatura côncava em planta produz a convergência destes fluxos, fatores estes, que estão entre os principais associados aos processos erosivos. Derosé *et al.* (1998), explicam por exemplo, que na Nova Zelândia a grande maioria das voçorocas de menor porte ocupa áreas topograficamente convergentes em bacias canalizadas. Já as maiores voçorocas têm o anfiteatro (curvatura côncava) como forma principal, e ocupam praticamente toda a bacia de drenagem, e se desenvolvem associadas à prática de cortes do terreno.

Assim, o resultado do alto índice de PE para curvatura côncava, justifica-se pela presença dessa classe no terço médio inferior das encostas, nas cabeceiras das drenagens afluentes (Figura 59), e principalmente no setor a montante (cabeceira) do canal principal, onde predominam encostas abruptas, limitada no topo pela presença de cornijas, vales encaixados, declividade alta e ruptura de declive.

Oliveira *et al.* (1994) também estudaram a relação da morfometria do relevo com a ocorrência de feições erosivas, na bacia do córrego Paraíba do Sul, área de embasamento cristalino, e encontraram voçorocas nas cabeceiras de drenagem das altas encostas. Filizola *et al.* (2011) referem que as áreas de cabeceiras de drenagem devem ser consideradas como áreas de risco, e portanto de formação de voçorocas, uma vez que são locais que consistem em

zonas de convergência dos fluxos superficial e subterrâneo, havendo assim uma interação sinérgica favorável aos processos causadores de incisões sobre as encostas. Gomes *et al* (2006) por meio de um relatório técnico, identificaram linhas preferenciais de concentração de fluxo de águas e o desenvolvimento de feições erosivas nas cabeceiras de drenagem, numa altitude aproximada de 720m, em que as rampas são relativamente inclinadas e longas, numa área de platôs residuais, sustentadas por rochas do Grupo Bauru (Formação Marília), no município de Monte Alto/SP.

Pinheiro (2009) realizou um inventário das feições erosivas lineares na alta bacia do Araquá em São Pedro/Charqueada/SP por meio de técnicas cartográficas e aerofotogramétricas analógicas e digitais e identificou que as ravinas e voçorocas se instalaram preferencialmente em setores côncavos da encosta, em áreas de solos arenosos, profundos e homogêneos.

Figura 58: O histograma mostra que a curvatura côncava obteve o maior o índice de PE (5,43%) e também o maior CE (52,20%).

Figura 577: Nota –se que a curvatura cônvexa obteve o maior FD (42,54%), seguido da côncava (36,56%) e a retilínea (20,90%). Também estão destacados o setor 1 (S1) em polígono vermelho e o Setor 2 (S2) em polígono em amarelo. As feições erosivas do cenário de 1962 (polígonos em preto) estão em grande parte localizada na curvatura côncava.

Figura 58: Feição erosiva localizada na cabeceira de drenagem afluyente da média encosta, com profundidade variada que chega a atingir o regolito. Nota-se fundo plano, taludes acentuados, presença de *piping* em horizontes, indícios de evolução nas ramificações por meio da presença de patamares (degraus).

Domingos *et al* (1998), estudaram a ocorrência de feições erosivas numa determinada bacia do interior do estado de São Paulo, e concluíram que as ravinas profundas e voçorocas estão associadas às (baixas encostas retilíneas côncavas), próximas aos canais fluviais.

Santoro (1991) e Santoro e Fulfaro (1996) apontaram que as voçorocas numa determinada bacia em São Pedro ocorrem predominantemente em encosta de planta coletora (côncavo) e perfil convexo. Oliveira e Meins (1985) realizaram um estudo sobre a relação entre a geometria do relevo e as formas de erosão linear na região de Bananal/SP (Médio Paraíba), e verificaram que as voçorocas concentram-se em segmentos da encosta com perfil e contorno côncavos. Rodrigues (1982) estudou sete voçorocas em seis regiões (São Carlos, Descalvado, Casa Branca, São Pedro, Dois Córregos e Rio Claro) do centro leste do Estado de São Paulo, por meio de uma caracterização

geotécnica (coleta de amostras, análise granulométrica, ensaios de permeabilidade) e também identificou que grande parte das feições está localizada em encosta de planta coletora (côncavo) e perfil convexo.

A presença significativa da curvatura côncava na margem direita está provavelmente relacionada com o maior registro de ocorrência de feições erosivas nessa margem, além dos resultados da alta declividade (10 – 20%) e da presença do solo de pequena espessura (Neossolos Litólicos e Gleissolos).

Esse resultado também foi identificado por Yamanouth (2003) nessa mesma bacia e por Silva (2003) que identificou que as áreas que apresentam alta suscetibilidade à erosão na bacia do córrego Tuncum em São Pedro (SP) consistem por encostas combinadas (côncavas - convexas - retilíneas) além de declividades que variam entre 10% e 50%.

Augustin e Aranha (2006) realizaram um estudo de 27 voçorocas localizadas numa determinada bacia em Gouveia/MG (situada num espesso manto de alteração, proveniente da decomposição de granitos-gnaisses, xistos, milonitos, rochas básicas e metabásica), por meio de levantamento de campo e utilização de método Geofísico e observaram que grande parte das feições está localizada em curvaturas côncavas.

6.3. ABORDAGEM DETALHADA – SETOR 1

No cenário de **1962**, em que estão concentradas 11% do total das feições erosivas deste período, a curvatura côncava foi a classe mais suscetível a ocorrência de feições erosivas, uma vez que obteve o maior índice de PE (9,14%), tendência verificada pelo alto índice de CE (Figura 60). A curvatura retilínea foi a posterior com 7,10% e depois a convexa com 6,77%. Em relação à declividade, os intervalos 5 – 10% (PE = 10,36%) e 10 – 20% (10,08%) (Figura 61), foram as classes que obtiveram os maiores índices de PE, ou seja, as classes com maior probabilidade de ocorrência de feições erosivas.

Figura 59: Histograma de curvatura do setor 1 (1962), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura côncava foi a classe mais suscetível registrando o maior índice de PE (9,14%) e o maior índice de CE (38,23%).

Figura 60: Histograma de declividade do setor 1 (1962), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que o intervalo 5 – 10% e 10 – 20% foram as classes mais suscetíveis com os maiores índices de PE, 10,36% e 10,08%, respectivamente.

No cenário de 1972, 8% do total das feições erosivas situam-se neste setor, sendo que a curvatura côncava novamente foi a classe com maior probabilidade de ocorrência de feições. Tal fato é verificado pelo alto índice de PE (6,88%), seguido da retilínea com 5,63% e a convexa com 4,29% (Figura 62). Em relação a declividade, os intervalos 5 - 10% e 10 - 20% foram novamente as classes mais susceptíveis, e portanto, obtiveram os maiores índices de PE (7,23%) e (6,43%) respectivamente (Figura 63).

Figura 61: Histograma de curvatura do setor 1 (1972), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura côncava foi a classe mais susceptível com o maior PE (6,88%).

Figura 62 Histograma de declividade do setor 1 (1972), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que o intervalo 5 – 10% e 10 – 20% foram as classes mais susceptíveis registrando os maiores índices de PE, 7,23% e 6,43%, respectivamente.

No cenário de **2000**, 6% do total das feições deste período estão neste setor, e diferentemente dos cenários anteriores, a curvatura convexa foi a classe mais susceptível. Tal fato é verificado pelo alto índice de PE (1,69%) (Figura 64), seguido da retilínea (1,58%) e a côncava (1,41%). Em relação à declividade, a situação foi semelhante aos cenários anteriores, uma vez que os intervalos 5 – 10% e 10 – 20% foram novamente as classes mais susceptíveis, e, conseqüentemente, obtiveram os maiores índices de PE (2,12%) e (1,99%) respectivamente (Figura 65).

Figura 63: Histograma de curvatura do setor 1 (2000), que apresenta os percentuais dos índices de Freqüência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura convexa foi a classe mais susceptível com o maior valor de PE 1,69%.

Figura 64: Histograma de declividade do setor 1 (2000), que apresenta os percentuais dos índices de Freqüência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que o intervalo 5 – 10% e 10 – 20% foram as classes mais susceptíveis, registrando os maiores índices de PE, 2,12% e 1,99%, respectivamente.

No cenário de **2006**, no qual estão 5% do total das feições erosivas deste período neste setor, a curvatura cônica foi a classe mais vulnerável, pelo fato de ter obtido o maior índice de PE (1,77%) (Figura 66), seguido da convexa (1,16%) e a retilínea (0,66%). O intervalo 10 – 20% foi a classe mais susceptível, com o maior índice de PE (2,35%) (Figura 67). Também vale ressaltar o intervalo 5 – 10% que obteve o segundo maior PE (1,96%) e o maior índice de CE.

Figura 65: Histograma de curvatura do setor 1 (2006), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura cônica foi a classe mais susceptível com o maior índice de PE (1,77%).

Figura 66: Histograma de declividade do setor 1 (2006), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota – se que o intervalo 10 – 20% foi a classe mais susceptível com o maior índice de PE (2,35%). O intervalo 5 – 10% registrou o segundo maior PE (1,96%).

O índice de PE revelou em todos os cenários do **setor 1**, que o intervalo entre 5 – 20% foi a classe mais suscetível a novos processos erosivos. Essa observação difere do contexto da bacia onde o intervalo entre 20 – 40% obteve o maior índice de PE. Entretanto, em relação a curvatura, a classe côncava com exessão do cenário de 2000, foi a mais susceptível a ocorrência de novos processos erosivos, o que assemelha ao índice de PE obtido na bacia.

6.4. ABORDAGEM DETALHADA – SETOR 2

No cenário de **1962**, que concentra 33% das feições deste período, revelou que a curvatura côncava foi a classe com maior probabilidade de ocorrência de feições erosivas, pelo fato de ter obtido o maior índice de PE (17,54%) (Figura 68), seguido pela convexa (10,98%) e retilínea (5,98%). Em relação à declividade o intervalo 20 – 40% foi a classe mais susceptível com índice de PE = 12,76% (Figura 69), porém com FD e CE de apenas 4,30% e 5,93% respectivamente. O intervalo 10 – 20% registrou o segundo maior PE (17,24%), e o maior índice de CE (37,50%).

Figura 67: Histograma de curvatura do setor 2 (1962) que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura côncava foi a classe mais susceptível com o maior índice de PE (17,54%).

Figura 68: Histograma de declividade do setor 2 do cenário de 1962, que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota – se que o intervalo 20 – 40% foi a classe mais susceptível com PE = 17,24%. O segundo maior índice de PE foi na classe 10 – 20% com 17,40%.

No cenário de **1972**, 34% das feições erosivas deste período estão situadas neste setor, cuja curvatura côncava novamente obteve o maior índice de PE (16,72%) (Figura 70). Tal tendência é constatada pelo alto índice de CE (52,49%), seguido pela convexa (9,61%) e a retilínea (6,57%). Em relação a declividade o intervalo 10 – 20%, obteve o maior índice de PE (16,31%) (Figura 71), seguido da classe 20 – 40% com 14,72%, e do intervalo 5 – 10% com 12,14%.

Figura 69: Histograma de curvatura do setor 2 (1972), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura côncava foi a classe mais susceptível a com o maior índice de PE (16,72%).

Figura 70: Histograma de declividade do setor 2 (1972), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota – se que o intervalo 10 – 20% foi a classe mais susceptível com o maior índice de PE (16,31%).

No cenário de **2000**, 11% das feições erosivas deste período estão localizadas neste setor, e a curvatura côncava novamente foi a classe mais susceptível com PE = 2,31% (Figura 72), tendência verificada pelo alto índice de CE. A curvatura convexa registrou o segundo maior índice (1,32%) e a retilínea (0,34%). Em relação à declividade o intervalo 20 – 40% foi o mais susceptível, pelo fato de ter registrado alto índice de PE (6,71%) (Figura 73), porém com frequência e índice de CE apenas de 4,30% e 19,11% respectivamente. O intervalo 10 – 20% com PE = 2,49% foi a segunda classe mais susceptível, com alto índice de CE (44,45%).

Figura 71: Histograma de curvatura do setor 2 (2000), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura côncava foi a classe mais susceptível a com, o maior índice de PE (2,31%).

Figura 72: Histograma de declividade do setor 2 (2000), que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota – se que o intervalo 20 – 40% foi a classe mais susceptível com o maior índice de PE (6,71%).

No cenário de **2006**, 8% do total das feições erosivas deste período, estão situadas neste setor, e a curvatura côncava novamente foi a mais susceptível, por ter obtido o maior índice de PE (1,27%) (Figura 74), seguido pela convexa (0,95%) e a retilínea (0,22%). Em relação à declividade apesar de ter obtido uma baixa frequência (FD) e CE, o intervalo 20 – 40% foi o mais sujeito à ocorrência de novos processos erosivos (Figura 75). Assim, esta classe registrou o maior índice de PE (3,83%), seguido pelo intervalo 10 – 20% que teve o segundo maior PE (1,58%) com alto índice de CE (45,22%).

Figura 73: Histograma de curvatura do setor 2 do cenário de 2006, que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota –se que a curvatura côncava foi a classe mais susceptível a com o maior índice de PE (1,27%).

Figura 74: Histograma de declividade do setor 2 do cenário de 2006, que apresenta os percentuais dos índices de Frequência de distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota – se que o intervalo 20 – 40% foi a classe mais susceptível a ocorrência com o maior PE (1,58%).

A partir do exposto, a declividade entre 10 – 20% foi o intervalo com maior suscetibilidade (maior índice de PE) nos dois primeiros cenários (1962 e 1972), o que difere do contexto da bacia. Entretanto, nos cenários de 2000 e 2006 o intervalo entre 20 – 40% foi o mais suscetível e, portanto, igual ao contexto da bacia.

Em relação a curvatura, a classe côncava foi a mais sujeita a novos processos erosivos em todos os cenários, diferentemente do setor 1 que também registrou a curvatura convexa no cenário de 2000. Essa observação está semelhante à suscetibilidade da bacia que também registrou a curvatura côncava com o maior índice de PE.

6.5. MAPAS DO USO DO SOLO

A partir do mapa do uso do solo nos quatro cenários (1962, 1972, 2000 e 2006) foi possível compreender, de forma geral, a dinâmica das classes de uso do solo ao longo da escala evolutiva e a influência na distribuição e na gênese das feições. Assim, este capítulo analisa a correlação do uso do solo com as feições erosivas por meio dos seguintes índices: Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE).

6.5.1. Cenário 1962

No mapa do uso do solo de 1962 (Figura 76), o índice de Frequência de Distribuição (FD) registrou 46,50% de área associada à classe de pastagem (pasto sujo 31,69% e 100 polígonos e pasto limpo 14,90% e 46 polígonos), ou seja, 5,6 km² da área da bacia. A segunda maior classe foi o solo exposto com 16,04% (1,92km²) e 130 polígonos. A terceira maior classe foi a mata, com 14,74% (1,77 km²) e 86 polígonos, depois a silvicultura com 9,17% (1,1 km²) e 5 polígonos, posteriormente áreas agrícolas com 8,60% (1,03km²) e 11 polígonos e por fim sedimentos/vegetação em planície com 4,85% (0,58 km²) e 1 polígono.

Embora quase a metade da bacia tenha sido classificada pelo (FD) como pastagens (pasto sujo e pasto limpo), a classe mais susceptível à ocorrência de novas feições erosivas e, portanto a que obteve o maior Potencial de Erosão (PE) foi o solo exposto com 9,79% (Figura 77). O pasto sujo foi a classe que obteve o segundo maior índice de PE (3,97%), seguido do pasto limpo com 3,12%. O restante das classes para o índice de PE registrou valores abaixo de 3%.

Figura 75: Nota –se que a classe pasto sujo foi a que obteve o maior FD=31,69% e que está distribuída por toda área da bacia, principalmente na parte alta da mesma. O solo exposto que obteve o segundo maior FD = 16,04%, está presente no setor da cabeceira (montante) do canal principal e dos afluentes, área que estão localizadas grande parte das feições erosivas (polígonos em vermelho). Na sequência o pasto limpo com 14,90%, situado principalmente na média bacia. Posteriormente, a mata com 14,74% localizada margeando a extensão das drenagens e alguns trechos das cabeceiras destes. Na sequência a classe áreas agrícolas está em sua maioria distribuída na margem esquerda da média bacia, margeando o limite da bacia, e para completar a classe vegetação e sedimentos em planície margeando toda a extensão do canal principal.

Figura 76: Histograma das classes de uso do solo do cenário de 1962, com os percentuais de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota - se que as classes mais susceptíveis a ocorrência de feições erosivas são o solo exposto e pasto sujo, que possuem os maiores índices de PE com 9,79% e 3,97% respectivamente, classe estas que também possuem os maiores índices de CE.

A justificativa do alto PE para as classes de solo exposto e pasto sujo provavelmente está relacionada com a distribuição espacial dessas classes de uso do solo, exemplificado pelo setor da cabeceira (montante) do canal principal, como também de afluentes e de áreas circundantes do mesmo (Figura 78), cuja intensidade de ocorrência de feições erosivas é maior na margem direita, principalmente na alta e média bacia, justamente onde a classe de solo exposto tem maior presença. Esses setores côncavos das cabeceiras de drenagens, geralmente em formas de anfiteatro (Figura 79) propiciam a convergência natural das águas superficiais e subsuperficiais, e favorecem provavelmente o desenvolvimento de feições erosivas, facilitado principalmente pela presença de solo arenoso (Neossolo Litólico e Gleissolo).

Figura 77: Feição erosiva ramificada em área de pasto sujo, com presença de água e sedimentos no talvegue da feição. Nota-se no lado esquerdo da foto a presença de degraus (patamares) no talude, indício de instabilidade. Ao fundo na cabeceira da feição a presença de bambu, provavelmente uma prática de conter a o avanço da feição. Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011.

Figura 78: Vista do trecho do setor 1 a partir da margem oposta. Nota-se o anfiteatro e a ocorrência de feições erosivas (polígonos em vermelho) nas cabeceiras dos afluentes. Também observa-se que a vegetação estão apenas margeando as drenagens, as áreas circundantes há apenas gramineas, decorrente da prática de pastagens neste setor, no qual a declividade é de aproximadamente 14%. Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011.

Também é importante ressaltar, que embora a maior concentração da área do solo exposto com 43,48% e do pasto sujo com 44,78% tenha sido em curvaturas convexas (Tabela 16), foi registrada uma presença significativa da primeira classe 33,58% e da segunda classe 37,85% em curvaturas côncavas (alto índice de PE), que concentram mais fluxos de águas e de detritos, sendo que o restante das suas áreas, 23% e 17,37%, respectivamente, está em curvatura retilínea.

Tabela 16: Distribuição das áreas classes de solo exposto e pasto sujo nas classes de curvatura.

Classes de Curvatura	Solo Exposto (%)	Pasto Sujo (%)
Côncava	33,58	37,85
Retilínea	22,94	17,37
Convexa	43,48	44,78
Total	100%	100%

Coutard *et al* (1978) explicam que a criação de gado, o desmatamento, a construção de estradas ou caminho, são fatores determinantes para o aumento do escoamento superficial e o desenvolvimento das feições, *bandlands* nas cabeceiras da zona dissecada próxima ao vale do rio Piracicaba. Lohmann e Santos (2005), por meio de uma abordagem morfopedológica, concluíram que o manejo inadequado provocou o desequilíbrio entre a infiltração e o escoamento superficial e conseqüentemente a ativação dos processos erosivos na bacia do Arroio Guassupi no município de São Pedro do Sul/RS.

Pinheiro (2008) identificou, por meio de documentos cartográficos e modelagem, que a criação de gado, aliado com o solo arenoso (Neossolo quartzarênico e Latossolo vermelho amarelo) são alguns dos fatores responsáveis para a formação de feições erosivas no córrego Água Branca no município de Itirapina (SP).

Lemos *et al* (2011) identificaram, por meio de observações *in loco* e fotografias aéreas numa escala evolutiva (1952, 1980 e 2001), que a formação de feições erosivas está associada a áreas de campos de pastagens ou pasto degradados e solo exposto. Tais classes de uso são constituídos predominantemente por decomposição intempérica de rochas graníticas e solos Cambissolos, na bacia hidrográfica do alto curso do rio Pitangui, entre os municípios de Castro, Carambeí e Ponta Grossa/PR.

Vieira (2006) constatou, por meio de monitoramento, análise granulométrica, ensaios de permeabilidade e adensamento, que a pastagem tem influência direta na evolução e no desenvolvimento das feições, numa determinada bacia do município de Prata/MG.

As áreas das classes de uso do solo exposto e do pasto sujo que obtiveram alto índice de PE em relação à declividade (Tabela 17) registraram 71% da primeira classe e 54% da segunda classe no intervalo entre 0 - 10% (baixo índice de PE), sendo apenas 4,70% e 9,89% respectivamente, no intervalo entre 20 – 40% (alto índice de PE). Assim, nota-se que grande parte da área dessas classes de uso (solo exposto e pasto sujo) de alta suscetibilidade, localiza-se em declividade de baixo índice de PE, o que provavelmente demonstra que as áreas de baixa suscetibilidade natural quando há alterações antrópicas, ocorre consequentemente, aumento da suscetibilidade.

Tabela 17: Distribuição das áreas das classes de solo exposto e pasto sujo nos intervalos de declividade

Declividade (%)	Solo Exposto (%)	Pasto Sujo (%)
0 - 5	31,98	22,00
5 - 10	39,21	32,17
10 - 20	24,07	35,89
20 - 40	4,70	9,89
40 - <	0,04	0,05
Total	100	100

Guimarães (2008) catalogou 33 feições erosivas na bacia córrego da Barra no município de São Pedro (SP), e avaliou que grande parte delas ocorre no intervalo entre 10 - 20%, condicionado pela prática da pastagem e a presença de materiais inconsolidados retrabalhados (arenosos e homogêneos com 79% de areia, 16% de argila e 5% de silte, espessuras desde poucos centímetros até superiores a 20m, alta erodibilidade), que recobrem os residuais da Formação Pirambóia.

Conforme a Tabela 18, o alto PE obtido na curvatura côncava, novamente é justificado pela pequena parcela da área destinado ao uso da classe de mata (18,56%) de baixo índice de PE, e a presença significativa das classes de pastagens e do solo exposto que também obtiveram alto PE. Assim, a área de curvatura côncava está associada a 60% de solo exposto e pastagem, sendo 14,71% para a primeira classe e 46% para a segunda classe (pasto sujo com 32,74% e pasto limpo com 13,26%). Coutard *et al* (1978) e Queiroz Neto (1978) destacam que a fragilidade das formações superficiais após a eliminação da cobertura vegetal primitiva é atestada pelos inúmeros sinais de erosão. Os autores relataram a constituição basicamente desses setores de *badlands* e de rochas friáveis (arenito de granulação média), resultado da cobertura de colúvios arenosos pouco espessos, e devido à proximidade da rocha à superfície, que rapidamente são saturados pela água e formando consequentemente o escoamento superficial.

Santoro (1991) realizou uma caracterização geotécnica da cabeceira do córrego Tuncum no município de São Pedro (SP), e relatou que o desmatamento e a implantação de pastagens são fatores desencadeadores e decisivos na aceleração de processos erosivos. Silveira e Mendonça (2009), por meio de um trabalho de monitoramento e análises físicas e químicas de uma voçoroca situada num ambiente de rochas gnáissicas com composição granítica do ribeirão Cachorra no município de Paraíso (TO), identificaram que o desmatamento foi decisivo no desenvolvimento de feições, e que os solos da voçoroca estão enquadrados em classes siltosas e arenosas, susceptíveis a erosão.

Ainda de acordo com a Tabela 18, as classes de declividade que apresentaram alto índice de PE, estão constituídas da seguinte forma: o intervalo entre 10 – 20% está associado às classes de pastagens que aumentou para 54,66% (pasto sujo com 40,28% e pasto limpo com 14,38%), seguido pela mata com 19,89%, depois o solo exposto com 13,68%, áreas agrícolas com 5,40%, silvicultura com 5,19% e vegetação e sedimentos em planície com 1,19%.

Tabela 18: Associação das áreas das classes de curvatura e declividade com o uso do solo⁸.

Classes de Uso do Solo - 1962	Curvatura (%)			Declividade (%)				
	Côncava	Retilínea	Convexa	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - <
Áreas Agrícolas (PE = 0,03%)	7,37	10,46	8,70	9,97	11,47	5,4	2,54	0,00
Mata (PE = 2,84%)	18,56	9,23	14,12	8,69	10,69	19,89	35,42	55,74
Pasto Limpo (PE = 3,12%)	13,26	16,29	15,57	13,22	17,96	14,38	9,95	6,33
Pasto Sujo (PE = 3,97%)	32,74	26,27	33,29	23,33	30,05	40,28	38,61	27,37
Silvicultura (PE = 0,04%)	7,03	14,33	8,43	15,88	7,92	5,19	3,37	0,25
Solo Exposto (PE = 9,79%)	14,71	17,57	16,37	17,18	18,55	13,68	9,29	11,48
Vgt/Sed em Planície (PE = 1,91%)	6,26	5,74	3,17	11,03	3,37	1,19	0,82	0,00
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

⁸ **Nota:** A frente das classes de uso do solo do cenário de 1962 está os índices de PE obtido por cada classe, e nas colunas seguintes estão os percentuais de cada classe de uso nas respectivas áreas das classes de curvatura e declividade.

O uso destinado da área do intervalo entre 20 - 40% (maior índice de PE) (Tabela 18), também está associada às classes de pastagens com 48,42% (pasto sujo com 38,61% e pasto limpo com 9,95%), seguido da mata que aumentou significativamente para 35,42%, depois o solo exposto que reduziu para 9,29%. As classes silvicultura com 3,37%, áreas agrícolas com 2,54% e vegetação e sedimentos em planície com 0,82% completam o uso da área deste intervalo.

Neste contexto, embora a mata tenha registrado uma importante presença no intervalo entre 10 – 20% e crescido significativamente no intervalo posterior 20 - 40%, o predomínio da pastagem e a importante contribuição do solo exposto nesses intervalos e também nas classes de curvatura, condicionaram, provavelmente, a formação do escoamento superficial e subsuperficial com maior poder erosivo. Essa situação está atrelada à diminuição da porosidade, resultado das mudanças geomorfológicas (compactação do solo) pelo manejo inadequado, aliado a presença significativa de Neossolos Litólico e Gleissolos com baixa espessura (cerca de 60 cm) e menor capacidade de infiltração (Furquim 2002), numa área em que a quantidade anual de chuva (Figura 80), pode ser considerada como receptora de elevadas precipitações pluviométricas, em torno de 1300 até 1600 mm/ano, acentuado pela proximidade do efeito orográfico da cuesta.

Dias Ferreira (1997) e Barreto (1970), afirmam que as áreas mais sensíveis aos processos erosivos no município de São Pedro (SP) estão associadas à cobertura arenosa, porém, a primeira autora complementa que essas áreas possuem fragilidade no substrato rochoso, multiplicidade de níveis de águas, frequência de nascentes devido às alternâncias de argilitos-siltitos-arenitos, além do desflorestamento.

Conforme Selby (1993) a grande maioria dos processos erosivos inicia-se pelo aumento do escoamento superficial a partir da remoção de árvores, aumento de terra arável e queima excessiva de vegetação. Segundo Goudie (2004) o uso crescente de máquinas agrícolas pesadas e a criação de animais em menor importância afetam o sistema hidrológico, e, portanto, o

comportamento da erosão do solo, uma vez que reduz o tamanho dos poros e dificulta o processo de infiltração. Desta forma, outros autores como Castro (2005) e Santana *et al* (2007), Trimble e Mendel (1995), Casasnovas (2003), também identificaram que o desmatamento e a pastagem tem influenciado no desenvolvimento das feições erosivas.

Figura 79: Dados pluviométricos do município de São Pedro, a partir de 1960 até 2010. Nota-se neste intervalo de tempo, que a precipitação média está entre 1300 e 1500mm/ano, com intensidade de até 2.300mm em 1983. (Fonte: SIGRH, 2011).

Castro (2005) e Santana *et al* (2007), por meio de mapeamento de feições, uso do solo, utilização de imagens de satélites e auxílio de SIG, relataram que a porção jusante das encostas na alta bacia do rio Araguaia estão sendo desmatadas e substituídas pela pastagem, gerando o desenvolvimento das feições erosivas associadas à *piping* em áreas de Neossolo Quartzarênicos, dada a alimentação rápida do lençol freático e conseqüentemente a remoção de partículas e o estabelecimento de fluxos rápidos de alto poder erosivo.

Trimble e Mendel (1995) justificam que a pastagem são importantes agentes de mudança geomorfológica em áreas ribeirinhas do México e do EUA, pois reduzem a resistência do solo, aumentam o escoamento e o seu poder erosivo. Casasnovas (2003) observou por meio de fotografias aéreas numa escala temporal (1957 - 1993) que as atividades antrópicas (mecanização da agricultura), contribuíram significativamente para a formação das feições erosivas numa determinada cidade da Espanha.

6.5.2. Cenário 1972

No mapa do uso do solo de 1972 (Figura 81) a maior Frequência de Distribuição (FD) foi novamente as classes de pastagens (limpo e sujo), somando aproximadamente 6,3km², ou seja, 53,25% da área total da bacia (133 polígonos), sendo a classe de pasto sujo a maior delas, com uma área aproximada de 4 km² (cerca de 32,46% do total e 80 polígonos) e o pasto limpo (20,79% da área total e 53 polígonos). A classe de solo exposto registrou a terceira maior frequência com 13,10% (1,5 km² da área total e 168 polígonos), em seguida está a classe mata com 11,05% (1,3 km² da área e 56 polígonos), as áreas agrícolas aparecem com 9,41% (1 km² da área total e 16 polígonos), silvicultura com 7,65% (0,95 km² da área total e 15 polígonos), vegetação de planície e sedimentos com 5,54% (0,82 km² da área total e 1 polígonos).

Apesar do predomínio de frequência das classes de pastagens, o solo exposto foi novamente a classe mais susceptível à ocorrência de novas feições erosivas, pelo fato de ter registrado o maior índice de PE (11,59%), tendência verificada também pelo alto índice de CE (43,35%) (Figura 82). O pasto limpo foi a segunda maior classe com 3,17%, seguido pelo pasto sujo (3,03%), mata (2,82%), áreas agrícolas (0,20%), silvicultura (0,12%) e vegetação e sedimentos em planície (0,06%).

Figura 80: Nota –se que o pasto sujo, novamente foi a classe que obteve o maior FD = 32,46% situação semelhante ao cenário anterior. Entretanto, a distribuição espacial neste cenário está localizada principalmente na média bacia, e das drenagens afluentes. O pasto limpo expandiu nesse cenário e registrou o segundo maior FD = 20,79%, situado principalmente a montante (cabeceira) do canal principal e na média bacia, setores de ocorrência de feições erosivas. O solo exposto obteve o terceiro maior FD = 13,10% que está localizado trechos no setor da cabeceira do canal principal e dos afluentes por toda a área da bacia, setores que foram registrado ocorrência significativas de feições erosivas. A mata com 11,05% possui trechos margeando o sopé das encostas na alta e média bacia, como também as drenagens afluentes. A silvicultura com 7,65% está localizada principalmente na margem direita da média bacia. A classe areas agrícolas está situadas na foz da bacia, e também na margem esquerda da margem esquerda, margeando o limite da bacia. A classe vegetação e sedimentos em planície está localizado margeando a extensão do canal principal

Figura 81: Histograma das classes de uso do solo do cenário de 1972, com os percentuais de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota - se que o solo exposto foi a classe mais susceptível a ocorrência de feições erosivas, em que registrou-se o maior índice de PE com 11,59% como também o maior índice de CE com 43,35%, embora o FD tenha sido de apenas 13,10%.

A distribuição espacial da classe de solo exposto apresentou-se semelhante ao cenário anterior (1962), uma vez que a mesma está localizada em trechos do canal principal (montante), como também em grande parte nas áreas circundantes das cabeceiras dos canais de primeira e segunda ordens, desde a alta até trechos mais próximo à foz. Apesar das classes de pastagens (pasto sujo e pasto limpo) não terem registrado o maior PE, as mesmas obtiveram o segundo e terceiro maiores índices, tendência também observada no índice de CE, o que justifica a importância de analisar a distribuição das mesmas. Assim, o pasto limpo e o pasto sujo estão distribuídos em grande parte semelhante a classe de solo exposto, porém com maior presença no setor a montante para a primeira classe.

A partir do exposto acima, embora a maior concentração do solo exposto (43%) (Tabela 19), como também do pasto limpo (43,85%) e pasto sujo (45,15%) tenha sido registrada em curvaturas convexas, o resultado do maior índice de PE da primeira classe e do alto índice de PE das classes de pastagens se justifica pela presença significativa de 34,27%, 32,54% e 38,29%

respectivamente, em curvaturas côncavas. Vale ressaltar que o restante das áreas do solo exposto com 22,72%, do pasto limpo com 23,61% e do pasto sujo com 16,56% localiza-se em curvaturas retilíneas.

Tabela 19: Distribuição das áreas do solo exposto e pasto sujo nas classes de curvatura.

Classes de Curvatura	Solo Exposto (%)	Pasto Limpo (%)	Pasto Sujo (%)
Côncava	34,27	32,54	38,29
Retilínea	22,72	23,61	16,56
Convexa	43,01	43,85	45,15
Total	100	100	100

Em relação à declividade, tal fato, foi semelhante ao cenário anterior (1962), uma vez que praticamente 75% da área do solo exposto (Tabela 20), 68,59% da área do pasto limpo e 53,72% da área do pasto sujo estão localizados no intervalo entre 0 e 10% (baixo índice de PE) e apenas 3,74% do solo exposto, 7,63% do pasto limpo e 8,95% do pasto sujo, estão situados na classe 20 - 40% (alto índice de PE). Sidorchuk (1999) ao estudar as voçorocas por meio da aplicação de um modelo para prever as mudanças da morfologia e as consequências para evolução das voçorocas, concluiu que as mesmas evoluíram devido a pastagem e ao desmatamento.

Tabela 20: Distribuição das áreas do solo exposto e pasto sujo nos intervalos de declividade

Intervalos de Declividade (%)	Solo Exposto (%)	Pasto Limpo (%)	Pasto Sujo (%)
0 - 5	31,10	31,65	19,89
5 - 10	43,45	36,94	33,83
10 - 20	21,69	23,68	37,3
20 - 40	3,74	7,63	8,95
40 - <	0,03	0,09	0,03
Total	100%	100%	100%

A Tabela 21 apresenta o uso do solo da área das classes de curvatura, cuja curvatura côncava que obteve o maior índice PE está associada principalmente as classes de pastagens (alto índice de PE) com 51% (16,82% de pasto limpo e 34,61% de pasto sujo), mata com 14% e solo exposto com 12%, sendo que o restante da área estão associados as outras classes de uso. Gutierrez *et al* (2009) realizaram um estudo sobre a ocorrência de processos erosivos e sua evolução numa determinada bacia no sudoeste da Espanha, por meio da utilização de fotografias aéreas em diferentes cenários (1945, 1956, 1989, 1998, 2002 e 2006) e perceberam que o aumento registrado das áreas de erosão está relacionado ao cultivo e a pastagem.

Tabela 21 Associação das áreas das classes de curvatura e declividade com o uso do solo⁹.

Classes de Uso do Solo - 1972	Curvatura (%)			Declividade (%)				
	Côncava	Retilínea	Convexa	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - <
Mata (PE = 2,82%)	14,12	5,33	11,11	3,17	7,51	17,25	32,46	38,73
Solo Exposto (PE = 11,59%)	12,17	14,11	13,12	13,54	16,55	9,99	5,99	7,01
Pasto Sujo (PE = 3,03%)	34,61	26,17	35,07	22,04	33,01	43,75	36,49	20,05
Pasto Limpo (PE = 3,17%)	16,82	21,34	19,47	20,06	20,61	15,88	17,80	32,84
Silvicultura (PE = 0,12%)	5,88	12,07	7,80	12,36	7,78	5,35	2,03	0,25
Áreas Agrícolas (PE = 0,20%)	8,56	11,77	8,88	13,14	10,52	5,66	3,59	0,37
Vgt/Sed. Em Planície(PE = 0,06%)	7,61	7,70	3,97	13,8	3,72	2,08	1,52	0
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Ainda de acordo com a Tabela 21, o uso do solo das áreas dos intervalos de declividade que tiveram alto PE, está caracterizado da seguinte forma: o intervalo 10 – 20% (segundo maior índice de PE) está associada às

⁹ **Nota:** A frente das classes de uso do solo do cenário de 1972 está os índices de PE obtido por cada classe, e nas colunas seguintes os percentuais de cada classe de uso nas respectivas áreas das classes de curvatura e declividade.

pastagens, que aumentou para 59,63% (pasto sujo com 43,75% e pasto limpo com 15,88%), seguido pela mata com 17,25%, depois o solo exposto com 10%, áreas agrícolas com 5,66%, silvicultura com 5,35%, vegetação e sedimentos em planície com 2,08%. Assim, embora tenha sido registrada novamente a presença da mata na área deste intervalo, a predominância da pastagem aliado ao solo exposto e também as características do solo já citadas, podem ter contribuído para a formação do escoamento superficial e conseqüentemente a ocorrência de feições erosivas nessas áreas circundantes de cabeceiras de drenagem. Sidorchuk (1999) relata que as principais causas das ocorrências de processos erosivos nos EUA, Austrália e na Rússia estão relacionadas a fatores antrópicos (desmatamento, cultivo de terras) e conseqüentemente as alterações associadas às condições hidrológicas no sistema de escoamento de chuva.

Na área do intervalo 20 - 40% (maior índice de PE), o uso está associado as classes de pastagens (Tabela 21), que embora tenha reduzido para 54,29% (pasto sujo com 36,49% e pasto limpo com 17,80%) continua sendo predominante, seguido da mata que aumentou significativamente para 32,46%, depois o solo exposto que reduziu para 6%, na seqüência a silvicultura com 2,03%, áreas agrícolas com 3,59% e vegetação e sedimentos em planície com 1,52%. Meyles *et al.* (2006) em estudo realizado na bacia do Ribeirão Venford, sudoeste da Inglaterra, também investigaram os impactos da pastagem nas encostas, nas propriedades hidrológicas e na descarga de fluxo e verificaram que este tipo de atividade antrópica influenciou indiretamente a formação de processos erosivos principalmente a jusante da bacia.

6.5.3 Cenário 2000

No mapa do uso do solo de 2000 (Figura 83), embora tenha reduzido a Frequência de Distribuição (FD) das classes de pastagens, novamente essa classe foi a predominante com 40% (pasto sujo com 21,08% e 81 polígonos e pasto limpo com 19,44% e 46 polígonos). Essa diminuição deve-se ao aumento registrado da mata que obteve a segunda maior classe com 29,07% e 55 polígonos, e o surgimento da área urbana consolidada com 4,12% e 6 polígonos e da área urbana inconsolidada com 4,36% e 1 polígono. A silvicultura foi a terceira maior classe com 6,67% e 17 polígonos, seguido de áreas agrícolas com 6,40% e 15 polígonos, vegetação e sedimentos em planície com 4,72% e 8 polígonos, e para completar o solo exposto que reduziu para 4,13% e 19 polígonos.

Em relação ao Potencial de Erosão (PE), a situação apresentou-se semelhante aos cenários anteriores (1962 e 1972), uma vez que o solo exposto novamente foi a classe mais susceptível à ocorrência de novas feições erosivas, com índice de 11,97%, tendência também verificada pelo maior índice de CE (36,76%), embora a frequência dessa classe de solo exposto tenha sido de apenas 4,13% (Figura 84). O restante das classes para o índice de PE registrou valores abaixo de 2%, pasto sujo (1,81%), mata (1,35%), pasto limpo (0,21%), vegetação e sedimentos em planície (0,73%) e área urbana consolidada (0,01%), sendo que as classes de silvicultura, áreas agrícolas e área urbana inconsolidada não obtiveram índices de PE.

Figura 82: Nota-se neste cenário que a mata foi a classe que obteve o maior FD = 29,07%, situadas desde trechos a montante (cabeceira) do canal principal e também de afluentes da alta até a baixa bacia. O pasto sujo que obteve o segundo maior FD, está localizados principalmente na alta bacia (setor a montante) cabeceira do canal principal, em que registrou ocorrência significativa de feições erosivas. O pasto limpo que registrou o terceiro maior FD possui trechos na alta bacia, como também na margem esquerda da média bacia. O solo exposto que apresentou o quarto maior FD, possui trechos na cabeceira do canal principal e também de afluentes, onde foi registrado ocorrência significativas de feições erosivas. Na sequência a silvicultura, quinto maior FD está situada na margem direita da média bacia. A classe áreas agrícolas continua registrada margeando o limite da bacia na margem esquerda. Para completar, a classe vegetação e sedimentos em planície que margeia toda a extensão do canal principal, depois o surgimento das áreas urbanas inconsolidada com 4,36% na baixa bacia, e a área urbana consolidada que está margem direita da média bacia.

Figura 83: Histograma das classes de uso do solo do cenário de 2000, com os percentuais de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota - se que a classe de solo exposto foi a mais susceptível a ocorrência de feições erosivas, (PE = 11,97%) e também o maior índice de CE (36,76%), embora tenha registrado baixo FD (4,13%). Também vale ressaltar a classe de pasto sujo com o segundo maior índice de PE (1,81%) e índice de CE (28,30%).

Os resultados dos maiores índices de PE para o solo exposto e pasto sujo, estão relacionados com a distribuição dessas classes, em trechos das áreas da cabeceira do canal principal e também dos afluentes. Embora novamente grande parte do solo exposto (46,19%) (Tabela 22) e do pasto sujo (42,33%) esteja localizada em curvaturas convexas, situação semelhante aos cenários anteriores (1962 e 1972), foi registrada presença significativa de 36,15% da área da primeira classe e 37,02% da segunda classe em curvatura côncava de alto índice de PE, sendo que o restante 17,66% e 20,65% respectivamente em curvaturas retilíneas.

Tabela 22: Distribuição das áreas do solo exposto e pasto sujo nas classes de curvatura.

Classes de Curvatura	Solo Exposto (%)	Pasto Sujo (%)
Côncava	36,15	37,02
Retilínea	17,66	20,65
Convexa	46,19	42,33
Total	100%	100%

Em relação à distribuição da área das classes de solo exposto e de pasto sujo nos intervalos de declividade (Tabela 23), 37,24% e 31% respectivamente estão situados no intervalo 5 – 10% (baixo índice de PE) e 33,47% e 32,15% no intervalo 10 – 20% (segundo maior índice de PE), e apenas 6,55% e 6,93% na classe 20 – 40% (maior índice de PE). Tal situação é semelhante aos cenários anteriores, uma vez que há um predomínio de intervalos de baixa suscetibilidade nas áreas dessas classes de uso (solo exposto e pasto sujo) de alto índice de PE.

Tabela 23: Distribuição das áreas do solo exposto e pasto sujo nos intervalos de declividade

Intervalos de Declividade (%)	Solo Exposto (%)	Pasto Sujo (%)
0 - 5	22,74	29,94
5 - 10	37,24	31,00
10 - 20	33,47	32,13
20 - 40	6,55	6,93
40 - <	0,00	0,00
Total	100%	100%

A Tabela 24 apresenta o uso do solo das áreas das classes de curvatura, em que foi observado que o uso do solo das áreas das classes de curvatura sofreu alterações. Tal fato pode ser exemplificado pela curvatura côncava, que embora a pastagem tenha sido novamente a classe predominante, houve uma redução para aproximadamente 38% (pasto sujo 21,34% e pasto limpo 16,87%), seguido pela mata que aumentou para aproximadamente 34%, na seqüência o solo exposto que reduziu para 4,11%.

Em relação à declividade, também foi observado alterações no uso do solo das áreas dos intervalos em relação aos cenários anteriores (1962 e 1972) conforme é observado também na Tabela 24. Assim, o uso do solo da área do

intervalo entre 10 - 20% (segundo maior índice de PE), está predominantemente associado à mata, que aumentou a sua área para 41% e a pastagem que reduziu a sua área para 41,43% (pasto sujo 24,01% e pasto limpo 17,42%). O solo exposto também diminuiu para 4,90%, sendo que a classe área urbana inconsolidada com 4%, áreas agrícolas com 3,74%, silvicultura com 2,64% e área urbana consolidada com 1,11%, completam o restante do uso da área deste intervalo.

Ainda de acordo com a Tabela 24, a área do intervalo entre 20 - 40% (maior índice de PE) está associada predominantemente a classe de mata (baixo índice de PE) que cresceu para 58,63%. As classes de pastagens reduziram e aparece na seqüência com 33,66% (pasto sujo com 18,03% e pasto limpo com 15,63%), depois o solo exposto 3,35%, áreas agrícolas com 1,37%, área urbana inconsolidada com 1,73%, silvicultura com 0,60%, vegetação e sedimentos em planície com 0,54% e área urbana consolidada com 0,12%.

Tabela 24: Associação das áreas das classes de curvatura e declividade com o uso do solo¹⁰.

Classes de Uso do Solo - 2000	Curvatura (%)			Declividade (%)				
	Côncava	Retilínea	Convexa	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - <
Áreas Agrícolas (PE = 0%)	5,35	8,38	6,41	8,13	8,41	3,74	1,37	0,00
Á. Urbana Consolidada (PE = 0,01%)	3,38	6,05	3,79	6,56	5,41	1,11	0,12	0,00
Á. Urbana Inconsolidada (PE = 1,81%)	4,31	3,87	4,63	3,38	6,13	4,01	1,73	0,00
Mata (PE = 1,35%)	33,95	19,16	29,63	11,89	26,87	41,14	58,63	76,04
Pasto Limpo (PE = 0,21%)	16,87	20,26	21,10	19,43	21,83	17,42	15,63	23,22
Pasto Sujo (PE = 1,81%)	21,34	20,82	20,97	21,16	19,29	24,01	18,03	0,25
Silvicultura (PE = 0%)	4,78	11,82	5,74	13,68	5,29	2,64	0,6	0,00
Solo Exposto (PE = 11,97%)	4,11	3,49	4,75	3,62	4,54	4,90	3,35	0,49
Vgt/Sed. Em Planície (PE = 0,73%)	5,91	6,15	2,98	12,15	2,23	1,03	0,54	0,00
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

¹⁰ **Nota:** A frente das classes de uso do solo do cenário de 2000 está os índices de PE obtido por cada classe, e nas colunas seguintes os percentuais de cada classe de uso nas respectivas áreas das classes de curvatura e declividade.

Neste contexto, o crescimento do uso associado à mata nas áreas das classes de curvatura côncava e nos intervalos de declividade (10 – 20%) e (20-40%) de alto índice de PE, demonstra que mesmo quando não há predominantemente o uso associado a classes de alto índice de PE, nota-se alta suscetibilidade nessas áreas, que provavelmente está relacionado com as propriedades físicas do terreno, aliado as características desses parâmetros morfológicos. Embora Goudie (2004) comente que 30% da cobertura vegetal protegem o solo contra a erosão. Greene e Hairsine (2004) elucidam que a vegetação mantém um maior conteúdo de umidade superficial no solo, por uma proporção de tempo significativa, o que corresponde ao aumento na gama de condições para a estabilização da superfície, e, portanto, diminui a probabilidade de formação da crosta ou da selagem do solo e conseqüentemente a formação do escoamento de alto poder erosivo.

É importante ressaltar que o surgimento da classe área urbana consolidada neste cenário é consequência da expansão demográfica do município de São Pedro (SP) (Figura 85). Embora essa classe de uso tenha obtido baixo FD (4,12%), nos últimos 20 anos surgiram 15 novos empreendimentos imobiliários, desde terrenos a partir de 275m², até chácaras com unidades que variam entre 1.000m² a 5.000m², conforme Carpi Junior *et al* (2010). Assim, a expansão da área urbana consolidada provavelmente está relacionada com a redução das feições erosivas iniciais (sulcos e ravinas), localizadas no setor da margem direita da média bacia (Figura 86), resultado do aterramento e a implantação de loteamentos (Horto Florestal e Jardim Botânico 1000). Vale ressaltar que os afluentes de primeira e segunda ordens situados neste setor, também foram soterrados para a expansão da área urbana, e observa também que grande parte da área soterrada o uso está destinado a prática de pastagens (Figura 87).

Almeida (2002) explica que a implantação da área urbana provoca as alterações ambientais mais intensas e significativas, decorrente do uso sem adoção de critérios adequados. Conforme as informações obtidas junto a Prefeitura do Município de São Pedro (SP), os loteamentos não possuem rede de esgoto, sendo utilizadas fossas sépticas, e por ser tratar de uma área vulnerável, alguns moradores se queixaram por meio de conversas informais, problemas como rachaduras e trincas nas paredes das residências.

Figura 84: Levantamento demográfico do município de São Pedro. Nota - se uma tendência crescente da população do município (Fonte: IBGE e SEADE).

Figura 85: (A) Faixa da fotografia aérea do cenário de 1972, destacado pelo círculo em amarelo e a ocorrência de feições erosivas (polígonos em vermelho). (B) Faixa da fotografia aérea do cenário de 2000, que se destaca o arruamento e as edificações dos loteamentos implantados (círculo em amarelo) e a redução, porém, ainda existente, das feições erosivas (polígonos em vermelho) (Fonte: Base, S.A).

Figura 86: Vista em maior detalhe da encosta soterrada no interior da área urbana e que está destinada a pastagem. Fonte: Evandro Daniel, Janeiro de 2012.

6.5.4 Cenário 2006

No mapa do uso do solo de 2006 (Figura 88), a frequência de distribuição (FD) revelou que as classes de pastagens registraram uma pequena redução, porém, novamente foi predominante com 37% (pasto sujo com 20,22% e 100 polígonos e pasto limpo com 17,02% e 57 polígonos). A segunda maior classe foi à mata, que reduziu para 24% e 69 polígonos. Na sequência a expansão da silvicultura com 13% e 21 polígonos, áreas agrícolas com 6,88% e 24 polígonos, área urbana consolidada que aumentou para 6,07% e 6 polígonos, área urbana inconsolidada com 4,68% e 5 polígonos, solo exposto com 4,21% e 80 polígonos e vegetação e sedimentos em planície com 3,90% e 5 polígonos.

A classe de solo exposto novamente foi a mais susceptível a ocorrência de feições erosivas, pelo fato de ter registrado o maior índice de PE (8,18%) (Figura 89). A classe de pasto sujo registrou o segundo maior índice de PE (2,32%), seguido das classes de mata (1,21%), vegetação e sedimentos em planície (0,77%), pasto limpo (0,36%), área urbana consolidada (0,23%) e silvicultura (0,12%). Vale ressaltar que novamente as classes áreas agrícolas e área urbana inconsolidada não obtiveram valores.

Figura 87: Nota –se que a mata foi novamente a classe dominante, situada no setor a montante (cabeceira) do canal principal e também de afluentes ao longo da área da bacia, como também no sopé das encostas. O pasto sujo que obteve o segundo maior FD, situa-se margeando a extensão dos afluentes, trechos do setor a montante (cabeceira) do canal principal. O pasto limpo que obteve o terceiro maior FD, está localizada principalmente na alta e média bacia da margem esquerda. A silvicultura que expandiu significativa e que aparece como o quarto maior FD, está situado em grande parte na margem direita da alta e baixa bacia. A classe área urbana expandiu na margem direita da alta bacia. A classe áreas agrícolas, aparece novamente margeando o limite da bacia da margem esquerda, desde a alta até a baixa bacia. O solo exposto possui trechos distribuídos pela área da bacia, desde o setor a montante, como também cabeceiras de afluentes, até próximo a foz. A classe vegetação e sedimentos em planície aparece margeando o canal principal, situação encontrada em todos os cenários.

Figura 88: Histograma das classes de uso do solo do cenário de 2006, com os percentuais de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Erosão (CE) e Potencial de Erosão (PE). Nota - se que a classe de solo exposto foi a mais susceptível a ocorrência de feições erosivas, devido ter registrado o maior índice de PE (8,18%) e o segundo maior índice de CE (28,12%), embora tenha registrado uma baixa frequência 4,21%. Também vale ressaltar a classe de pasto sujo com índice de PE (2,32%).

O resultado dos maiores PE para o solo exposto e o pasto sujo, justifica-se pela presença dessas classes em trechos das áreas da cabeceira do canal principal e também dos afluentes. Também convém, destacar, que 46,75% da área total do solo exposto e 45,74% do pasto sujo estão localizados em curvatura convexas (Tabela 25), e 38,26% da primeira classe e 39,60% da segunda classe, maiores valores registrados entre todos os cenários, estão situados em curvatura côncava (alto índice de PE). Para completar, o restante da área do solo exposto 14,99% e do pasto sujo 14,66% localiza-se em curvatura retilínea.

Tabela 25: Distribuição das áreas do solo exposto e pasto sujo nos intervalos de curvatura.

Classes de curvatura	Solo Exposto (%)	Pasto Sujo (%)
Côncava	38,26	39,60
Retilínea	14,99	14,66
Convexa	46,75	45,74
Total	100%	100%

Em relação à declividade, tal situação apresentou semelhança aos cenários anteriores, uma vez que, 73,94% do solo exposto e 73,79% do pasto sujo estão localizados no intervalo entre 5 - 20% (Tabela 26), sendo que apenas 5,42% da primeira e 9,67% da segunda classe estão situados na classe 20 - 40% (alto índice de PE).

Tabela 26: Distribuição das áreas do solo exposto e pasto sujo nos intervalos de declividade.

Classe de Declividade	Solo Exposto (%)	Pasto Sujo (%)
0 - 5	20,63	17,53
5 - 10	40,02	33,81
10 - 20	33,92	39,98
20 - 40	5,42	9,67
40 - <	0,00	0,02
Total	100%	100%

A Tabela 27 apresenta o uso do solo da área das classes de curvatura e declividade, com curvatura côncava associada a 36,57% de pastagem (22,03% de pasto sujo e 14,54% de pasto limpo), seguido pela mata com 29,53%, depois a silvicultura que teve grande expansão com 9,58%, na sequência áreas agrícolas com 5,71%, área urbana consolidada com 4,93%, área urbana inconsolidada com 4,59%, vegetação e sedimentos em planície com 4,67% e solo exposto com 4,42%.

Conforme também a Tabela 27, o uso do solo das áreas dos intervalos de declividade está constituído da seguinte forma: a classe 10 – 20% (segundo maior índice de PE) voltou a ser predominantemente associado à pastagem com 41,78% (pasto sujo 28,39% e pasto limpo 13,39%), a classe mata que era a predominante no cenário anterior reduziu para 38,05%. Na sequência a silvicultura com 5,11%, solo exposto (5,09%), área urbana inconsolidada

(4,25%), áreas agrícolas (2,99%), área urbana consolidada (2,23%) e vegetação e sedimentos em planície (0,58%).

Tabela 27 Associação das áreas das classes de curvatura e declividade com o uso do solo¹¹.

Classes de Uso do Solo - 2006	Curvatura (%)			Declividade (%)				
	Côncava	Retilínea	Convexa	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - <
Áreas Agrícolas (PE = 0%)	5,71	9,92	6,36	10,37	8,30	2,99	1,48	0,00
Área Urbana Consolidada (PE = 0,23%)	4,93	8,05	6,05	8,92	8,03	2,23	0,62	0,00
Área Urbana Inconsolidada (PE = 0%)	4,59	4,36	4,9	3,97	6,44	4,17	1,65	0,00
Mata (PE = 1,21%)	29,53	13,28	24,39	7,77	17,45	38,05	58,00	72,72
Pasto Limpo (PE = 0,36%)	14,54	19,94	17,35	20,21	18,42	13,39	9,57	18,65
Pasto Sujo (PE = 2,32%)	22,03	14,60	22,08	12,24	20,67	28,39	24,48	8,32
Silvicultura (PE = 0,12%)	9,58	21,18	11,87	22,42	14,11	5,11	0,98	0,00
Solo Exposto (PE = 8,18%)	4,42	3,03	4,64	3,51	4,99	5,09	2,83	0,31
Vgt/Sed. Em Planície (PE = 0,77%)	4,67	5,64	2,36	10,59	1,59	0,58	0,39	0,00
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

O uso da área do intervalo 20 – 40% (maior índice de PE) (Tabela 27) está associado predominantemente à mata com 58%, situação semelhante ao cenário anterior (2000). Na sequência a pastagem com 34,05% (pasto sujo com 24,48% e pasto limpo com 9,57%), depois o solo exposto (2,83%), área urbana inconsolidada (1,65%), áreas agrícolas (1,48%), silvicultura (0,98%), área urbana inconsolidada (0,62%) e vegetação e sedimentos em planície (0,39%).

Neste contexto, a expansão da silvicultura (plantio de eucaliptos) para fins econômicos nas áreas de Neossolos Quartzarênicos e trechos de Neossolo Litólico e Gleissolo, pode estar relacionada com a redução das feições erosivas registradas neste cenário (Figuras 90 e 91). As técnicas de plantio de eucaliptos como curvas de nível, terraceamento em áreas próximas

¹¹ **Nota:** A frente das classes de uso do solo do cenário de 2006 está os índices de PE obtido por cada classe, e nas colunas seguintes os percentuais de cada classe de uso nas respectivas áreas das classes de curvatura e declividade.

aos afluentes, a redução da exposição direta do solo com a precipitação (salpicamento), e conseqüentemente a diminuição do escoamento superficial e subsuperficial, provavelmente colaborou para o desaparecimento das feições erosivas iniciais. Entretanto, Perez Filho *et al* (1986), ressaltam que o uso dos Neossolos Quartzarênicos como suporte ao reflorestamento de eucaliptos numa determinada bacia em São Pedro, também apresentaram, problemas erosivos, mesmo em declividades de 8 a 10%.

Cruz (2001) estudou os processos erosivos nos municípios de Pompéia e Oriente (SP), por meio de fotografias aéreas numa escala evolutiva (1962 e 1999), e observou que o plantio de eucaliptos em todo o contorno da erosão auxiliou o processo de estabilização, contendo seu avanço e também das bacias de captação de água que promovem o assoreamento e facilitam a infiltração das águas das chuvas, evitando com isso o carreamento de partículas da camada superficial do solo.

Figura 89 (A) Faixa da fotografia aérea do cenário de 1972, que destaca em círculo em amarelo as feições erosivas (polígonos em vermelho) na cabeceira dos afluentes. (B) Faixa da fotografia aérea – cenário de 2006, que destaca em círculo amarelo as técnicas (curvas de nível) para o plantio de eucaliptos (silvicultura) e a o desaparecimento das feições erosivas (Fonte: BASE, S.A)

Figura 90: Vista da encosta a partir da margem oposta. Nota –se a classe área urbana consolidada ao fundo, o plantio de eucaliptos para fins econômicos que provavelmente vem obtendo colaborando para a redução principalmente das feições erosivas iniciais e mais próximo ao canal principal registro de ocorrência de feição erosiva. Localização: 201792W 7505448 S. Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011,

É importante considerar a contínua expansão do FD da classe área urbana consolidada, que está relacionada ao surgimento de mais dois loteamentos (Alto dos Botânicos e Condomínio dos Botânicos) neste período, e consequentemente o soterramento e o desaparecimento de algumas feições erosivas iniciais mapeadas no cenário anterior (2000). Entretanto, foi constatado, o surgimento de uma feição (Figura 92), no interior da área urbana, com uma área de 2.124m^2 e o aumento de outra feição que já tinha sido mapeada nos cenários anteriores, e que em 2000 registrou uma área de 13.591m^2 e que neste cenário aumentou para 17.921m^2 , provavelmente consequência do escoamento pluvial dos arruamentos adjacentes, aliado a fragilidade litológica, a predominância da curvatura côncava e do intervalo de declividade (10 – 20%) alto índice na área circundante dessas feições.

Sanchez *et al.* (1986), em trabalho realizado numa determinada bacia no município de São Pedro, explica que a implantação de loteamentos com traçado do arruamento voltado para o setor da encosta, como forma de facilitar o escoamento das águas pluviais e urbana, provocou sérias conseqüências, como a dinamização dos processos erosivos. Araujo (2008), Mathias (2011) e Zuquette *et al* (2007) também realizaram pesquisa no município de São Pedro e identificaram que a expansão urbana tem influenciado na aceleração dos processos erosivos, conseqüência da implantação de loteamentos e do traçado da rua voltado para o talvegue da feição.

Figura 91: Vista da drenagem afluyente ao fundo, e da feição no interior da área urbana, e do escoamento do arruamento circundante voltado para a direção da feição (Fonte da Fotografia Aérea: Base, S.A. Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011)

6.6 Mapa do Uso do Solo – Comparação dos Cenários

A comparação dos mapas do uso do solo dos quatros cenários (1962, 1972, 2000 e 2006), possibilitou compreender a dinâmica das classes dentro da área de estudo (Figura 93), no qual nota - se que a classe áreas agrícolas, não teve alteração singnificativa ao longo dos quatros cenários, assim como a classe de vegetação e sedimentos em planície. As classes de área urbana consolidada e consolidada surgiram apenas no cenário de 2000 e aumentou em 2006. A classe de mata teve uma dinamica significativa, atingiu seu ápice no cenário de 2000 e diminuiu no cenário posterior. Tal fato foi semelhante na classe de pasto limpo, porém atingiu seu ápice em 1972 e diminuiu nos cenários posteriores. A classe pasto sujo nos dois primeiros cenários esteve como a classe de maior FD, porém diminuiu nos cenários posteriores. A silvicultura esteve presente em todo os cenários, porém com aumento significativo no cenário de 2006. O solo exposto reduziu significativamente de 1962 para 2000 e depois teve um pequeno aumento no cenário posterior.

Figura 92: Dinâmica das classes de uso do solo, representado pela Frequência de Distribuição (FD).

Em relação ao Pontencial de Erosão (PE), as classes de solo exposto e o pasto sujo foram as mais suscetíveis visto aos altos índices de (PE) (Figura 94). É importante ressaltar que o solo exposto obteve o seu maior índice no cenário de 2000, e o pasto sujo no cenário de 1962. Também nota-se que a classe pasto limpo e mata, também tiveram índices de PE significativos, sendo que o restantes das classes obtiveram valores igual ou abaixo de 2%.

Figura 93: Nota-se que o solo exposto se destaca nos quatros cenários como a classe mais susceptível a ocorrência de feições erosivas, portanto a que obteve o maior índice de PE. A classe pasto sujo foi a segunda classe mais susceptível, ou seja, obteve o segundo maior índice de PE.

Embora a classe de área urbana consolidada não tenha registrado índice significativo de PE, o surgimento dessa classe no cenário de 2000, e o aumento do FD no cenário posterior 2006, como já relatado anteriormente, está relacionado com a redução das feições erosivas iniciais, decorrente do aterramento para a implantação dos loteamentos. Entretanto, foi observado o surgimento de uma feição no interior da área urbana em 2006 e a permanência de outra de grande dimensão (Figuras 95 e 96) que já tinha sido mapeado no cenário de 1962 com uma área de 33.750m², e que no cenário de 1972 reduziu

para 13.782 m^2 , provavelmente decorrência da substituição do solo exposto na área circundante registrada no primeiro cenário pelo pasto sujo no segundo cenário. No cenário de 2000 essa feição praticamente manteve a sua área com 13.591 m^2 , e com a implantação do loteamento denominado de Horto Florestal, pode ter influenciado na expansão da área desta feição para 17.921 m^2 , por meio do aumento do escoamento pluvial do arruamento adjacente, aliado com a fragilidade litológica, cobertura arenosa, predominância da curvatura côncava e da declividade 10 – 20% de alto potencial de erosão (PE).

Figura 94: Vista da feição erosiva Linear acelerada (voçoroca). No centro da foto é possível verificar a profundidade ($P = 10,60\text{m}$) como também a largura ($L = 42\text{m}$). Também observa-se taludes suavizados, solo exposto (solo hidromórfico), não aparece a drenagem, mas observa-se que o processo chegou até o regolito. No setor a direita da foto, precisamente na parte superior do talude a presença de eucaliptos, situação essa que se repete ao fundo da foto. Também identifica-se a presença de degraus (patamares) por toda a área do talude, coberto de serrapilheira, o que pode ser indício de que a feição não está estabilizada. Localização: 202.977 W ; $7.503.813 \text{ S}$. Fonte: Evandro Daniel, Setembro de 2011.

Figura 95: No centro da foto apresenta o depósito de lixo no talvegue da feição, como também a presença de manilhas (tubulação de água) que foram destruídas pelo processo erosivo. Também é possível registrar a presença de vegetação rasteira no fundo da feição. Tanto no setor esquerdo quanto no direito da foto observa-se a degraus (patamares) na feição, provavelmente indício de que a feição não está estabilizada.

Yamanouth (2003) afirma que os loteamentos implantados na bacia do córrego Espraiado, têm relação direta com a reativação da feição, uma vez que não foi colocada bacia de dissipação no término da canalização da água superficial, realizaram barragens do mesmo material inconsolidado (arenoso de granulação fina e média, espessura de aproximadamente até 3m) da área e não fizeram a manutenção das obras realizadas.

Santoro (1991), Carpi Junior (1996), Santoro e Fulfaro (1996), Almeida Filho *et al.* (2004) realizaram estudos no município de São Pedro e identificaram que a implantação de loteamentos populares sem infraestrutura (ausência de sistema de drenagem de águas pluviais e servidas, sistema viário inadequado, com ruas perpendiculares as curvas de nível e à ausência de pavimentação, guias e sarjetas) próximo aos processos erosivos, contribuiu para a formação do escoamento concentrado voltado para o ramo principal do talvegue da feição erosiva e a formação de novos ramos da erosão. Nyssen *et al.*

al (2002) investigaram as conseqüências causadas pelas construções de estradas nas montanhas da Etiópia, cuja formação e o desvio do escoamento superficial para as áreas de captação de outros escoamentos, resultou no aumento do fluxo e na formação de feições erosivas.

6.7 ANÁLISE DE DETALHE – SETORES 1 e 2

As Tabelas 28 e 29 apresentam o PE das classes de uso do solo em diferentes cenários, como também o percentual de uso nas áreas dos intervalos de declividade e das classes de curvatura.

Referente ao **Setor 1**, de uma forma geral, apresenta a classe de solo exposto com maior susceptibilidade (alto índice de PE) em todos os cenários, com exceção de 1972. Já no setor 2 esta classe possui o maior PE em todos os cenários, com destaque para o elevado índice de PE do cenário de 1972 (27,48%).

Nessa classe de uso (**solo exposto**), em ambos os setores, predominaram declividades entre 0 e 10%, com exceção do cenário de 2006 do setor 2, onde predominou o intervalo entre 10 e 20%. Referente à curvatura, enquanto no setor 1 há uma distribuição entre todas as classes, retilínea (1962), convexa (2000) e côncava (2006), no setor 2 há um predomínio da curvatura convexa em todos os cenários.

Esses resultados diferem do contexto da bacia, que apresentou maiores susceptibilidades nas áreas de curvatura côncava e com declividades entre 20 e 40% (alto índice de PE). Portanto, nota-se, que outras classes de curvaturas e declividades, que não possuem elevada susceptibilidade, quando associada ao solo exposto, podem proporcionar um aumento da probabilidade de ocorrências de processos erosivos.

Em relação à classe de mata, o setor 1, obteve PE significativo (9,94%) no cenário de 1962 e o maior índice (8,90%) no cenário de 1972, com predomínio de curvaturas côncavas e declividades entre 10 e 20% (alto índice de PE). No setor 2 esta classe apresentou um elevado índice de PE (8,46%) apenas no cenário 1962, com predomínio de declividades entre 5 e 20% e curvaturas côncavas e convexas. Esse resultado pode comprovar que em áreas mais “naturais”, com predomínio de mata, mesmo não havendo nenhuma alteração antrópica, são áreas com elevada suscetibilidade natural, devido o predomínio de curvaturas côncavas e declividades entre 5 e 20%, conforme já verificado nos mapas morfométricos. Por outro lado mesmo em declividade mais baixas (entre 0 – 10%) e curvaturas retilíneas e convexas, quando há alteração do uso do solo, sobretudo para as classes solo exposto e pasto sujo, há um aumento significativo da suscetibilidade dessas áreas. Um exemplo é o alto índice de PE da classe de solo exposto no setor 1/cenário 1962 (20,92%) e no setor 2/cenário 1972 (27,48%). Neste primeiro setor (cenário 1962) há o predomínio de 56% de declividades entre 0 e 5% e 43% de curvaturas retilíneas, e no setor 2 (cenário 1972) 47% de declividades entre 5 e 10% e 47% de curvaturas convexas.

A classe de **pasto sujo** que apresentou, no setor 2, o segundo maior índice nos dois primeiros cenários (1962 e 1972), predominam declividades menores (entre 5 e 10%) e curvaturas convexas. Já no setor 1, obteve o segundo maior PE apenas no cenário de 1972, com predomínio de declividades entre 0 e 10% e curvaturas côncavas e convexas.

Tais resultados mostram novamente que as declividades e classes de curvaturas de baixa suscetibilidade, associadas ao manejo inadequado da **pastagem** e suas conseqüências como o pisoteio, compactação do solo, dificuldade de retenção de água, podem potencializar a ocorrência de processos erosivos. Os resultados no setor 2, mostram que embora tenha registrado predomínio de baixa declividade, foi verificado uma presença significativa de curvaturas côncavas, o que se assemelha ao contexto da bacia, aumentando a probabilidade de novos processos erosivos.

O **pasto limpo** que apesar de não ter apresentado os maiores índices de PE, obteve no setor 1 índice acima de 3%, nos cenários de 1962 PE = 4,44% e 1972 PE = 3,09%, com predomínio de declividades entre 0% e 10% e curvaturas convexas e retilíneas. Já no setor 2, o pasto limpo também não obteve os maiores PE (acima de 6%), no cenário de 1962 PE = 6,87% e no cenário de 1972 PE = 9,75%, predominando declividades entre 5 e 10% e curvaturas côncavas e convexas. Tais resultados também mostraram que as classes de declividades e de curvaturas de baixa suscetibilidade, quando associadas ao **pasto limpo** podem propiciar a formação de feições erosivas.

A partir do exposto, a abordagem detalhada dos setores revelou que independentemente da alteração antrópica, a morfometria da área teve provavelmente, uma influência na distribuição e na gênese das feições erosivas, aumentando a suscetibilidade destes setores analisados.

Tabela 28: Valores de PE de cada classe de uso do solo e a distribuição de classes de declividade e de curvatura no setor 01. Em vermelho as classes de uso do solo com os maiores valores de PE. Em destaque (amarelo) os maiores percentuais para cada um dos tipos de uso. Obs. Somente as classes com valores de PE > 0 foram avaliadas.

SETOR 01 - CENÁRIO 1962									
Parâmetros	PE (%)	Declividade (%)					Curvatura (%)		
Classes		0-5	5-10	10-20	20-40	>40	CV	RE	CX
Mata	9,94	3	36	55	6	-	47	10	43
Pasto Limpo	4,44	38	51	10	1	-	29	35	36
Pasto Sujo	5,17	59	26	13	2	-	29	36	35
Solo Exposto	20,92	56	32	12	-	-	26	43	31
Vgt/Sed em Planície	9,45	10	40	47	3	-	45	11	44
SETOR 01 - CENÁRIO 1972									
Classes	PE (%)	0-5	5-10	10-20	20-40	>40	CV	RE	CX
Mata	8,90	1	25	59	15	-	58	7	35
Pasto Limpo	3,09	47	43	9	1	-	24	39	37
Pasto Sujo	6,67	35	37	26	2	-	35	26	39
Solo Exposto	5,18	62	30	7	1	-	28	43	29
SETOR 01 - CENÁRIO 2000									
Classes	PE (%)	0-5	5-10	10-20	20-40	>40	CV	RE	CX
Mata	0,87	19	36	41	4	-	39	20	41
Pasto Limpo	0,52	45	46	8	1	-	29	36	35
Pasto Sujo	0,02	72	21	6	1	-	27	43	30
Solo Exposto	19,99	32	45	22	1	-	32	25	43
Vgt/Sed em Planície	1,19	43	50	7	-	-	100	-	-
SETOR 01 - CENÁRIO 2006									
Classes	PE (%)	0-5	5-10	10-20	20-40	>40	CV	RE	CX
Mata	1,17	10	40	45	5	-	42	14	44
Pasto Limpo	0,31	57	37	5	1	-	28	39	33
Pasto Sujo	1,04	38	29	28	5	-	28	28	44
Solo Exposto	14,77	24	53	23	-	-	38	26	36

Tabela 29: Valores de PE de cada classe de uso do solo e a distribuição de classes de declividade e de curvatura no setor 02. Em vermelho as classes de uso do solo com os maiores valores de PE. Em destaque (amarelo) os maiores percentuais para cada um dos tipos de uso. Obs. Somente as classes com valores de PE > 0 foram avaliadas.

SETOR 02 - CENÁRIO 1962									
Parâmetros	PE (%)	Declividade (%)					Curvatura (%)		
Classes		0-5	5-10	10-20	20-40	>40	CV	RE	CX
Mata	8,46	22	34	35	9	-	45	15	40
Pasto Limpo	6,87	7	62	28	3	-	39	18	43
Pasto Sujo	13,23	18	44	34	4	-	37	16	48
Solo Exposto	14,46	29	47	21	4	-	33	20	47
Vgt/Sed em Planície	1,04	57	27	13	2	-	62	15	23
SETOR 02 - CENÁRIO 1972									
Classes	PE (%)	0-5	5-10	10-20	20-40	>40	CV	RE	CX
Mata	0,47	11	29	45	15	-	50	9	41
Pasto Limpo	9,75	16	51	29	3	-	36	18	46
Pasto Sujo	13,98	28	43	25	4	-	31	20	49
Solo Exposto	27,48	25	48	23	3	-	38	17	45
Vgt/Sed em Planície	0,44	44	37	18	1	-	56	14	30
SETOR 02 - CENÁRIO 2000									
Classes	PE (%)	0-5	5-10	10-20	20-40	>40	CV	RE	CX
Mata	0,97	6	36	44	13	-	43	10	47
Pasto Sujo	0,70	31	38	29	3	-	34	20	46
Solo Exposto	7,62	9	48	37	6	-	38	10	52
Área urbana Consolidada	0,03	29	57	13	1	-	33	21	46
SETOR 02 - CENÁRIO 2006									
Classes	PE (%)	0-5	5-10	10-20	20-40	>40	CV	RE	CX
Mata	0,41	9	31	47	13	-	46	9	45
Solo Exposto	11,35	10	37	42	11	-	42	8	50
Área urbana Consolidada	0,35	32	54	13	1	-	32	22	46

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral desta pesquisa, analisar o papel do uso do solo e dos parâmetros morfométricos na gênese e na distribuição das feições erosivas foi alcançado.

Os mapas das feições erosivas confeccionados em escala evolutiva (1962, 1972, 2000 e 2006), possibilitaram identificar a dinâmica da distribuição das feições, da área (m^2), da perda de solo (m^3) e do formato (retilínea, ramificada), além da área total de todos os polígonos de cada cenário.

A elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT) permitiu uma análise mais detalhada dos parâmetros morfométricos (hipsometria, declividade e curvatura), que apresentaram influência significativa na distribuição e ocorrências das feições erosivas. Tal fato foi corroborado pela aplicação dos índices de CE e PE que revelaram que a curvatura côncava e as declividades entre 20 e 40% possuem maior susceptibilidade à ocorrência de novos processos erosivos.

Os mapas do uso do solo apresentaram uma importante dinâmica das suas classes e uma relação direta na distribuição das feições erosivas, uma vez que a classe solo exposto e as classes de pastagens (pasto sujo e pasto limpo), apresentaram maior susceptibilidade (alto índice de PE e Concentração de Erosão CE).

Assim, amparado pela precisão geométrica das fotografias aéreas ortorretificadas e também pela utilização da ferramenta SIG, observou-se que a partir do cenário de 1962 até 2006 a área total das feições erosivas registrou uma redução. Essa observação foi verificada também pela associação com as cartas morfométricas, que possibilitou analisar de forma detalhada o uso destinado das áreas das classes de curvatura e declividade. Deste modo, o aumento do percentual de mata, da área urbana consolidada e da silvicultura, e a redução do solo exposto e da pastagem nessas áreas tiveram um papel determinante na redução das feições erosivas iniciais nos últimos cenários (2000 - 2006). Entretanto, é importante ressaltar que a classe de área urbana consolidada, teve influencia direta para o surgimento de novas feições e a

evolução de outras. Essa conclusão está relacionada com o aumento do escoamento superficial voltado para as feições adjacentes, e o surgimento de outras no interior da área urbana.

A análise integrada e quantitativa revelou, que as áreas das cabeceiras de drenagens, com maior volume de erosão em todos os cenários, estão associadas à presença expressiva da curvatura côncava, declividades entre 20 e 40%, solo exposto e classes de pastagens, como também associadas à solo pouco espesso, como já tinha observado Coutard *et al.*, (1978). Essas áreas de concentração de fluxos e detritos, aliado a fragilidade litológica, possuem alta susceptibilidade, pois conforme Kirkby e Chorley (1967) a curvatura côncava em perfil e planta potencializa e concentram fluxos, fatores que estão associados à formação dos processos erosivos.

É importante ressaltar a variedade de feições e suas irregularidades que indicaram algumas vezes verdadeiros complexos (ramificadas) de feições erosivas e não somente feições erosivas individuais. Tais complexos provavelmente atuam diversos mecanismos de formação e desenvolvimento originados tanto de fluxos superficiais como subsuperficiais, além de abatimentos do terreno e formação de degraus decorrente do pisoteio.

A partir do índice de PE, foi possível identificar na abordagem detalhada dos setores 1 e 2, que as classes de curvatura e de declividade mesmo com baixos valores de PE, quando associadas às classes de uso com elevados valores de PE, sobretudo, ao solo exposto e pasto sujo, tiveram um aumento na probabilidade de ocorrências de novos processos erosivos. Tal fato também foi encontrado nas classes de uso de baixa suscetibilidade, que quando associadas aos parâmetros morfométricos de alta suscetibilidade obtiveram aumento na possibilidade de ocorrência de processos erosivos.

O presente estudo mostrou a importância de uma análise de maior detalhe a partir da combinação de mapas de feições erosivas e morfométricos e o uso de índices que podem, efetivamente, contribuir com a avaliação do papel destes parâmetros na gênese e na distribuição dos processos erosivos na região de São Pedro.

8. REFERÊNCIAS

1. AB'SABER, A.N. (1949). **Regiões de circundesnudação pós-cretácea, no planalto brasileiro**. Boletim de Geografia. São Paulo, n.1. p. 03 – 21.
2. AB'SÁBER, A. N. (1969). **A depressão periférica paulista: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácica na bacia do Paraná**. Geomorfologia, São Paulo, n. 5, p 1-15.
3. AB'SÁBER, A. N. (1969). **Um conceito de Geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário**. Geomorfologia, São Paulo, n. 18, p. 1-23.
4. AB'SÁBER, A. N. (2006). **Erosividade versus erodibilidade**. Scientific American Brasil, São Paulo, n. 46, p. 98.
5. ALARSA, C. (1994). **Estudo das associações entre as formas de relevo e os solos do interflúvio dos Ribeirões Samambaia e Araquá, na Região de Águas de São Pedro (SP)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 60p.
6. ALMEIDA, F. F. M. (1964) **Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista**. Boletim Instituto Geológico e Geográfico, n.41. São Paulo, p. 166-263.
7. ALMEIDA, F. F. M. (1974). **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. Instituto Geográfico e Geológico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 99 p.
8. ALMEIDA, M. C. J. (2002). **Abordagem do uso do solo nas alterações de processos do meio físico**. Dissertação. Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 164 p.
9. ALMEIDA FILHO, G. S.; SANTORO, J.; GOMES, L. A. (2004). **Estudo da dinâmica evolutiva da boçoroca São Dimas no município de São Pedro, SP**. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. Anais...GEDN/UFSC, Florianópolis, v.1. p.73-86.
10. ALMEIDA, M. C. J.; FREITAS, C. G. L. de. (1996). **Uso do solo urbano: suas relações com o meio físico e problemas decorrentes**. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica. Anais... ABGE, São Carlos, p. 195 -200.
11. AMARAL, N. D. (1939). **Noções de conservação do solo**. Nobel, São Paulo, 120 p.
12. ARAÚJO, G. H. S.; DE ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. (2007). **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 320 p.
13. ARAÚJO, M. G. C. (2008). **Classificação, evolução e controle das feições erosivas na área de implantação do bairro Jardim Botânico – São Pedro (SP)**. Monografia. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 129 p.

14. ARAUJO, M.G.C.; ZUQUETTE, L.V. (2009) **Avaliação de medidas de controle e propostas: casa da implantação do bairro Jardim Botânico – São Pedro - (SP)**. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão. São Paulo, p 1 -18.
15. ARAUJO, T. P. (2011) **Estudo do desencadeamento das erosões lineares concentradas em uma área do município de São Pedro (SP)**. Dissertação. (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 181 p.
16. AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. (2006). **Piping em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Geomorfologia. Uberlândia, n.1, p.9-18.
17. AUZUTE, A.V.; POESEN, J.; JEAN, C. (2004) **Soil surface characteristics: dynamics and impacts on soil erosion**. Earth Surf. Processes and Landforms, n. 29, p.1063 -1064.
18. BAPTISTA. G. M. M. (2003). **Diagnóstico ambiental de Erosão Laminar: modelo geotecnológico e aplicação**. Universa: Brasília, 104 p.
19. BARROS, W. D. (1956). **A Erosão no Brasil**. Mauá, São Paulo, p.350.
20. BARRETO, M. M. R. (1970). **Geomorfologia da Área de São Pedro (SP)**. Notícia Geomorfológica. Campinas, 10 (19), p. 47-61.
21. BASE, S. A. **Fotografias Aéreas do Município de São Pedro**. Escala 1:30.000. Abril/2006. B-O917. Faixa: 132 n. 5960, 5961, 5962, 5963, 5964, 5965, 5966. Faixa: 131 n. 3777 e 3778.
22. BASE, S. A. (2000). **Fotografias Aéreas do Município de São Pedro**. Escala 1:30.000. Julho/2000. B-O719. Faixa: 38 n. 58, 59 e 60. Faixa: 37 n. 57, 58, 59 e 60.
23. BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (2008). **Conservação do Solo**. Ícone, São Paulo, 355 p.
24. BIBLIOTECA UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP - Campus de Rio Claro/SP. **Carta Topográfica de São Pedro/SP – Folha São Pedro** - Coordenadas 22°30' e 22°45' de latitude sul e 47°45' e 48°00' de longitude oeste, Escala 1:50.000.
25. BIGARELLA, J. J. (2003). **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. UFSC, Florianópolis, v. 3, p. 883-939.
26. BÓRIO, N. J. (1973). **Geologia da Área de São Pedro (SP)**. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 125 p.
27. BOX J. R. J. E; BRUCE, R. R. (1996). **The effect of surface cover on infiltration and soil erosion**. In: Agassi, M. (org). Soil erosion, conservation e rehabilitation. Ministry of Agriculture Emek-Hefer: Israel, cap. 6, p. 107 – 123.
28. BRADY, N.C. (1989). **Natureza e propriedades dos solos**. Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 898 p.

29. BRAIMOH, A. K.; VLEK, P. L.G. (2007). **Impact of land use on soil resources**. In: Braimoh, A.K.; Vlek, P.L.G (orgs). Land use and soil resources. Springer: Sweden, p. 01 – 08.
30. BRASIL, M.A.P.A. (2009). **Nascentes do rio Araguaia/GO/MT**. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/index.php3?sec=guara:::45>. Acesso: 18 ago. 2009.
31. BRYAN, R.B. (2000). **Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope**. Geomorphology. n 32. p. 385-415.
32. BUZATO, E. (2000). **Distribuição atual e tipos de Ferricretes, nas serras de Itaqueri e São Pedro (SP) e sua relação com o relevo**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 102 p.
33. CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. (2001). **Geoprocessamento para projetos ambientais**. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.V. (orgs). Introdução à ciência da geoinformação. INPE: São José dos Campos, cap. 10. p. 01 -36. Disponível em: www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap10-aplicacoesambientais.pdf. Acesso: 21 fev. 2011.
34. CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (2001). **Conceitos básicos em ciência da geoinformação**. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.V. (orgs). Introdução à ciência da geoinformação. INPE: São José dos Campos, cap 02, p.01-35. Disponível em: www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf Acesso: 17 jan. 2011.
35. CANIL, K. (2000). **Processos erosivos e planejamento urbano: carta de risco de erosão das áreas urbanas e periurbana do município de Franca (SP)**. Dissertação. Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia Letras, Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 96 p.
36. CAPELLARI, B. (1995). **Estudo das Áreas de Risco à erosão em São Pedro, SP**. Trabalho de Graduação Individual. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 74 p.
37. CARPI JUNIOR, S. (1996). **Técnicas Cartográficas aplicadas à dinâmica da bacia do ribeirão Araquá (SP)**. Dissertação (Mestrado em Organização do Espaço). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 188 p.
38. CARPI JUNIOR, S.; CARRARA, S. L.; NETTO, C. B. (2010). **Impasses no planejamento ambiental da Estância Turística de São Pedro (SP)**. Climatologia e Estudos da Paisagem. Rio Claro, v.5, n. 1. p. 19 – 38.
39. CASASNOVAS, J. A. M. (2003). **A Spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion**. Catena. Elsevier, n.50, p. 293 – 308.

40. CASTRO, S. S. (2005). **Erosão Hídrica na Alta Bacia do Rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual.** Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 17, p. 38-60.
41. CERON, A. O. O (1966) **Uso das fotografias aéreas na identificação das formas de utilização agrícola da terra.** Revista Brasileira de Geografia, 28 (2): p. 161 – 173.
42. CERRI, C.E.P. (1999). **Mapeamento das áreas de risco de erosão dos solos da bacia do rio Piracicaba, utilizando geoprocessamento.** Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 89 p.
43. CHRISTOFOLETTI, A. (1979). **Análise de sistemas em Geografia.** Hucitec São Paulo, p.106.
44. CHRISTOFOLETTI, A. (1980). **Geomorfologia.** Edgard Blucher, São Paulo, 188 p.
45. CHRISTOFOLETTI, A. (1986/1987). **A significância da teoria dos sistemas em Geografia física.** Boletim de Geografia Teorética, Rio Claro, v. 16/17, n. 31-34, p. 119 - 128.
46. CHORLEY, R.J. (1971). **A Geomorfologia e a Teoria dos Sistemas.** Noticia Geomorfológica. Campinas, v.11, n.21, p. 3- 22.
47. COELHO NETTO, A. L. (2003). **Evolução de cabeceira de drenagem no médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural.** Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 4, n.2, p.69-100.
48. COLTRINARI, L. (2000) **Geomorfologia: Caminhos e Perspectivas.** Revista Brasileira de Geomorfologia. v.1, n.1, p. 44 – 47.
49. CONTI, J.B. (1971). **Condições Climáticas da Região de Águas de São Pedro (SP).** Caderno de Ciências da Terra. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, n.11, 15 p.
50. COUTARD, J. P.; DIAS FERREIRA, R.P., PELLERIN, J., QUEIROZ NETO, J. P. (1978). **Excursão à região da serra de São Pedro e Vale do rio Piracicaba. Guia de Excursões.** In: Colóquio Interdisciplinar Franco-Brasileiro: Estudo e Cartografia de Formações Superficiais e suas Aplicações em Regiões Tropicais. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, v.2, p.45 – 74.
51. COUTARD, J.P.; DIAS FERREIRA, R.P., PELLERIN, J., QUEIROZ NETO, J. P. (1978). **Carta Geomorfológica de São Pedro (SP). (1:50.000). Memorial Explicativo. Sedimentologia e Pedologia.** Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. IGEOG, São Paulo, v.12, 33 p.
52. CRUZ, O. A (1985). **Escala temporal-espacial nos estudos dos processos geomorfológicos erosivos atuais. Uma questão de método.** Geomorfologia. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, n.33, p. 01 – 06.

53. CRUZ, C. (2001). **Análise comparativa da evolução das boçorocas nos anos de 1962 e 1999 nos municípios de Pompéia e Oriente – (SP)**. Dissertação. (Mestrado em Geologia Regional). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, p.105.
54. DAEE. (1997). **Departamento de Água e Energia Elétrica**. Disponível em:http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=76%3Aapoio-ao-municipio&catid=46%3Aapoio-ao-municipio&Itemid=30> Acesso em: 10 Fev 2011.
55. DAEE. (1989). **Controle de Erosão: bases conceituais e técnicas: diretrizes para o planejamento urbano e regional – orientações para o controle de boçorocas urbanas**. DAEE/IPT, São Paulo, 92 p.
56. DAEE. (1990). **Controle de Erosão: bases conceituais e técnicas: diretrizes para o planejamento urbano e regional – orientações para o controle de boçorocas urbanas**. DAEE/IPT, São Paulo, 92 p.
57. DEROSE, R. C.; GOMEZ, B.; MARDEN, M.; TRUSTRUM, N.A. (1998). **Gully erosion in Mangatu Forest, Zew Zealand, estimated from digital elevation models**. *Earth Surface Process. Landforms*, n. 23, p.1045–1053.
58. DIAS FERREIRA, R. P. (1997). **Solos e Morfogênese em São Pedro (SP)**. Doutorado. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 157p.
59. DOMINGUES, E. N.; ROSSI, M.; MATTOS, I. F. A.; ABE, K.; KITADA, M. (1998). **Tipologia e distribuição dos processos erosivos na microbacia do ribeirão Água da Cachoeira, em Paraguaçu Paulista (SP)**. *Revista Brasileira de de Ciencia de Solo*. n.22. p. 141 – 149.
60. DUARTE, U. (1980). **Geologia Ambiental da área de São Pedro (SP): vetor águas subterrâneas**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980. 73 p.
61. DRUMOND, F. N.; BACELLAR, L.A.P. (2006). **Caracterização hidrossedimentológica e dos processos evolutivos de voçorocas em área de rochas gnáissica do alto Rio das Velhas (MG)**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. ano 07, n.02, p.87 – 96.
62. DYLIK, J. (1968) **The significance of the slope in geomorphology**. In: *Bulletin de la Socieété des Sciences et dès Lettres de Lodz*. v.19, p. 1- 19.
63. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS - EMBRAPA (2009) **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 412p.
64. FACINCANI, E. M. (1995). **Influência da estrutura e tectônica no desenvolvimento das boçorocas da região de São Pedro/SP: proposta de reabilitação e aspectos jurídico-institucionais correlatos**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 124 p.

65. FERREIRA, P.H.M. (1981). **Princípios de manejo e de conservação do solo**. Nobel, São Paulo: 136 p.
66. FERREIRA, M. D. (2004). **Análise da evolução dos processos erosivos acelerados em áreas urbanas e das técnicas de controle e recuperação córrego do Tucum – São Pedro (SP)**. Dissertação. (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 171 p.
67. FILIZOLA, H. F.; ALMEIDA FILHO, G. S.; CANIL, K.; SOUZA, M. D.; GOMES, M. A. (2011). **Controle dos processos erosivos lineares (ravinas e voçorocas) em áreas de solos arenosos**. Circular Técnica. Embrapa, Jaguariúna, 7 p.
68. FUJIHARA, K.A. (2002). **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 118 p.
69. FURQUIM, S. A.C. (2002). **Interações entre modelo e solo no transecto do Espraiado - São Pedro/SP**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia Letras, Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 183 p.
70. GALO, M.; CAMARGO, P. O. (1994) **O uso do GPS no controle de qualidade de cartas**. In: I Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. COBRAC, Florianópolis, p. 41 – 48.
71. GAO, J. (1993) **Identification of topographic settings conducive to landsliding from dem in Nelson county, Virginia, U.S.A**. Earth Surface Process. Landforms: v.18, p. 579 – 591.
72. GOMES, C. L. R.; HELLMEISTER JR, Z.; ALMEIDA FILHO, G. S. SOUZA, A. (2006) **Erosões urbanas em cabeceira de drenagem no município de Monte Alto (SP)**. Relatório Técnico, IPT.
73. GOUDIE, A. (1990). **Geomorphological Techniques**. Routledge, London, 592 p.
74. GOUDIE, A.S. (2004). **Encyclopedia of Geomorphology**. Routledge, London e New York: 1156 p.
75. GREENE, R. S. B.; HAIRSINE, P. B. (2004). **Elementary processes of soil – water interaction and thresholds in soil surface dynamics: a review**. Earth Surface Process. Landforms: n. 29, p. 1077 – 1091.
76. GRISSINGER, E.H. (1996). Rill and gullies erosion. In: Agassi, M. (org). **Soil erosion, conservation e rehabilitation**. Ministry of Agriculture Emek-Hefer: Israel, cap. 8 p.153-168.
77. GROHMANN, F. (1972). Estrutura. In: MONIZ, A.C. (org). **Elementos de Pedologia**. Universidade de São Paulo: São Paulo, cap. 9, p. 101-110.
78. GUIMARÃES, C. N. (2008). **Mapeamento Geotécnico da Bacia do Córrego da Barra, aplicação do penetrômetro de impacto em estudos de processos erosivos – São Pedro (SP)**. Escala 1: 10.000.

Dissertação (Mestre em Geotécnica). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo, São Carlos, 104 p.

79. GUTIERREZ, A.G.; SCHNABEL, S.; CONTADOR, F.L. (2009). **Gully erosion, land use topographical threshold during the last 60 years in a small rangeland catchment in SW Spain**. Land Degradation e Development, 20(5): 535-550.
80. IBGE. Instituto Brasileiro Geografia Estatística. (2006). **Manual técnico de uso da terra. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão**. Rio de Janeiro, n.7. 91 p.
81. INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ - IBC. **Fotografias Aéreas do Município de São Pedro**. Escala 1:25.000, 1962. VW AST – 10; 1370OPMW R – 306. Faixas 2435 e 2436.
82. INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ - IBC. **Fotografias Aéreas do Município de São Pedro**. Escala 1:25.000, 1972. Faixas: 35085, 36087, 36086, 36088 e 35087.
83. IBGE. Instituto Brasileiro Geografia Estatística. Dados Básicos (População). **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão**. São Paulo, 2011.
84. IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. (1995) **Erosão no estado de São Paulo**.
85. JONES, J. A. A. (1997). **Subsurface Flow and Subsurface Erosion: further evidence on forms and controls**. In: STODDART, D. R. (org.). Process and Form in Geomorphology. Routledge, London: p.74-120.
86. KIEHL, E. J. (1979). **Manual de Edafologia: Relações e Plantas**. Agrônômica Ceres: São Paulo, 262 p.
87. KERTZMAN, F. F.; OLIVEIRA, A. M.; SALOMÃO, F.X.; GOUVEIA, M.I.F. (1995) **Mapa da Erosão no Estado de São Paulo**. Revisa do Instituto Geológico, São Paulo (SP), volume especial, p. 31-36.
88. KAWAKUBO, F.S.; OLIVEIRA, D.; MORATO, R.G. (2006). **Contribuição da análise de superfície de tendência para caracterização morfológica de uma topossequencia situada na região de São Pedro (SP)**. Geografia. Rio Claro, v.31, n.3, p.571-585.
89. KUHNERT, P. M.; HENDERSON, A.K.; BARTLEY, R.; HERR, A. (2009). **Incorporating uncertainty in gully erosion calculations using the random forests modelling approach**. Published online in Wiley InterScience. Environmetrics,
90. KIRKBY, M. J.; CHORLEY, R. J. (1967). **Throughflow, Overland Flow and Erosion**. Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology. v. 12, n. 3, p. 5-21.
91. KIRKBY, M.J.; MORGAN, R.P.C. (1980). **Soil Erosion**. Publisher, Chichester. New York, 312 p.
92. LEGUÉDOIS, S.; BISSONNAIS, Y.L. (2004) **Size fractions resultin from an aggregate stability test, interrill detachment and transport**. Earth Surface Process and Landforms. n. 29, p.1117–1129.

93. LEMOS, C. F.; FIORI, A. P.; FIORI, O. C.; TOMAZONI, J. C. (2011) **Erosões concentradas existentes na bacia hidrográfica do alto curso do rio Pitangui (PR)**. Revista Brasileira de Geomorfologia. v.12, n.1, p.59 – 67.
94. LEPSCH, I. F. (2002). **Formação e Conservação dos Solos**. Oficina de Textos, São Paulo: 178 p.
95. LOHMANN, M.; SANTOS, L. J. C. (2005). **A morfopedologia aplicada à compreensão dos processos erosivos na bacia hidrográfica do Arroio Guassupi, São Pedro do Sul – RS**. Revista Brasileira de Geomorfologia. Ano 06, n.02, p. 91 -102.
96. MACEDO, E. S.; OGURA, A. T.; KATIA, C.; ALMEIDA FILHO, G. S.; GRAMANI, M. F.; SILVA, F. C.; CORSI, A. C.; MIRANDOLA, F. A. (2004). **Modelos de fichas descritivas para áreas de risco de escorregamento, inundação e erosão**. In: **Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais**. GEDN/UFSC, Florianópolis, p. 892 – 907.
97. MARCOTULLIO, P.J.; BRAIMOH, A. K.; ONISHI, T. (2007) **The impact of urbanization on soils**. In: Braimoh, A.K. and Vlek, P. L. G. (orgs). Land use and soil resources. Springer: Sweden, p. 201 – 250.
98. MASSOLI, M.; CAETANO CHANG, M.R. (2007). **O Contato entre as formações Pirambóia e Botucatu na área de Ribeirão Preto**. Geociências. São Paulo, v.26, n.3. p. 263 – 270.
99. MATHIAS, D. T. (2010). **Avaliação das técnicas de monitoramento de processos erosivos acelerados em área peri-urbana São Paulo**. In: VI Seminário Latino Americano de Geografia Física e II Seminário Íbero Americano de Geografia Física. Anais... Coimbra (Portugal), p.1- 13.
100. MATHIAS, D. T. (2011). **Propostas de Recuperação de áreas peri-urbanas erodidas com base em parâmetros hidrológicos e geomorfológicos: córrego Tucunzinho – São Pedro (SP)**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 128 p.
101. MAURO, C. A. (1989). **Voçorocas: marcas das relações sociedade-natureza na bacia do Monjolinho, São Carlos (SP)**. Tese (Doutorado), Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 235 p.
102. MENDONÇA, J. K. S.; GUERRA, A. J. T.; MENDES, M. R. (2001) **Diagnóstico da erosão urbana no município de São Luís (MA)**. In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia, 9 p.
103. MEYLES, E.W.; WILLIAMS, A.G.; TERNAN, J.L.; ANDERSON, J.M.; DOWD, J.F. (2006). **The influence of grazing on vegetation, soil properties and stream discharge in a small Dartmoor catchment, southwest England, UK**. Earth Surface Processes and Landforms. n.31, p. 622-631.
104. MORGAN, R.P.C.; MNGOMEZULU, D. (2003). **Threshold conditions for initiation of valley side gullies in the Middle Veld of Swaziland**. Catena. Elsevier, n.50, p. 401 – 414.

105. MORGAN, R.P.C. (2005). **Soil e erosion and conservation**. Malden, Blackwell Publishing On Line, 304 p.
106. NYSSSEN, J.; POESEN, J.; MOEYERSONS, J.; LUYTEN, E.; PICOT, V.; DECKERS, J.; HAILE, M.; GOVERS, G. (2002). **Impact of road building on gully erosion risk: a case study from the northern Ethiopian highlands**. Earth surface Processes and Landforms. n. 27, p. 1267 – 1283.
107. OLIVEIRA, M. A. T.; MEIS, M. R. M. (1985) **Relações entre geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada, Bananal (SP)**. Geociências. São Paulo, v. 4. p.87- 89.
108. OLIVEIRA, M. A.T.; COELHO NETO, A. L.; AVELAR, A. S. (1994) **Morfometria de encostas e desenvolvimento de boçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul**. Geociências. São Paulo, 13 (1). p. 9 – 23.
109. OLIVEIRA, A. M. S.; QUEIROZ NETO, J. P. (1993) **Erosão acelerada no Planalto Ocidental Paulista: desequilíbrio, descontinuidade e epiciclo**. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, Anais... São Paulo, p. 461- 463.
110. OLIVEIRA, M. A. (1997) **Inventário histórico das formas de erosão linear no interflúvio entre os ribeirões do Meio e Samambaia no glaciais de São Pedro (SP)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 85 p.
111. OLIVEIRA, D. (1997). **Estudo Macro e Micromorfológico de uma topossequência na bacia do córrego do Retiro em São Pedro (SP)**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, 143 p.
112. OLIVEIRA, D. (2009) **As bandas onduladas e sua influencia na evolução do relevo em São Pedro (SP)**. Geosul, Florianópolis, v.24, n.47, p. 161 – 186.
113. OKA FIORI, C. (1980) **Contribuição ao estudo das formações superficiais das quadrículas de Piracicaba e São Pedro**. Dissertação (Mestrado em Geografia e Planejamento). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 121 p.
114. PASCHOAL, L. G. (2011). **Dinâmica do uso e ocupação da terra em área de mineração de argila: O caso da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes/SP**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 86 p.
115. PERES FILHO, A.; NOGUEIRA, F. P.; SANCHEZ, M. C.; TAVARES, A.C. (1986). **Erosão acelerada em Areias Quartzosas no município de São Pedro**. In: Encontro anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. Anais...Curitiba, v. 24A. p. 12-12.
116. PINHEIRO, L. S. (2008) **Análise da dinâmica plúvio erosiva na bacia do córrego da Água Branca (SP)**. Dissertação. (Mestrado em Organização do Espaço). Instituto de Geociências e Ciências Exatas,

Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 110 p.

117. PINHEIRO, M. R. (2009) **Técnicas cartográficas e aerofotogramétricas no estudo da erosão: alta bacia do ribeirão Araquá – São Pedro e Charqueada (SP)**. Dissertação. (Mestrado em Ciências). Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 186 p.
118. PRADO, H. (1995). **A pedologia simplificada**. Potafos, Piracicaba: 16 p.
119. QUEIROZ NETO, J. P.; JOURNAUX, A. (1978). **Carta Geomorfológica de São Pedro (SP)**. Instituto de Geografia, USP. São Paulo.
120. QUEIROZ NETO, J. P. (1978). **Sistema de representação cartográfica empregados nas regiões do Paratei, São Pedro e Marília**. Comunicação e Debates. Colóquio Interdisciplinar Franco-Brasileiro: "Estudo e Cartografia de Formações Superficiais e suas Aplicações em Regiões Tropicais". São Paulo, v.2, p.23 – 37.
121. RISER, J. (1995). **Erosão e paisagens Naturais**. Flammarion: Lisboa, 127p.
122. RODRIGUES, J. E. (1982) **Estudo de Fenômenos Erosivos Acelerados**. Tese (Doutorado em Transportes e Topografia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 162 p.
123. ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. (1997). **Mapa geomorfológico do estado de São Pulo**. Edusp, São Paulo: v. 1, 64 p.
124. RUHE, R. V. (1975) **Geomorphology**. Houghton Mifflin Company, U.S, 246 p.
125. SALGADO, C. M.; SILVA, T. P.; PEIXOTO, M. N. O.; MOURA, J. R. S. (2008) **Análise espaço temporal da erosão linear no médio baixo vale do ribeirão do secretário Paty do Alferes/RJ**. Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 9, n.1, p. 75 – 85.
126. SALOMÃO, F. X. T. (1994). **Processos Erosivos em Bauru (SP): Regionalização Cartográfica Aplicada ao Controle Preventivo Urbano e Rural**. Tese (Doutorado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 200p.
127. SANTANA, N. M. P.; CASTRO, S. S.; STONE, L. F.; SILVA, S.C. (2007) **Chuvas, erosividade, erodibilidade, uso do solo e suas relações com focos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia**. Sociedade e Natureza. Uberlândia, 19 (2), p. 103 – 121.
128. SANTORO, J. (1991). **Fenômenos erosivos acelerados na região de São Pedro (SP), estudo da fenomenologia, com ênfase geotécnica**. Dissertação. (Mestrado em Geociências e Análise Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 140 p.
129. SANCHEZ, M. C. (1969). **Os municípios de São Pedro e Charqueada: aspectos de sua geografia agrária**. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Rio Claro, 135 p.

130. SANCHEZ, M. C. (1971). **Contribuição ao conhecimento das bases naturais dos municípios de São Pedro e Charqueada (S.P).** Notícia geomorfológica. Campinas, v.11, n. 21-22, p.47-60.
131. SANCHES, M. C.; MENDES, I. A.; FREITAS, M. I. C.; LORENZON FILHO, A. V. (1986). **Monitoramento de forma de erosão acelerada no córrego Tucunzinho, no município de São Pedro (SP).** Boletim de Geografia Teorética. v.16-17 (31- 34). p. 276 – 284.
132. SEADE. Fundação Sistema Estadual Análise de Dados. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional (2012). **População e Estatísticas Vitais.** São Paulo.
133. SANTORO, J.; FULFARO, V.J. (1996). **Estudos Geotécnicos em Boçoroca na Cidade de São Pedro, São Paulo (SP).** Revista Instituto Geológico, São Paulo, 17(1/2), p.55-62.
134. SECRETARIA DE OBRAS – PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO/SP. (1979). **Base Cartográfica Digital da Área de Estudo.** Escala: 1:10.000.
135. SELBY, M. J. (1993). **Hillslope materials and processes.** Oxford, New York, 451 p.
136. SIDORCHUK, A. (1999) **Dynamic and static models of gully erosion.** Catena, Elsevier, n.37, p. 401 – 414.
137. SILVA, L.C.F. (1977). **Fotointerpretação de redes de drenagem de dois solos do município de São Pedro (SP).** Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 114 p.
138. SILVA, L.C.F. (1993). **Fotointerpretação de redes de drenagem e caracterização do relevo de dois solos do município de São Pedro (SP).** Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 125 p.
139. SILVA, A. M. (1999). **Aplicações de técnicas de geoprocessamento no estudo das relações entre os processos erosivos e sedimentológicos de bacia hidrográfica.** Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 249p.
140. SILVA, A. F. (2003). **Mapeamento geotécnico e análise dos processos erosivos na Bacia do Córrego Tucum – São Pedro (SP), Escala 1:10.000.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, p.158.
141. SILVA, A. B. (2003) **Sistemas de Informações Georreferenciadas.** Unicamp. Campinas 236 p.
142. SILVA, A. G. R.; SILVA, D. L. A. (2003) **Avaliação da qualidade de documentos cartográficos: aspectos geométricos, temático e temporais.** Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 63 p.
143. SILVEIRA, L. R.; MENDONÇA, R. M. G. (2009) **Análise, monitoramento e caracterização da voçoroca ribeirão da Cachorra em Paraíso do**

Tocantins (TO). Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal, v.6. n.2, p.231 – 250.

144. SIGRH, SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DE SÃO PAULO. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhtm.exe/plu>. Acesso em: 20 Jan 2011.
145. STABILE, R. A. (2009) **Análise do papel exercido pela topografia na distribuição das feições erosivas lineares na bacia Água da Faca, Piratininga (SP).** Trabalho de Graduação Individual. Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 81 p.
146. STABILE, R. A. (2009). **Dinâmica hidrológica de vertentes e processos erosivos lineares na bacia Água da Faca, Piratininga (SP).** In: Seminário de Pesquisa em Geografia Física. **Anais...** São Paulo.
147. TAMENE, L.; VLEK, P.L.G. (2007). **Soil erosion studies in Northern Ethiopia.** In: Braimoh, A.K.; Vlek, P. L. G (orgs). Land use and soil resources. Springer: Sweden, p. 73 – 100.
148. TORRI, D. (1996). **Slope, aspect and surface storage.** In: Agassi, M. (org). Soil erosion, conservation e rehabilitation. Ministry of Agriculture Emek-Hefer: Israel, cap 5. p. 77 – 106.
149. TRICART, J. (1965) **Principes et méthodes de la géomorphologie.** Masson, Paris, 496 p.
150. TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977. 97p.
151. TRIMBLE, S. W. T.; MENDEL, A. C. (1995) **The cow as a geomorphic agent.** A critical review. *Geomorphology*. n.13. p. 233 – 253.
152. YAMANOUT, G.R. de B. (2003). **Avaliação dos processos erosivos e das técnicas de controle e reabilitação - bacia do córrego do Espreado - São Pedro (SP).** Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 177 p.
153. VEIGA, T. C.; SILVA. J.X. (2004). **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais para atividades turísticas: o caso do município de Macaé (RJ).** In: SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. (orgs). *Geoprocessamento e Análise Ambiental: Aplicações.* Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p.179 – 215.
154. VIEIRA, W. C. (2006). **Evolução de feições erosivas na microbacia do córrego Boa Vista – Prata (MG).** Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão de Território). Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 132 p.
155. ZAIDAN, R. T.; SILVA, J. X. (2004). **Geoprocessamento aplicado ao zoneamento de áreas com necessidade de proteção: o caso do parque estadual do Ibitipoca (MG).** In: SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. (orgs). *Geoprocessamento e Análise Ambiental: Aplicações.* Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p. 31 – 65.
156. ZUQUETTE, L.V.; CARVALHO, J.A.R.; YAMANOUTH, G.R.B. (2007).

Feições erosivas na bacia do córrego do Espraiado, São Pedro/SP seus tipos e evolução entre 1972- 2002. Revista Brasileira de Geociências. v.2, n.37, p.414-425.